

Editor:

Enny Sudarmonowati

N. Sri Hartati

Ahmad Fathoni

Hartati

BIODIVERSITAS,
PERAKITAN KLON UNGGUL
DAN PEMANFAATAN

BIORESOURCES
UBI KAYU

UNTUK Mendukung KETAHANAN PANGAN

BIODIVERSITAS,
PERAKITAN KLON UNGGUL
DAN PEMANFAATAN

BIORESOURCES
UBI KAYU

UNTUK Mendukung KETAHANAN PANGAN

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Editor:
Enny Sudarmonowati
N. Sri Hartati
Ahmad Fathoni
Hartati

BIODIVERSITAS,
PERAKITAN KLON UNGGUL
DAN PEMANFAATAN

BIORESOURCES
UBI KAYU

UNTUK Mendukung KETAHANAN PANGAN

© 2018 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Bioteknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)
Biodiversitas, Perakitan Klon Unggul dan Pemanfaatan *Bioresources* Ubi Kayu untuk Mendukung Ketahanan Pangan/Enny Sudarmonowati, N. Sri Hartati, Ahmad Fathoni, & Hartati–Jakarta: LIPI Press 2018.

xxiv hlm. + 304 hlm.; 17,6 × 25 cm

ISBN 978-602-496-026-1 (cetak)
978-602-496-027-8 (*e-book*)

1. Ubi Kayu
2. Ketahanan Pangan
3. Biodiversitas

635.2.363.8.333.9

Copyeditor : Risma Wahyu Hartiningsih
Noviastuti Putri Indrasari
Proofreader : Risma Wahyu Hartiningsih
Noviastuti Putri Indrasari
Penata isi : Rusli Fazi
Desainer sampul : Rusli Fazi
Cetakan pertama : Desember 2018



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Jln. R.P. Soeroso No. 39, Menteng, Jakarta 10350
Telp: (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591
e-mail: press@mail.lipi.go.id
website: lipipress.lipi.go.id
f LIPI Press
t @lipi_press
i @lipi.press

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	VII
DAFTAR TABEL	XIII
PENGANTAR PENERBIT	XV
KATA PENGANTAR	XVII
UCAPAN TERIMA KASIH	XXI
Bioteknologi untuk Menghasilkan Bibit Unggul Ubi Kayu Berbasis Biodiversitas	1
Enny Sudarmonowati, N. Sri Hartati, Ahmad Fathoni, dan Hartati	
<i>Bioresources</i> Ubi Kayu dan Pengelolaannya untuk Penyediaan Bahan Pangan Berkualitas Tinggi.....	9
Enny Sudarmonowati	
Biodiversitas Koleksi Plasma Nutfah Ubi Kayu untuk Perakitan Ubi Kayu Unggul	29
Hartati, Wahyuni, dan Enny Sudarmonowati	
<i>Bioresources</i> Ubi Kayu Bersianida Tinggi dan Pemanfaatannya untuk Pangan.....	69
Siti Kurniawati	
Propagasi <i>in vitro</i> Ubi Kayu.....	95
Nurhamidar Rahman, Hani Fitriani, Hartati, dan Enny Sudarmonowati	
Induksi Embriogenesis Somatik untuk Perbanyak Bibit dan Perbaikan Mutu Genetik Ubi Kayu.....	117
Hani Fitriani, Supatmi, dan Enny Sudarmonowati	
Perbaikan Mutu Genetik Ubi Kayu Melalui Teknik Iradiasi Sinar Gama	149
Supatmi, N. Sri Hartati, dan Enny Sudarmonowati	

Studi Molekuler Gen-gen Terkait Beta Karoten dan Ketahanan terhadap Kekeringan pada Ubi Kayu.....	181
N. Sri Hartati dan Enny Sudarmonowati	
Modifikasi Komposisi Pati Ubi Kayu dengan Teknik Rekayasa Genetika...	199
Hani Fitriani, Supatmi, dan Enny Sudarmonowati	
Peningkatan Daya Simpan Umbi Ubi Kayu Setelah Panen: Aplikasi Teknik Pencegahan Pembusukan secara Konvensional hingga Molekuler	227
Ahmad Fathoni, Ima Mulyama, Supatmi, N. Sri Hartati, dan Enny Sudarmonowati	
Inovasi Pengolahan Tepung Ubi kayu untuk Peningkatan Kualitas Nutrisi.....	253
Wahyuni, Hartati, Siti Kurniawati, dan Ahmad Fathoni	
Penguatan Peran Riset untuk Meningkatkan Nilai Rantai Ekonomi Ubi Kayu	275
Enny Sudarmonowati, N. Sri Hartati, Ahmad Fathoni, dan Hartati	
LAMPIRAN.....	279
DAFTAR ISTILAH	283
DAFTAR SINGKATAN	289
INDEKS	293
BIOGRAFI PENULIS.....	299

DAFTAR GAMBAR

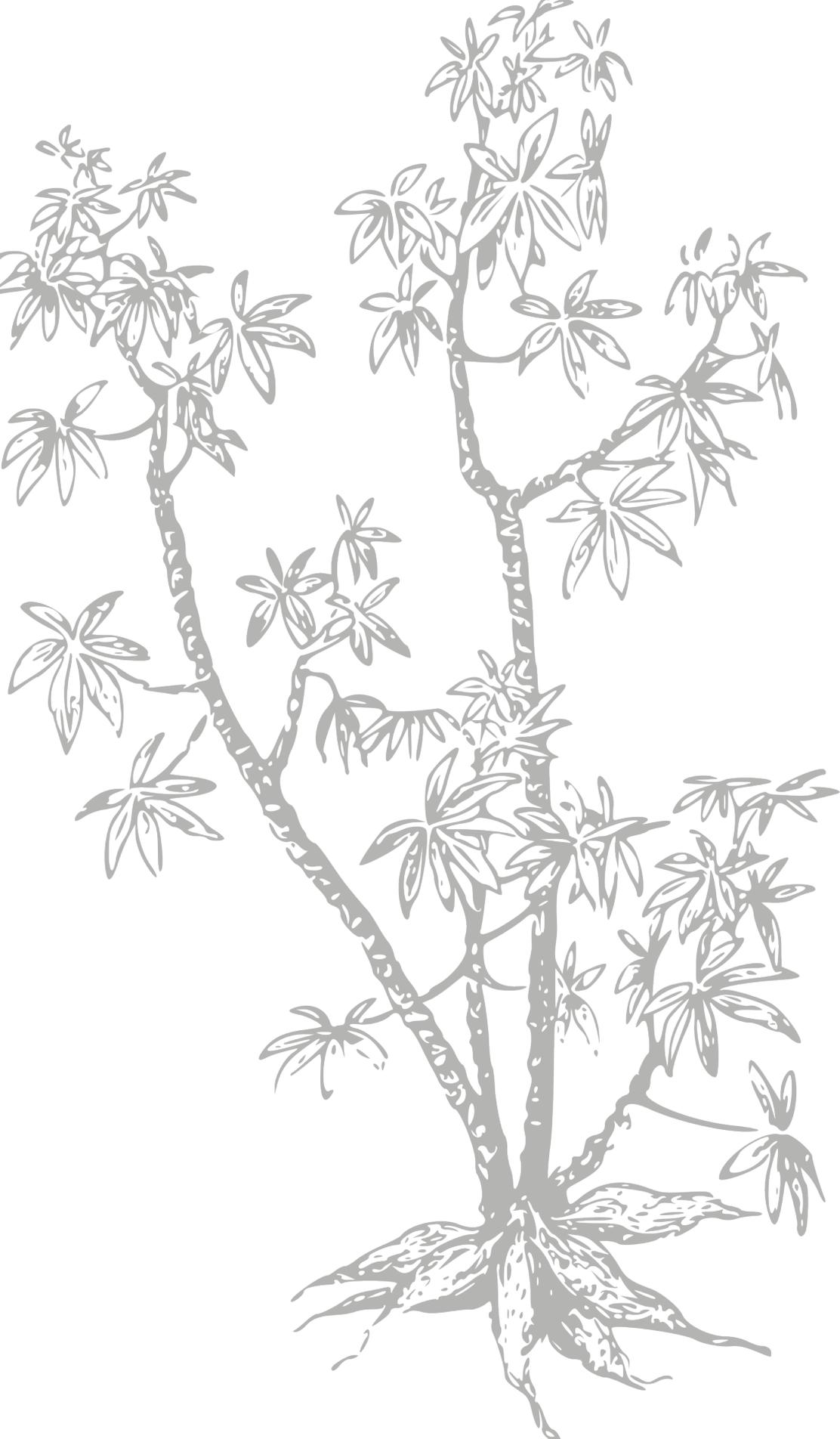
Gambar 1.1	Pola Riset dan Pengembangan Ubi Kayu di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	3
Gambar 1.2	Topik-topik Riset Ubi Kayu yang Dikembangkan di Puslit Bioteknologi LIPI untuk Mendukung Ketersediaan Bibit Ubi Kayu Unggul	4
Gambar 3.1	Variasi Warna Kulit Luar dan Bentuk Umbi Beberapa Genotipe Ubi Kayu Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI.....	41
Gambar 3.2	Koleksi Ubi Kayu di Lapang dengan Pelabelan.....	45
Gambar 3.3	Tanaman Ubi Kayu <i>in vitro</i> pada Media Murashige dan Skoog (MS)	45
Gambar 3.4	Klasterian Ubi Kayu <i>Manihot esculenta</i>	47
Gambar 3.5	Polimorfisme pita DNA dengan sistem marka ISSR pada sembilan genotipe ubi kayu koleksi Puslit Bioteknologi LIPI menggunakan primer SSRY100.....	55
Gambar 3.6	Peta genetik ubi kayu mengandung 2.141 marka SNP	57
Gambar 3.7	Tahapan Seleksi dan Identifikasi Marka Terkait Gen Ketahanan terhadap CMD dan Aplikasinya pada Pemuliaan Ubi Kayu Tahan Penyakit CMD Melalui MAS di CIAT dan IITA serta penyebaran Ubi Kayu Hasil Pemuliaan ke Partner CIAT dan IITA.....	60
Gambar 3.8	Skema Introduksi Karakter Unggul dari Kerabat Liar Ubi Kayu ke Target Ubi Kayu Budi Daya	61
Gambar 3.9	Target Perakitan Galur Superior Ubi Kayu di Dunia.....	63
Gambar 4.1	Pemanfaatan Ubi Kayu sebagai Bahan Pangan	70
Gambar 4.2	Warna kuning pada umbi ubi kayu menunjukkan kandungan beta karoten.....	72
Gambar 4.3	Keragaman Pucuk Ubi Kayu Koleksi dari Daerah Maluku Tenggara dengan Kandungan HCN Tinggi.....	75
Gambar 4.4	Warna Ungu pada Daun Pucuk (a) dan Keragaman Tanaman (b) Ubi Kayu Tayando Jenis Pahit dari Maluku Tenggara.....	76
Gambar 4.5	Warna Ungu pada Pucuk Ubi Kayu dengan Kandungan HCN Tinggi....	77

Gambar 4.6	Biosintesis, Katabolisme, dan Detoksifikasi Senyawa Glukosida Sianogenik pada Tanaman, Serangga, dan Hewan Tingkat Tinggi	78
Gambar 4.7	Beberapa Bentuk Senyawa Sianida pada Tanaman	79
Gambar 4.8	Perubahan Warna Kuning Kertas <i>Picrate</i> Menjadi Cokelat Kemerahan Karena Senyawa Sianida pada Tabung Sampel Ubi Kayu Tayando dan Lislis	82
Gambar 4.9	Intensitas warna menunjukkan level kandungan HCN pada metode <i>scoring</i>	82
Gambar 4.10	Struktur Formula <i>Corrin-based Chemosensors 1,2</i>	84
Gambar 4.11	Warna Larutan <i>Chemosensor 1</i> (1 mM)	84
Gambar 4.12	Susunan Percobaan untuk Deteksi Sianida Menggunakan Zona Deteksi	85
Gambar 4.13	Tahapan Pengolahan Umbi Ubi Kayu untuk Meminimalisasi Kandungan Sianida	86
Gambar 4.14	Kondisi Tanah pada Lahan Budi Daya Ubi Kayu	87
Gambar 4.15	Varian Produk Olahan Enbal secara Tradisional sebagai Makanan Pokok.....	90
Gambar 4.16	Bentuk Enbal.....	90
Gambar 5.1	Kondisi Protoplas ubi kayu diamati di mikroskop <i>inverted</i> dengan perbesaran 40x kultur kalus	98
Gambar 5.2	Kalus Embriogenik Beberapa Genotipe Ubi Kayu	100
Gambar 5.3	Tahapan Kegiatan dalam Kultur Jaringan Tanaman	102
Gambar 5.4	Tahapan Sterilisasi Ubi Kayu di Luar LAF.....	103
Gambar 5.5	Tahapan Sterilisasi Ubi Kayu di Dalam LAF	103
Gambar 5.6	Hasil Aklimatisasi Tanaman Ubi Kayu <i>in vitro</i>	105
Gambar 5.7	Perbedaan Pertumbuhan Tanaman Hasil Sambung Mikro <i>in vitro</i> Umur 8 MST	110
Gambar 6.1	Jenis eksplan dari tanaman ubi kayu di kebun koleksi Puslit Bioteknologi LIPI digunakan untuk induksi embrio somatik dan respons dari masing-masing eksplan tersebut terhadap pembentukan embrio somatik pada media induksi yang sama yang diamati secara mikroskopis.....	121
Gambar 6.2	Perbandingan antara Embriogenesis Somatik dan Embriogenesis Zigotik.....	125
Gambar 6.3	Perkembangan Formasi Embrio Somatik dan Perkembangannya pada <i>Picea abies</i>	126
Gambar 6.4	Tahapan Pembentukan <i>Friable Embryogenic Callus</i> pada Ubi Kayu	129

Gambar 6.5	Tahapan Proses Regenerasi dari Kalus Embrio Somatik Menjadi Tanaman	131
Gambar 6.6	Perbedaan Regenerasi Embrio Somatik dengan Menggunakan Kultur Konvensional dan Sistem Fotoautotropik (Bioreaktor).....	133
Gambar 6.7	Tahapan Aklimatisasi pada Tanaman Ubi Kayu <i>in vitro</i> Hasil Regenerasi dari Kalus Embriogenesis Somatik hingga Penanaman ke Lapangan.	135
Gambar 6.8	a) Fenotipik Carvita 25 dan b) yang Berbeda dengan Tanaman Induknya Varietas Adira-4)	137
Gambar 6.9	Sertifikat Pendaftaran Varietas Tanaman (PVT) Ubi kayu Carvita 25 Hasil Varian Somaklonal	137
Gambar 7.1	Respons Sel dalam Melawan ROS Karena Berbagai Macam Stres Radiasi, UV, dan Lingkungan	158
Gambar 7.2	Alur Pemuliaan Mutasi Tanaman dari Kultur Jaringan dengan Perlakuan Radiasi Sinar Gama	160
Gambar 7.3	Ubi kayu Adira-4 Dosis 30 krad dengan Daya Simpan Umbi sampai dengan 15 Hari (kiri) dan Kontrol Adira-4 (kanan)	164
Gambar 7.4	Morfologi Gebang Radiasi Generasi Kedua di Kultur <i>in vitro</i>	166
Gambar 7.5	Variasi Morfologi Warna Luar Umbi Mutan Malang 10248 Hasil Radiasi Biji 20 krad Generasi Ketiga.....	167
Gambar 7.6	Mutan Malang 10248 Hasil Radiasi Biji 20 krad yang Memiliki Potensi Genjah.....	168
Gambar 7.7	Penyambungan Stek Ubi Kayu MLG 10248 Hasil Radiasi Biji 20 krad sebagai <i>Rootstock</i> (bagian bawah) dengan Ubi Kayu Karet sebagai <i>Scion</i> (bagian atas)	169
Gambar 7.8	Beberapa genotipe ubi kayu hasil radiasi ditanam di lapang hingga generasi kelima.	170
Gambar 7.9	Analisis genetika ubi kayu hasil Iradiasi sinar gama menggunakan RAPD dengan primer OPB-10.....	171
Gambar 8.1	Jalur Biosintesis Karotenoid Tanaman	185
Gambar 8.2	Persentase Daun yang Tinggal pada Hari ke-45 Cekaman Kekeringan... ..	188
Gambar 8.3	Profil Tanaman Ubi Kayu.....	189
Gambar 8.4	Jalur Transduksi Cekaman Osmotik dan Ionik pada Tanaman untuk Pengaktifan Gen-gen terkait Cekaman	190
Gambar 8.5	Urutan Nukleotida Genotipe Ubi Kuning Hasil Cekaman Kekeringan Selama 26 Hari dengan Primer AQUAPOR-3	193
Gambar 9.1	Peningkatan mutu agronomi ubi kayu dengan teknik rekayasa genetika telah dilakukan di dunia.	208

Gambar 9.2	Jalur biosintesis pati melibatkan interkonversi gula, gula fosfat, dan gula nukleotida (<i>nucleotide-sugars</i>).....	210
Gambar 9.3	Sejarah Perkembangan Penggunaan FEC sebagai Bahan yang Efektif untuk Transformasi Genetik pada Ubi Kayu.....	214
Gambar 9.4	Tahapan Pembentukan <i>Friable Embriogenic Callus</i> (FEC) pada Ubi Kayu	215
Gambar 9.5	Skema Konstruksi T-DNA dari Vektor.....	216
Gambar 9.6	Ilustrasi Tahapan Transformasi FEC Ubi Kayu dengan <i>A. tumefaciens</i> sampai dengan Regenerasi FEC Menjadi Planlet.....	218
Gambar 9.7	Perbandingan Karakteristik Morfologi Tanaman Transgenik Ubi Kayu Amilosa Rendah (Gambar H-L) dan Tanaman Kontrol Varietas Adira-4 (Gambar C-G) yang Ditanam di Puslit Bioteknologi LIPI	221
Gambar 9.8	Keragaman Karakter Morfologi dari Tanaman Transgenik Ubi Kayu Amilosa Tinggi yang Ditanam di Puslit Bioteknologi LIPI	221
Gambar 10.1	Pembusukan Umbi Ubi Kayu Setelah Panen (PPD).....	229
Gambar 10.2	Pembusukan Sekunder Umbi Ubi Kayu (VS ₂) oleh Bakteri dan atau Jamur pada 7 Hari Setelah Panen	230
Gambar 10.3	Akumulasi senyawa kumarin berpendar di bawah sinar UV (366 nm) pada sampel umbi segar (a) dan umbi pada hari kedua setelah induksi PPD (b-d).	233
Gambar 10.4	Reaksi oksidasi senyawa skopoletin menghasilkan senyawa kompleks berwarna biru	233
Gambar 10.5	Biosintesis Skopoletin dalam Jalur Metabolisme Fenilpropanoid pada Tanaman.....	234
Gambar 10.6	Penampakan umbi ubi kayu seleksi ketahanan terhadap PPD selama 9 hari berasal dari iradiasi stek Adira-4 dengan dosis 30 krad.	241
Gambar 10.7	Penampakan umbi ubi kayu seleksi ketahanan terhadap PPD selama 7 hari berasal dari iradiasi kultur pucuk gebang dengan dosis 0,2 Krad.....	242
Gambar 10.8	Penampakan umbi ubi kayu generasi kedua untuk seleksi ketahanan terhadap PPD selama 11 hari berasal dari iradiasi biji MLG 10248 dengan dosis 20 krad.	243
Gambar 10.9	Pengujian Tanaman Ubi Kayu Transgenik di Rumah Kaca di Universitas Bath, Inggris Tahun 2016–2017.....	246
Gambar 10.10	Lokakarya penundaan pembusukan umbi ubi kayu diselenggarakan oleh Puslit Bioteknologi LIPI bekerja sama dengan ETH Zurich pada 2015–2016.....	247
Gambar 11.1	Aplikasi Pati Ubi Kayu di Industri	254

Gambar 11.2	Umbi Berwarna Putih dan Kuning dari Beberapa Jenis Ubi kayu	257
Gambar 11.3	Alur Pembuatan Mocaf Kaya Beta karoten	260
Gambar 11.4	Tepung Mocaf Puslit Bioteknologi LIPI dan Produk Pangan Olahannya	267
Gambar 11.5	Pengolahan Enbal menjadi Mocaf	269
Gambar 11.6	Produk Olahan Mocaf dari Enbal	270



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sebaran, Luas Panen, Produksi dan Produktivitas Ubi Kayu per Provinsi di Indonesia Tahun 2015	11
Tabel 2.2	Komposisi Nutrisi Proksimat Umbi dan Daun Ubi Kayu	12
Tabel 2.3	Varietas Ubi Kayu yang Dilepas Pemerintah Indonesia	14
Tabel 2.4	Penelitian Ubi Kayu yang Telah dan Masih Berjalan di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI hingga Pertengahan 2017.....	22
Tabel 3.1	Genotipe dan Asal Koleksi Ubi Kayu di Puslit Bioteknologi LIPI	36
Tabel 3.2	Daya Hasil dan Persentase Pati pada Ubi Kayu Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI	40
Tabel 3.3	Variasi Kandungan Amilosa dan Amilopektin pada Ubi Kayu Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI.....	40
Tabel 3.4	Kandungan Beta Karoten, Fe, dan Zn Beberapa Genotipe Ubi Kayu Kuning Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI.....	42
Tabel 3.5	Beberapa Karakter dan Skor Karakter Acuan Berdasarkan Fukuda dkk. (2010).....	50
Tabel 3.6	Karakter untuk Karakterisasi Pati Ubi Kayu.....	52
Tabel 4.1	Perbandingan Komposisi Nutrisi Bahan Dasar Ubi Kayu Setiap 100 gram	71
Tabel 4.2	Kandungan Sianida Total Beberapa Produk Ubi Kayu di Melbourne (2010)	86
Tabel 4.3	Kandungan Nutrisi Ubi Kayu Genotipe Lokal Maluku Tenggara	89
Tabel 6.1	Beberapa Genotipe/Varietas Ubi Kayu Koleksi Ubi Kayu.....	138
Tabel 6.2	Beberapa Spesies Tanaman yang Telah Diregenerasi dari Transformasi Embriogenesis Somatik.....	142
Tabel 7.1	Macam-Macam Jenis Radiasi dan Karakteristiknya	151
Tabel 7.2	Beberapa Mutan Potensial dari Ubi Kayu Lokal Hasil Radiasi Biji Ditumbuhkan sampai Beberapa Generasi di Puslit Bioteknologi LIPI. ..	164
Tabel 8.1	Beberapa Gen Ubi Kayu yang Terinduksi Cekaman Kekeringan	192

Tabel 8.2	Urutan Nukleotida Primer yang Digunakan untuk Amplifikasi cDNA Ubi Kuning Hasil Cekaman Kekeringan.....	193
Tabel 8.3	Analisis BLAST N Sekuen Urutan Nukleotida Genotipe Ubi Kuning.....	194
Tabel 9.1	Kultivar ubi kayu transgenik telah dilaporkan sejak 2010 dengan gen target dan sifat-sifat yang diinginkannya.	207
Tabel 11.1	Syarat Mutu Tepung Mocaf Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 7622-2011	261
Tabel 11.2	Komposisi Senyawa Biokimia Sawut Ubi Kayu Genotipe Enbal	269
Tabel 12.1	Sasaran dan Strategi Umum Pengembangan Ubi Kayu	277

PENGANTAR PENERBIT

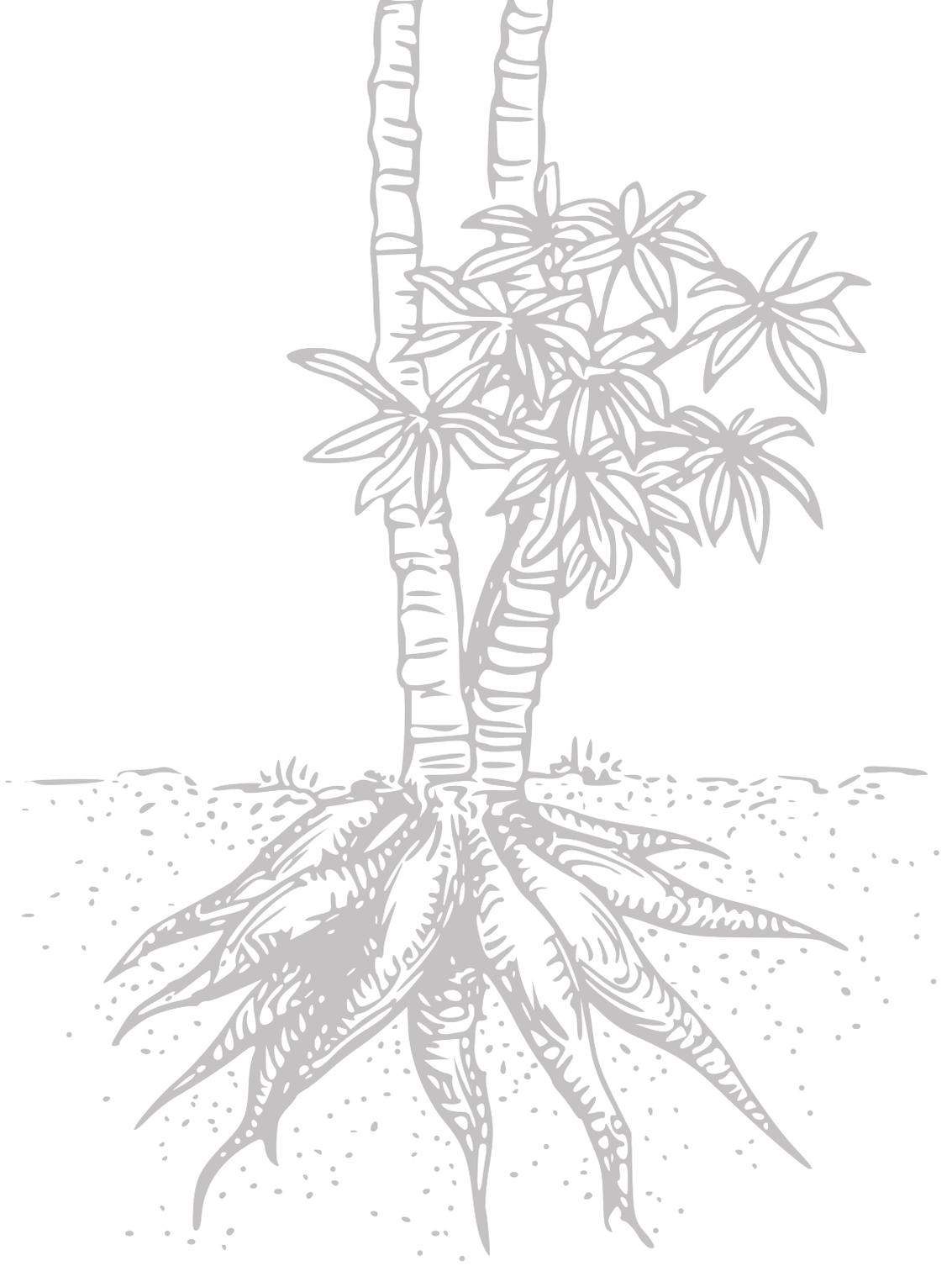
Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Bunga rampai ini diterbitkan dalam rangka memperkaya pustaka terkait ketahanan pangan dan energi di Indonesia. Ubi kayu, sebagai salah satu komoditas tanaman dengan produksi tertinggi setelah padi, sawit, dan karet, menjadi salah satu riset unggulan LIPI sekaligus sebagai riset Prioritas Nasional. Bunga rampai ini dapat memberikan penjelasan terkait permasalahan-permasalahan tersebut, utamanya yang berkaitan dengan penyediaan bibit unggul melalui seleksi dan perbaikan mutu genetik terhadap sumber daya genetik ubi kayu.

Bunga rampai ini, sebagian proses penerbitan didukung oleh Kegiatan Insinas LIPI Press-Kemenristekdikti 2018 melalui kegiatan “Penerapan Skema Inkubasi Publikasi untuk Meningkatkan Produktivitas Buku Ilmiah di Bidang Pangan Fungsional.” Semoga bunga rampai ini dapat bermanfaat bagi semua kalangan, baik pemegang kebijakan di pusat dan di daerah; masyarakat, seperti petani, pedagang, dan industriawan; maupun peneliti dan akademisi.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan bunga rampai ini.

LIPI Press



KATA PENGANTAR

Kemandirian dan aksesibilitas pangan merupakan dua hal yang sangat strategis untuk tercapainya kedaulatan dan keamanan pangan. Kami yakin bahwa kerja keras para peneliti dengan *output* riset yang signifikan akan dapat dirasakan manfaatnya oleh masyarakat atau menjadi *outcome* melalui akselerasi dan harmonisasi yang sinergis antara lembaga riset dan sektor pengguna. Sebagai contoh adalah penelitian ubi kayu.

Ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) merupakan salah satu komoditas pangan nonberas yang sangat populer, baik dikonsumsi langsung maupun sebagai bahan baku dalam berbagai industri. Di Afrika, ubi kayu merupakan bahan pangan pokok dan merupakan sumber pendapatan negara yang cukup besar. Di Indonesia, ubi kayu menempati urutan keempat sebagai komoditas tanaman dengan urutan produksi tertinggi setelah padi, sawit, dan karet. Pemanfaatan ubi kayu sangat luas meliputi industri makanan, tekstil, dan kertas. Selain itu, di tengah kencangnya isu krisis energi, popularitas ubi kayu semakin meningkat sebagai bahan baku bioetanol. Secara agronomis, tanaman ubi kayu memiliki keuntungan, seperti toleran terhadap pH tanah, rendah kadar hara serta tahan hama dan penyakit.

Sebagai tanaman pangan, ubi kayu merupakan sumber karbohidrat terbesar dibandingkan tanaman pangan lain, seperti jagung, beras, dan gandum. Dalam kerangka ketahanan pangan dan pengembangan energi hijau (*green energy*), sifat

multifungsi ubi kayu dapat memenuhi kebutuhan keduanya. Pemanfaatan ubi kayu untuk pangan sangatlah luas, baik dalam bentuk umbi segar maupun tepung. Angka konversi ubi kayu menjadi bioetanol dari beberapa varietas unggul berkisar antara 86,4–95,97% yang menjadikannya sesuai sebagai bahan baku untuk bahan bakar alternatif yang memenuhi kriteria *Fuel Grade Ethanol* (FGE). Kompetisi kepentingan antara pangan dan energi pun dapat diminimalkan dengan pemilihan jenis ubi kayu yang tepat. Jenis ubi kayu unggul yang memiliki kadar sianida tinggi (yang umumnya dicirikan dengan rasa pahit) dapat diarahkan penggunaannya untuk bahan baku bioetanol atau industri nonpangan lainnya.

Walaupun budi daya ubi kayu di Indonesia cukup luas, produksi dan budi daya ubi kayu memiliki permasalahan dalam hal produktivitas, seperti belum populernya penggunaan varietas unggul di antara petani, kualitas bibit yang tidak optimal karena waktu penyimpanan yang lama, belum adanya dosis rekomendasi pemupukan yang standar, dan panen yang tidak tepat waktu sehingga kadangkala terjadi penumpukan produksi. Selain permasalahan-permasalahan terkait budi daya, produktivitas ubi kayu juga dipengaruhi oleh perubahan lingkungan, yaitu tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi, konversi lahan subur yang mengakibatkan pergeseran lahan pertanian ke lahan marginal, dan perubahan iklim dunia karena pemanasan global. Keberadaan lahan marginal yang luas di Indonesia, seperti lahan dengan kadar air rendah atau pun lahan masam, masih belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, untuk diversifikasi pangan perlu pula diperhatikan, baik kandungan gizi, seperti protein, mineral, provitamin A (beta karoten) maupun komposisi karbohidrat (pati) karena memengaruhi kesesuaian produk olahan pangan. Dengan demikian, ketersediaan bibit unggul yang sesuai untuk mengatasi berbagai permasalahan, seperti budi daya, cekaman lingkungan, perbaikan nutrisi, dan spesifikasi produk, sangat dibutuhkan. Varietas unggul baru ubi kayu yang diharapkan adalah memiliki kadar pati tinggi, potensi hasil tinggi, umur panen yang cepat (genjah), tahan cekaman biotik dan abiotik, dan fleksibel dalam budi daya.

Penyediaan bibit unggul dapat dilakukan melalui seleksi dan perbaikan mutu genetik terhadap sumber daya genetik yang dimiliki. Sumber daya genetik ubi kayu yang dikelola oleh institusi penelitian, seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Kementerian Pertanian di Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi (Balitkabi), Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian (BB Biogen), dan Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi (BPPT)

serta universitas, dapat dimanfaatkan untuk pemuliaan melalui seleksi atau pun persilangan yang sering kali menemui kendala, seperti siklus hidup ubi kayu yang panjang dan ketersediaan sifat yang diperlukan dari koleksi yang ada. Keterbatasan pemuliaan melalui seleksi dan persilangan dapat diatasi dengan teknologi, baik rekayasa *in vitro* melalui radiasi sinar gama, mutagen kimia, maupun penggunaan zat pengatur tumbuh untuk memunculkan varian baru yang diperlukan; teknologi DNA rekombinan dengan target perubahan sifat yang spesifik, seperti modifikasi komposisi amilosa dan amilopektin, peningkatan kadar beta karoten, protein, dan zat besi; dan peningkatan respons terhadap kekeringan menjadi teknologi alternatif yang menjanjikan.

Penelitian terintegrasi yang meliputi perakitan bibit unggul, perbaikan sistem budi daya, uji multilokasi varietas, uji varietas spesifik lokasi, dan aspek yang berkaitan dengan proses pascapanen, akan mampu menghasilkan varietas unggul baru dan teknologi yang tepat sasaran. Peningkatan pendanaan dan prioritas terkait penelitian mengenai komoditas ubi kayu sangat diperlukan untuk mendorong hasil yang diinginkan.

Perakitan bibit unggul baru mutlak memerlukan sumber daya genetik yang beragam, baik fenotifik maupun genetiknya. Ketersediaan variasi genetik yang tinggi harus dilestarikan dengan cara memanfaatkannya semaksimal mungkin agar memiliki nilai ekonomi tinggi. Jika tidak dikelola dengan bijaksana maka risiko penurunan, bahkan hilangnya sumber daya genetik unggul, akan segera terjadi. Selain itu, memungkinkan pula terjadinya dominasi bibit-bibit unggul impor yang pada akhirnya akan menggeser posisi sumber daya genetik yang dimiliki Indonesia. Bibit unggul yang telah diperoleh, baik melalui seleksi maupun perakitan, perlu diberikan penanganan, seperti sertifikasi bibit dalam hal penyebarannya untuk menghindari pencampuran bibit dan menjaga konsistensi daya hasil.

Sumber daya unggul yang lengkap meliputi sarana dan prasarana penelitian; *bioresources* ubi kayu; serta sumber daya manusia yang kompeten di berbagai bidang, seperti genetika molekuler, rekayasa genetika, kultur jaringan, budi daya tanaman dan teknologi pascapanen, telah dimiliki oleh berbagai institusi penelitian, baik di LIPI, Kementerian Pertanian, BPPT maupun di universitas. Seluruh sumber daya tersebut diharapkan akan mampu menghasilkan capaian riset signifikan, khususnya berupa bibit ubi kayu unggul yang dapat berkontribusi untuk peningkatan produktivitas ubi kayu.

Sejak 2003 LIPI telah berkomitmen memberikan pendanaan yang memadai untuk memprioritaskan riset-riset yang dapat berkompetisi di LIPI, dilanjutkan pada 2015 dengan riset-riset unggulan yang dapat memberikan solusi terhadap beberapa permasalahan bangsa, dan pada 2018 menjadi riset Prioritas Nasional (PN) seiring dengan kebutuhan nasional. Ubi kayu merupakan riset unggulan LIPI sekaligus riset PN. Dirintis dari pengumpulan koleksi ubi kayu dari berbagai daerah di Indonesia bersinergi dengan Kementerian Pertanian, beberapa varietas baru hasil bioteknologi juga telah didapatkan melalui kerja sama dengan beberapa institusi penelitian, seperti BATAN dan universitas. Pemanfaatan ubi kayu unggul hasil riset, baik untuk ditanam petani maupun digunakan sebagai bahan baku industri makanan dan bioetanol, juga dilakukan melalui sinergi dengan pemerintah daerah, masyarakat, dan industri. Riset ubi kayu di LIPI merupakan contoh riset yang berhasil dari hulu ke hilir sehingga dapat memberikan solusi di bidang pangan dan energi di Indonesia.

Buku ini merupakan kristalisasi riset ubi kayu yang telah dilakukan di Indonesia dan sangat bermanfaat bagi semua kalangan, baik pemegang kebijakan di pusat dan di daerah; masyarakat, seperti petani, pedagang, dan industriawan; maupun peneliti dan akademisi.

Koordinator Kegiatan Unggulan LIPI
Subkegiatan Ketahanan Pangan dan Obat
2015–2017

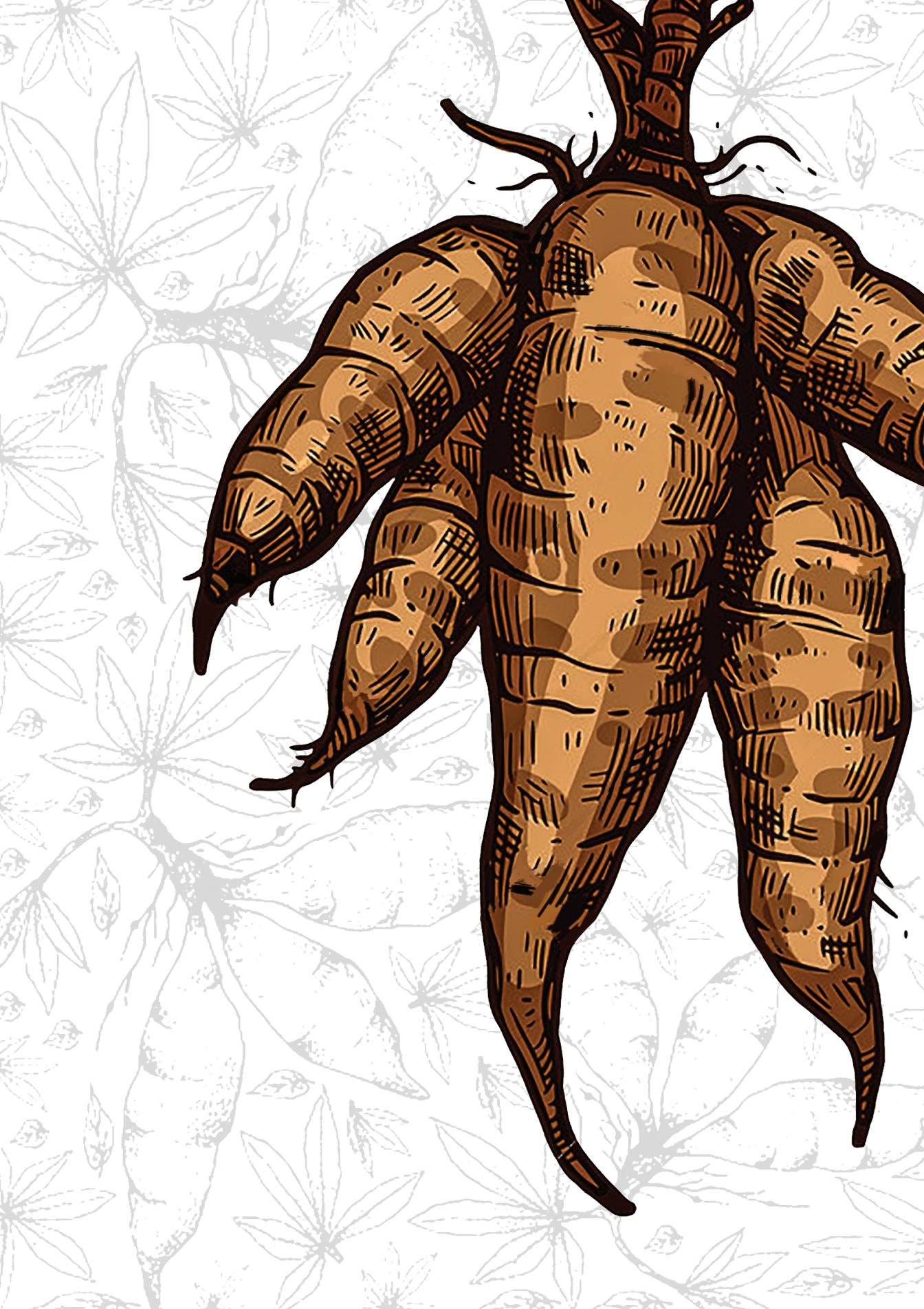
Dr. Puspita Lisdiyanti, M.Agr.Chem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Editor dan penulis bunga rampai *Biodiversitas, Perakitan Klon Unggul dan Pemanfaatan Bioresources Ubi Kayu untuk Mendukung Ketahanan Pangan* menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu selama proses berjalannya penelitian terkait ubi kayu, di antaranya:

1. Prof. Dr. Enny Sudarmonowati sebagai Deputi Bidang Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI serta inisiator pendanaan dan kerja sama penelitian ubi kayu dengan kolaborator, baik di dalam maupun luar negeri;
2. Dr. N. Sri Hartati sebagai kepala Laboratorium Genetika Molekuler dan Modifikasi Jalur Biosintesis Tanaman;
3. LIPI melalui dana DIPA Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI untuk dana penelitian sejak 1992–2018, DIPA Pusat Penelitian Biologi LIPI untuk dana penelitian TA 2012–2014, Program Maluku Tenggara Agro-Marine Technopark, DIPA Pusat Penelitian Oseanografi TA 2015–2016, Program BIOVILLAGE, Kegiatan Budi Daya dan Pengolahan Pascapanen Ubi Kayu Kedeputian Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI TA 2015–2017, Program Kompetitif LIPI TA 2013–2014, Program Unggulan Kedeputian IPH LIPI TA 2017;
4. Kementerian Ristek (sekarang Ristekdikti) untuk kegiatan Speklok pada tahun 2010–2011;
5. Program Insentif Peningkatan Kapasitas Peneliti dan Perekayasa DIKTI TA 2009 dan 2012;

6. Program Insinas Kemenristek TA 2013;
7. Program beasiswa Riset-Pro, Kemenristekdikti RI TA 2013–2017;
8. AVEBE Belanda yang telah memberikan pendanaan penelitian selama 7 tahun (2003–2010);
9. KNAW SPIN (Belanda);
10. Swiss Seed Money Project Grant Swiss TA 2015–2016;
11. IAEA untuk penelitian radiasi ubi kayu lokal Indonesia dengan kontrak proyek RC No. 13196/RO;
12. Mitra perguruan tinggi di luar negeri, yaitu Wageningen University-Research Centre (WUR), Radboud University (Belanda), Bath University (Inggris), dan ETH Zurich (Swiss);
13. Kementerian Pertanian serta Dinas Pertanian Pemerintah Daerah sebagai mitra utama di Indonesia sehingga pelaksanaan implementasi hasil riset di masyarakat dapat dilaksanakan;
14. Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) atas kerja samanya dalam proses radiasi sampel;
15. Dr. John Beeching dan Prof. Rod Scott untuk supervisi penelitian PPD di Universitas Bath, Inggris;
16. Bapak Dirham selaku Kepala Pusat Penelitian Oseanografi;
17. Bapak Agus Kusnadi sebagai Koordinator Kegiatan Program Maluku Tenggara Agro-Marine Technopark, DIPA Pusat Penelitian Oseanografi TA 2015–2016;
18. Bapak Jasmadi dan seluruh staf Unit Pelaksana Teknis Tual;
19. Dr. Koes Harjoto dan Bapak Wahyu dari Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (Balitkabi) Kementerian Pertanian atas bantuannya dalam menyediakan stek dan biji Adira-4;
20. Bapak Nanang Taryana, Bapak Nawawi, Muhamad Usen, Sdri. Pramesti Dwi Aryaningrum, dan Sdri. Suwinaryani yang telah banyak membantu pemeliharaan koleksi ubi kayu secara teknis di lapang dan di laboratorium; serta
21. Bapak Herwanto dan tim dari UKM Sari Kumetap.





BAB KESATU

Bioteknologi untuk Menghasilkan Bibit Unggul Ubi Kayu Berbasis Biodiversitas

Enny Sudarmonowati, N. Sri Hartati, Ahmad Fathoni, dan Hartati

A. POTENSI UBI KAYU SEBAGAI BAHAN PANGAN DAN INDUSTRI

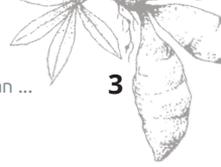
Ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) merupakan komoditas tanaman pangan yang penting di dunia, terutama di negara-negara Afrika seperti Nigeria, di mana ubi kayu dimanfaatkan sebagai sumber pangan utama atau makanan pokok (Aduening dkk., 2006; Ceballos, Kulakow, & Hershey, 2012). Di Indonesia, ubi kayu merupakan tanaman pangan pokok setelah padi dan jagung, serta memiliki peran penting sebagai penyangga sumber karbohidrat bagi sebagian besar masyarakat, khususnya yang hidup di perdesaan. Ubi kayu merupakan komoditas strategis untuk ketahanan pangan, terutama di daerah perdesaan karena beberapa faktor, antara lain kemudahan dalam menanam ubi kayu menggunakan stek batang, kemudahan dalam perawatan ubi kayu karena tidak membutuhkan perawatan khusus untuk menanam, kemampuan ubi kayu untuk bertahan pada musim kering, dan kemampuan ubi kayu untuk bertahan terhadap serangan hama dan penyakit yang sangat merugikan. Kontradiksi terhadap nilai lebih ini tidak menjadikan ubi kayu sebagai tanaman utama, tetapi sebagai tanaman kedua atau tanaman sela (*secondary crops*). Hal ini juga ditunjang dengan

kondisi pasar yang kurang kondusif sehingga petani kurang mengusahakan budi daya tanaman ubi kayu secara baik (Suherman, 2012).

Selain sebagai sumber karbohidrat, tanaman ubi kayu juga sangat besar perannya untuk bahan baku industri, seperti bahan tepung, mocaf, gula cair, pakan, lem, kertas, dan bahan energi terbarukan (bioetanol) sehingga menjadikannya sebagai tanaman primadona yang sangat potensial untuk terus diteliti dan dikembangkan (Suherman, 2012). Produk olahan ubi kayu memiliki potensi permintaan yang cukup tinggi karena selain dapat dikonsumsi secara langsung oleh rumah tangga, produk olahan tersebut juga dapat dijadikan sebagai bahan baku industri dan bahan dasar industri lanjutan, seperti industri tekstil, kertas, dan farmasi. Pemanfaatan ubi kayu pada sektor industri dapat diolah, baik melalui proses dehidrasi maupun hidrolisis menjadi *chips*, *pellet*, tepung tapioka, dekstrosa, maltosa, sukrosa, dan sirup glukosa maupun melalui proses fermentasi menjadi alkohol, butanol, aseton, asam laktat, dan sorbitol. Ubi kayu juga dapat digunakan dalam ransum pakan, baik ternak maupun unggas dalam bentuk tepung tapioka, *pellet*, dan limbah industri ubi kayu berupa ongkok (Pohan, 2011).

Besarnya potensi ubi kayu tersebut membuat permintaan ubi kayu di Indonesia semakin meningkat. Ironisnya, meskipun Indonesia merupakan negara penghasil ubi kayu terbesar ketiga di dunia setelah Nigeria dan Thailand (FAO, 2016), produksi ubi kayu Indonesia masih belum dapat memenuhi kebutuhan industri dalam negeri. Selain itu, kebijakan pemerintah hingga saat ini masih difokuskan pada pengembangan tiga komoditas utama (padi, jagung, dan kedelai) sehingga diperlukan strategi untuk pemenuhan kebutuhan ubi kayu, baik untuk keperluan dalam negeri maupun ekspor. Oleh karena itu, perlu dilakukan sosialisasi dan fasilitasi yang lebih intens dalam pengelolaan produktivitas dan produksi ubi kayu di Indonesia, khususnya di daerah sentra produksi ataupun daerah pengembangan. Di samping itu, perlu suatu media atau program kemitraan bagi petani dengan pihak swasta untuk menjamin harga dan terciptanya pasar sehingga dapat meningkatkan pendapatan petani, termasuk peningkatan kesejahteraan petani ubi kayu (Suherman, 2012).

Berdasarkan kondisi tersebut, ubi kayu dapat menjadi komoditas yang prospektif dan sangat penting untuk dikembangkan secara lebih serius guna memenuhi permintaan dalam negeri dan luar negeri. Pengembangan ubi kayu dapat dilakukan dengan cara peningkatan areal tanam, peningkatan produktivitas, dan diversifikasi usaha tani melalui sistem tumpang sari (Pohan, 2011). Dalam

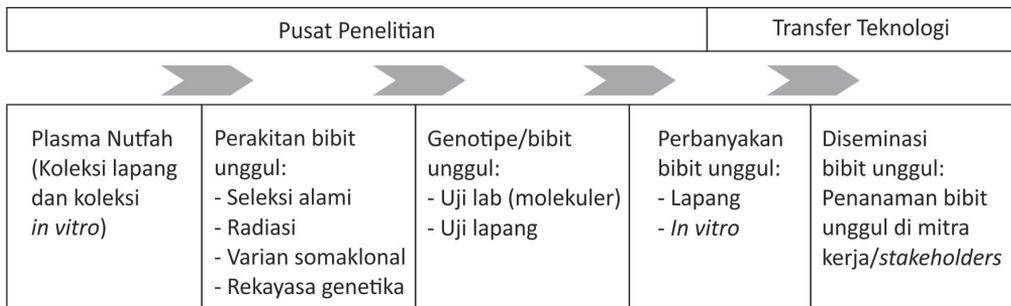


pengembangan komoditas ubi kayu, diterapkan berbagai teknologi usaha tani melalui penggunaan input produksi yang efisien menurut spesifik lokasi sehingga mampu menghasilkan produktivitas tinggi untuk mendukung peningkatan produksi secara berkesinambungan. Lokasi pengembangan dapat juga dimanfaatkan sebagai area belajar petani dalam menghadapi dan menyelesaikan permasalahan yang terjadi di lapangan. Melalui pemenuhan bibit unggul dan penerapan budi daya yang baik untuk pengembangan ubi kayu, petani diharapkan akan mampu mengelola sumber daya yang tersedia (varietas, tanah, air, dan sarana produksi) secara terpadu dalam melakukan budi daya sehingga petani mampu mengembangkan usaha taninya dalam rangka peningkatan produksi ubi kayu (Suherman, 2012).

B. KERANGKA RISET UBI KAYU DI INDONESIA

Semakin luasnya pemanfaatan ubi kayu, terutama sebagai bahan pangan fungsional dan bahan baku industri, membuat permintaan jenis ubi kayu dengan karakter khusus (bibit unggul) atau yang sesuai dengan industri semakin tinggi. Oleh karena itu, pola riset yang sejalan dengan kebutuhan aplikasi di industri atau masyarakat tentunya akan memudahkan pemanfaatan dan komersialisasinya. Di Indonesia, perakitan bibit ubi kayu unggul telah dilakukan dengan berbagai teknik, yaitu persilangan konvensional, mutasi (baik secara kimiawi maupun radiasi sinar gama), dan rekayasa genetika.

Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI memiliki peta jalan riset ubi kayu yang meliputi riset di laboratorium, pengujian di lapangan, dan transfer teknologi ke *stakeholder*, seperti industri berbasis ubi kayu. Peta jalan dimulai dari identifikasi dan koleksi sumber daya genetik, perakitan bibit unggul, hingga pengujian lapangan (Gambar 1.1). Uji lapangan yang dimaksud, baik berupa uji agronomi bibit maupun uji teknologi pengolahan pascapanen di industri.



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 1.1 Pola Riset dan Pengembangan Ubi Kayu di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI

Secara umum terdapat dua topik penelitian utama yang dilaksanakan, yaitu perakitan bibit unggul dan perbanyakkan bibit serta pengolahan pascapanen, yang mengacu pada dokumen rencana induk riset nasional (RIRN) yang disusun oleh Kedeputusan Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI mengenai perencanaan riset ubi kayu untuk dua dekade mendatang. Besarnya biodiversitas ubi kayu sangat mendukung penelitian dan pengembangan ubi kayu untuk menghasilkan bibit unggul. Pendekatan yang digunakan bervariasi, mulai dari teknik seleksi konvensional, teknik molekuler, hingga rekayasa genetika (Gambar 1.2).

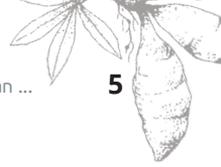
Berbagai hasil riset yang telah diperoleh berupa bibit ubi kayu unggul berdaya hasil tinggi, kaya nutrisi, tahan kekeringan, umbi tahan simpan, teknologi pengolahan pascapanen berupa *modified cassava flour* (mocaf) kaya beta karoten, dan teknologi budi daya dengan memanfaatkan pupuk organik hayati (POH) diharapkan dapat diaplikasikan pada pertanian dan industri berbasis ubi kayu untuk mendukung percepatan putaran rantai nilai ekonomi ubi kayu.



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 1.2 Topik-topik Riset Ubi Kayu yang Dikembangkan di Puslit Bioteknologi LIPI untuk Mendukung Ketersediaan Bibit Ubi Kayu Unggul

Untuk merangkum hasil-hasil riset yang telah dilaksanakan oleh LIPI sekaligus status riset ubi kayu yang telah dilaksanakan oleh berbagai lembaga riset di Indonesia dan negara lain maka disusunlah bunga rampai berjudul *Biodiversitas, Perakitan Klon Unggul dan Pemanfaatan Bioresources Ubi Kayu untuk Mendukung*

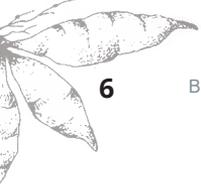


Ketahanan Pangan. Informasi yang tercantum dalam bunga rampai ini meliputi status biodiversitas ubi kayu, perbaikan genetik, penanganan pascapanen, dan pemanfaatannya untuk produksi tepung dan diharapkan mampu memperkuat peran riset dalam meningkatkan nilai ekonomi ubi kayu. Bunga rampai ini terdiri atas 12 bab yang secara keseluruhan menguraikan prospek ubi kayu untuk penyediaan bahan pangan berkualitas, status koleksi ubi kayu, aspek molekuler ubi kayu, teknologi perakitan bibit unggul, dan pengolahan pascapanen.

Bab kesatu sebagai prolog menguraikan peran bioteknologi untuk menghasilkan bibit unggul ubi kayu berbasis *bioresources*. Secara lebih rinci, *bab kedua* menguraikan potensi dan pengelolaan *bioresources* ubi kayu untuk penyediaan bahan pangan yang berkualitas tinggi sebagai sumber pangan berbasis karbohidrat dengan kadar nutrisi tinggi. Pengelolaan *bioresources* ubi kayu dapat dilakukan melalui upaya peningkatan nilai tambah komoditas, baik pada tahapan penelitian perakitan bibit unggul maupun perbaikan teknologi pascapanen. Bioteknologi, baik aplikasi teknik molekuler maupun rekayasa genetika, memiliki prospek yang potensial sebagai teknologi mutakhir untuk perakitan bibit unggul.

Status biodiversitas koleksi plasma nutfah ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI dan di negara lain diuraikan pada *bab ketiga*. Bab ini mengemukakan fungsi koleksi dan konservasi biodiversitas ubi kayu, status koleksi, dan pemeliharaan koleksi secara berkelanjutan, baik koleksi di lapangan maupun koleksi *in vitro*, serta evaluasi keragaman koleksi dengan teknik molekuler. Hasil analisis molekuler selanjutnya dapat dimanfaatkan pada pemuliaan tanaman melalui aplikasi *marker assisted selection* (MAS) dan *marker assisted breeding* (MAB) untuk menghasilkan ubi kayu dengan berbagai sifat unggul.

Ubi kayu, selain dikenal sebagai pangan sumber karbohidrat yang cukup populer dan banyak digunakan sebagai bahan baku industri, juga beberapa jenis (walaupun tidak banyak) memiliki kandungan antinutrisi berupa senyawa sianida. Pada *bab keempat* dijelaskan mengenai kandungan sianida pada ubi kayu dan teknik pengukurannya, keragaman plasma nutfah ubi kayu bersianida tinggi, dan biosintesis asam sianida. Kadar asam sianida dalam makanan pada batas tertentu dapat menimbulkan keracunan, namun ada teknik-teknik tertentu untuk menurunkan toksisitas sianida. Bahkan masyarakat di daerah Maluku Tenggara mampu mengolah jenis ubi kayu dengan sianida tinggi menjadi bahan pangan populer dan aman untuk dikonsumsi.



Ketersediaan bibit unggul juga merupakan aspek penting untuk meningkatkan produktivitas ubi kayu. Penyediaan bibit umumnya dilakukan dengan memanfaatkan stek batang. Teknologi *in vitro* merupakan cara yang terbukti efektif untuk memperbanyak bibit dalam waktu relatif singkat. Pada *bab kelima* diuraikan propagasi *in vitro*. Aplikasi mikrografting dilakukan untuk memadukan atau mengombinasikan dua jenis ubi kayu dengan sifat tertentu sehingga menghasilkan bibit dengan kualitas lebih baik. Bagian ini juga menerangkan secara terperinci tahapan proses dalam kultur *in vitro* ubi kayu.

Propagasi *in vitro* dapat pula melalui induksi embrio somatik yang dikemukakan pada *bab keenam*. Embriogenesis somatik merupakan proses pembelahan sel dengan menggunakan sel, jaringan, atau bagian tertentu dari tanaman. Propagasi tanaman dengan teknik embriogenesis somatik memiliki keuntungan, yakni jumlah plantlet yang dihasilkan sangat banyak dalam waktu singkat. Pada bagian ini dipaparkan tahapan proses induksi embriogenesis somatik, perbanyakkan embrio somatik dalam skala bioreaktor, dan prospek teknologi ini untuk perbanyakkan dan perbaikan mutu genetik ubi kayu.

Perbaikan mutu genetik ubi kayu untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan, di antaranya kadar dan komposisi pati, kadar beta karoten, ketahanan terhadap kekeringan dan daya simpan umbi. Topik ini lebih lanjut diuraikan pada bab ketujuh, kedelapan, kesembilan, dan bab kesepuluh. Peningkatan mutu genetik dilakukan melalui induksi mutasi dan pendekatan molekuler. Kedua jenis teknik tersebut telah menghasilkan beberapa jenis galur ubi kayu unggul.

Induksi mutasi dengan iradiasi sinar gama dipaparkan pada *bab ketujuh* untuk menghasilkan ubi kayu unggul. Bagian ini mengemukakan aspek-aspek terkait aplikasi iradiasi sinar gama yang meliputi prinsip kerja induksi mutasi dan prosesnya. Aplikasi teknik ini menggunakan beberapa jenis bahan tanaman, seperti stek, biji, dan tunas *in vitro*. Selain itu, diuraikan pula uji stabilitas genetik serta prospek pengembangan ubi kayu hasil iradiasi sinar gama untuk pangan dan industri bioetanol.

Pendekatan molekuler merupakan teknik mutakhir untuk analisis genetik, identifikasi fungsi gen, dan perakitan varietas melalui rekayasa genetika. *Bab kedelapan* menguraikan aspek molekuler ubi kayu terkait beta karoten dan ketahanan terhadap kekeringan. Karotenoid merupakan senyawa penting yang memiliki berbagai manfaat untuk kesehatan. Gen-gen yang berkaitan dengan jalur biosintesis karotenoid telah diketahui, di antaranya *phytoene synthase*, *phytoene*



desaturase, likopen siklase, dan beta karoten hidroksilase. Cekaman kekeringan merupakan isu penting dalam bidang pertanian, termasuk produktivitas ubi kayu. Pada bab ini, dikemukakan pula aspek molekuler terkait respons ubi kayu terhadap cekaman kekeringan. Berdasarkan penelitian, telah diperoleh kandidat fragmen gen yang terlibat pada cekaman kekeringan ubi kayu, yaitu gen aquaporin.

Modifikasi komposisi pati ubi kayu dengan teknik rekayasa genetika diuraikan pada *bab kesembilan*. Pati yang terdiri atas amilosa dan amilopektin, memiliki peran penting dalam berbagai industri. Selain dibutuhkan jenis ubi kayu dengan kadar pati tinggi, pati dengan komposisi spesifik juga dibutuhkan karena rasio antara amilosa dan amilopektin memengaruhi pemanfaatannya. Pada bab ini dipaparkan pemanfaatan pati sebagai bahan baku industri, modifikasi komposisi pati ubi kayu dengan rekayasa genetika menggunakan material *friable embryogenic callus* (FEC), dan konstruksi gen yang telah dimanfaatkan untuk transformasi genetik. Ubi kayu transgenik amilosa rendah yang diperoleh dengan *down* regulasi gen *granule bound starch synthase* (GBSS) telah diuji coba di lapangan uji terbatas (LUT).

Bab kesepuluh menguraikan karakteristik penting ubi kayu pascapanen, yaitu daya simpan umbi ubi kayu. Bab ini memaparkan secara rinci aspek pembusukan umbi setelah panen yang dikenal dengan istilah *postharvest physiological deterioration* (PPD), yang meliputi faktor-faktor yang memengaruhi pembusukan umbi setelah panen; proses fisiologi, biokimia dan molekuler selama terjadinya PPD; dan peningkatan daya simpan umbi. Peningkatan daya simpan umbi dapat dilakukan dengan teknik konvensional dengan beberapa cara, seperti menunda waktu panen, pemangkasan batang sebelum panen (*pruning*), perlakuan penyimpanan umbi, dan proses secara cepat. Namun, penundaan PPD secara konvensional memiliki keterbatasan sehingga diperlukan bibit ubi kayu unggul yang tahan PPD. Penundaan PPD ubi kayu melalui rekayasa genetika telah dilakukan dengan memanipulasi gen yang terkait dengan proses PPD.

Inovasi teknologi pada bidang pascapanen umbi juga sangat penting untuk mendukung pemanfaatan ubi kayu lebih luas dan bernilai ekonomi tinggi. Pada *bab kesebelas* dijelaskan inovasi pengolahan ubi kayu menjadi *modified cassava flour* (mocaf) yang kaya nutrisi, khususnya karoten yang memiliki berbagai manfaat untuk kesehatan. Teknologi proteksi beta karoten telah dikembangkan di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI dengan menggunakan jenis ubi kayu unggul yang kaya beta karoten dan mengaplikasikan senyawa penyalut sawut selama proses pembuatan mocaf. Bab ini juga memaparkan proses pembuatan mocaf dengan menggunakan

jenis ubi kayu yang memiliki kadar asam sianida yang tinggi, yaitu yang dikenal sebagai enbal di daerah Maluku Tenggara. Melalui perlakuan pencucian pada sawut, kadar asam sianida (HCN) mocaf dari enbal dapat dibuat menjadi sangat rendah.

Seluruh topik yang disajikan dalam bunga rampai ini memaparkan kegiatan dan hasil-hasil penelitian mengenai ubi kayu yang telah dilakukan, baik di Puslit Bioteknologi LIPI maupun institusi penelitian lainnya. Ubi kayu sebagai tanaman sumber karbohidrat, memiliki prospek yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai komoditas unggulan pada industri pangan dan industri lainnya yang menggunakan pati sebagai bahan bakunya. Informasi mengenai hasil riset dan pengembangan ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI diharapkan dapat meningkatkan inovasi riset di bidang pengembangan bibit ubi kayu unggul dan pengolahan pascapanen ubi kayu di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aduening, J. A. M., Lamboll, R. I., Mensah, G. A., Lamptey, J. N., Moses, E., Dankyi, A., & Gibson, R.W. (2006). Development of superior cassava cultivars in Ghana by farmers and scientists: The process adopted, outcomes and contributions and changed roles of different stakeholders. *Euphytica* 150, 47–61.
- Ceballos, H., Kulakow, P., & Hershey, C. (2012). Cassava breeding: Current status, bottlenecks and the potential of biotechnology tools. *Tropical Plant Biol.* 5, 73–87.
- FAO. (2016). Food outlook: Biannual report on global food markets. Diakses pada 17 November 2016 dari <http://www.fao.org/3/a-i6198e.pdf>.
- Fathoni, A. (2017). Riset ubi kayu: Status dan prospek pemanfaatannya. Dipresentasikan pada *Lokakarya Peran Riset dan Kebijakan untuk Penguatan Rantai Nilai Ekonomi Ubi Kayu Indonesia*. Cibinong, 7 September 2017.
- Pohan, R. R. (2011). Analisis pendapatan usaha tani, pemasaran dan nilai tambah ubi kayu. (Skripsi), Departemen Agribisnis, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB. Hlm. 1–4.
- Suherman, M. (2012). *Pedoman teknis pengelolaan produksi ubi kayu*. Direktorat Budi daya Aneka Kacang dan Umbi, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. Kementerian Pertanian. Hlm. 1–2.

BAB KEDUA



Bioresources Ubi Kayu dan Pengelolaannya untuk Penyediaan Bahan Pangan Berkualitas Tinggi

Enny Sudarmonowati

A. POSISI INDONESIA SEBAGAI PRODUSEN UBI KAYU

Tanaman ubi kayu diklasifikasikan dalam tumbuhan yang menghasilkan biji (Spermatophyta), menghasilkan bunga (Angiospermae), berbiji berbelah dua (Dikotiledon), termasuk dalam ordo Euphorbiaceae, famili *Manihot*, jenis/spesies *Manihot esculenta*. Kerabat liarnya, yaitu *Manihot glaziovii* atau yang dikenal sebagai singkong karet. Beberapa spesies yang termasuk *Manihot*, antara lain *M. oligantha*, *M. falcata*, *M. stipularis* Pax. Persilangan dengan kerabat liar dilakukan untuk menghasilkan genotipe yang unggul.

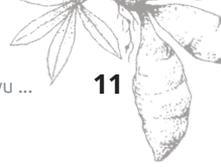
Indonesia sebagai negara dengan sumber daya hayati terestrial terkaya kedua di dunia setelah Brasil, harus menjaga keragaman hayati dan memanfaatkannya secara berkelanjutan untuk kesejahteraan manusia. Keragaman hayati apabila tidak dieksplorasi lebih lanjut, tidak akan bermanfaat. Sebanyak 50% keragaman jenis tanaman berbunga dan berbiji di dunia, ada di Indonesia. Walaupun ubi kayu bukan tanaman asli Indonesia,

variasi genetik ubi kayu di Indonesia tergolong tinggi. Sejak dibawa ke Indonesia, ubi kayu telah mengalami banyak perubahan genetik karena persilangan secara konvensional atau mutasi dengan iradiasi sinar gama atau perbaikan genetik menggunakan rekayasa genetika.

Pada 2020, diperkirakan lebih dari 2 miliar penduduk di Asia, Afrika dan Amerika Selatan akan memanfaatkan umbi sebagai pangan, pakan atau sebagai sumber pendapatan (CGIAR, 2000). Kebutuhan padi dan ubi kayu sebagai pangan, yaitu 48 juta ton butir kering dan 11 juta ton umbi segar, sedangkan kebutuhan jagung dan ubi jalar lebih sedikit (CBS, 2000). Kebutuhan ubi kayu untuk pangan selama 5 tahun terakhir telah meningkat sekitar 20% (CBS, 2000). Hal ini mengindikasikan bahwa ubi kayu akan lebih berperan sebagai tanaman untuk mendukung ketahanan pangan. Namun, ketersediaan ubi kayu secara sistem perlu diperbaiki, yaitu terkait penurunan biaya produksi, ketersediaan varietas yang berdaya hasil tinggi, kandungan berat kering tinggi, rendah input eksternal serta adopsi teknologi untuk memelihara kesuburan tanah dan pemanenan.

Ubi kayu merupakan sumber kalori ketiga terbesar setelah padi dan jagung yang digunakan di negara tropis, namun penelitiannya masih sangat rendah. Akibatnya, peningkatan produktivitasnya hanya 1% per tahun selama 30 tahun terakhir dibandingkan peningkatan 2% pada padi dan 5% pada gandum dan jagung. Di Afrika, rata-rata hasil hanya 10 ton per ha walaupun beberapa jenis berpotensi hingga 100 ton per ha (Guira dkk., 2017). Masalah yang dihadapi, antara lain penyakit bakteri dan virus, gangguan hama dan gulma serta kekeringan. Pemecahan masalah menggunakan pemuliaan secara konvensional sangat lambat sehingga sulit mengembangkan jenis baru secara efektif.

Di Indonesia, ubi kayu digunakan sebagai pangan, pakan, dan bahan baku industri tertentu, seperti tekstil, kertas, dan lem. Di daerah marginal, yaitu daerah tandus, kurang air atau kurang subur, ubi kayu banyak ditanam sebagai bahan pangan pokok pengganti atau suplemen beras. Namun, karena tanah kurang subur dan pemeliharaan oleh petani tidak maksimal dalam hal pemberian pupuk, hasil panen umbinya tidak maksimal. Tanaman ubi kayu dapat tumbuh dari bagian barat hingga bagian paling timur Indonesia. Tabel 2.1 menyajikan persebaran ubi kayu di Indonesia, luas panen, produksi, dan produktivitas pada 2015.



Tabel 2.1 Sebaran, Luas Panen, Produksi dan Produktivitas Ubi kayu per Provinsi di Indonesia Tahun 2015

Provinsi	Luas Panen (hektare)	Produksi (ton)	Produktivitas (kuintal/hektare)
Aceh	2.226	29.131	130,87
Sumatra Utara	47.837	1.619.495	338,54
Sumatra Barat	5.318	208.386	391,85
Riau	3.578	103.599	289,54
Jambi	2.018	43.433	215,23
Sumatra Selatan	8.801	217.807	247,48
Bengkulu	3.573	80.309	224,77
Lampung	279.337	7.387.084	264,45
Kep. Bangka Belitung	1.423	35.024	246,13
Kep. Riau	708	9.157	129,34
DKI Jakarta	0	0	0
Jawa Barat	85.288	2.000.224	234,53
Jawa Tengah	150.874	3.571.594	236,73
DI Yogyakarta	55.626	873.362	157,01
Jawa Timur	146.787	3.161.573	215,39
Banten	4.176	74.163	177,59
Bali	8.009	86.070	107,47
Nusa Tenggara Barat	5.030	107.254	213,23
Nusa Tenggara Timur	60.557	637.315	105,24
Kalimantan Barat	10.609	173.449	163,49
Kalimantan Tengah	3.031	45.712	150,81
Kalimantan Selatan	3.478	71.751	206,3
Kalimantan Timur	2.384	53.966	226,37
Kalimantan Utara	1.729	38.936	225,19
Sulawesi Utara	3.594	44.123	122,77
Sulawesi Tengah	2.231	47.295	211,99
Sulawesi Selatan	26.783	565.958	211,31
Sulawesi Tenggara	8.398	175.095	208,5

Provinsi	Luas Panen (hektare)	Produksi (ton)	Produktivitas (kuintal/hektare)
Gorontalo	197	2.653	134,67
Sulawesi Barat	1.109	24.984	225,28
Maluku	4.842	134.661	278,11
Maluku Utara	5.556	120.283	216,49
Papua Barat	987	11.181	113,28
Papua	3.822	46.388	121,37
Indonesia	949.916	21.801.415	229,51

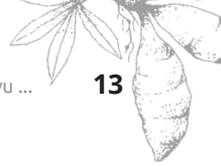
Sumber: BPS (2017)

Di negara berkembang lain, ubi kayu juga penting sebagai tanaman pangan pokok. Namun, apabila tidak dilengkapi dengan asupan pangan lain akan menimbulkan ketimpangan nutrisi. Di Afrika sub-Sahara, sebanyak 250 juta penduduknya menggunakan ubi kayu sebagai pangan pokok dan mengalami kekurangan nutrisi (malnutrisi). Hal ini karena rasio protein terhadap energi merupakan yang terendah dibandingkan tanaman pangan lainnya dan kurang kandungan vitamin A, E, zat besi, dan Zn (Montagnac, Davis & Tanumihardjo, 2009).

Kebutuhan beras dan jagung dalam negeri belum dapat dipenuhi sendiri dan harus melalui impor. Dengan demikian, diversifikasi pangan dengan ubi kayu dapat dilakukan untuk mencapai ketahanan pangan. Ubi kayu memiliki kandungan protein yang rendah sehingga untuk konsumsi pangan pengganti beras, perlu mengombinasikan dengan kacang-kacangan. Namun, ubi kayu mengandung mikro nutrisi lebih tinggi daripada beras. Kandungan nutrisi umbi dan daun ubi kayu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Nutrisi Proksimat Umbi dan Daun Ubi kayu

Variabel	Unit	Ubi kayu Mentah	Umbi Ubi kayu	Daun Ubi kayu
Komposisi proksimat (100 g)				
Energi makanan	kcal	160	110–149	91
Energi makanan	kJ	667	526–611	209–251
Kelembapan	g	59,68	45,9–85,3	64,8–88,6
Berat kering	g	40,32	29,8–39,3	19–28,3
Protein	g	1,36	0,3–3,5	1,0–10,0
Lemak	g	0,28	0,03–0,5	0,2–2,9
Karbohidrat total	g	39,06	25,3–35,7	7–18,3



Variabel	Unit	Ubi kayu Mentah	Umbi Ubi kayu	Daun Ubi kayu
Serat diet	g	1,8	0,1–3,7	0,5–10
Abu	g	0,62	0,4–1,7	0,7–4,5
Vitamin				
Thiamin	mg	0,087	0,03–0,28	0,06–0,31
Riboflavin	mg	0,048	0,03–0,06	0,021–0,74
Niacin	mg	0,854	0,6–1,09	1,3–2,8
Asam askorbat	mg	20,6	14,9–50	60–370
Vitamin A	mg	-	5,0–35	8.300–11.800
Mineral				
Kalsium	mg	16	19–176	34–708
Fosfor total	mg	27	6–152	27–211
Ca/P		0,6	1,6–5,48	2,5
Besi	mg	0,27	0,3–14	0,4–8,3
Potasium	%	-	0,25–0,72	0,35–1,23
Magnesium	%	-	0,03–0,08	0,12–0,42
Tembaga	Ppm	-	2,00–6,00	3,00–12
Seng	Ppm	-	14,00–41,00	71–249
Sodium	Ppm	-	76,00–213,00	51,0–177,0
Mangan	Ppm	-	3,00–10,00	72,0–252,0

Sumber: Steenkamp dan McCrindle (2014)

Umumnya makanan dari ubi kayu masih belum banyak diminati masyarakat, kecuali keripik singkong. Penggunaan ubi kayu sebagai bahan pembuatan keripik juga masih mengalami kendala karena tekstur yang tergolong keras atau kurang renyah. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk penganan terbuat dari ubi kayu atau turunannya agar menarik dan memiliki rasa lebih enak. Penggunaan teknologi untuk menambah nilai produk berbasis ubi kayu masih minim sehingga perlu peningkatan.

Penelitian terkait perbaikan sifat ubi kayu, budi daya, dan teknologi pascapanen diperlukan untuk meningkatkan kontribusi ubi kayu sebagai bahan pangan dan industri berbasis ubi kayu lainnya serta menjadi penghasil devisa negara. Di Indonesia, penelitian ubi kayu yang lebih terintegrasi, terutama dilakukan oleh Kementerian Pertanian dan LIPI dengan fokus berbeda. Penelitian di LIPI lebih difokuskan pada perbaikan sifat ubi kayu menggunakan bioteknologi dan kombinasi konvensional serta modern menyangkut berbagai aspek hingga pascapanen dan pemanfaatan oleh petani, industri, dan masyarakat. Namun, dibandingkan penelitian di luar

negeri, Indonesia masih perlu mengejar dan mempercepat target memproduksi klon atau varietas unggul yang saat ini jumlah varietasnya hanya sepuluh. Jumlah ini tergolong sedikit dibandingkan varietas tanaman pangan lain.

1. Sejarah dan Keragaman Ubi kayu

a. Dari Amerika Latin ke Indonesia

Daerah asal ubi kayu adalah Amerika Latin, tepatnya di Brasil lalu menyebar pertama kali ke Afrika, Madagaskar, India, China, dan ke beberapa negara lainnya. Kemudian menyebar lagi ke negara-negara di dunia yang terletak di 30°LU dan 30°LS (Rukmana, 1997). Tanaman ubi kayu masuk ke Indonesia diperkirakan pada abad ke-18, tepatnya pada 1852. Plasma nutfahnya didatangkan dari Suriname, lalu dikoleksi di Kebun Raya Bogor. Ubi kayu kemudian menyebar ke semua provinsi di Indonesia.

b. Pengembangan klon ubi kayu di Indonesia

Perbaikan genetik ubi kayu di Indonesia telah dilakukan menggunakan teknik persilangan konvensional, mutasi (secara kimiawi atau dengan radiasi sinar gama), dan rekayasa genetika. Walaupun rekayasa genetika sudah dilakukan dan telah menghasilkan beberapa genotipe amilosa tinggi dan genotipe amilosa rendah, teknik ini belum dapat dikembangkan karena beberapa kendala. Genotipe yang telah dihasilkan dengan teknik radiasi adalah genotipe kandungan pati tinggi dan hasil tinggi. Varietas ubi kayu yang dikembangkan di Indonesia merupakan hasil persilangan konvensional. Dibandingkan jenis pangan lainnya, jumlah varietas ubi kayu tergolong rendah, seperti padi, jagung, kedelai, dan kacang tanah. Hingga saat ini, hanya sepuluh varietas ubi kayu yang sudah dilepas pemerintah. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian dan pengembangan ubi kayu yang mempunyai sifat lebih baik. Tabel 2.3 menyajikan varietas ubi kayu yang sudah dilepas di Indonesia. Karakteristik sepuluh varietas ubi kayu tersebut dapat dilihat dalam Lampiran.

Tabel 2.3 Varietas Ubi kayu yang Dilepas Pemerintah Indonesia

No.	Varietas	Potensi hasil umbi segar (ton/ha)	Kategori rasa (HCN, ppm)	Kandungan pati
1	Adira-1	22	Tidak pahit (27,5)	
2	Adira-2	22	Agak pahit: pahit (124,5)	
3	Adira-4	35	Agak pahit (68)	18–22



No.	Varietas	Potensi hasil umbi segar (ton/ha)	Kategori rasa (HCN, ppm)	Kandungan pati
4	Malang 1	48,7*	Tidak pahit (<40)	
5	Malang 2	42*	Tidak pahit (<40)	
6	Malang 4	39,7	Pahit (>100)	25–32
7	Malang 6	36,4	Pahit (>100)	25–32
8	UJ 3	35*	Pahit	20
9	UJ 5	38*	Pahit	19–30
10	Darul Hidayah	102,1*	Tidak pahit (<40)	25–31,5

*Hasil tertinggi saat uji multi lokasi.

Sumber: Suhartina (2005)

Selain sepuluh varietas ubi kayu tersebut, telah diperoleh klon ubi kayu unggul yang merupakan hasil penelitian LIPI dan masih dalam proses memperoleh Perlindungan Varietas Tanaman (PVT) dari Kementerian Pertanian. Beberapa sifat genetik ubi kayu yang diperbaiki, antara lain kandungan pati, amilosa, dan beta karoten lebih tinggi; ketahanan kekeringan; dan masa simpan lebih lama. Teknologi yang digunakan bervariasi, yaitu secara seleksi konvensional dan dikombinasikan dengan marka molekuler, menginduksi mutasi dengan iradiasi sinar gama, dan menghasilkan klon baru dengan rekayasa genetika. Penelitian untuk mempreservasi plasma nutfah menggunakan teknologi *slow growth* secara *in vitro* dan kriopreservasi juga dilakukan sehingga beberapa koleksi di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI juga dalam bentuk *in vitro*, selain koleksi di Kebun Plasma Nutfah.

B. SUMBER PANGAN BERBASIS KARBOHIDRAT

1. Serealia versus Umbi-Umbian

Sebagian besar umbi ubi kayu terdiri atas 30–36% karbohidrat, tergantung dari varietas dan umur panen. Pati mendominasi komposisi dari karbohidrat, yaitu mencapai 64–72% (Wijandi, 1976). Masyarakat Indonesia umumnya masih lebih memilih beras sebagai bahan pangan pokok dibandingkan bahan pangan lain, seperti ubi kayu atau pangan berbahan tepung tapioka. Kebijakan pemerintah (Kementerian Pertanian) masih belum sepenuhnya mendukung Program Diversifikasi Pangan karena masih mementingkan tiga komoditas pangan, yaitu padi, jagung, dan kedelai (PAJALE) untuk penelitian dan pengembangannya sehingga berdampak pada alokasi pendanaan dan prioritas program penelitian

di Indonesia. Sumber karbohidrat lain, seperti sorgum, uwi, dan taka, juga belum dimanfaatkan secara maksimal.

2. Kendala Pemanfaatan Umbi-Umbian

Tekstur dalam produk umbi-umbian masih kurang diminati masyarakat karena beberapa alasan, misalnya teksturnya memiliki banyak serat, kenyal, dan sebagainya. Selain itu, pemasaran produk hasil umbi-umbian masih terbatas karena belum ada skema pemasaran yang terstruktur secara nasional. Untuk membuat keripik singkong yang renyah dan enak, diperlukan seleksi jenis ubi kayu yang bertekstur sesuai dan teknologi pengolahan yang lebih baik. Panganan lain, seperti tiwul untuk pengganti nasi, masih terbatas digunakan oleh masyarakat di wilayah tertentu yang secara historis memang sudah terbiasa mengonsumsi tiwul. Penggunaan tepung ubi kayu untuk kue-kue sudah banyak dilakukan, seperti dalam kue kering, kue *brownies*, dan kue bolu. Namun, masih perlu dilakukan sosialisasi lebih lanjut terkait hal ini. Tepung mocaf berbahan dasar ubi kayu juga sudah mulai digunakan sebagai pendamping tepung terigu dalam pembuatan mi, namun penggunaannya masih terbatas. Salah satu kendalanya adalah ketersediaan ubi kayu secara kontinu. Pembuatan tepung mocaf yang mengandung nutrisi lebih tinggi daripada tepung ubi kayu biasa sudah mulai dikembangkan. Dari tepung mocaf bernutrisi ini, dapat dibuat keripik atau *cheese stick* yang lebih renyah dan gurih. Namun, pengembangan produknya perlu dilakukan bersama dengan UKM atau industri pangan yang sudah mapan.

Kebutuhan tepung ubi kayu untuk industri tekstil dan kertas terus meningkat. Di Eropa, penggunaan tepung ubi kayu untuk substitusi tepung kentang semakin tinggi karena lahan pertanian di Eropa, termasuk untuk menanam kentang, mulai berkurang. Tepung tapioka dipilih untuk substitusi tepung lain karena kriterianya yang mendekati tepung kentang.

Mencampur bahan tepung tapioka dengan tepung beras menjadi alternatif cara untuk mengombinasikan pola makan dan mengurangi konsumsi beras. Beberapa rasio yang pernah dicoba, antara lain sebanyak 40%, 60%, dan 80% substitusi beras dapat dicapai dengan mencampur tepung beras dan ubi kayu dengan rasio 60:40, 40:60, 20:80 atau mengonsumsi selama 1 tahun dengan beras 8, 6, dan 4 bulan, lalu mengonsumsi ubi kayu 4, 6, 8 tahun. Periode mengonsumsi beras hanya pada saat setelah panen beras, yaitu akhir musim hujan.



C. PEMANFAATAN UBI KAYU DI INDONESIA

Ubi kayu saat ini sudah dikembangkan sebagai komoditas agroindustri, termasuk produk fermentasi dan berbagai industri makanan. Pasar potensial tepung tapioca, antara lain Jepang dan Amerika Serikat. Setiap tahun ekspor ke negara tersebut berkisar 1 juta ton produk tepung, terdiri atas 750 ribu tepung tapioka dan sisanya tepung lain. Produk lain yang berpotensi untuk diekspor adalah gablek, *chips*, dan *pellet* (Rukmana, 2002).

1. Pemanfaatan Ubi Kayu untuk Bahan Pangan

Produksi ubi kayu di dunia diperkirakan mencapai 182 juta ton pada 2002. Sebagian besar kayu diproduksi di Afrika dan Thailand. Sebenarnya Indonesia berpotensi menjadi produsen ubi kayu dunia karena luasan lahan yang lebih banyak dibandingkan Thailand, dengan catatan mampu meningkatkan produktivitasnya. Di Indonesia, pemanfaatan produksi ubi kayu, selain untuk industri tekstil dan kertas, masih didominasi untuk bahan pangan. Sebagai sumber pangan, pemanfaatan ubi kayu dapat digolongkan sebagai berikut.

a. Pangan konvensional

Ubi kayu sebagai pangan pokok sumber karbohidrat dapat diolah, baik secara tradisional maupun secara modern dengan pemanfaatan teknologi sehingga menghasilkan produk pangan modern, seperti kue dan bahan lain. Ubi kayu dapat diolah menjadi gablek atau produk setengah jadi atau produk jadi lainnya, seperti *chips* yang banyak diekspor ke China. Umumnya masyarakat Indonesia langsung memanfaatkan ubi kayu sebagai makanan pokok dengan berbagai varian, seperti tiwul, gatot, dan getuk. Pemanfaatan dari pengolahan umbi langsung tanpa melalui penepungan umumnya tidak terlalu menarik penampilan dan rasanya sehingga tidak membuat konsumen tertarik untuk mengonsumsinya. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pengolahan pangan dari umbi ubi kayu. Untuk pangan lainnya, setelah pengolahan tepung biasanya banyak dijual di dalam negeri. Pusat produksi tepung ubi kayu terbesar di Indonesia adalah Provinsi Lampung, kemudian diikuti oleh Provinsi Jawa Timur.

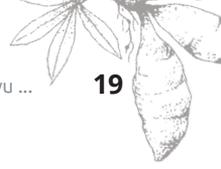
Teknologi penepungan merupakan salah satu proses produksi bahan setengah jadi yang sangat potensial karena tepung lebih tahan simpan, mudah dicampur dengan bahan lain atau yang dikenal juga dengan tepung komposit, diperkaya zat gizi lain (fortifikasi), mudah dibentuk, dan aplikasinya menjadi

produk pangan olahan menjadi lebih beragam. Teknologi pengolahan umbi segar menjadi produk setengah jadi seperti tepung akan meningkatkan nilai tambah produk pascapanen ubi kayu. Saat ini dikenal dua jenis tepung dari ubi kayu, yaitu tepung tapioka dan *modified cassava flour* (mocaf). Pada tepung tapioka, karbohidrat berupa pati merupakan komponen utama tepung, sedangkan kandungan protein dan bahan lainnya hampir tidak ada atau sangat sedikit. Pada tepung mocaf, seluruh bagian ubi kayu, seperti serat, protein, dan komponen lainnya ada pada tepung dan diolah dengan teknik fermentasi. Aplikasi pemanfaatan tapioka dan mocaf sebagai bahan baku makanan olahan saat ini sudah sangat populer, seperti untuk produk kue kering, keik, mi kering, mi basah, bakso, siomay, dan kerupuk. Tepung tapioka memiliki banyak kegunaan untuk bahan pangan, di antaranya diolah menjadi sirup glukosa yang banyak diperlukan oleh berbagai industri, seperti industri pengalengan makanan, es krim, minuman, dan mi. Pada produk aneka bakso, tapioka merupakan komponen campuran yang banyak digunakan, selain juga dikombinasikan dengan jenis tepung lain seperti tepung porang (Sari & Widjanarko, 2015).

Selain tapioka, mocaf juga sudah secara luas digunakan pada industri makanan sebagai substitusi terigu untuk berbagai produk, di antaranya aneka kue basah, kue kering, mi, dan produk aneka bakso. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Rukriani, Nafi, Yulianti, dan Subagio (2013) mengenai potensi mocaf sebagai bahan penyubstitusi teknis terigu pada industri kecil dan menengah di Jawa Timur, diketahui bahwa pada produk mi basah dan mi kering substitusi mocaf adalah sebesar 40% dan pada produk biskuit dan *brownies* substitusinya mencapai 100%. Selain itu, studi tersebut juga menemukan bahwa pada produk-produk IKM, pengguna tepung terigu di Jawa Timur berpotensi untuk melakukan substitusi mocaf cukup tinggi, yaitu sebesar 54%. Pengembangan produk mi berbahan dasar mocaf yang dikombinasikan dengan bahan lainnya juga sudah banyak dilaporkan, di antaranya kombinasi mocaf dengan tepung porang (Faridah & Widjanarko, 2014) dan mocaf dengan jagung (Diniyah, Setiawati, Wiwik, & Subagio, 2017).

b. Pemanfaatan ubi kayu untuk pangan sehat

Ubi kayu dapat diolah menjadi pangan sehat, yaitu pangan yang memberikan dampak pada peningkatan ketahanan tubuh sehingga mencegah penyakit atau untuk konsumsi penderita penyakit tertentu. Indeks glikemik yang terkandung



dalam ubi kayu tergolong rendah sehingga sangat tepat dikonsumsi oleh penderita diabetes karena membantu mengontrol dan mengelola gula darah. Dengan memakan ubi kayu, ketahanan fisik akan lebih baik karena kadar glukosa darah tetap sedang, bukan turun drastis saat insulin diproduksi. Pangan rendah indeks glikemik juga membantu mengontrol kadar trigliserida dan lipid lain di dalam darah. Namun, masih ada asumsi bahwa ubi kayu tidak semenarik nasi dari segi rasa sehingga membuat selera makan menjadi berkurang. Padahal ubi kayu memiliki kandungan lemak yang rendah dan ketika dikonsumsi kadar lemak tubuh juga rendah sehingga ubi kayu dikenal dengan sebutan “pangan ajaib penurun berat badan”.

Tubuh manusia tidak dapat membuat vitamin B6 sendiri sehingga perlu mencari sumber vitamin B6 dari bahan pangan. Sementara itu, vitamin B6 penting bagi tubuh karena merupakan campuran tiga molekul yang serupa, yaitu piridoksol, piridoksin, dan piridoksamin yang merupakan prekursor piridoksal fosfat—salah satu ko-enzim paling penting dalam tubuh yang berperan untuk membuat dan memodifikasi protein. Manusia dewasa memerlukan sekitar 1,5–2 mg vitamin B6 dalam sehari. Ubi kayu memiliki kandungan vitamin B6 yang cukup tinggi sehingga dengan memakan 500 g–1,3 kg umbi rebus atau 50 g rebusan daun ubi kayu, kebutuhan harian vitamin B6 manusia dapat dipenuhi untuk menghindari defisiensi vitamin. Kekurangan vitamin B6 dapat menimbulkan penyakit jantung dan kelainan pada sistem syaraf (Kuan-Te dkk., 2015). Potensi daun ubi kayu sebagai pangan belum banyak diteliti untuk dimanfaatkan, selain sebagai lalapan rebusan dan sayuran di Indonesia.

c. Pemanfaatan ubi kayu untuk produk nonpangan

Pemanfaatan ubi kayu untuk produk nonpangan dapat dilakukan dalam bentuk pati yang digunakan untuk industri tekstil, kertas, dan industri obat-obatan/farmasi. Pemanfaatan ubi kayu sebagai bahan baku bioetanol dan gula, baik dari umbi, limbah, maupun kulit ubi kayu, sudah dilakukan di Indonesia, namun perlu penelitian lebih lanjut untuk efisiensi *input-output* dan pemasaran nasional yang terintegrasi. Ubi kayu umumnya mengandung 20–40% pati, bahkan ada jenis yang bisa mencapai 60% dengan biaya produksi 15–30% lebih rendah dalam satu hektare dibandingkan pati dari jagung sehingga di banyak negara Afrika dan Asia Tenggara, ubi kayu digunakan sebagai sumber energi terbarukan dari biomassa untuk menghasilkan bioetanol (Howeler, 2008). Industri bioetanol berbasis ubi kayu mulai berkembang di Indonesia dan di

beberapa negara lain walaupun masih belum sebanyak pemanfaatan bioetanol dari bahan baku (*feedstock*) lain, seperti molase (tebu).

D. PENELITIAN UNTUK MENINGKATKAN NILAI TAMBAH DAN MENGGALI PEMANFAATAN UBI KAYU

Penelitian atau terobosan yang diperlukan untuk meningkatkan produksi ubi kayu dan produk berbasis ubi kayu serta sistem niaga ubi kayu, antara lain sebagai berikut.

- a. Penggunaan teknologi *mobile* untuk pengolahan tepung, terutama di daerah terpencil yang memproduksi ubi kering menjadi tepung.
- b. Perbaikan distribusi agar mudah diperoleh karena “*bulky*” atau perlu dalam bentuk lain.
- c. Perbaikan menyangkut faktor yang memengaruhi kedaulatan dan ketahanan pangan, misalnya ketersediaan, akses, nutrisi dan kultur, kebersihan produk serta harga.
- d. Perbaikan teknologi budi daya, misalnya penggunaan kombinasi pupuk kimia dan pupuk organik untuk meningkatkan produksi.
- e. Perbaikan teknologi pascapanen.
- f. Inovasi produk berbasis ubi kayu.
- g. Pelestarian, pemeliharaan, dan penduplikasian sumber daya genetika menggunakan kombinasi teknik konservasi yang tersedia.
- h. Pengamanan plasma nutfah untuk seleksi dan perbaikan sifat.
- i. Studi kekerabatan jenis dalam genus *Manihot*.
- j. Perbaikan sifat genetik ubi kayu dikaitkan dengan perkembangan global.

Beberapa konsorsium lembaga penelitian dan universitas di dunia telah melakukan penelitian terhadap ubi kayu dengan menggunakan ubi kayu dari Afrika atau Amerika Selatan karena bertujuan memecahkan masalah kelaparan di Afrika. *The Global Partnership for Cassava Genetic Improvement* bertujuan mengembangkan dan menggunakan bioteknologi, termasuk teknologi genomik untuk memperbaiki sifat ubi kayu, seperti tahan hama dan penyakit serta meningkatkan kandungan nutrisi. *Biocassava Plus* (BC Plus), sebuah program biofortifikasi ubi kayu untuk sub-Saharan Afrika, bertujuan meningkatkan kandungan zat besi, protein, dan vitamin A untuk menyediakan kebutuhan diet sehari-hari. Hal ini hanya dapat dicapai dengan rekayasa genetika karena di alam tidak terdapat keragaman genetik alami terkait zat besi dan protein. Lembaga penelitian lain di luar negeri menargetkan



memperoleh ubi kayu yang mempunyai kandungan vitamin A tinggi serta tahan hama dan penyakit. Indonesia, hingga saat ini belum terlalu mengalami kendala akibat serangan virus. Oleh karena itu, penelitian menggunakan bioteknologi masih belum diperlukan. Menurut World Health Organization (WHO), banyak masyarakat, terutama anak-anak, yang menderita buta karena kekurangan vitamin A. Target karakter lain adalah umur genjah cepat panen dan masa simpan yang lebih lama sehingga dapat meningkatkan peluang pasar bagi petani.

1. Penelitian Menggunakan Teknik Konvensional

Penelitian ubi kayu dengan teknik konvensional banyak dilakukan terkait agronomi (budi daya) dan pemuliaan. Karena produktivitas yang masih rendah, diperlukan adanya penelitian, terutama menyangkut jenis dan komposisi pupuk, pemilihan klon dengan produksi umbi tinggi, dan perbaikan tanaman dengan penyilangan untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Kegiatan penelitian secara konvensional telah dilakukan oleh Kementerian Pertanian, yaitu Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Ubi-ubian (Balitkabi) dan Balai Besar Bioteknologi Tanaman dan Sumber Daya Genetik (BB BIOGEN). LIPI, khususnya Pusat Penelitian Bioteknologi, telah melakukan seleksi ubi kayu dari koleksi menyangkut sifat unggul, seperti berdaya hasil tinggi, mengandung pati lebih tinggi, mengandung vitamin atau nutrisi lebih tinggi (vitamin A atau beta karoten, zat besi), daya simpan umbi lebih tinggi, dan tahan kekeringan.

2. Penelitian Menggunakan Bioteknologi

Dari segi nutrisi, dewasa ini telah diciptakan ubi kayu dengan kandungan zat besi dan seng lebih tinggi, selain juga memiliki kandungan vitamin B6. Jenis ubi kayu yang digunakan adalah jenis yang banyak ditemukan di Afrika, terutama Nigeria untuk memecahkan masalah nutrisi di Afrika. Teknologi ini dapat diadopsi untuk pengembangan ubi kayu di Indonesia. Penelitian untuk meningkatkan kadar vitamin B6 ubi kayu telah dilakukan peneliti dari Swiss. Dua enzim yang terlibat dalam biosintesis vitamin B6 adalah PDX1 dan PDX2, dilaporkan oleh T. Fitzpatrick dari Universitas Geneva (Studart dkk., 2005).

Penelitian lain yang telah dilakukan adalah perbaikan genetik secara molekuler rekayasa genetika untuk mempercepat seleksi dan produksi ubi kayu tahan *cassava mosaic disease* (CMD) dan *cassava brown streak disease* (CBSD) yang diminati petani. Kenaikan suhu merupakan salah satu penyebab meledaknya serangan hama dan penyakit, seperti kutu putih yang dapat membawa virus.

Sekuen genom ubi kayu telah dilakukan dan diluncurkan pada 2009 sehingga peneliti dapat memperbaikinya dengan menambahkan data untuk mengembangkan sekuen skala kromosom sebagai informasi yang dapat diaplikasikan untuk perbaikan strategi pemuliaan tanaman di masa mendatang (Bredeson dkk., 2016). Genom ubi kayu tersedia di DOE JGI Plant Portal Phytozome atau dapat diakses melalui <http://phytozome.jgi.doe.gov/>.

Penelitian ubi kayu, termasuk peningkatan nilai tambah produk berbasis ubi kayu yang telah dan masih berjalan menggunakan berbagai teknologi serta kegiatan yang dilakukan terkait diseminasi teknologi di berbagai daerah di Indonesia oleh Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, dirangkum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Penelitian Ubi kayu yang Telah dan Masih Berjalan di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI hingga Pertengahan 2017

Topik/kegiatan penelitian ubi kayu	Hasil	Keterangan
Meningkatkan jumlah koleksi dan memelihara koleksi	Total jumlah koleksi ubi kayu hingga tahun 2012: 80 aksesi, tahun 2017: 117 aksesi	Pengurangan aksesi di Kebun Plasma Nutfah diakibatkan pengambilan oleh masyarakat atau karena kekeringan pada periode tertentu
Preservasi plasma nutfah	Teknik preservasi <i>in vitro</i> dengan teknik <i>slow growth</i> dan kriopreservasi tunas pucuk	Dimanfaatkan untuk koleksi <i>in vitro</i> plasma nutfah
Uji kesesuaian lahan dan diseminasi klon hasil seleksi	Klon ubi kayu yang diuji adalah yang berdaya hasil lebih tinggi, kandungan pati tinggi, amilosa tinggi, tahan tanah masam	Penanaman bersama dinas pertanian dan petani di Tasikmalaya, Sumedang, Banten, Lampung, Jawa Timur, dan Kalimantan Tengah
Perbaikan teknik budi daya	Penanaman menggunakan pupuk organik hayati (POH) dan kombinasi pupuk organik lainnya, termasuk di lahan gambut	Telah dimanfaatkan di Kalimantan Tengah, di beberapa lokasi pertanian lahan gambut
Memperpanjang masa simpan	Teknologi memperpanjang masa simpan <i>in vivo</i> (di lapangan, di gudang) menggunakan perlakuan fisik atau teknik pascapanen dan komponen lain.	Telah didiseminasikan ke petani



Topik/kegiatan penelitian ubi kayu	Hasil	Keterangan
Seleksi genotipe unggul dari koleksi	Menghasilkan klon berdaya hasil tinggi, memiliki komposisi pati tinggi, memiliki rasa enak, mengandung vitamin A (beta karoten) tinggi, tahan kekeringan, dan memiliki masa simpan lama.	Beberapa klon dalam proses dan sedang pendaftaran PVT
Analisis sidik jari (<i>finger printing</i>)	Sidik jari genotipe dan klon ubi kayu Indonesia berdasarkan marka isozim dan DNA	Teknik yang digunakan: isozim, RAPD, AFLP
Perbaikan sifat menggunakan kombinasi seleksi konvensional dan genetika molekuler	Menghasilkan klon berdaya hasil tinggi, memiliki komposisi pati tinggi, memiliki rasa enak, mengandung vitamin A (beta karoten) tinggi, tahan kekeringan, dan memiliki masa simpan lama.	Teknik yang digunakan: RAPD dan AFLP, mikrosatelit. Beberapa klon dalam proses dan sedang pendaftaran PVT
Perbaikan sifat melalui induksi mutan menggunakan iradiasi sinar gama dan kombinasi dengan marka molekuler	Menghasilkan klon berdaya hasil tinggi, memiliki komposisi pati tinggi, memiliki rasa enak, mengandung vitamin A (beta karoten) tinggi, tahan kekeringan, dan memiliki masa simpan lama.	Teknik yang digunakan: RAPD dan AFLP, mikrosatelit. Beberapa klon dalam proses dan sedang pendaftaran PVT
Perbaikan sifat menggunakan rekayasa genetika	Menghasilkan klon komposisi amilosa tinggi, amilosa rendah, dan masa simpan lebih lama.	Sudah uji di FUT dan LUT
Peningkatan nilai tambah produk berbasis ubi kayu	Teknologi pengolahan tepung dan tepung mocaf bernutrisi tinggi	Sudah bekerja sama dengan industri dan dimanfaatkan oleh UMKM di Jawa Barat

Penjelasan lebih rinci terkait penelitian dan hasil penelitian serta kegiatan lain yang telah dilakukan Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI dapat dilihat pada bab kedua dan selanjutnya dalam buku ini. Penelitian lain di Indonesia terkait pemanfaatan untuk industri nonpangan, seperti bioetanol dan plastik film, juga telah dilakukan (Arnata, 2009; Muhiddin, Nurhayani, Juli, & Aryantha, 2009). Konsorsium penelitian yang melibatkan lintas sektor, lintas ilmu, dan lintas instansi perlu diperkuat dan ditingkatkan serta perlu diinisiasi untuk aspek yang lebih kompleks.



E. KESIMPULAN

Penelitian ubi kayu di Indonesia masih menggunakan kombinasi metode konvensional dan bioteknologi untuk mempercepat perbaikan sifat tanaman. Dengan demikian, penelitian dan pengembangan ubi kayu, baik untuk perbaikan sifat tanaman, teknologi budi daya, maupun peningkatan nilai tambah produk dari ubi kayu tidak hanya untuk pangan, tetapi juga produk lainnya tetap dibutuhkan dan terus ditingkatkan. Hal ini dibuktikan dengan semakin banyaknya ragam klon ubi kayu yang unggul dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Namun, pengembangan lebih lanjut untuk menjawab masalah lain di masyarakat, masih perlu ditingkatkan dengan memperkuat jaringan yang ada dan membina kerja sama di dalam negeri dan luar negeri. Peran industri diperlukan untuk pengembangan dan dukungan pendanaan agar penelitian dapat dilaksanakan secara terintegrasi. Koleksi plasma nutfah ubi kayu dari seluruh Indonesia dan hasil pertukaran luar negeri, perlu dijaga dengan menggunakan teknologi preservasi dengan fasilitas memadai sebagai materi genetik untuk perbaikan ubi kayu di masa depan. Klon yang telah dihasilkan oleh LIPI perlu dimanfaatkan sebanyak-banyaknya oleh masyarakat sambil terus menciptakan klon baru dan melakukan inovasi produk-produk dari ubi kayu yang bernilai tambah tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnata, I. W. (2009). Pengembangan alternatif teknologi bioproses pembuatan bioetanol dari ubi kayu menggunakan *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*. (Tesis), Magister Sains, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Balitkabi. (2004). Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang: Kementerian Pertanian, 31 hlm.
- Balitkabi. (2005). *Teknologi produksi kacang-kacangan dan umbi-umbian*. Malang: Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Kementerian Pertanian.
- Beni, H., Kalsum, N., & Surfiana. (2009). Karakterisasi tepung ubi kayu modifikasi yang diproses menggunakan metode pragelatinisasi parsial. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*, 14(2), 148–159.
- BPS. (2017). *Tanaman ubi kayu per provinsi*. Diakses pada tanggal 5 September 2017 dari <https://data.go.id/dataset/tanaman-ubi-kayu-per-provinsi>.
- Bredeson, J. V., Lyons, J. B., Prochnik, S. E., Wu, G. A., Ha, C. M., Edsinger-Gonzales, E., ..., & Rokhsar, D. S. (2016). Sequencing wild and cultivated cassava and related species reveals extensive interspecific hybridization and genetic diversity. *Nature Biotechnology*, 34, 562–570. DOI 10.1038/nbt.3535.



- Bull, S. E., Owiti, J. A., Niklaus, M., Beeching, J. R., Gruissem, W., & Vanderschuren, H. (2009). *Agrobacterium*-mediated transformation of friable embryogenic calli and regeneration of transgenic cassava. *Nat. Protoc.*, 4, 1845–1854. DOI: 10.1038/nprot.2009.208
- CBS. (2000). *Proyeksi rumah tangga produksi dan luas panen ubi kayu*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- CGIAR. (2000). *Root and tuber crops in the global food system. A Vision Statement to the Year 2020*. CIP, Lima, Peru.
- Chetty, C. C., Rossin, C. B., Gruissem, W., Vanderschuren, H., & Rey, M. E. C. (2013). Empowering biotechnology in southern Africa: Establishment of a robust transformation platform for the production of transgenic industry-preferred cassava. *New Biotechnol.*, 30, 136–143. DOI: 10.1016/j.nbt.2012.04.006
- Diniyah, N., Setiawati D., Wiwik, S. W., & Subagio A. (2017). Karakterisasi mi mojang (moca-f-jagung) dengan perbedaan jenis dan konsentrasi bahan pengikat. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 14(2), 98–107.
- Faridah, A., & Widjanarko, S. B. (2014). Penambahan tepung porang pada pembuatan mi dengan substitusi tepung moca-f (*modified cassava flour*). *J. Teknol. dan Industri Pangan*, 25(1), 99–105.
- Fathoni, A., Zainuddin, I., & Sudarmonowati, E. (2012). Establishing standardized *Agrobacterium*-mediated friable embryogenic callus (FEC) transformation and FEC induction of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Indonesia. *International Conference on Biotechnology*. Research Center for Biotechnology, Indonesian Institute of Sciences LIPI. Bogor. 13–14 November 2012.
- Fitriani, H., Hartati, S. N., & Sudarmonowati, E. (2012). The superiority of glutamine in embryogenic callus induction of “Roti” cassava farmer preference genotype. *Proceeding of the 5th Indonesia Biotechnology Conference an International Forum*. Mataram, Lombok, 4–7 Juli 2012.
- Guira, F., Some, K., Kabore, D., Lingani, H. S., Traore, Y., & Savadogo, A. (2017). Origins, production, and utilization of cassava in burkina faso, A contribution of a neglected crop to household food security. *Food Science & Nutrition*, 5, 415–423.
- Hankoua, B. B., Ng, S. Y. C., Puonti-Kaerlas, J., Fawole, I., Dixon, A. G. O., & Pillay, M. (2005). Regeneration of a wide range of African cassava genotypes via shoot organogenesis from cotyledon of maturing somatic embryos and conformity of the field-established regenerants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 81, 200–211. DOI: 10.1007/s11240-005-0514-5
- Hartati, N. S., Supatmi, Aryaningrum, P. D., & Sudarmonowati, E. (2013). Identification of differentially expressed cDNA in cassava under drought stress using cDNA-RAPD approach. *Annales Bogorienses*, 17(1), 7–14. ISSN: 0517-8452
- Howeler. (2008). A new future for cassava in asia: Its use as food, feed and fuel to benefit the poor. *Proceedings of the Eighth Regional Workshop*. Vientiane, Lao PDR, 20–24 Oktober, 2008.
- Jansson, C., Westerbergh, A., Zhang, J., & Xinwen Hu, S. C. (2009). Cassava, a potential biofuel crop in (the) People’s Republic of China. *Appl. Energy*, 86, S95–S99. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.05.011

- Koehorst-van Putten, H. J. J., Sudarmonowati, E., Herman, M., Pereira-Bertram, I. J., Wolters, A. M. A., & Meima, H. (2012). Field testing and exploitation of genetically modified cassava with low-amylose or amylose-free starch in Indonesia. *Transgenic Res.*, *21*, 39–50. DOI: 10.1007/s11248-011-9507-9
- Kuan-Te Li, Moulin, M., Mangel, N., Albersen, M., Verhoeven-Duif, N. M., Ma, Q., & Vanderschuren, H. (2015). Increased bioavailable vitamin B6 in field-grown transgenic cassava for dietary sufficiency. *Nature Biotechnology*, *33*(10), 1029. DOI: 10.1038/nbt.3318
- Lacombe, S., Rougon-Cardoso, A., Sherwood, E., Peeters, N., Dahlbeck, D., & van Esse, H. P. (2010). Interfamily transfer of a plant pattern-recognition receptor confers broad-spectrum bacterial resistance. *Nat. Biotechnol.*, *28*, 365–369. DOI: 10.1038/nbt.1613
- Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*., *8*, 181–194.
- Muhiddin, Nurhayani, H., Juli, N., & Aryantha, I. N. P. (2009). Peningkatan kandungan protein kulit umbi ubi kayu melalui proses fermentasi. *Jurnal Matematika & Sains*, *6*(1), 1–12.
- Ogwok, E., Odipio, J., Halsey, M., Gaitan-Solis, E., Bua, A., & Taylor, N. (2012). Transgenic RNA interference (RNAi)-derived field resistance to cassava brown streak disease. *Mol. Plant Pathol.*, *13*, 1019–1031. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2012.00812.x
- Reilly, K., Bernal, D., Cortes, D. F., Gomez-Vasquez, R., Tohme, J., & Beeching, J. R. (2007). Towards identifying the full set of genes expressed during cassava post-harvest physiological deterioration. *Plant Mol. Biol.*, *64*, 187–203. DOI: 10.1007/s11103-007-9144-0
- Rudi, N., Norton, G. W., Alwang, J., & Asumugha, G. (2010). Economic impact analysis of marker-assisted breeding for resistance to pests and postharvest deterioration in cassava. *Afr. J. Agric. Resour. Econ.*, *4*, 110–122.
- Rukmana, R. (1997). Ubi kayu, budi daya dan pascapanen. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Rukmana, R. (2002). *Usaha tani ubi kayu*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Rukriani, E., Nafi, A., Yulianti, L. D., & Subagio, A. (2013). Identifikasi potensi MOCAF (*modified cassava flour*) sebagai bahan pensubstitusi teknis terigu pada industri kecil dan menengah di Jawa Timur. *Pangan*, *22*(3), 229–240.
- Saleh, N., Rahayu, M., Indiati, A. W., Radjit, S. R., & Wahyuningsih, S. (2013). Hama, penyakit dan gulma pada tanaman ubi kayu: identifikasi dan pengendaliannya. Jakarta: IAARD Press, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
- Sari, H. A., & Widjanarko, S. B. (2015). Karakteristik kimia bakso sapi (kajian proporsi tepung tapioka: tepung porang dan penambahan NaCl). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, *3*(3), 784–792.
- Sayre, R., Beeching, J., Cahoon, E., Egesi, C., Fauquet, C., & Fellman, J. (2011). The BioCassava plus program: Biofortification of cassava for sub-Saharan Africa. *Annu. Rev. Plant Biol.*, *62*, 251–272. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110-103751
- Steenkamp, V., & McCrindle, C. M. (2014). Production, consumption and nutritional value of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Mozambique: An overview. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*. *6*(3), 29–38.



- Studart, M. T., Titiz, O., Raschle, T., Forster, G., Amrhein, N., & Fitzpatrick T. B. (2005). Vitamin B6 biosynthesis in higher plants. *PNAS*, 102(38), 13687–13692.
- Suhartina. (2005). Deskripsi varietas unggul kacang-kacangan dan umbi-umbian. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang.
- Supatmi, & Sudarmonowati, E. (2012). Improved regeneration, acclimatization and shoot cutting production of “Gebang” cassava derived from irradiated in vitro shoots. *Annales Bogorienses*, 16(2), 7–12.
- Suwarto, Sulistyono, E., & Prastowo, G. (2018). Respons agronomi tiga varietas ubi kayu pada berbagai tingkat kadar air tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23, 44–51.
- Taylor, T., Gaitán-Solís, E., Moll, T., Trauterman, B., Jones, T., & Pranjal, A. (2012). A high-throughput platform for the production and analysis of transgenic cassava (*Manihot esculenta*) plants. *Trop. Plant Biol.*, 5, 127–139. DOI: 10.1007/s12042-012-9099-4
- Vanderschuren, H., Alder, A., Zhang, P., & Gruissem, W. (2009). Dose dependent RNAi-mediated gemini virus resistance in the tropical root crop cassava. *Plant Mol. Biol.*, 70, 265–272. DOI: 10.1007/s11103-009-9472-3
- Wahyu, M. K. (2009). Pemanfaatan pati singkong sebagai bahan baku *edible film*. (Skripsi). Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjajaran, Bandung.
- Wargiono, J., & Ispandi, A. (2002). Cassava agronomy research and its contribution to a second food system in Indonesia. Dalam R. H. Howeler, *Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crops*. Proceedings of 7th Regional Workshop, Bangkok, Thailand, 28 Oktober 2002. hlm. 174–182.
- Wargiono, J., Hasanuddin, A., & Suyamto. (2006). *Teknologi produksi ubi kayu mendukung industri bioetanol*. Bogor: Puslitbangtan.
- Wargiono, J., Widodo, Y., & Utomo, W.H. (2001). Cassava agronomy research and adoption of improved practices in Indonesia. Dalam R. H. Howeler & S. L. Tan (Ed.), *Cassava's potential in Asia in the 21st century: Present situation and future research and development needs*. Proceedings of 6th Regional Workshop, Ho Chi Minh City, 21–25 Februari, 2000.
- Wijandi. (1976). *Ilmu pengetahuan umbi-umbian*. Bogor: Departemen Teknologi Hasil Pertanian IPB.
- Zainuddin, I., Schlegel, K., Gruissem, W., & Vanderschuren, H. (2012). Robust transformation procedure for the production of transgenic farmer-preferred cassava cultivars. *Plant Methods*, 8, 24. DOI: 10.1186/1746-4811-8-24
- Zhang, P., Wang, W. Q., Zhang, G. L., Kaminek, M., Dobrev, P., Xu, J., & Gruissem, W. (2010). Senescence-inducible expression of isopentenyl transferase extends leaf life, increases drought stress resistance and alters cytokinin metabolism in cassava. *J. Integr. Plant Biol.*, 52, 653–669. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2010.00956.x
- Zidenga, T., Leyva-Guerrero, E., Moon, H., Siritunga, D., & Sayre, R. (2012). Extending cassava root shelf life via reduction of reactive oxygen species production. *Plant Physiol.*, 154, 1396–1407. DOI: 10.1104/pp.112.200345



BAB KETIGA



Biodiversitas Koleksi Plasma Nutfah Ubi Kayu untuk Perakitan Ubi Kayu Unggul

Hartati, Wahyuni, dan Enny Sudarmonowati

A. SUMBER DAYA GENETIK UBI KAYU

Kebutuhan ubi kayu sebagai bahan pangan, pakan, dan industri semakin bervariasi dan meningkat. Dalam bidang industri, ubi kayu dibutuhkan sebagai salah satu bahan baku dalam industri lem, kertas, dan makanan yang mana di setiap industri tersebut membutuhkan karakteristik ubi kayu yang berbeda, misalnya industri lem yang membutuhkan ubi kayu dengan pati tinggi amilosa dan rendah amilopektin. Namun, jenis ubi kayu dengan karakteristik yang diinginkan tidak begitu mudah ditemukan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan kultivar baru dengan karakteristik spesifik dan adaptif pada berbagai lingkungan tumbuh. Untuk itu, diperlukan sumber daya genetik ubi kayu yang beragam sebagai material genetik untuk pengembangan dan perakitan kultivar baru dengan pemuliaan tanaman, baik dengan pemuliaan konvensional (persilangan dan pembentukan ploidi) maupun nonkonvensional dengan rekayasa genetik melalui aplikasi bioteknologi. Sumber daya genetik ubi kayu yang bervariasi diperoleh dari beberapa kegiatan, seperti kegiatan koleksi dan pengayaan koleksi jenis ubi kayu dengan eksplorasi di berbagai daerah, dilanjutkan dengan identifikasi, karakterisasi, dan evaluasi karakter unggul dari setiap jenis ubi kayu yang terkumpul.

Variasi sifat dalam setiap jenis ubi kayu disebabkan oleh genetik dan lingkungan. Variasi yang terjadi karena genetik didapatkan melalui penyerbukan yang terbuka (*open pollination*) dan tingginya tingkat heterozigositas ubi kayu. Variasi yang terjadi karena lingkungan didapatkan dari hasil proses adaptasi terhadap kondisi lingkungan di suatu daerah, seperti jenis dan kesuburan tanah serta iklim. Untuk mengetahui keunggulan karakter dari setiap jenis ubi kayu, perlu dilakukan karakterisasi dan evaluasi sehingga dapat dimanfaatkan lebih maksimal, baik dalam kegiatan pemuliaan tanaman, aplikasi langsung untuk kesejahteraan petani maupun konservasi plasma nutfah ubi kayu. Karakterisasi dilakukan dengan melihat performa di lapangan dan mengestimasi kekerabatan serta jarak genetik antarjenis ubi kayu. Hasil yang diperoleh akan sangat bermanfaat dalam proses identifikasi, pemilihan jenis ubi kayu dengan sifat yang diinginkan, dan perbaikan sifat ubi kayu komersial melalui pemuliaan tanaman.

B. FUNGSI KOLEKSI DAN KONSERVASI BIODIVERSITAS UBI KAYU

Biodiversitas ubi kayu merupakan komponen penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan karena karakter unggul yang terdapat dalam setiap jenis ubi kayu dapat digunakan untuk perbaikan jenis ubi kayu baru dengan karakter yang diinginkan. Koleksi biodiversitas ubi kayu diwujudkan sebagai taman koleksi hidup yang berfungsi sebagai pusat koleksi berisi data karakter morfologi agronomi penting untuk perakitan tanaman unggul. Karakter-karakter tersebut, misalnya berproduksi tinggi dan stabil pada berbagai lokasi; kemampuan beradaptasi terhadap perubahan iklim, penyakit, dan hama; serta karakter preferensi konsumen, seperti rasa, tekstur, dan warna. Salah satu contoh pemanfaatan biodiversitas ubi kayu adalah pada identifikasi koleksi plasma nutfah yang membawa sifat ketahanan terhadap penyakit *cassava mosaic virus* (CMV) serta pemanfaatannya untuk perbaikan sifat dan perakitan tanaman ubi kayu tahan CMV. Gen CMV telah berhasil diidentifikasi dari koleksi kerabat liar ubi kayu *Manihot glaziovii* (gen CMD1) atau dari ubi kayu biasa (gen CMD2). Selain itu, beberapa marka gen yang terkait dengan gen CMD2 telah diidentifikasi menggunakan aplikasi beberapa sistem marker. Ubi kayu tahan penyakit CMV merupakan salah satu contoh perakitan tanaman yang telah berhasil dilakukan melalui aplikasi *marker assisted selection* (MAS) (Barrera dkk., 2007; Ceballos, Iglesias, Pérez, dan Dixon, 2004).



Koleksi juga berperan dalam konservasi *ex situ* sehingga seluruh jenis ubi kayu spesifik suatu daerah dapat terpetakan dan dilestarikan. Saat ini, sumber daya genetik tanaman di dunia menurun dan menghilang sangat cepat, termasuk ubi kayu. Hal ini disebabkan penggunaan lahan untuk sistem pertanian monokultur, aplikasi bibit unggul, serangan hama penyakit, persaingan antarkomoditas tanaman pangan, dan urbanisasi. Kegiatan koleksi dan konservasi ubi kayu juga dapat menjamin ketersediaan material untuk budi daya. Selain itu, konservasi dan koleksi juga bermanfaat untuk mempelajari kekerabatan antarjenis ubi kayu dan dengan kerabat liarnya, serta untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi identitas ubi kayu yang ditemukan di suatu daerah (Dahamaruddin & Sirappa, 2009). Konservasi ubi kayu dapat dilakukan dalam bentuk konservasi di lapang dan konservasi *in vitro*. Konservasi di lapang dilakukan dengan perbanyakan secara vegetatif dengan stek batang. Ubi kayu adalah tanaman heterozigot sehingga karakter atau fenotipe yang terdapat pada tanaman tersebut mudah berubah setelah persilangan secara generatif. Oleh karena itu, metode yang paling sesuai untuk mempertahankan karakter ubi kayu agar tetap sama adalah melalui perbanyakan vegetatif. Metode ini memungkinkan koleksi ubi kayu tersimpan dan terlindungi di lapang atau di *screenhouses*.

Konservasi ubi kayu secara *in vitro* dapat dilakukan melalui teknik kultur jaringan dan teknik kriopreservasi. Konservasi ubi kayu secara *in vitro* pada prinsipnya dilakukan dengan mengondisikan tanaman untuk pertumbuhan lambat (*slow growth storage*), dengan mengontrol kondisi pencahayaan dan suhu, aplikasi senyawa kimia yang bersifat *retardant* atau menghambat pertumbuhan tanaman, pemilihan bahan kontainer, pengaturan komposisi media, dan penggunaan *osmotically active compounds*, seperti sukrosa dan manitol. Kondisi pertumbuhan lambat yang terbaik umumnya dilakukan pada kondisi gelap pada temperatur 4°C dan pemakaian sukrosa pada media tanam 30–60 g/L. Penggunaan wadah/kontainer bisa dari bahan gelas atau plastik, dan yang terbaik adalah menggunakan plastik karena mengurangi akumulasi CO₂ (Lambardi dkk., 2006). Prosedur dasar konservasi tanaman dengan kultur jaringan adalah menumbuhkan bagian tanaman dalam wadah berisi media di lingkungan yang terkontrol dan steril. Selanjutnya, tanaman itu harus dapat diregenerasikan kembali menjadi tanaman utuh, tanpa perubahan karakter asli pada plasma nutfah yang dikonservasi.

Metode kriopreservasi, yaitu teknik penyimpanan plasma nutfah dalam keadaan beku, biasanya diaplikasikan untuk penyimpanan tanaman dalam jangka waktu lama. Kriopreservasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, di antaranya dengan pendinginan lambat atau dua tahap (*slow cooling*), pembekuan cepat (*rapid freezing*), *vitriification*, dan metode dehidrasi enkapsulasi. Material yang digunakan dapat berupa polen, biji, dan kalus somatik embriogenik atau *friable embriogenic callus* (FEC) (Sudarmonowati & Henshaw, 1990). Konservasi benih/biji bertujuan untuk melestarikan DNA genom yang terdapat pada biji ubi kayu. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk menyimpan DNA genom setelah diekstraksi dari sel ubi kayu dalam kondisi beku. Kumpulan DNA genom dari berbagai jenis ubi kayu disebut dengan Bank DNA. Teknik kriopreservasi telah digunakan pada kalus somatik embriogenik ubi kayu sebagai langkah awal kegiatan koleksi dan konservasi ubi kayu di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI (Sudarmonowati & Henshaw, 1990).

C. KOLEKSI DAN KOLEKSI INTI (*CORE COLLECTION*) UBI KAYU

1. Koleksi Ubi Kayu

Koleksi berbagai jenis ubi kayu sudah dilakukan di Indonesia dan di beberapa negara lain. Selanjutnya, di Indonesia sendiri koleksi plasma nutfah ubi kayu telah dilakukan di beberapa tempat, seperti di Puslit Bioteknologi LIPI, Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi), Balai Besar Bioteknologi dan Sumber Daya Genetika (BB-Biogen), dan Kementerian Pertanian. Di luar Indonesia, ubi kayu telah dikoleksi di beberapa negara, seperti *International Center for Tropical Agriculture* (CIAT) Kolombia, *Brazilian Agricultural Research Cooperation* (EMBRAPA) Brasil, *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) Nigeria, *Central Tuber Crops Research Institute* (CTCRI) India, *Instituto Nacional de Innovación Agraria* (INIA) Peru, *National Root Crops Research Institute* (NRCRI) Nigeria, IITA Nigeria, dan *Instituto Agronomico Nacional* (IAN) Paraguay.

Koleksi dan konservasi ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI telah dilakukan sejak 1990. Ubi kayu yang berhasil dikoleksi hingga 2017 sebanyak 117 aksesi. Koleksi biasanya tersimpan di lapang (*field bank*) dan koleksi *in vitro*. Koleksi dan konservasi ubi kayu dilakukan juga oleh BB-Biogen dan Balitkabi Kementerian Pertanian dengan jumlah koleksi berturut-turut sebanyak 556 dan 310 aksesi (<http://plasma-nutfah.litbang.pertanian.go.id/index.php?file=pn/cover.php&komoditas=05028>; <http://biogen.litbang.pertanian.go.id/plasmanutfah/aneka-ubi/ubi-kayu/>). Jenis ubi kayu di kedua institusi tersebut belum dapat dipastikan adanya kesamaan koleksi dengan yang dimiliki oleh LIPI.



Koleksi ubi kayu terbesar dan terlengkap di dunia dimiliki oleh bank gen di CIAT Kolombia dengan jumlah aksesori sebesar 6.500 aksesori, lalu diikuti oleh EMBRAPA Brasil dengan jumlah koleksi sebesar 4.000 aksesori. Selanjutnya, International Institute of Tropical Agriculture (IITA) memelihara 2.544 aksesori ubi kayu yang berasal dari 28 negara di lapangan. Koleksi ubi kayu dalam jumlah yang lebih sedikit juga dilakukan di beberapa negara lain, termasuk di CTCRI India, INIA Peru, NRCRI Nigeria, IITA Nigeria, IAN Paraguay, SRCV Benin, D.R. Congo, dan PGRC/CRI Ghana. Di antara seluruh bank gen yang ada di dunia, hanya CIAT yang melakukan konservasi di lapangan bersamaan dengan konservasi *in vitro* dalam bentuk kultur jaringan dan kriopreservasi. Ribuan planlet ubi kayu hasil kultur *in vitro* telah didiseminasikan oleh CIAT ke berbagai negara untuk penyebaran keragaman plasma nutfah ubi kayu. Selain itu, CIAT juga melakukan konservasi benih/biji kerabat liar ubi kayu dan menginisiasi terbentuknya bank DNA ubi kayu. Genotipe lokal di beberapa negara, seperti Afrika, China, Thailand, dan Vietnam sudah sangat sedikit dan didominasi oleh varietas ubi kayu unggul masing-masing negara tersebut. Demikian juga di Afrika, genotipe lokal ubi kayu mulai berkurang, terlebih di beberapa negara tidak memiliki bank gen. Ubi kayu unggul yang diadopsi atau diserap oleh petani ubi kayu di Indonesia umumnya adalah ubi kayu dengan produktivitas tinggi dan tahan penyakit.

Genotipe lokal adalah ubi kayu yang ditanam dan diseleksi oleh petani secara tradisional selama bertahun-tahun dan secara alami telah mengalami proses seleksi. Benih ubi kayu dari genotipe lokal umumnya memiliki segregasi yang sangat tinggi. Segregasi yang tinggi terjadi disebabkan beberapa hal, seperti penyerbukan silang antargenotipe ubi kayu yang berbeda, tingginya heterozigositas, propagasi melalui biji, dan juga karena intensifnya pertukaran benih stek antarpetani (McKey, Elias, Pujol, & Duputie, 2010; Montero-Rojas, Correa, & Siritunga, 2011). Penyerbukan silang pada ubi kayu relatif mudah terjadi karena *anther* yang telah matang mudah untuk melepaskan serbuk sari. Oleh karena itu, koleksi ubi kayu sebaiknya dilakukan dengan stek batang untuk mempertahankan keunikan karakter yang diinginkan. Kontribusi genotipe lokal ataupun jenis ubi kayu liar saat ini mungkin masih sangat kecil, tetapi tantangan baru dalam budi daya ubi kayu di masa mendatang, terutama karena terjadinya perubahan iklim global, akan memerlukan tanaman ubi kayu yang dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim dan cuaca, dan perubahan preferensi konsumen. Oleh karena itu, penting dilakukan koleksi dan konservasi plasma nutfah ubi kayu. Keberhasilan koleksi dan konservasi plasma nutfah ubi

kayu terutama dari genotipe lokal, menuntut peran dan keseriusan pemerintah Indonesia agar tidak terjadi kehilangan dan erosi genetik plasma nutfah ubi kayu, seperti yang terjadi pada negara lain.

2. Koleksi Inti Ubi Kayu (*Core collection*)

Koleksi inti ubi kayu dibuat dari koleksi ubi kayu terpilih dengan keragaman genetik yang tinggi dan dengan menghindari pengulangan atau duplikasi koleksi. Jika memungkinkan, koleksi inti juga memasukkan kerabat liar ubi kayu. Beberapa kriteria yang menjadi acuan pada pemilihan aksesori untuk koleksi inti adalah jenis ubi kayu yang menjadi target seleksi dan pemuliaan dan ubi kayu yang berasal dari geografi yang berbeda (baik daerah, iklim ataupun ketinggian), keragaman karakter morfologi, dan keragaman genetik (jika memungkinkan bahkan hingga pada keragaman di level basa penyusun DNA) (Hershey, 2010). Koleksi inti berfungsi untuk memusatkan upaya kelanjutan karakterisasi dan evaluasi karakter agronomi penting dengan tidak mengesampingkan biodiversitas untuk program pemuliaan tanaman.

Untuk menghindari duplikasi, diperlukan identifikasi sampai pada tingkat molekuler atau DNA. Keragaman plasma nutfah ubi kayu pada level pembeda satu basa nukleotida dapat dilakukan menggunakan sistem marker *single nucleotide polymorphism* (SNP). Cara ini telah dilakukan Brasil untuk memaksimalkan strategi pengembangan koleksi inti ubi kayu. SNP mampu mengidentifikasi seluruh alel yang merepresentasikan keragaman biodiversitas ubi kayu. Brasil telah memetakan dan berhasil mengonservasi sebanyak 798 alel yang mewakili keseluruhan koleksi, dengan menggunakan 402 marker SNP (Oliveira dkk., 2014a).

3. Cara Membuat Koleksi Inti

Koleksi inti dapat dibuat dan dikembangkan dengan menggunakan 40 karakter morfologi agronomi yang dievaluasi di dua lokasi berbeda, menggunakan nomor aksesori yang berbeda di tiap lokasi. Untuk menghadapi tantangan yang dihasilkan oleh tipe variabel yang sangat beragam dan untuk mendapatkan keragaman yang maksimal, serangkaian strategi yang dapat digunakan, antara lain melakukan analisis pohon filogenetik atau kluster dengan memasukkan efek genotipe dan lingkungan dalam proses klustering, melakukan analisis banyak faktor secara hierarki yang



memungkinkan pencampuran beberapa jenis variabel pengukuran, menggunakan fungsi diskriminan linear untuk mengalokasikan/menempatkan keseluruhan individu yang diikutsertakan dan termasuk dalam satu lokasi (dari dua lokasi atau bukan lokasi yang lain) ke dalam grup yang dihasilkan dari sejumlah aksesori umum yang dievaluasi di kedua lokasi, dan yang terakhir, melakukan *D-allocation method* untuk menyeleksi sampel dari masing-masing kluster. Keterwakilan koleksi inti terhadap seluruh koleksi dapat diperkirakan lebih lanjut dengan membandingkan rata-rata, variasi, dan jarak antaraksesori. Keragaman fenotipik yang direpresentasikan oleh koleksi inti ubi kayu akan menjadi panduan bagi pengguna plasma nutfah untuk melakukan perbaikan genetik tanaman (Bhattacharjee, Dumet, Ilona, Folarin, & Franco, 2012).

D. SISTEM SELEKSI PLASMA NUTFAH UBI KAYU UNTUK KOLEKSI PUSLIT BIOTEKNOLOGI LIPI

Koleksi ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI berasal dari genotipe lokal (*landraces*), varietas nasional hasil koleksi Balitkabi dan BB-Biogen, genotipe yang berasal negara lain, dan genotipe hasil riset pengembangan ubi kayu Puslit Bioteknologi LIPI melalui teknik radiasi dan varian somaklonal (Tabel 3.1). Kegiatan konservasi ubi kayu yang dilakukan di institusi ini memprioritaskan konservasi genotipe lokal, baru kemudian jenis yang berasal dari negara lain dan hasil pemuliaan. Konservasi genotipe lokal harus lebih diutamakan karena untuk menjaga kelestarian plasma nutfah nasional. Konservasi genotipe ini dilakukan di lapang dan *in vitro*, serta selalu direjuvinsi setiap tahun.

Jenis ubi kayu koleksi Puslit Bioteknologi LIPI adalah ubi kayu manis dan ubi kayu pahit dengan kandungan sianida (HCN) yang bervariasi. Ubi kayu ber-HCN tinggi umumnya dikoleksi dari Maluku Tenggara. Koleksi ubi kayu Puslit Bioteknologi LIPI umumnya genotipe lokal Indonesia dari jenis *Manihot esculenta* dan sementara ini jenis liar belum menjadi target koleksi. Asal ubi kayu lokal adalah dari berbagai daerah di Indonesia sehingga diharapkan dapat merepresentasikan ubi kayu yang ada di wilayah Indonesia.

Tabel 3.1. Genotipe dan Asal Koleksi Ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI

Sumber	Asal/Provinsi	Genotipe
Genotipe Lokal	Sumatra Utara	Batak Siluang
	Riau	Menggala
	Bengkulu	Andora Malia, Kandora Tonaro, Kandora Ranni, Kandora Sumarorong, Kandora Langgago, Kandora Buntang, Ubi kayu Sayur, Ubi kayu Kuning dan Kapuk
	Sumatra Selatan	Menggala
	Lampung	Darul Hidayah, Taon Lampung, Lampung 1, Lampung 2, Thailand, dan Kaset sar
	Jawa Barat	Adira-1, Apuy, Baros Kencana, Baturaja, BIC 1, BIC 280, BIC 302, Gebang, Gempol, Iding, Kristal Merah, KM Cimanggu, Lokal Nguneng, Manggu, Mentega 1, Mentega 2, Pucuk Biru, Rengganis, Rawi, Roti, Selengen, Ubi kayu Tali, Sukabumi 1, Valenca, dan Mentega Cibanon
	Jawa Tengah	Buto Ijo, Gatot Kaca, Kaporo, Ketan, Randu, Sentul, Markonah, Marita, Budin Kuning, Budin Ketan, Budin Mentega, dan Daplang
	Jawa Timur	Malang 2, Malang 6, Rawi, Ubi Putih, Ubi kayu Blitar, Vandemir, Ubi kayu Kuning Jatim, dan Pulut Jatim, Castal Hitam, Ubi kayu Genjah Santan, Ubi kayu Ketan dan Adira-4
	Kalimantan Barat	Kalbar 1
	Kalimantan Tengah	Kristal Putih, Kristal Putih Rose, Ubi Gedi dan Wadigati
	Kalimantan Timur	Ubi kayu Gajah
	Nusa Tenggara Barat	Lombok 1, Lombok 2 dan Banyumulek
	Nusa Tenggara Timur	Tim-tim 40, Ubi Kuning dan NTT N
	Maluku	Malra 1, Malra 2, Malra 3, Malra 5, Malra 6, Malra 7, Malra 8, Malra 9, Malra 10, Malra 11, Malra 12, Malra 13, Malra 14, Malra 15, Malra 16, Malra 17, Malra 18, Malra 19, Malra 20, Malra 21, Malra 22, Malra 23 dan Malra 24
	Papua	Merauke 1, Merauke 2 dan Merauke 3
Hasil Pengembangan & Perbaikan Genetik Ubi kayu di LIPI	Ubi kayu Radiasi	Gebang Radiasi, Iding Radiasi dan Ubi Kuning Radiasi
	Varian Somaklonal	Roti varian
	<i>Somatic Embriogenic</i>	FEC 25
Luar Negeri	Swiss	TMS1 ETH Zurich dan TMS 2



E. BIODIVERSITAS KOLEKSI UBI KAYU LIPI DAN EVALUASI KARAKTER UNGGUL

1. Status Biodiversitas Koleksi Ubi Kayu Dunia dan Indonesia

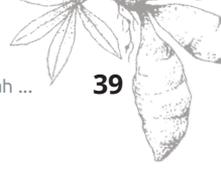
Genus *Manihot* yang ada di dunia berjumlah 70 jenis. Sebanyak 55 jenis tersebar di Amerika Selatan, dan 15 jenis berada di Amerika Tengah dan Utara. Biodiversitas jenis *Manihot* yang terbesar berada di Brasil dan meliputi 80% dari jumlah jenis yang ada, lalu diikuti Meksiko dengan 15%. Di Meksiko, sebagian besar genus berada di daerah vegetasi hutan berduri yang kering, sedangkan di Brasil jenis tersebar di daerah savana Brasil atau dikenal sebagai Cerrado (Da Silva, 2015). Jumlah jenis *Manihot* yang dilaporkan ditemukan di Indonesia hanya ada dua, yaitu *M. esculenta* dan *M. glaziovii* sehingga biodiversitas *Manihot* yang bisa ditelusuri hanya dari kedua jenis tersebut. Keberadaan dua jenis *Manihot* di Indonesia diperkirakan merupakan tanaman yang diintroduksi ke Indonesia pada masa penjajahan bangsa Portugis dan Belanda. Aktivitas pertanian dapat mengancam keberadaan jenis *Manihot* di habitat aslinya. Hal ini dapat dilihat dari kawasan Cerrado-Brasil yang masih tidak tersentuh sampai tahun 1946 sehingga keberadaan kerabat liar ubi kayu masih terjaga. Namun, saat ini 43% kawasan Cerrado diubah menjadi lahan pertanian, terutama untuk pertanian kopi, cokelat, dan kelapa sawit sehingga status 10–12 jenis *Manihot* liar asli di daerah ini terancam di habitat lokal mereka (FAO, 2017). Sementara itu, pertanian dan perluasan lahan ubi kayu di pusat asal jenis, baik di Brasil maupun Meksiko, hanya memberi efek minimal pada hilangnya biodiversitas *Manihot*. Di Meksiko dan negara-negara lain di Amerika Selatan dan Tengah, seperti Kolombia, Paraguay, Karibia, Haiti, Republik Dominika, dan Kuba, biodiversitas ubi kayu relatif masih terjaga.

Posisi biodiversitas ubi kayu di dunia secara umum dapat dilihat dari ukuran koleksi plasma nutfah yang tersimpan di bank gen ubi kayu, terutama bank gen yang berada di pusat biodiversitas ubi kayu yang tertinggi. Koleksi *ex situ* *Manihot esculenta* terbesar ditemukan di pusat biodiversitas tertinggi ubi kayu, yaitu di Brasil (EMBRAPA) dan Kolombia (CIAT), termasuk untuk jenis dari kerabat liar ubi kayu. Sementara itu, jumlah koleksi *M. esculenta* di Indonesia tidak lebih dari 7% dibandingkan koleksi terbesar dan terlengkap di Brasil dan Kolombia. Seberapa besar keragaman yang unik atau seberapa berbeda aksesi-aksesi yang terdapat di bank-bank gen ubi kayu di dunia masih belum diketahui secara pasti karena belum ada data penelitian terkait duplikasi plasma nutfah yang terdapat di pusat-pusat konservasi ubi kayu tersebut (CIAT, 2017). Hingga saat ini belum ada data penelitian

bersama terkait keunikan dan data duplikasi ubi kayu yang ada pada antarinstansi yang memiliki koleksi plasma ubi kayu di Indonesia.

FAO (2017) memperkirakan sekitar 26.000 varietas lokal unik ubi kayu yang ada di dunia. Artinya, jumlah plasma nutfah ubi kayu yang berhasil dikonservasi masih sedikit dibandingkan yang masih belum terkonservasi sehingga masih perlu dilakukan upaya konservasi ubi kayu. Jumlah varietas lokal ini bisa lebih tinggi, terutama jika ternyata petani ubi kayu melakukan persilangan untuk menghasilkan benih aseksual. Hal ini akan berdampak pada peningkatan biodiversitas varietas lokal plasma nutfah ubi kayu. Data yang dilaporkan oleh FAO (2017) menyebutkan bahwa CIAT juga melakukan distribusi ubi kayu yang berasal dari benih seksual (biji) asal Amerika Latin ke Afrika dan Asia. Hal ini tentu saja berkontribusi besar terhadap peningkatan keanekaragaman hayati ubi kayu di Asia dan Afrika.

Koleksi dan konservasi ubi kayu dengan biodiversitas yang tinggi sangat penting karena menjaga keragaman genetik dan ketersediaan *gene pool* yang dapat digunakan dalam pengembangan varietas atau galur superior ubi kayu dengan karakter penting, seperti tahan-kekeringan, tahan cekaman abiotik dan biotik, dan bernutrisi tinggi. Oleh karena itu, jenis *Manihot esculenta* dan kerabat liar harus dikumpulkan dan dilestarikan secara *ex situ*, terutama jenis liar yang paling erat kaitannya dengan ubi kayu budi daya, seperti *M. esculenta* ssp. *Flabellifolia*, *Manihot glaziovii*, dan *M. pseudoglaziovii*. Konservasi ini penting untuk mendukung program pemuliaan tanaman, terutama kemungkinan pengembangan jenis interspesifik di masa depan untuk mentransfer karakteristik yang menguntungkan ke tanaman ubi kayu budi daya ataupun untuk memperluas basis genetik ubi kayu. Analisis hubungan genetik pada aksesori ubi kayu dapat diaplikasikan untuk program pemuliaan karena studi ini memberikan informasi tentang keragaman genetik dan stratifikasi populasi ubi kayu. Evaluasi yang tepat terhadap keragaman genetik ubi kayu memberikan informasi mengenai variabilitas genetik kultivar, identifikasi kombinasi tetua yang memungkinkan untuk pengembangan progenies dengan variabilitas genetik maksimum, dan kemungkinan introgresi gen target ke dalam plasma nutfah yang tersedia. Penyempitan basis genetik varietas ubi kayu komersial dengan penggunaan sejumlah kecil varietas unggul beradaptasi tinggi harus dihindari, dan perlu dilakukan perakitan varietas baru dengan latar belakang genetik yang luas. Hal ini akan mengurangi risiko gagal panen yang meluas, misalnya dalam kasus kondisi iklim yang buruk atau munculnya penyakit baru atau hama. Terkait konservasi ubi kayu di Indonesia, perlu dilakukan konservasi ubi



kayu lokal dari seluruh Indonesia, terutama dari bagian timur. Tujuannya adalah untuk memperluas basis genetik koleksi ubi kayu karena ubi kayu di bagian timur Indonesia memiliki beberapa karakter unik, salah satunya tinggi kandungan mineral zat besi dan seng (Kurniawati, unpublished data).

Kerabat liar ubi kayu membawa beberapa sifat yang menguntungkan secara agronomi dan kadang tidak dimiliki oleh ubi kayu budi daya, diantaranya *M. glaziovii* yang tahan cekaman penyakit mosaik ubi kayu yang disebabkan oleh virus. Selain itu, ada *M. esculenta* sub spp. *flabellifolia*, *M. peruviana*, dan *M. tristis* yang memiliki sifat unggul kaya nutrisi protein (CIAT, 2004). *M. crassisepala* dan *M. chlorostricta* rendah amilosa, sedangkan *M. walkerae* tahan daya simpan (*post-harvest physiological deterioration*, PPD). Di Amerika Selatan, walaupun petani memiliki akses yang lebih besar untuk pemanfaatan kerabat liar jenis *Manihot*, mereka kurang memanfaatkan karakter unggul dari jenis liar tersebut untuk perbaikan genetik ubi kayu. Sementara itu, negara-negara di Afrika, terutama diwakili oleh Institut Pertanian Tropis Internasional (IITA) di Nigeria, pemanfaatan kerabat liar ubi kayu lebih intensif dilakukan, terutama *M. glaziovii* untuk perbaikan genetik ubi kayu lokal yang bertujuan menghasilkan genotipe yang tahan terhadap virus mosaik Afrika (Hahn dkk., 1980).

2. Biodiversitas Ubi Kayu Koleksi LIPI

Seluruh ubi kayu koleksi Puslit Bioteknologi LIPI telah dikarakterisasi dan diperoleh informasi bahwa biodiversitas ubi kayu Puslit Bioteknologi LIPI cukup beragam diamati, baik dari karakter morfologi maupun karakter agronomi. Variasi karakter morfologi yang paling banyak ditemukan, yaitu variasi warna pucuk, warna petiol, bentuk daun, warna daun, jumlah cuping daun, warna tulang daun, distribusi antosianin pada petiol, warna batang, warna kulit luar umbi, warna lapisan kortek umbi, dan warna umbi (Hartati, Aryaningrum, Wahyuni, Hartati, & Sudarmonowati, 2015, Gambar 3.1). Karakterisasi juga didukung oleh karakterisasi molekular untuk melihat keragaman koleksi plasma nutfah ubi kayu pada level molekular (Gambar 3.2). Penggabungan karakter morfologi dan karakter molekular sangat penting karena dapat digunakan untuk mendapatkan informasi genetik yang terkait dengan sifat unggul tertentu, seperti marka molekular terkait amilosa tinggi (Sudarmonowati, Hartati, Hartati, & Sukmarini, 2007).

Evaluasi karakter agronomi dan kandungan nutrisi telah dilakukan pada koleksi ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI, di antaranya kandungan pati, amilosa,

amilopektin, beta karoten, uji daya simpan, daya hasil, dan karakter genjah. Persentase pati terbesar yang dihasilkan oleh ubi kayu koleksi sekitar 30,76%, yaitu pada Adira-1 (Tabel 3.2). Genotipe ubi kayu memiliki kandungan amilosa dan amilopektin yang beragam. Hasil analisis pati ubi kayu yang telah dilakukan menunjukkan bahwa genotipe Iding memiliki kandungan amilosa yang paling tinggi dari keseluruhan koleksi, sedangkan Selengen memiliki kandungan amilosa terendah (Tabel 3.3). Informasi karakter agronomi ini sangat penting, terutama untuk industri adesif, kertas, dan makanan. Kadar beta karoten ubi kayu koleksi LIPI bervariasi dari 0,011–0,023 ppm, sedangkan kadar Fe bervariasi dari 60,7–133,07 ppm, dan Zn dari 6,63–18,95 ppm (Tabel 3.4).

Tabel 3.2 Daya Hasil dan Persentase Pati pada Ubi Kayu Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI

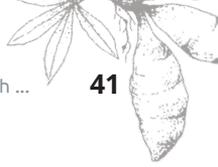
Genotipe	Berat basah umbi (kg)	Berat basah umbi kupas (kg)	Berat pati (kg)	Persentase Pati	Persentase Protein
Adira-4	76	93,5	15	19,74	1,19
Adira-1	52	137,4	16	30,76	2,06
FEC 25	32	58,6	9	28,13	2,19
Mentega 1	26	53,9	5,6	21,54	1,5
Mentega 2	39	76,5	10	25,64	2,6
Roti	27	51,3	5	18,52	2,13
Ubi kuning	19	44,3	4,8	25,26	2,5

Sumber: Hartati, Fitriani, Supatmi, dan Sudarmonowati (2012)

Tabel 3.3 Variasi Kandungan Amilosa dan Amilopektin pada Ubi Kayu Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI

Genotipe	Persentase Amilosa	Persentase Amilopektin	Peringkat Amilosa
Tim-tim 40	25,522	74,478	Rendah
Ubi kayu Tali	26,005	73,999	Rendah
BIC I	26,669	73,331	Rendah
Adira-4	27,619	72,381	Rendah
Roti	28,435	71,565	Sedang
Adira I	28,531	71,469	Sedang
Iding	32,528	67,472	Sangat tinggi

Sumber: Hartati dkk. (2003)



1.1 DARUL HIDAYAH



1.2 GAJAH



1.3 MENTI



1.4 Adira-1



1.5 GEBANG



1.6 IDING



1.7 KRISTAL MERAH



1.8 Adira-4



1.9 APUY



1.10 MENTEGA 2



1.11 MANGGU



1.12 UBI KUNING

Sumber: Lab. GMMJBT (2017)

Gambar 3.1 Variasi Warna Kulit Luar dan Bentuk Umbi Beberapa Genotipe Ubi Kayu Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI

Tabel 3.4 Kandungan Beta Karoten, Fe dan Zn Beberapa Genotipe Ubi Kayu Kuning Koleksi Puslit Bioteknologi LIPI

Genotipe ubi kayu	Kadar Beta Karoten (ppm)	Kandungan Fe (ppm)	Konsentrasi Zn (ppm)
Adira-1	0,023	60,7	8,5
Adira-4	0,009	67,47	10,79
FEC 25	0,022	68,9	6,63
Mentega 1	0,018	64,78	11,03
Mentega 2	0,026	133,07	18,95
Roti	0,011	34,46	11,18
Ubi Kuning	0,019	61,2	13,1

Sumber: Hartati dkk. (2012)

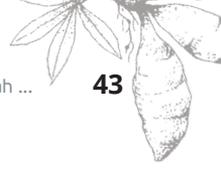
F. PEMELIHARAAN KOLEKSI UBI KAYU DI LIPI

Pemeliharaan koleksi ubi kayu di lapang dan *in vitro* dilakukan secara rutin untuk merejuvenasi tanaman dan menjamin kelestarian setiap genotipe. Untuk itu, perlu dipastikan tersedianya alokasi dana rutin untuk pemeliharaan.

1. Koleksi Lapang

Koleksi ubi kayu di lapang merupakan metode konservasi ubi kayu yang umum dilakukan. Koleksi tanaman di lapang lebih menguntungkan jika dilihat dari aspek ketersediaan tanaman untuk evaluasi, karakterisasi, dan persilangan. Selain itu, koleksi lapang relatif lebih mudah dipelihara dan hanya memerlukan peralatan sederhana. Di kebun koleksi, tanaman dapat terus dipantau dan dievaluasi karakter-karakter unggulnya, mulai dari pertumbuhan, data morfologi tanaman, dan daya hasil. Data yang diperoleh secara rutin dapat digunakan sebagai data deskripsi genotipe dan dipakai sebagai acuan untuk identifikasi jenis baru hasil eksplorasi. Namun, koleksi di lapang berpotensi besar untuk terjadinya kehilangan plasma nutfah ubi kayu yang disebabkan oleh cuaca ekstrem, serangan hama dan penyakit serta pencurian tanaman.

Luasan koleksi di lapang tidak ditentukan dan bergantung pada jumlah genotipe dan luas lahan kebun koleksi. Jumlah minimal tanaman tiap genotipe yang dianjurkan untuk ditanam di kebun koleksi sebanyak tiga tanaman untuk menghindari kematian dan kehilangan. Peta tanaman koleksi di lapang sangat penting dan karena dapat menjadi acuan jika label tanaman rusak di lapang karena pengaruh cuaca atau hilang. Koleksi di lapang harus dilengkapi dengan



label identifikasi dan penomoran yang jelas (Gambar 3.2). Jika jumlah koleksi ubi kayu sangat besar, penomoran dan pemberian identitas ubi kayu dapat dilengkapi dengan huruf dan angka, seperti nama/nomor aksesori.

Penanaman ubi kayu koleksi di Puslit Bioteknologi LIPI menggunakan teknik umum dengan menanam stek ubi kayu di tanah yang telah diolah dan diberi pupuk. Kebutuhan pupuk untuk koleksi ubi kayu tidak terlalu besar karena target penanamannya hanya untuk pemeliharaan stek batang ubi kayu, bukan untuk mendapatkan hasil berupa umbi. Stek dapat langsung ditancapkan ke tanah dengan jarak tanam stek koleksi 1 m x 1 m atau 0,8 m x 0,8 m. Umumnya jumlah stek yang ditanam adalah sepuluh stek. Setelah dua bulan penanaman, tanah dibumbun dan secara berkala lahan dibersihkan dari rumput liar atau gulma. Umur tanaman ubi kayu umumnya 12 bulan sehingga proses rejuvinasi dilakukan setelah 12 bulan. Namun, rejuvinasi tanaman dapat dilakukan lebih dari 12 bulan atau sampai bertahun-tahun dengan terus memelihara tanaman koleksi di lapang dan memastikan keberadaan setiap nomor koleksi. Kekurangan dari hal ini adalah kondisi tanaman ubi kayu yang dibiarkan bertahun-tahun di lapang akan kurang baik dan mudah terserang hama sehingga dapat berdampak pada kualitas stek yang dihasilkan.

Lama koleksi ubi kayu dipelihara di lapang yang direkomendasikan maksimal 24 bulan, setelah itu tanaman harus segera direjuvinasi. Tanaman yang dipelihara hingga dua tahun harus dipangkas untuk menumbuhkan tunas atau batang yang baru. Satu hal yang perlu diperhatikan untuk mencegah kehilangan koleksi pada saat rejuvinasi adalah koleksi yang lama sebaiknya dibiarkan selama 6 bulan sehingga stek ubi kayu yang tidak tumbuh bisa digantikan dengan material tanaman yang masih tersedia. Alternatif pemeliharaan koleksi lapang yang dipublikasi oleh CIAT mungkin bisa jadi pilihan. CIAT menanam koleksi ubi kayu di pot kecil sehingga pertumbuhan akar dan batang ubi kayu lebih lambat (efek bonsai). Selain itu, luas lahan yang diperlukan juga relatif sedikit dan serangan penyakit dapat dikontrol. Namun, tentu saja metode ini ada kelemahannya, termasuk di antaranya batang ubi kayu yang ditanam di pot umumnya kecil dan lemah sehingga kurang baik digunakan sebagai sumber bibit di lapang.

Penyediaan stek ubi kayu untuk kegiatan rejuvinasi dapat dilakukan dengan menyimpan batang dan membuang semua daun sebelum ditanam kembali. Setiap batang ubi kayu diberi label dengan hati-hati agar tidak ada data yang hilang atau kesalahan pelabelan. Batang tanaman yang akan menjadi sumber stek dapat

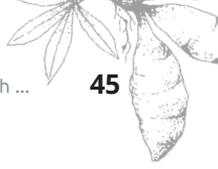
disimpan dengan menegakkan batang di tempat yang teduh dengan kelembaban yang cukup atau dengan meletakkannya dengan posisi mendatar di tanah. Jika diperlukan batang ubi kayu dapat disiram secara berkala untuk menghindari kekeringan.

2. Koleksi *in vitro*

Koleksi *in vitro* ubi kayu sangat berguna sebagai cadangan dan duplikasi koleksi di lapang. Puslit Bioteknologi LIPI melakukan koleksi *in vitro* untuk ubi kayu yang telah terseleksi dan memiliki karakter agronomi unggul. Salah satu manfaat koleksi secara *in vitro* adalah bebas hama dan penyakit sehingga lebih aman untuk didistribusikan. Koleksi *in vitro* dikembangkan melalui penanaman ubi kayu dalam bentuk kultur jaringan (Gambar 3.3). Prosedur kultur jaringan untuk pemeliharaan koleksi ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI dilakukan dengan menanam tunas atau pucuk ubi kayu pada media Murashige dan Skoog (MS) tanpa penambahan ZPT, dan disubkultur maksimal setiap 3 bulan sekali.

Metode kultur *in vitro* dapat digunakan untuk penyimpanan biodiversitas plasma nutfah ubi kayu dengan tujuan penyimpanan jangka panjang. Kultur jaringan ubi kayu dapat dikondisikan dengan teknik pertumbuhan lambat (*slow growth*) agar menghemat biaya pemeliharaan ataupun subkultur. Pertumbuhan lambat pada prinsipnya adalah menyediakan lingkungan dan media tumbuh yang paling minimal sehingga laju metabolisme *in vitro* tanaman berlangsung sangat lambat. Manipulasi lingkungan dan media tumbuh dapat dilakukan dengan menurunkan suhu di ruang kultur (15–20°C), menurunkan intensitas cahaya, dan menurunkan pemakaian sumber karbohidrat dan unsur hara mineral menjadi setengah atau seperempat dari dosis awal. Selain manipulasi lingkungan dan media tumbuh, pertumbuhan lambat juga dapat dilakukan dengan menambahkan manitol atau sorbitol (senyawa osmotikum), atau zat penghambat pertumbuhan, seperti *Abcisic Acid* (ABA) dan *ancymidol*.

Tanaman koleksi *in vitro* sangat rentan terhadap perubahan genetik sehingga tanaman harus secara rutin diamati dan dievaluasi untuk menjamin tidak terjadinya hal tersebut setelah penyimpanan. Proses subkultur berulang-ulang memungkinkan terjadinya mutasi pada kultur *in vitro*. Mutasi dapat dikurangi dengan cara pemilihan sumber tanaman yang akan digunakan pada koleksi *in vitro*, yaitu jaringan tanaman yang telah terdiferensiasi, antara lain embrio, tunas, planlet, atau pucuk meristem. Kestabilan genetik ubi kayu *in vitro* dapat dicek menggunakan beberapa sistem penanda molekuler, di antaranya RAPD, AFLP, ISSR, dan SNP.



Sumber: Lab GMMJBT (2017)

Gambar 3.2 Koleksi Ubi Kayu di Lapang dengan Pelabelan

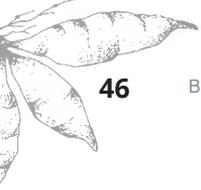


Sumber: Lab GMMJBT (2017)

Gambar 3.3 Tanaman Ubi Kayu *in vitro* pada Media Murashige dan Skoog (MS)

G. PENINGKATAN JUMLAH DAN PENGAYAAN KOLEKSI UBI KAYU

Sampai sejauh ini, koleksi ubi kayu pada pusat-pusat konservasi belum mewakili seluruh keragaman atau biodiversitas ubi kayu yang ada di alam sehingga upaya koleksi dan pengayaan biodiversitas plasma nutfah ubi kayu di bank-bank gen perlu senantiasa dilakukan. Pengayaan atau penambahan koleksi plasma nutfah ubi kayu dapat dilakukan melalui eksplorasi, ekspedisi, koleksi, identifikasi sumber daya genetik, introduksi, pertukaran, dan inventarisasi Variasi fenotipik sering kali menyebabkan terjadinya kesalahan yang dilakukan oleh kolektor ketika penamaan kultivar pada tiap daerah berbeda, dan ketika dua aksesori diduga memiliki kesamaan sehingga penting untuk dilakukan karakterisasi.

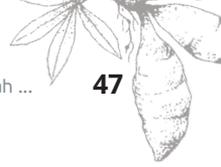


Pengayaan koleksi ubi kayu dapat dilakukan seperti strategi yang dikembangkan oleh Thailand. Koleksi ubi kayu genotipe lokal dilakukan dari berbagai lahan pertanian ubi kayu untuk memperkaya *gene pool* ubi kayu hasil pemuliaan. Aplikasi bibit unggul dalam jangka waktu yang lama di Thailand telah mengurangi keragaman *gene pool* ubi kayu hasil pemuliaan, yang tersedia hanya 11 genotipe lokal dengan jarak genetik yang dekat. Keragaman genetik ubi kayu di Thailand berada di bawah negara lain di Asia, misalnya Vietnam, Malaysia, Indonesia, dan India. Hal ini mendorong pemerintah Thailand melakukan ratusan koleksi ubi kayu dari 80 lahan pertanian di delapan provinsi dan menggunakan sistem seleksi berbasis marka molekuler untuk memperoleh sekitar 50 genotipe lokal untuk memperkaya koleksi ubi kayu yang sudah ada (Wangsomnuk, Ruttawat, & Wongtiem, 2013).

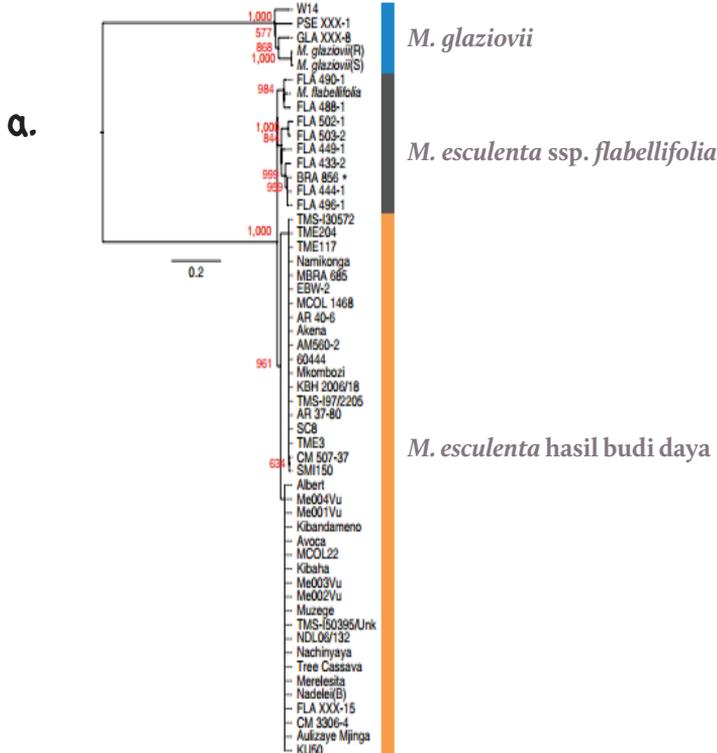
Salah satu sumber plasma nutfah penting lain yang dapat dimanfaatkan untuk pengayaan koleksi dan pemuliaan tanaman adalah dari jenis kerabat liar ubi kayu. Informasi mengenai keberadaan kerabat liar ubi kayu di Indonesia masih sangat terbatas. Kerabat liar ubi kayu yang umum dikenal di Indonesia adalah dari jenis karet (*Manihot glaziovii*), sedangkan keberadaan jenis lainnya belum diketahui. Ubi kayu karet dan kerabat liarnya belum menjadi target koleksi maupun konservasi di Indonesia sehingga belum ada informasi mengenai budi dayanya dan menyulitkan kegiatan pemeliharaan kerabat liar tersebut.

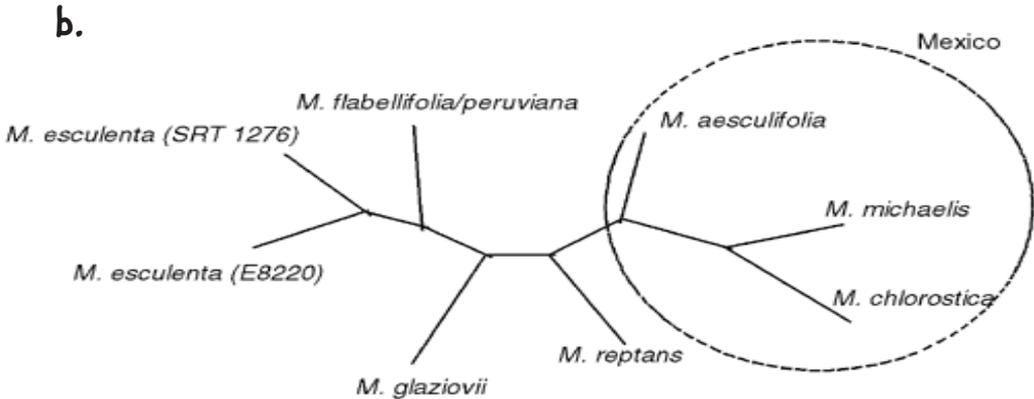
Pusat biodiversitas ubi kayu yang utama di dunia, termasuk untuk kerabat liarnya, adalah Brasil dan Meksiko, sedangkan Asia dan Afrika menjadi pusat biodiversitas kedua (Nassar, 2000). Berbeda dengan ubi kayu yang telah dibudidayakan, kerabat liar ubi kayu umumnya memiliki getah dan kandungan *cyanogenic glucoside*, umbi yang sedikit, dan memiliki bulu/rambut. Dari 98 spesies *Manihot* yang ada di dunia (Rogers & Appan, 1973), hanya satu spesies, dikenal di Indonesia, yaitu *M. glaziovii* atau singkong karet.

Spesies ubi kayu yang banyak dibudidayakan saat ini adalah *Manihot esculenta*. *M. esculenta* ssp. *flabellifolia* merupakan tetua atau nenek moyang ubi kayu *M. esculenta* yang kita kenal (Nassar, 2000; Colombo, Second, & Charrier, 2000; Bredeson dkk., 2016). Hasil analisis klustering berdasarkan data genetik menunjukkan bahwa ubi kayu *M. esculenta* memiliki kemiripan genetik yang tinggi seperti pada *M. esculenta* ssp. *flabellifolia* (Bredeson dkk., 2016; Gambar 3.4) sehingga mereka dapat disilangkan dengan mudah. Selain itu, kerabat liar ubi kayu yang lebih dekat dengan *M. esculenta* secara genetik adalah *M. glaziovii* (Colombo dkk., 2000).



Persilangan antarspesies ubi kayu dapat digunakan untuk memperkaya basis genetik ubi kayu. Persilangan interspesifik telah dilakukan dan dilaporkan oleh beberapa peneliti. Hahn, Bai, dan Asiedu (1990) melaporkan telah melakukan persilangan interspesifik antara ubi kayu *M. esculenta* dan *M. Glaziovii*. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh dua jenis polen, yaitu jenis n dan $2n$ serta menghasilkan progeni yang triploid ataupun tetraploid. Selain itu, Nassar (2000) melaporkan bahwa triploid ubi kayu yang dihasilkan dari hasil persilangan *M. esculenta* dengan *M. pseudoglaziovii* memiliki daya hasil yang tinggi. Persilangan interspesifik telah terbukti menjadi metode yang baik untuk menghasilkan tipe ubi kayu poliploidi. Sifat poliploidi ditujukan untuk meningkatkan daya hasil tanaman ubi kayu baru. Jika gen yang mengontrol produktivitas ubi kayu dipengaruhi oleh banyak gen (poligen) dengan sifat aditif maka ubi kayu triploid yang dihasilkan akan lebih produktif dibandingkan tetuanya. Akan tetapi, hibridisasi ini juga memiliki kelemahan, yaitu meningkatkan heterosis atau heterogenitas pada tanaman turunan (*vigourous heterotic*) dan menghilangkan salah satu karakter unggul tetuanya, seperti kemampuan genetik tanaman untuk beradaptasi (Nassar, 2000).





Ket: a) antara Ubi Kayu Hasil Budi Daya dengan Kerabat Liarnya dan b) Antarspesies Ubi Kayu

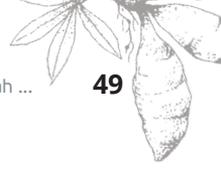
Sumber: a) Colombo dkk. (2000) dan b) Bredeson dkk. (2016).

Gambar 3.4 Klasterisasi Ubi Kayu *Manihot esculenta*

Di Indonesia, pemanfaatan kerabat liar ubi kayu masih terbatas pada pemanfaatan untuk *grafting* atau penyambungan batang dan untuk pakan ternak. Kerabat liar ubi kayu yang digunakan untuk *grafting* adalah ubi kayu karet sebagai batang atas dan disambungkan ke batang bawah genotipe ubi kayu lain untuk produksi umbi. *Grafting* ubi kayu ini telah dilakukan untuk mendukung peningkatan produksi ubi kayu. Beberapa jenis ubi kayu yang memiliki daya hasil cukup baik disambung dengan teknik ini, seperti pada genotipe Menti. Genotipe lokal Menti koleksi Puslit Bioteknologi yang telah di-*grafting* dengan ubi kayu karet memiliki daya hasil yang tertinggi dibandingkan Menti tanpa *grafting* (Hartati & N. S. Hartati, 2016). Manfaat lain dari kerabat liar adalah sebagai sumber genetik untuk ketahanan terhadap hama dan penyakit dalam kegiatan pemuliaan. Kultivar ubi kayu yang telah dibudidayakan umumnya tidak memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit, sedangkan pada beberapa kerabat liar ubi kayu terdapat sumber ketahanan pada penyakit, termasuk di antaranya ketahanan pada *Cassava Mosaic Virus* (CMV). Gen ketahanan dari kerabat liar ubi kayu dapat diintroduksi pada ubi kayu budi daya melalui pemuliaan interspesifik atau antarspesies.

H. KARAKTERISASI KOLEKSI UBI KAYU

Karakterisasi ubi kayu, baik secara morfologi maupun molekuler, digunakan dengan tujuan mendapatkan gambaran tanaman yang jelas secara fenotipik dan genotipik, mengidentifikasi jika terjadi proses duplikasi, memvalidasi perwakilan



koleksi dari koleksi inti dan koleksi yang belum dikatalogkan serta memungkinkan studi kekerabatan, hubungan karakter morfologi, dan hubungan adaptasi (Beebe, Iglesias, & Ariel, 1999).

1. Karakter Morfologi yang Penting dalam Evaluasi Koleksi dan Koleksi Inti Ubi Kayu

Karakterisasi morfologi sumber daya genetik ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI dilakukan dengan menggunakan daftar deskriptor yang telah baku dan dipublikasi. Karakterisasi bertujuan untuk memudahkan proses seleksi, menghilangkan duplikasi, meningkatkan efisiensi manajemen dan penggunaan sumber daya genetik ubi kayu serta memudahkan identifikasi jenis baru.

Deskriptor baku untuk ubi kayu telah dipublikasikan dengan beberapa perbedaan pada jumlah karakter pengamatan yang berbeda-beda, seperti pada Mazette, Blumer, dan Veasey (2013) yang melakukan karakterisasi morfologi berdasarkan 12 karakter morfologi; Soyode dan Oyetunji (2009) dengan 16 karakter; Afonso dkk. (2014) dengan 35 karakter; serta Fukuda, Guevara, Kawuki, dan Ferguson (2010) dengan 50 karakter. Karakterisasi morfologi ubi kayu di LIPI dilakukan menggunakan karakter morfologi dalam deskriptor ubi kayu Fukuda dkk. (2010) dan deskriptor Departemen Pertanian (2007), terutama untuk karakterisasi daun dan batang. Penggunaan karakter morfologi yang terlalu banyak dan detail dapat menimbulkan efek yang berlebihan (*redundant*) pada saat identifikasi jenis baru (Afonso dkk., 2014). Oleh karena itu, karakter untuk deskriptor perlu dipilih secara tepat dan harus stabil. Penggunaan satu jenis deskriptor dapat mengurangi kesalahan dalam pengumpulan data dan meningkatkan taraf kepercayaan pada data atau hasil (Pereira, Vencovsky, & Cruz, 1992; Afonso dkk., 2014).

Deskriptor yang dibuat oleh Fukuda dkk. (2010) menggunakan setidaknya 50 karakter morfologi agronomi ubi kayu yang dapat dijadikan acuan dalam karakterisasi jenis baru. Beberapa karakter penting disajikan pada Tabel 3.5. Di antara deskriptor-deskriptor morfologi yang ada, setidaknya terdapat karakter yang dapat dijadikan sebagai standar acuan dalam identifikasi kultivar ubi kayu, yaitu sebagai berikut.

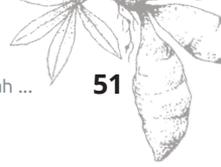
- a. Menurut Alves (2002): warna daun apikal, rambut daun apikal, bentuk cuping bagian tengah daun, warna petiol, warna korteks batang, warna eksternal batang, keberadaan pedunkulus akar, panjang filotaksis, warna eksternal akar, warna korteks akar, warna parenkim akar, tekstur epidermis akar, dan perbungaan.

- b. Menurut Fukuda dkk. (2010): warna daun apikal, rambut daun apikal, retensi daun, bentuk cuping bagian tengah daun, warna petiol, warna daun, jumlah cuping, panjang petiol dan cuping daun, warna urat daun, pembungaan, orientasi petiol, warna bagian luar batang, jarak antar *leaf scars*, warna epidermis batang, bentuk batang, percabangan, jumlah umbi, bentuk leher umbi, kontriksi akar, bentuk umbi, warna korteks umbi, warna kulit terluar umbi, kemudahan dikupas, warna daging umbi, tekstur kulit epidermis, ketebalan korteks, *dry matter content*, *harvest index*, kandungan HCN, PPD, dan berat pati.
- c. Menurut Afonso dkk. (2014): warna batang, bentuk akar, warna petiol, warna pucuk, bentuk cuping daun, percabangan, warna korteks akar umbi, warna kulit terluar umbi, warna ujung cabang, panjang akar, jumlah akar umbi per tanaman, kandungan pati, HCN, jarak antar *leaf scars*, jumlah cuping daun, panjang cuping daun bagian tengah, dan panjang petiol.

Selain karakter morfologi yang terlihat secara kasat mata, karakterisasi morfologi juga dapat dilakukan pada tingkatan mikroskopis, yaitu morfologi dari molekul kimia (fisikokimia), termasuk karakter morfologi granul pati, yang dapat berupa ukuran, distribusi, bentuk, dan warna (Tabel 3.6). Karakter morfologi granul pati akan selaras dengan karakter kimia umbi, seperti kandungan pati dan molekul pati (Lindeboom, Chang, dan Tyler, 2004; Zhu, 2015).

Tabel 3.5 Beberapa Karakter dan Skor Karakter Acuan Berdasarkan Fukuda dkk. (2010)

Kode Deskriptor	Karakter	Skor dan Sifat Karakter
1	Warna Apikal Daun	(1) Hijau Muda
		(2) Hijau Tua
		(3) Ungu Kehijauan
		(4) Ungu
2	Rambut Apikal Daun	(0) Tidak ada
		(1) Ada
5	Warna Petiol	(1) Hijau Kekuningan
		(2) Hijau
		(3) Hijau Kemerahan
		(4) Merah Kehijauan
		(5) Merah
		(6) Ungu



Kode Deskriptor	Karakter	Skor dan Sifat Karakter
18	Warna korteks batang	(1) Oranye (2) Hijau Muda (3) Hijau Tua
19	Warna epidermis batang	(1) Krem (2) Coklat Muda (3) Oranye
20	Warna tampilan luar batang	(1) Oranye (2) Hijau kekuningan (3) <i>Golden</i> (4) Coklat Muda (5) <i>Silver</i> (6) Kelabu (7) Coklat Tua
37	Konstriksi akar	(1) Tidak ada atau sedikit (2) Beberapa (3) Banyak
38	Bentuk akar	(1) Kerucut (2) Kerucut-Silindrikal (3) Silindrikal (4) Tidak Beraturan
39	Warna luar akar penyimpanan	(1) Putih (2) Kuning (3) Coklat Muda (4) Coklat Tua
40	Warna parenkim akar	(1) Putih (2) Krem (3) Kuning (4) Oranye

Kode Deskriptor	Karakter	Skor dan Sifat Karakter
41	Warna korteks akar	(1) Putih
		(2) Kuning
		(3) Merah Muda
		(4) Ungu
42	Kemudahan pengupasan korteks	(1) Mudah
		(2) Sulit
43	Tekstur epidermis akar	(3) Halus
		(5) Intermediat
		(7) Kasar

Tabel 3.6. Karakter untuk Karakterisasi Pati Ubi Kayu

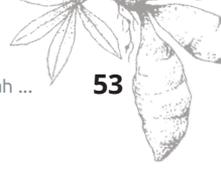
Karakter	Sifat
Warna	Merah Biru
Ukuran diameter pati	Sangat kecil (<1um) Kecil (1–10 um) Medium (10–25 um) Besar (>25um)

Sumber: Lindeboom dkk. (2004)

2. Karakterisasi dengan Marka Molekuler

Karakterisasi tanaman berdasarkan deskriptor morfologi yang baku penting, tetapi penggunaan deskriptor morfologi akan kurang efektif untuk mengevaluasi keragaman genetik koleksi plasma nutfah ubi kayu yang besar (Benesi, Labuschagne, Herselman, & Mahungu, 2010; Kawuki dkk., 2011). Aplikasi marka molekuler dapat memfasilitasi pengukuran keragaman genetik berdasarkan sejumlah besar lokus netral, tanpa pengaruh lingkungan dan dengan kekuatan diskriminasi yang tinggi. Aplikasi marka molekuler sangat penting pada studi filogenetika tanaman, studi evolusi, domestikasi, ekologi, dan pemetaan gen.

Keberhasilan aplikasi marka molekuler sangat tergantung pada teknologi genomik yang tersedia dan pemilihan sistem marka molekuler yang *reliable* sangat penting untuk meningkatkan akurasi sistem *phenotyping* sehingga dapat membedakan antarindividu tanaman. Pemanfaatan marka DNA untuk mempelajari



biodiversitas ubi kayu sudah banyak dilakukan dan beberapa sistem marka DNA yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi keragaman koleksi ubi kayu adalah *Random Amplification of Polymorphic DNA* (RAPD), *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP), *Inter Simple Sequence Repeats* (ISSR), dan *Single Nucleotide Polymorphism* (SNP). Setelah RAPD, teknik AFLP muncul, dan pada dekade ini aplikasi ISSR menggantikan RAPD dan AFLP.

a. *Random Amplification of Polymorphic DNA* (RAPD)

RAPD digunakan pada generasi awal sistem marka DNA untuk mengidentifikasi keragaman genetik dan tingkat polimorfisme ubi kayu serta menentukan jarak genetik antaraksesi ubi kayu. Primer yang digunakan adalah satu utas primer yang telah didesain untuk mengenali secara acak sekuen DNA genom. Sistem ini cukup mampu menganalisis jarak genetik untuk mengidentifikasi karakter ubi kayu yang diinginkan (Marmey, Beeching Hamon, & Charrier, 1993; Colombo dkk., 2000; Carvalho dan Schaal, 2001; Zacarias, Botha, Labuschagne, & Benesi, 2004). Hasil RAPD ubi kayu adalah berupa keragaman pita DNA dan berdasarkan pola pita tersebut ubi kayu dapat diidentifikasi. Walaupun saat ini teknik RAPD sudah tidak banyak lagi digunakan, teknik ini masih dapat dipakai karena cukup sederhana dan memberikan data yang cukup untuk melihat keragaman genetik ubi kayu. Kelemahan teknik RAPD adalah pada keterulangan hasil. Hasil yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh konsentrasi DNA, temperatur *annealing* dan kondisi PCR, konsentrasi *taq polymerase*, dan komposisi reaksi *mix* PCR. Sudarmonowati, N. S. Hartati, Hartati, dan Sukmarini, (2007) menggunakan marka RAPD dan AFLP untuk mengidentifikasi biodiversitas koleksi ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI dan mengaplikasikannya untuk mengidentifikasi marka yang terkait dengan kandungan amilosa pada 71 genotipe ubi kayu.

b. *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP)

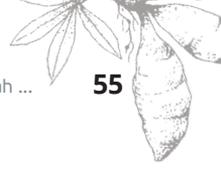
Sistem marker AFLP sangat populer dan banyak diaplikasikan, terutama untuk analisis hubungan kekerabatan ubi kayu, identifikasi *quantitative trait loci* (QTL), dan pemetaan gen. Keuntungan menggunakan sistem marker ini adalah banyaknya lokus gen yang dapat dievaluasi dalam sekali amplifikasi, lebih terpercaya, dan dapat mencakup genome yang lebih luas. Fregene, Bernal, Duque, Dixon, dan Tohme (2000) menggunakan marker AFLP untuk menganalisis variasi ketahanan genotipe lokal dan *elite line* koleksi ubi kayu

di Afrika dan Amerika latin terhadap penyakit *cassava mosaic disease* (CMD). Fregene dkk. (2000) melaporkan bahwa ubi kayu Afrika lebih tahan terhadap CMD dibandingkan ubi kayu dari Amerika latin, dan secara genetik berbeda dengan yang rentan. Hasil AFLP yang diperoleh tidak hanya menunjukkan variasi ketahanan, tetapi juga adanya duplikasi pada koleksi ubi kayu di Afrika. Selain itu, penelitian Fregene dkk. (2000) juga menemukan fragmen unik AFLP yang hanya terdapat pada ubi kayu dari Afrika yang terkait dengan karakter percabangan ubi kayu berdasarkan pemetaan QTL. Colombo dkk. (2000) mengevaluasi jarak genetik koleksi ubi kayu dengan kerabat liarnya dari spesies *M. flabellifolia* dan *M. peruviana* berdasarkan marker AFLP. Secara genetik ternyata spesies *M. flabellifolia* dan *M. peruviana* memiliki derajat kesamaan yang tinggi berdasarkan *Jaccard* indeks, sedangkan jarak genetik kedua spesies tersebut dengan ubi kayu koleksi adalah 0,59.

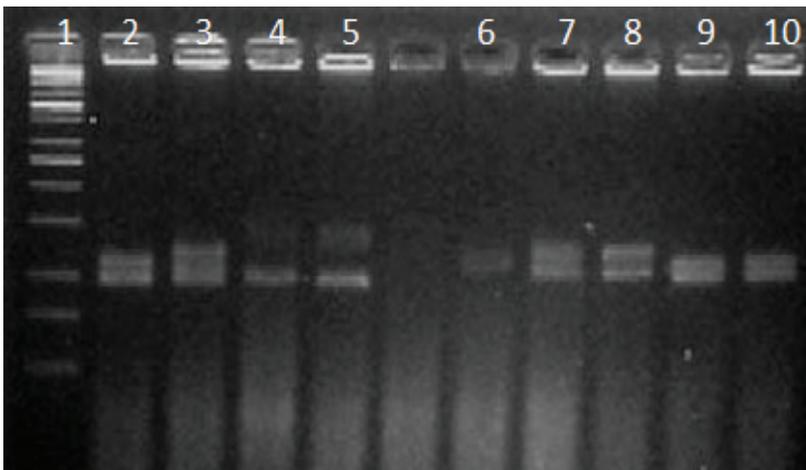
c. *Inter Simple Sequence Repeats* (ISSR)

Marka ISSR atau mikrosatelit merupakan salah satu marka DNA yang sangat informatif dan menjanjikan, digunakan untuk mengevaluasi biodiversitas ubi kayu karena jumlahnya melimpah pada tanaman, menunjukkan kodominan multi alel, dan polimorfisme yang sangat tinggi (Ribeiro, Carvalho, Santos, & Antonio, 2011). Tingkat polimorfik lokus ISSR besar, dengan jumlah alel bervariasi dari empat hingga 21, sehingga sangat potensial digunakan untuk evaluasi dan karakterisasi tanaman. Hasil ISSR beberapa ubi kayu koleksi LIPI menggunakan marka SSRY100 menunjukkan tingkat polimorfisme ubi kayu dengan jumlah alel bervariasi dari dua sampai empat (Gambar 3.5).

Hasil laporan beberapa penelitian terdahulu menggunakan *Simple Sequence Repeat* (SSR) menyebutkan bahwa jumlah marka SSR pada ubi kayu ada 186 (Mba dkk., 2001), 124 (Raji dkk., 2009), atau 2190 (Sraphet dkk., 2011). Ferguson dkk. (2012) menggunakan data jumlah marka SSR tersebut untuk melihat pengulangan dan menemukan bahwa jumlah SSR yang berhasil diidentifikasi tanpa pengulangan adalah sebesar 2146 marka. Artinya, ada peluang menggunakan 2146 jenis marka SSR untuk menganalisis keragaman genetik plasma nutfah ubi kayu. Ciri khas marka SSR, yaitu terdapat unit pengulangan basa nukleotida yang terdiri atas dua sampai sepuluh atau lebih tandem nukleotida.



Dari berbagai jenis marka yang telah dipublikasi, ISSR telah dimanfaatkan oleh beberapa peneliti untuk mengidentifikasi keragaman genetik ubi kayu, termasuk di antaranya adalah Mazette dkk. (2013) yang mengidentifikasi 14 lokus dengan menggunakan 14 primer mikrosatelit yang telah dikembangkan oleh beberapa peneliti sebelumnya, yaitu SSRY 8, SSRY 21, SSRY 27, SSRY 35, SSRY 40, SSRY 43, SSRY 141, SSRY 183, SSRY 185, SSRY 235, SSRY 324, GAGG 5, GA 12, dan GA 136. Wangsomnuk dkk. (2013) menggunakan ISSR untuk mengidentifikasi koleksi genotipe ubi kayu lokal dari berbagai lahan pertanian dan provinsi di Thailand untuk memperkaya koleksi inti ubi kayu hasil pemuliaan yang sudah ada. Identifikasi plasma nutfah ubi kayu koleksi Puslit Bioteknologi LIPI dilakukan untuk melengkapi data karakterisasi molekuler ubi kayu yang telah ada (Gambar 3.5). Aksesori Malra 1, Malra 2, Malra 3, Malra 5, Malra 7, dan Malra 9 merupakan genotipe lokal ubi kayu yang dikoleksi dari Maluku Tenggara. Sementara itu, Adira-1, Adira-4, dan Darul Hidayah merupakan genotipe ubi kayu varietas unggul nasional.



Keterangan gambar:

1. DNA Ladder
2. Aksesori Malra 1
3. Aksesori Malra 2
4. Aksesori Malra 3
5. Aksesori Malra 5
6. Aksesori Malra 7
7. Aksesori Malra 9
8. Adira-1
9. Adira-4
10. Darul Hidayah

Sumber: Lab. GMMJBT (2017)

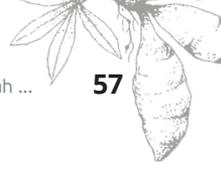
Gambar 3.5 Polimorfisme pita DNA dengan sistem marka ISSR pada sembilan genotipe ubi kayu koleksi Puslit Bioteknologi LIPI menggunakan primer SSRY100.

d. *Single Nucleotide Polymorphism* (SNP)

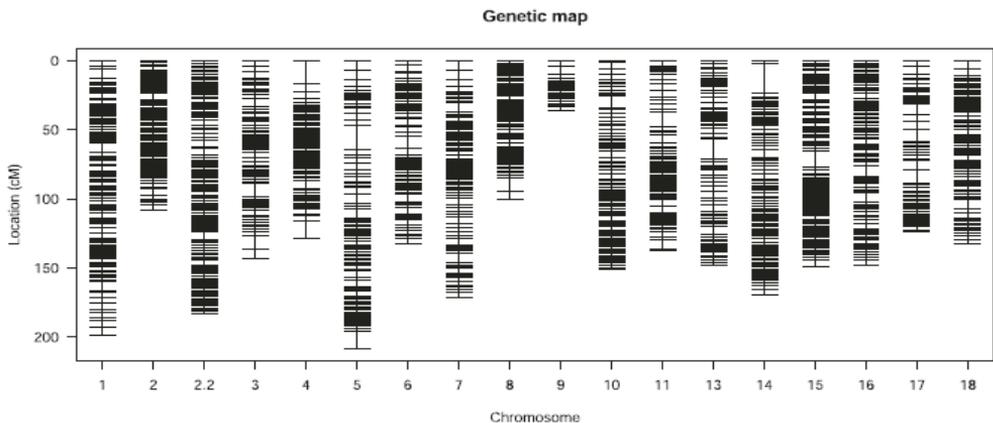
Kemajuan teknologi molekuler telah menjadikan SNP sebagai pilihan yang menarik untuk *high throughput genotyping* karena biaya analisis per satuan data relatif rendah; kelimpahan SNP yang tinggi di dalam genom, spesifisitas lokus, dan *codominance* marka SNP; dan tingkat kesalahan *genotyping* yang rendah. Kawuki, Ferguson, Labuschagne, Herselman, dan Kim (2009) menggunakan marka SNP untuk melihat keragaman genetik dari ubi kayu di lapangan, dan membandingkannya dengan hasil SSR. Identifikasi SNP dilakukan dengan melakukan sekuensing langsung amplikon dari varietas ubi kayu yang beragam. Sebanyak 26 SNP diidentifikasi dari sembilan gen, dan diperoleh perkiraan frekuensi satu SNP per 121 nukleotida. Keanekaragaman nukleotida berkisar antara $7,8 \times 10^{-4}$ sampai $5,6 \times 10^{-3}$. Uji Mantel menunjukkan interdependensi ($r = 0,219$; $P < 0,001$) antara data SNP dan SSR genotipe ubi kayu. SNP individu memiliki nilai PIC yang lebih rendah daripada SSR. Oleh karena itu, diperlukan jumlah SNP yang lebih besar untuk mencapai tingkat diskriminasi yang sama di antara genotipe yang diberikan oleh SSR.

Oliviera dkk. (2014b) telah melakukan evaluasi keragaman dan struktur genetik 1280 aksesi ubi kayu dari bank plasma nutfah ubi kayu terbesar untuk tujuan konservasi di Brasil (EMBRAPA), menggunakan marka SNP dengan pendekatan analisis diskriminan komponen utama (DAPC), analisis Bayesian, dan analisis varians molekuler (AMOVA). Hasil yang diperoleh menunjukkan keanekaragaman genetik (0,327) heterozigositas rata-rata (0,322) plasma nutfah ubi kayu yang tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh struktur genetik yang kompleks pada populasi ubi kayu yang diamati dari perolehan pembentukan 30 kluster oleh DAPC dan 34 kluster dengan analisis Bayesian, namun kedua metode ini tidak dapat memberikan data terkait alokasi beberapa aksesi terhadap kelompok tertentu. Analisis AMOVA menunjukkan tidak ada perbedaan yang jelas antara kelompok jika dilihat dari pola perkembangbiakan dan asal-usul geografis aksesi. Hubungan yang rendah antara keanekaragaman genetik dan asal geografis kemungkinan besar disebabkan oleh pertukaran plasma nutfah yang tinggi antarprodusen.

Pada 2012, Ferguson, Rabbi, dan Kim. (2012) juga mengidentifikasi 2.954 putatif SNP di mana 1.190 bisa digunakan untuk ubi kayu. Peta genetik dengan kepadatan tinggi, yaitu dengan lebih dari 10.000 penanda SNP pada 18 *linkage group* telah dibuat berdasarkan *genotyping by sequencing* (GBS) dari 100 aksesi



ubi kayu (Cassavabase.org, 2018). Soto dkk. (2015) telah mempublikasikan studi yang sangat komprehensif tentang integrasi pemetaan gen ubi kayu yang mengode *immunity-related proteins* (IRPs) menggunakan jumlah marker SNP yang sangat jenuh/tinggi dan mengkombinasikannya dengan informasi lokasi gen. Konstruksi peta genetik ubi kayu dengan jumlah marker yang padat telah dibuat menggunakan 2.141 marker SNP. Jarak antara marker dan gen target serta posisi lokus gen akan memengaruhi keandalan marker. Sebanyak 18 *linkage group* dengan ukuran 2,571 cM dan jarak antar marker 1,26 cM telah dipetakan (Gambar 3.6). Sebanyak 57,4% dari marker SNP yang telah dipetakan berada dalam *coding sequences*. Informasi ini telah digunakan lebih lanjut untuk memetakan dan menghubungkan marker SNP dengan lokus tunggal atau QTL yang terkait dengan karakter agronomi yang penting. Integrasi antara marker SNP dan peta lokasi genetik telah berhasil mengidentifikasi lokasi dari 569 IRP yang akan bermanfaat untuk tujuan pemuliaan ubi kayu.



Keterangan: LG1-LG18 adalah *linkage group* di ubi kayu, sedangkan garis-garis hitam adalah marka SNP. Jarak genetik diberikan dalam centi Morgan.

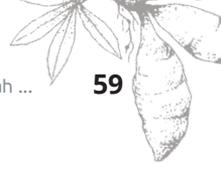
Sumber: Soto dkk. (2015)

Gambar 3.6 Peta genetik ubi kayu mengandung 2.141 marka SNP.

I. PEMANFAATAN MARKA MOLEKULAR UNTUK *MARKER ASSISTED SELECTION* (MAS) DAN *MARKER ASSISTED BREEDING* (MAB)

Aplikasi MAS akan efektif jika marka DNA atau molekular yang diperoleh terkait kuat dengan karakter fenotipe tanaman atau terkait dengan gen fungsional yang telah diketahui. Pada generasi terdahulu, untuk mengaplikasikan MAS perlu diseleksi gen tunggal atau *quantitative trait loci* (QTL) yang terkait dengan sifat target. Namun, pada beberapa tahun terakhir ini, keberadaan informasi genomik ubi kayu semakin lengkap dengan semakin bertambahnya informasi sekuens genetik ubi kayu yang bisa diakses melalui situs <http://www.phytozome.net/cassava> atau dalam Prochnik dkk. (2012) dan Ferguson dkk. (2012). Perkembangan teknologi *next-generation sequencing* (NGS), seperti 454 *pyrosequencing*, Solexa, and SOLiD), dan keberadaan sistem marker SNP serta berkembangnya cara *genotyping* baru dengan sekuensing, seperti *marker-assisted recurrent selection* (MARS) atau seleksi genomik, telah mempercepat identifikasi sifat kualitatif.

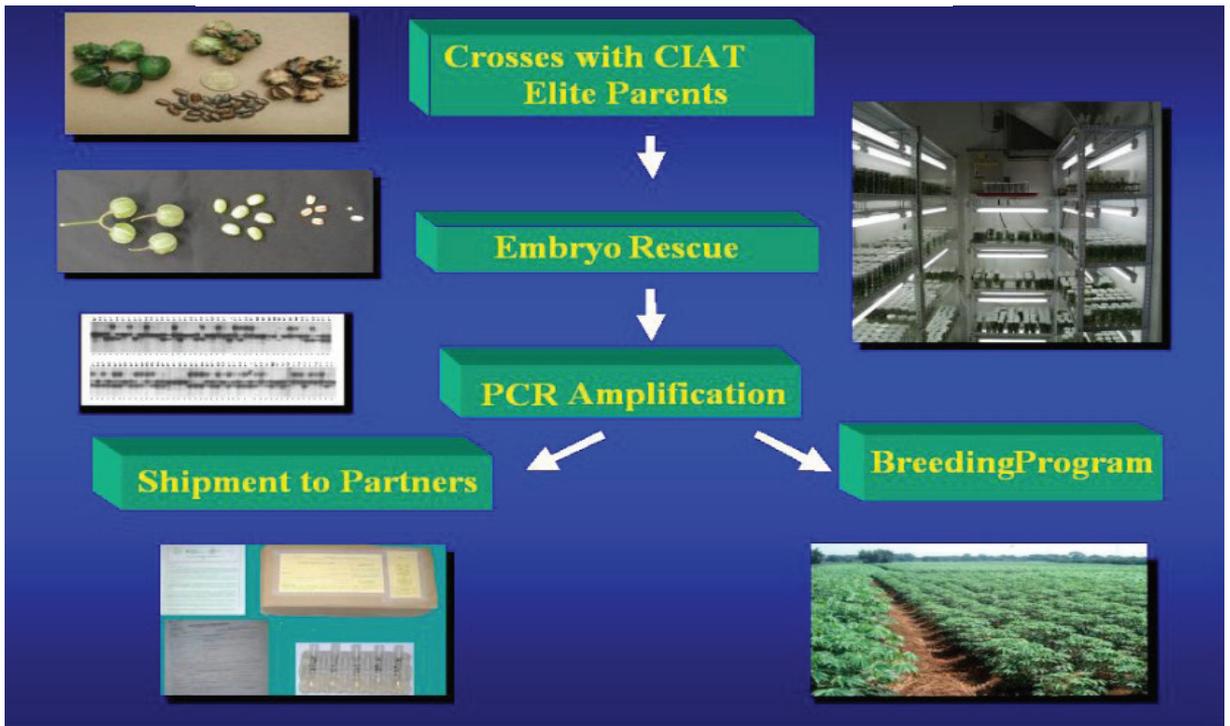
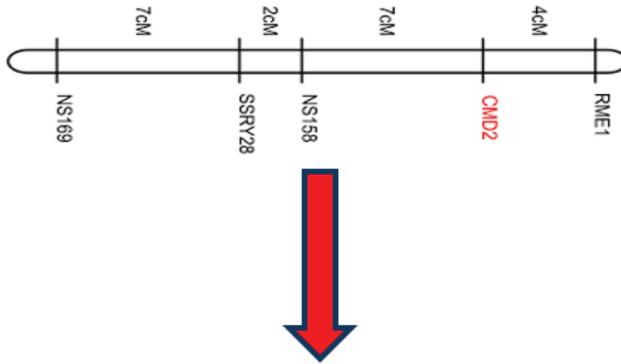
Keberhasilan aplikasi MAS dan MAB pada ubi kayu dapat dilihat dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan oleh CIAT dan IITA. CIAT dan IITA menggunakan marker yang terkait dengan gen tunggal *cassava mosaic disease* (CMD2) yang telah berhasil diisolasi dan diidentifikasi dari genotipe lokal ubi kayu asal Nigeria (TME3). Setidaknya ada dua marker yang terkait kuat dan sangat dekat dengan CMD2, yaitu RME 1 yang berjarak 4 cM dan NS158 yang berjarak 7 cM. CIAT dan IITA kemudian memverifikasi marker ini untuk MAS dan MAB pada program pemuliaan ubi kayu tahan CMD. Hasil analisis marker dengan SSR dan evaluasi fenotipe ubi kayu menunjukkan bahwa marker SSR, yaitu RME1 dan NS158, menunjukkan performa yang sangat baik untuk mengevaluasi ketahanan ubi kayu terhadap CMD dengan tingkat akurasi hingga 80%. Penting untuk diketahui, tetua yang digunakan untuk persilangan haruslah tetua yang memiliki perbedaan tingkat polimorfisme yang tinggi. Beberapa genotipe TME3 membawa marker CMD2 dari koleksi koleksi IITA, kemudian disilangkan dengan lima ubi kayu tetua koleksi CIAT. Sebanyak 1.100 progeni ubi kayu hasil persilangan diidentifikasi menggunakan marka SSR NS158 yang terkait dengan CMD2 dan dievaluasi ketahanannya terhadap CMD2 (Gambar 3.7). Klon-klon ubi kayu ini kemudian disebar ke berbagai tempat, terutama



ke berbagai daerah yang terpapar penyakit ubi kayu CMD. Klon yang membawa marker RME 1 dan NS158 menunjukkan performa yang cukup bagus di lapangan (Barrera dkk., 2007). Aplikasi MAS dengan cara yang sama dapat digunakan untuk perakitan tanaman ubi kayu unggul, termasuk ubi kayu tinggi beta karoten, rendah HCN dan tinggi kandungan *dry content* ubi kayu (Barrera dkk., 2007; Carmo, da Silva, Oliveira, & de Oliveira., 2015).

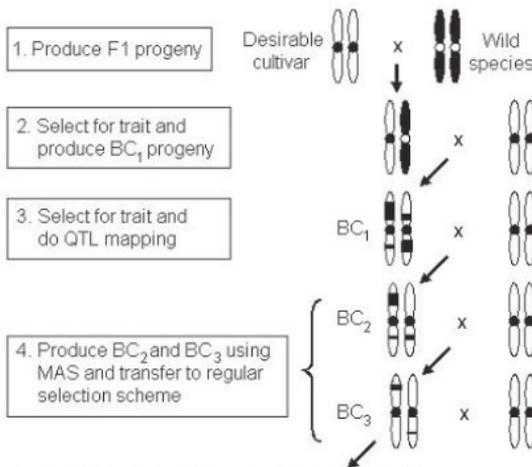
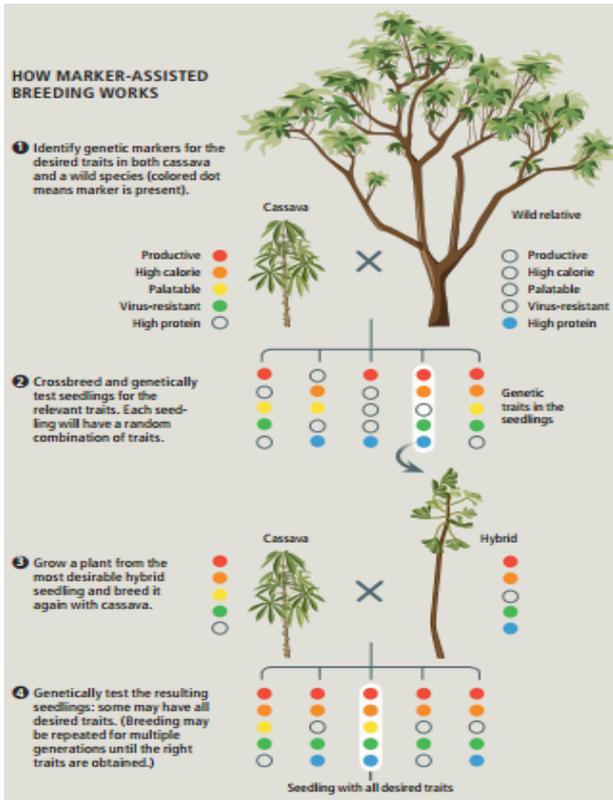
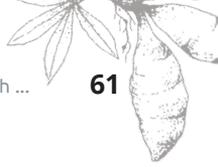
Aplikasi MAS juga bisa digunakan untuk mengintroduksi sifat unggul dari kerabat liar ubi kayu ke dalam ubi kayu budi daya, seperti ketahanan terhadap penyakit, tinggi protein, dan tahan daya simpan. Karakter agronomi penting ini dapat diintroduksi ke elite kultivar ubi kayu melalui beberapa tahapan. Identifikasi plasma nutfah ubi kayu dan kerabat liarnya yang memiliki karakter agronomi penting merupakan tahap awal yang harus dilakukan. Identifikasi plasma nutfah dapat dilakukan dengan karakterisasi morfologi dan karakterisasi berbasis marka molekuler, seperti terlihat dalam Gambar 3.8 (Nassar & Ortiz, 2010; Blair, Fregene, Beebe, & Ceballos, 2007). Marka yang terkait kuat dengan karakter yang diinginkan digunakan sebagai dasar untuk sistem seleksi pada MAS. Sebagai contoh, elite kultivar ubi kayu (P1) yang teridentifikasi memiliki marka terkait dengan karakter tinggi daya hasil/produksi, rasa enak, dan tahan terhadap penyakit yang disebabkan oleh virus, namun memiliki kandungan protein rendah, akan disilangkan dengan kerabat liarnya (P2) yang memiliki karakter tinggi protein sehingga dapat menghasilkan turunan F1. Keuntungan sistem seleksi berbasis marka molekuler adalah proses seleksi sudah dapat dilakukan pada anakan/*seedling* tanaman. Turunan yang membawa marka terkait karakter tinggi protein disilangkan kembali (*backcross*) dengan tetua ubi kayu P1 untuk memproduksi BC1. Seleksi berbasis marka (MAS) kembali dilakukan bersama dengan pemetaan QTL. Hasil seleksi digunakan kembali untuk memproduksi BC2 dan BC3 melalui aplikasi MAS sampai diperoleh ubi kayu yang membawa semua marka yang terkait kuat dengan karakter target yang diinginkan, yaitu tinggi daya hasil/produksi, rasa enak, tahan terhadap penyakit, dan tinggi protein.

Identifikasi Marka Molekuler yang terkait dengan Gen Ketahanan terhadap CMD dan Aplikasinya Melalui *marker-assisted selection* (MAS)



Sumber: Barrera dkk. (2007)

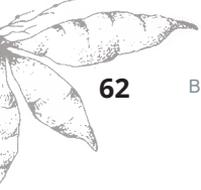
Gambar 3.7 Tahapan Seleksi dan Identifikasi Marka terkait Gen Ketahanan terhadap CMD dan Aplikasinya pada Pemuliaan Ubi Kayu Tahan Penyakit CMD melalui MAS di CIAT dan IITA serta Penyebaran Ubi Kayu Hasil Pemuliaan ke *Partner* CIAT dan IITA



To crossing block with elite or local varieties

Sumber: Nassar dan Ortiz (2010); Blair dkk. (2007)

Gambar 3.8 Skema Introduksi Karakter Unggul dari Kerabat Liar Ubi Kayu ke Target Ubi Kayu Budi Daya

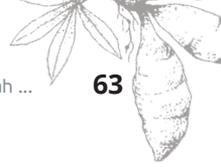


J. KESIMPULAN

Koleksi dan konservasi plasma nutfah ubi kayu perlu terus dilakukan untuk memperkaya basis genetik ubi kayu dengan keragaman yang tinggi. Koleksi inti ubi kayu ditujukan agar seluruh biodiversitas ubi kayu yang ada dapat terselamatkan sehingga memberikan manfaat yang besar bagi pemuliaan ubi kayu di masa mendatang. Agar bermanfaat secara tepat, efisien dan maksimal, perlu dilakukan evaluasi dan karakterisasi sifat-sifat agronomi ubi kayu koleksi. Dokumentasi diperlukan untuk mempermudah dalam mendapatkan informasi dari koleksi plasma nutfah yang dimiliki dan membuat pangkalan data yang dapat diakses secara mudah oleh para peneliti atau pegiat ubi kayu yang memerlukannya. Selama ini belum ada kajian atau evaluasi khusus terkait duplikasi plasma nutfah ubi kayu yang ada di Indonesia. Oleh karena itu, ke depan perlu ada kerja sama antarinstansi yang terkait untuk melakukan konservasi ubi kayu sehingga dapat menjamin terkonservasinya seluruh biodiversitas ubi kayu yang ada di Indonesia.

Evaluasi biodiversitas koleksi ubi kayu dilakukan secara morfologi berdasarkan fenotipe ubi kayu dan secara molekular. Karakterisasi berbasis marka molekuler dapat membedakan biodiversitas ubi kayu sampai level nukleotida sehingga lebih komprehensif. Selain itu, hal ini juga lebih menguntungkan karena dapat mengevaluasi biodiversitas plasma nutfah yang lebih besar tanpa dipengaruhi faktor lingkungan. Puslit Bioteknologi LIPI telah melakukan koleksi ubi kayu dan melakukan karakterisasi plasma nutfah berbasis data morfologi serta melengkapinya dengan data molekuler RAPD, AFLP, dan SSR. Zhang dkk. (2014) melaporkan tentang target perakitan galur superior ubi kayu (Gambar 3.9). Perbaikan ubi kayu dilakukan pada aspek ekotipe, di antaranya *harvest index* di atas 0,6, jumlah umbi 9–13, dan berat mencapai hingga 9 kg pertanaman dan daya adaptasi (toleran PPD dan kaya nutrisi).

Beberapa genotipe unggul ubi kayu hasil seleksi sudah ditemukan. Begitu juga dengan marka molekuler, terutama yang terkait dengan komposisi pati tertentu. Sementara itu, identifikasi marka terkait karakter unggul lain sedang dilakukan. Berkaca pada keberhasilan perakitan ubi kayu tahan penyakit CMD menggunakan aplikasi MAS (Barrera dkk., 2007), Puslit Bioteknologi LIPI telah menginisiasi proses pemuliaan berbasis marka molekuler.



Target ecotipe ubi kayu budidaya
 Tinggi : 180-220 cm
 Bentuk tanaman: bercabang diatas
 Sudut daun: erect 45-60 derajat
 Retensi daun: 100 hari
 Diameter batang: 2,5 - 3,5 cm
 Harvest index : lebih dari 0,6
 Jumlah umbi : 9-13
 Berat umbi : 6-9 kg per tanaman



Daya Adaptasi:
 High water use efficiency
 High N-P-K efficiency
 Bebas CMD, CBSD dan FSD
 Tahan CBB
 Toleran PPD
 Kualitas pati sesuai kebutuhan industri
 Kaya vitamin dan protein
 Genjah, umur panen 8-10 bulan

Sumber: Zhang dkk. (2014)

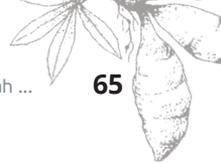
Gambar 3.9 Target Perakitan Galur Superior Ubi Kayu di Dunia

Kegiatan penelitian ubi kayu yang dilakukan oleh Puslit Bioteknologi LIPI mengacu pada target pemuliaan ubi kayu di dunia. Karakter unggul yang dievaluasi dan upaya perbaikan ubi kayu yang dilakukan di LIPI terkait dengan produksi/ daya hasil, peningkatan daya simpan (*postharvest physiological deterioration/PPD*), peningkatan kandungan nutrisi unggul (tinggi beta karoten, protein, dan mineral), perbaikan komposisi pati (kandungan amilosa, amilopektin), dan penurunan kadar HCN.

Dengan diperoleh beberapa ubi kayu unggul hasil seleksi dan beberapa marka terkait, proses pemuliaan ubi kayu di Indonesia dapat dipercepat. Pemuliaan berbasis marka molekuler memberi beberapa keuntungan, di antaranya sistem seleksi berbasis gen akan lebih akurat dan mengurangi ukuran populasi tanaman sehingga memungkinkan peneliti atau pemulia dapat bekerja dengan jumlah genotipe tanaman yang lebih banyak.

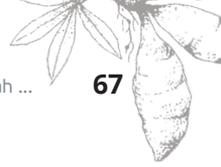
DAFTAR PUSTAKA

- Afonso, S. D. G., da Silva Ledo, C. A., Moreira, R. F. C., Silva, S. O., de Jesus Leal, V. D., & da Silva Conceicao, A. L. (2014). Selection of descriptors in a morphological characteristics considered in cassava accessions by mean of multivariate techniques. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(1), 13–20.
- Alves, A. A. C. (2002). Cassava botany and physiology. Dalam Hillocks, R. J., Thresh, J. M. & Bellotti, A. C., *Cassava: Biology, production and utilization*. CAB International, Bahia, Brazil. 1, 67–89.
- Anonim. (2017). Bank plasma nutfah ubi kayu ubi kayu. Diakses pada Desember 2017 dari / <http://biogen.litbang.pertanian.go.id/profil/fasilitas/bank-plasma-nutfah/>.
- Barrera, S. E., Marín, J. A., Ospina, C., Santos Meléndez, L.G, Morante, N., Moreta Mejía, D. E., Moreno, Y., & Fregene, M. A. (2007). *Molecular marker-assisted breeding for resistance to the cassava mosaic disease in Latin America cassava gene pools*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Kolombia.
- Beebe, S. E., Iglesias F., & Ariel, C. (1999). Molecular characterization of the CIAT bean and cassava core collections. Dalam Johnson, R. C., Hodgkin, Toby (eds.), *Core collections for today and tomorrow*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Benesi, I. R. M., Labuschagne, M. T., Herselman, L., & Mahungu, N. (2010). Ethnobotany, morphology and genotyping of cassava germplasm from Malawi. *J. Biol. Sc.*, 10, 616–623.
- Bhattacharjee, R., Dumet, D., Ilona, P., Folarin, S., & Franco, J. (2012). Establishment of a cassava (*Manihot esculenta* Crantz) core collection based on agro-morphological descriptors. *Plant Genetic Resources*, 10(2), 119–127.
- Blair, M. W., Fregene, Martin. A., Beebe, Stephen. E., Ceballos, & Hernán. (2007). Marker-assisted selection in common beans and cassava. Dalam Guimaraes. Perpétuo, Ruane, Scherf, Beate D., Sonnino, & Dargie, J. D. (eds.), *Marker-assisted selection: Current status and future perspectives in crops, livestock, forestry and fish*. Rome: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), hlm. 81–115.
- Bredeson, J. V., Lyons, J. B., Prochnik, S., Wu, G. A., Ha, C. M., Edsinger-Gonzales, E., ... & Rokhsar, D. S. (2016). Sequencing wild and cultivated cassava and related species reveals extensive interspecific hybridization and genetic diversity. *Nature Biotechnology*, 34, 562–570.
- Carmo, C. D., da Silva, M. S., Oliveira, G. A. F., & de Oliveira, E. J. (2015). Molecular-assisted selection for resistance to cassava mosaic disease in *Manihot esculenta* Crantz. *Scientia Agricola*, 72(6), 520–527.
- Carvalho, L. J. C. B., & Schaal, B. A. (2001). Assessing genetic diversity in the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm collection in Brazil using PCR-based markers. *Euphytica* 120, 133–142.
- Ceballos, H., Iglesias, C. A., Pérez, J. C. & Dixon, A. G. O. (2004). Cassava breeding: opportunities and challenges. *Plant Mol. Biol.*, 56, 503–515.
- CIAT. (2004). Annual Report IP3. *Improved cassava for the developing world*. CIAT, Cali, Kolombia.



- CIAT. (2017). Conservation of cassava genetic resources. Diakses pada 12 September 2018 dari <http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php/crops-mainmenu-367/cassava-mainmenu-232/conservation-mainmenu-213>.
- Colombo, C., Second, G., & Charrier, A. (2000). Genetic relatedness between cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and *M. fabellifolia* and *M. peruviana* based on both RAPD and AFLP markers. *Genet. Mol. Biol.*, 23(2), 189–199.
- Dahamaruddin, L., & Sirappa, M. P. (2009). Eksplorasi dan konservasi *ex situ* plasma nutfah ubi kayu sebagai upaya mewujudkan ketahanan pangan di Maluku. *Jurnal Budi daya Pertanian*, 5(1), 61–67.
- Departemen Pertanian. (2007). Panduan pengujian individual (PPI) ubi kayu. Diakses pada Desember 2017 dari <http://ppvt.setjen.pertanian.go.id>.
- FAO. (2017). Effect of cassava production on biodiversity. Agriculture and Consumer Protection. Diakses pada 16 Juli 2018 dari <http://www.fao.org/docrep/007/y2413e/y2413eoc.htm#>.
- Fathoni, A., Zainuddin, I., & Sudarmonowati, E. (2012). Establishing standardized *Agrobacterium*-mediated friable embryogenic callus (FEC) transformation and FEC induction of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Indonesia. *International Conference on Biotechnology*. Research Center for Biotechnology, Indonesian Institute of Sciences LIPI. Bogor. 13–14 Nopember 2012.
- Ferguson, M., Rabbi, I., & Kim, D. J. (2012). Molecular markers and their application to cassava. Breeding: Past, present and future. *Tropical Plant Bio.*, 5, 95–109.
- Fregene, M., Bernal, A., Duque, M., Dixon, A., & Tohme, J. (2000). AFLP analysis of African cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm resistant to the cassava mosaic disease (CMD). *Theor. Appl. Gene.*, 100, 678–685.
- Fukuda, W. M. G., Guevara, C. L., Kawuki, R., & Ferguson, M. E. (2010). Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava. *International Institute of Tropical Agriculture (IITA)*, 1–28.
- <http://biogen.litbang.pertanian.go.id/profil/fasilitas/bank-plasma-nutfah/>.
- Hahn, S. K., Bai, K. V., & Asiedu, R. (1990). Tetraploids, triploids, and 2n pollen from diploid interspecific crosses with cassava. *Theor. Appl. Genet.*, 79(4), 433–439.
- Hahn, S. K., Terry, E. R. & Leuschner, K. (1980). Breeding cassava for resistance to cassava mosaic disease. *Euphytica*, 29(3), 673–683.
- Hartati, Aryaningrum, P. D., Wahyuni, Hartati, N. S., & Sudarmonowati, E. (2015). Karakterisasi morfologi dan uji organoleptik 11 genotip ubi kayu terseleksi untuk pangan. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Unggulan Bidang Pangan Nabati “Bioresources Untuk Pembangunan Ekonomi Hijau”*. Bogor, 25 September 2014, 391–405.
- Hartati & Hartati, N. S. (2016). Efisiensi *grafting* enam genotip ubi kayu hasil seleksi untuk mendukung peningkatan produksi. *Prosiding Kongres Teknologi Nasional*. Jakarta, 25–27 Juli 2016, 805–813.
- Hartati, N. S., Fitriani, H., Supatmi, & Sudarmonowati, E. (2012). Karakter umbi dan nutrisi tujuh genotip ubi kayu (*Manihot esculenta*). *Jurnal Agricola*, 2, 101–110.

- Hartati, N. S., Sudarmonowati, E., Rahman, N., Hartati, R., Hartati, Damayanti, T., & Rijadi, S. J. (2003). Seleksi genotip ubi kayu Indonesia dengan komposisi pati tertentu berdasarkan marka genetik. *Laporan Teknik Proyek Penelitian Bioteknologi Tahun 2003*. Pusat Bioteknologi, LIPI, 142–163.
- Hershey, C. H. (2010). Background on a global conservation strategy for cassava and wild *Manihot* species. Diakses pada 16 Juli 2018 dari <https://www.croptrust.org/wp-content/uploads/2014/12/cassava-strategy.pdf>.
- Kawuki, R. S., Ferguson, M., Labuschagne, M., Herselman, L., & Kim, D. J. (2009). Identification, characterisation and application of single nucleotide polymorphisms for diversity assessment in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Mol. Breed.*, 23, 669–684.
- Kawuki, R. S., Ferguson, M., Labuschagne, M., Herselman, L., Orone, J., Ralimanana, I., ... & Obiero, H. (2011). Variation in qualitative and quantitative traits of cassava germplasm from selected national breeding programmes in sub-Saharan Africa. *Field Crops Res.*, 122, 151–156.
- Lambardi M., Roncasaglia R., Previati A., de Carlo A., Dradi G., da Re F., & Calamai L. (2006). In vitro slow growth storage of fruit rootstocks inside gas-tight or gas-permeable containers. *Acta Hortic.* 725, 483–488.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Analytical, biochemical and physico-chemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule garches: A review. *Starch/Stärke*, 56, 89–99.
- Marmey, P., Beeching, J. R., Hamon, S., & Charrier, A. (1993). Evaluation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm collections using RAPD markers. *Euphytica*, 74(3), 203–209.
- Mba, R. E. C., Stephensen, P., Edwards, K., Melzer, S., Nkumbira, J., Gullberg, U., ... & Fregene, M.. (2001). Simple sequence repeat (SSR) markers survey of the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genome: Towards an SSR-based molecular genetic map of cassava. *Theor. Appl. Genet.*, 102, 21–31.
- McKey, D., Elias, M., Pujol, B., & Duputie, A. (2010). The evolutionary ecology of clonally propagated domesticated plants. *New Phytologist*, 186, 318–332.
- Mazette, T. F., Blumer, C. P., & Veasey, E. A. (2013). Morphological and molecular diversity among cassava genotypes. *Pesq. Agropec. Bras*, 48(5), 510–518.
- Montero-Rojas, M., Correa, A. M., & Siritunga, D. (2011). Molecular differentiation and diversity of cassava (*Manihot esculenta*) taken from 162 locations across Puerto Rico and assessed with microsatellite markers. *AoB Plants*, 1–13.
- Nassar, N. M. A. (2000). Wild cassava, *Manihot* spp.: Biology and potentialities for genetic improvement *genetics and molecular biology. Genet. Mol. Biol.*, 23(1), 201–212.
- Nassar, N., & Ortiz, R. (2010). Breeding cassava. Food Science. *Scientific American*, 78–84.
- Oliveira, E. J., Ferreira C. F., Santos V. S., & Oliveira G. A. F. (2014). Development of a cassava core collection based on single nucleotide polymorphism markers. *Genet. Mol. Res.*, 13(3), 6472–6485.
- Oliveira, E. J., Ferreira, C. F., da Silva Santos, V., de Jesus, O. N., Oliveira, G. A., & da Silva, M. S. (2014). Potential of SNP markers for the characterization of Brazilian cassava germplasm. *Theor. Appl. Genet.*, 127(6), 1423–1440.

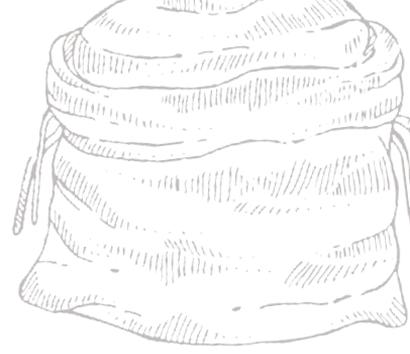


- Pereira, A. V., Vencovsky, R., & Cruz, C. D. (1992). Selection of agronomical and botanical descriptors for the characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) germplasm. *Brazilian Journal of Genetics*, 115–124.
- Prochnik, S., Marri, P. R., Desany, B., Rabinowicz, P. D., Kodira, C., Mohiuddin, M., ... & Rousley, S. (2012). The Cassava genome: Current progress, future directions. *Theor. Plant Biol.*, 5(1), 88–94.
- Raji, A., Anderson, J., Kolade, O., Ugwu, C., Dixon, A., & Ingelbrecht, I. (2009). Gene-based microsatellites for cassava (*Manihot esculenta* Crantz): Prevalence, polymorphisms, and cross-taxa utility. *BMC Plant Biol.*, 9, 118.
- Ribeiro, M. N. O., Carvalho, S. P., Santos, J. B., & Antonio, R. P. (2011). Genetic variability among cassava accessions based on SSR markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 263–269.
- Rogers, D., & Appan. (1973). *Manihot, Manihotoides*, Euphorbiaceae. Dalam Nassar, N. M. A. (2000). Cytogenetics and evolution of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Genetics and Molecular Biology*, 23(4), 1003–1014.
- Da Silva, M. J. (2015). Two new wild casava species (*Manihot*, Euphorbiaceae) from the Brazilian Cerrado. *Phytotaxa*, 213(20), 131–139.
- Soto, J. C., Ortiz, J. F., Perlaza-Jiménez, L., Vásquez, A. X., Lopez-Lavalle, L. A. B., Mathew, B., ... & López, C. E. (2015). A genetic map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with integrated physical mapping of immunity-related genes. *BMC Genomics*, 16(1), 190.
- Soyode, F. O., & Oyetunji, O. J. (2009). Use of morphological characters to identify Cassava Mosaic Disease and Cassava Bacterial Blight resistance. *African Crop Science Journal*, 25–39.
- Sraphet, S., Boonchanawiwat, A., Thanyasiriwat, T., Boonseng, O., Tabata, S., Sasamoto, S., ... & Triwitayakorn, K. (2011). SSR and EST-SSR-based genetic linkage map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Theor. Appl. Genet.*, 122, 1161–1170.
- Sudarmonowati, E., & Henshaw, G. G. (1990). Cryopreservation of cassava somatic embryos. *Abstract, 7th Intl. Congr. for Plant Tissue and Cell Culture*. Amsterdam, 378.
- Sudarmonowati, E., Hartati, N. S., Hartati, & Sukmarini, L. (2007). Amylose content variation of Indonesian cassava genotypes and its correlation with RAPD and AFLP markers. *Proceedings First International Meeting on Cassava Breeding, Biotechnology and Ecology.*, 87–98.
- Wangsomnuk, P. P., Ruttawat, B., & Wongtiem, P. (2013). Identification of genetically distinct cassava clones from on-farm plantations to widen the Thai cassava. Breeding gene pool. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 1574–1583.
- Zacarias, A. M., Botha, A. M., Labuschagne, M. T., & Benesi, I. R. M. (2004). Characterization and genetic distance analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm from Mozambique using RAPD fingerprinting. *Euphytica*, 138, 49–53.
- Zhang, S., Ma, P., Wang, H., Lu, C., Chen, X., Xia, Z., ... & Wang, W. (2014). Genomics approaches to unlock the high yield potential of cassava, a tropical model plant. *Front. Agr. Sci. Eng.*, 1(4), 259–266.
- Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456–480.

Sumber: Lab. GMMJBT (2015)



BAB KEEMPAT



Bioresources Ubi Kayu Bersianida Tinggi dan Pemanfaatannya untuk Pangan

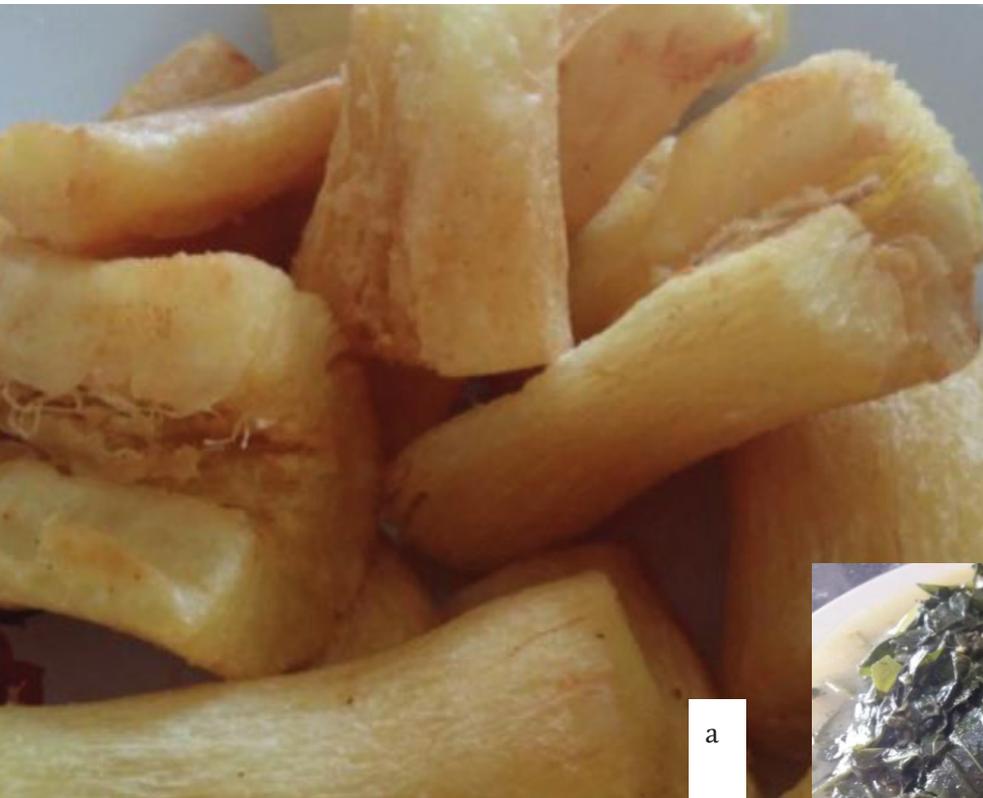
Siti Kurniawati

A. UBI KAYU DENGAN KANDUNGAN SIANIDA TINGGI

Umbi dan daun merupakan bagian dari tanaman ubi kayu yang paling banyak dikonsumsi. Banyak alasan mengapa masyarakat mengonsumsi umbi dan daun ubi kayu. Alasan utama umumnya adalah umbi atau daun ubi kayu dapat mengenyangkan meskipun tidak sedikit jenis ubi kayu yang dikonsumsi memiliki kandungan racun yang dapat membahayakan kesehatan konsumen. Ubi kayu secara umum memiliki komposisi kimia per umbi segar rata-rata 60% kadar air dan 30% pati (Tonukari, 2004), kandungan protein pada daun rata-rata 21% (*crude/kasar*) (Ravindran, 1991) atau dengan kisaran 16% hingga 39% dengan 85%-nya merupakan protein murni (Khieu, Chhay, Ogle, & Preston, 2005). Kadar pati yang tinggi pada umbi dan kandungan protein yang cukup tinggi pada daun menyebabkan umbi ubi kayu dijadikan sebagai bahan pangan sumber karbohidrat dan daunnya sebagai sumber protein. Untuk menghasilkan umbi, tanaman ubi kayu dipanen antara 6–12 bulan tergantung pada jenis/genotipe, sedangkan sebagai sumber protein, daun ubi kayu dipanen dengan interval 2–3 bulan dengan cara memangkas batang sekitar 50–70 cm dari permukaan tanah sehingga tanaman dapat tumbuh kembali

(Preston, Rodrigues, & Borin, 2000). Hasil panen umbi biasanya dapat langsung dikonsumsi dengan pengolahan sederhana, seperti direbus atau digoreng dan daunnya dijadikan sebagai sayuran (Gambar 4.1).

Selain tinggi kandungan pati, umbi ubi kayu juga memiliki kandungan serat kasar, protein, lemak, mineral, dan kadar abu. Menurut Chávez dkk. (2005), kualitas gizi setiap umbi sangat bervariasi. Kandungan nutrisi ubi kayu dianggap rendah jika dibandingkan tanaman lain sehingga hanya digunakan sebagai sumber karbohidrat.



a

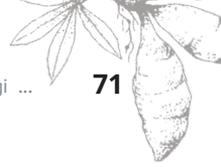


b

Ket.: Pemanfaatan a) Umbi dan b) Daun

Sumber: Lab. GMMJBT (2017)

Gambar 4.1 Pemanfaatan Ubi Kayu sebagai Bahan Pangan



Karena memiliki kadar pati yang cukup tinggi, ubi kayu menjadi salah satu bahan pangan sumber kalori yang penting setelah padi dan jagung. Nilai kalori ubi kayu, baik dalam bentuk umbi, daun, maupun tepung cukup tinggi (Tabel 4.1). Karena kandungan patinya cukup tinggi sehingga dapat cepat mengenyangkan maka ubi kayu banyak dijadikan sebagai tanaman ketahanan pangan (Barratt dkk., 2006), terutama pada daerah-daerah kritis kelaparan, daerah bencana, dan saat musim paceklik. Berdasarkan penelitian Richardson (2013), kandungan nutrisi ubi kayu pada beberapa genotipe lokal Afrika, yaitu berkisar antara 20–35 mg/100 g sodium, 100–1.500 mg/100 g potassium dan 1,2%–2,1% protein. Kandungan lemak (kasar/*crude*) pada umbi cukup rendah, yaitu sekitar 0,2–0,4% (Richardson, 2013) atau dapat mencapai sekitar 0,7%–1,5% pada umbi segar (Emmanuel, Clement, Agnes, Chiwona-Karltun, & Drinah, 2012). Ketersediaan 1%–2% kalori untuk pembentukan energi yang bersumber dari lemak termasuk ke dalam kategori cukup pada manusia karena konsumsi lemak berlebih akan berakibat buruk dan dapat mengganggu metabolisme kardiovaskular tertentu sehingga menyebabkan *atherosclerosis*, kanker, dan penuaan (Antia, Akpan, Okon, & Umoren, 2006). Daun ubi kayu memiliki kandungan beta karoten cukup tinggi dan umbi pada beberapa genotipe juga memiliki kandungan beta karoten cukup tinggi ditandai dengan umbi yang berwarna kuning (Gambar 4.2). Beberapa genotipe ubi kayu varietas nasional dan lokal Indonesia koleksi Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, seperti Mentega1, Mentega2, Adira1, Ubi kuning, dan Roti, memiliki kandungan beta karoten pada umbi yang cukup tinggi, yaitu 5–16 kali lipat dibandingkan genotipe ubi kayu dari Afrika (Nirwanto, 2012). Limbah pascapanen, seperti kulit umbi, batang ubi kayu, daun tua serta umbi afkir atau sisa-sisa umbi juga mulai dikembangkan melalui teknologi proses pembuatan pakan ternak (Mariyono, Anggraeny, & Kiagega, 2008).

Tabel 4.1 Perbandingan Komposisi Nutrisi Bahan Dasar Ubi Kayu Setiap 100 gram

Bahan	En- ergi (kkal)	Protein (kkal)	Besi (kkal)	Vita- min A (mg)	Thia- min (mg)	Ni- acin (mg)	Vita- min C (mg)	Air (%)	Serat (gr)
Umbi segar	153	0,7	1,0		0,07	0,7	30	60	1,0
Tepung (umbi kering)	342	1,5	2,0		0,04	0,8		12	1,5
Daun segar	91	7,0	7,6	2000	0,25	2,4	311	70	4,0
Daun kering	194	32,5	8,0					27	

Sumber: Bantacut (2010)

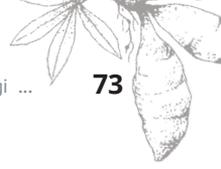


Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 4.2 Warna kuning pada umbi ubi kayu menunjukkan kandungan beta karoten.

Meskipun karbohidrat pada bagian umbi dapat memberikan asupan kalori dengan proporsi yang cukup besar per hari, yaitu 153 kalori (Bantacut, 2010) dan daunnya mempunyai kadar protein yang tinggi, ubi kayu mengandung senyawa potensi racun dan antinutrisi. Menurut Montagnac, Davis, dan Tanumihardjo (2009), senyawa racun sianogenik pada ubi kayu terdapat dalam tiga bentuk, yaitu (1) glikosida sianogenik (*cyanogenic glycosides*), antara lain linamarin dan lotaustralin dengan rasio 95 : 5 (King & Bradbury, 1995; Conn, 1979; Balagopalan, Padmaja, Nanda, & Moorthy, 1988) atau 90% linamarin dan 10% lotaustralin dari total sianogen (White, Arias-Garzon, McMahon, & Sayre, 1998), (2) sianohidrin, dan (3) sianida bebas. Bagian terbesar dari glukosida itu terdapat di bagian kulit luar dari umbi atau korteks. Jumlah racun sianida yang dihasilkan di dalam suatu umbi sangat berbeda-beda, tergantung pada kondisi lingkungan dan varietas tanaman tersebut. Seluruh bagian dari tanaman ubi kayu, kecuali biji, mengandung glukosida sianogenik.

Kandungan sianogenik glikosida atau lebih dikenal dengan linamarin pada ubi kayu sangat memengaruhi pemanfaatan ubi kayu sebagai sumber pangan. Pada ubi kayu, sianogenik glikosida berfungsi sebagai sistem pertahanan ubi kayu



untuk menghindari serangan hama atau predator. Kandungan HCN pada ubi kayu bervariasi dari 15–400 ppm HCN per kg berat segar (Balagopalan, Padmaja, Nanda, & Moorthy, 1988). Kisaran kandungan sianida total berbeda pada setiap varietas, yaitu 1–1.550 ppm pada bagian parenkim umbi dan 900–2.000 ppm pada bagian kulit/korteks umbi (Cardoso dkk., 2005), sedangkan pada bagian daun mengandung 20–1.860 pp total sianida (Bradbury & Denton, 2011). Standar aman pangan tepung ubi kayu menurut World Health Organisation (WHO), adalah 10 ppm total sianida (FAO/WHO, 1995). Sianida terikat ke enzim sitokrom oksidase sehingga orang yang mengonsumsi ubi kayu bersianida tinggi akan terganggu pernapasannya dan kekurangan oksigen. Konsumsi ubi kayu bersianida dalam jumlah yang banyak telah dilaporkan menyebabkan beberapa gejala, seperti pusing, sakit kepala, sakit perut, muntah, dan diare yang akan muncul setelah 4 jam atau lebih dari waktu konsumsi ubi kayu bersianida tinggi yang tidak diolah dengan baik. Pada beberapa kasus, konsumsi ubi kayu dengan kandungan senyawa sianida tinggi dapat menyebabkan keracunan hingga kematian (Akintonwa, Tunswashe, & Onifade, 1994). Dosis letal akut HCN yang dapat mematikan pada manusia dan pernah dilaporkan sekitar 0,5–3,5 mg HCN/kg berat badan (Halstrøm & Møller, 1945). Sebagai ilustrasi, seseorang dengan berat badan 50 kg, dosis letal yang dapat mematikkannya ketika mengonsumsi ubi kayu adalah 25–175 mg HCN. Anak-anak lebih rentan terhadap keracunan sianida karena ukuran tubuhnya yang lebih kecil (National Research Council, 2002).

Kandungan asam sianida sangat memengaruhi cita rasa dari umbi segar ubi kayu. Menurut Ezeigbo, Ukabi, Ike-Amadi, dan Ekaiko (2015), kadar glikosida sianogenik telah digunakan sebagai dasar dalam mengategorikan varietas atau jenis ubi kayu. Berdasarkan kandungan HCN tersebut, umbi terbagi menjadi dua tipe, yaitu umbi pahit dan umbi manis. Ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) dengan glikosida sianogenik yang rendah dikategorikan sebagai singkong manis (*Manihot palmate*), sedangkan jenis ubi kayu yang lebih beracun dengan kandungan glikosida sianogenik tinggi ditetapkan sebagai singkong pahit (*Manihot utilissima*). Ubi kayu dengan rasa pahit disebabkan oleh adanya kandungan HCN dengan kadar yang tinggi, lebih dari 100 ppm dibandingkan ubi kayu dengan rasa manis kurang dari 50 ppm HCN (Wilson & Dufour, 2002). Kelompok penelitian dari Nigeria melaporkan bahwa ubi kayu dengan konsentrasi sianogenik glikosida tinggi (100–500 mg/kg berat basah), distribusi glikosida sianogeniknya tersebar ke seluruh bagian umbi,

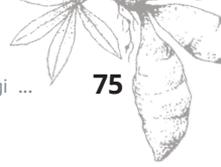
sedangkan ubi kayu manis memiliki kandungan sianogenik glikosida kurang dari 100 mg/kg, dan glikosida sianogeniknya terkonsentrasi di bagian kulit.

Indonesia bagian timur masih banyak memiliki biodiversitas ubi kayu dengan jenis pahit. Beberapa aksesori ubi kayu tinggi sianida telah dikoleksi dan ditanam untuk memperkaya dan melengkapi koleksi ubi kayu di Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Ubi kayu pahit banyak dibudidayakan di daerah Indonesia timur karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Ubi kayu tersebut menjadi bahan makanan pokok dan telah diolah menjadi produk pangan sehingga aman dikonsumsi. Potensi keracunan karena mengonsumsi makanan atau bahan makanan berbasis tanaman yang mengandung racun sianida tergantung pada kemungkinan bahwa bahan makanan tersebut akan menghasilkan konsentrasi hidrogen sianida (HCN) melebihi ambang batas dari toleransi tubuh. Dari berbagai laporan, glikosida sianogenik pada ubi kayu mengalami penurunan kandungan racun selama pemrosesan menjadi produk pangan. Proses pengupasan menyebabkan penurunan sianida yang paling besar karena sianida umumnya berada pada lapisan korteks atau kulit umbi. Proses pengolahan ubi kayu yang baik dan tepat akan menghasilkan produk pangan berkualitas, bukan hanya untuk dikonsumsi sendiri, atau skala rumah tangga, tetapi juga menjadi produk pangan yang bernilai ekonomi tinggi sehingga dapat memberi pendapatan bagi petani dan perajin ubi kayu jenis sianida tinggi.

B. KERAGAMAN PLASMA NUTFAH UBI KAYU BERSIANIDA TINGGI

Ubi kayu memiliki keragaman yang sangat tinggi dan dapat dilihat dengan mudah melalui beberapa karakter kualitatif morfologi. Secara morfologi, karakter pembeda dilihat dari beberapa bagian utama, seperti bagian daun, batang, dan umbi (Fukuda, Guevara, Kawuki, & Ferguson, 2010; Deptan, 2007). Bagian daun, warna daun muda atau pucuk dan warna tangkai daun (petiole) merupakan karakter dasar yang dapat dijadikan acuan dalam identifikasi ubi kayu (Islam, Prodhon, & Fakir, 2007).

Berdasarkan karakter kualitatif warna daun muda atau pucuk, keragaman ubi kayu memiliki tingkat variasi yang cukup tinggi. Fukuda, Guevara, Kawuki, & Ferguson (2010) mengklasifikasikan warna pucuk menjadi empat kelompok, yaitu 1) hijau terang, 2) hijau gelap, 3) hijau keunguan, dan 4) ungu. Sementara itu, berdasarkan panduan pengujian individu Pusat Perlindungan Varietas Tanaman Departemen Pertanian RI, pengelompokan ubi kayu berdasarkan karakter warna



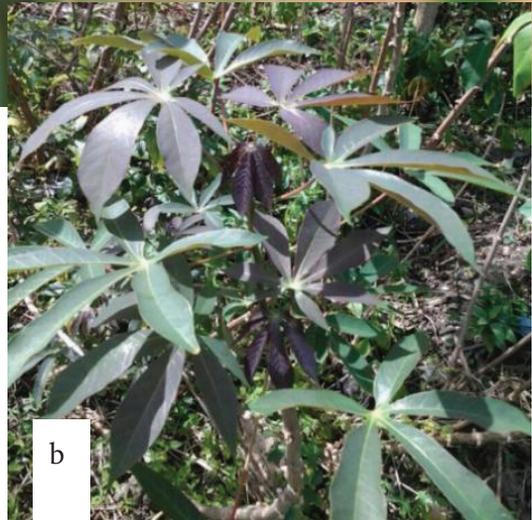
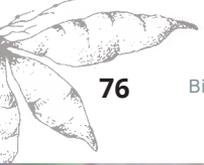
pucuk terbagi atas tujuh warna, yakni 1) hijau kekuningan, 2) hijau muda, 3) hijau, 4) hijau keungunan, 5) ungu muda, 6) ungu, dan 7) cokelat.

Keragaman ubi kayu dengan kandungan asam sianida tinggi yang dikoleksi di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI Cibinong dari daerah Maluku Tenggara menunjukkan variasi yang tinggi pada warna daun muda/pucuk (Gambar 4.3). Tanaman ubi kayu yang memiliki warna pucuk ungu diduga memiliki kandungan asam sianida (HCN) yang tinggi (Taryana, 2015, komunikasi pribadi). Kandungan glukosida sianogenik pada daun lebih tinggi (5,0 g linamarin/kg berat basah) dibandingkan kandungan glukosida sianogenik umbi karena level linamarin pada umbi 20 kali lebih rendah (White dkk., 1998). Ubi kayu jenis Tayando (aksesi Malra15 dan aksesori Malra16) mempunyai kandungan HCN pada umbi lebih dari 90 ppm dan berdaun muda atau pucuk berwarna ungu (Gambar 4.4 dan Gambar 4.5).



Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 4.3 Keragaman Pucuk Ubi Kayu Koleksi dari Daerah Maluku Tenggara dengan Kandungan HCN Tinggi

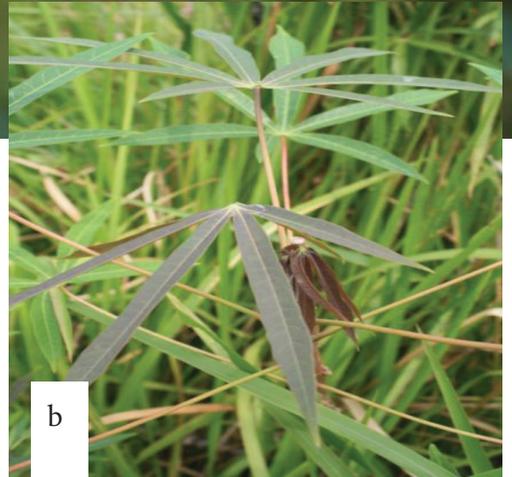


Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 4.4 Warna Ungu pada Daun Pucuk (a) dan Keragaman Tanaman (b) Ubi Kayu Tayando Jenis Pahit dari Maluku Tenggara

C. GLUKOSIDA SIANOGENIK DAN RACUN SIANIDA

Glukosida sianogenik adalah *phytoanticipins*, yaitu suatu senyawa metabolit sekunder inaktif pada tanaman (Monte, 2013), berfungsi sebagai sistem pertahanan yang terdapat secara alami pada lebih dari 2.500 spesies tanaman (Zagrobelny dkk., 2004). Pada beberapa bagian tanaman yang biasa dikonsumsi, seperti tanaman umbi-umbian minimal terdapat 25 macam glikosida sianogen yang telah diketahui. Glukosida sianogenik sendiri relatif tidak beracun.



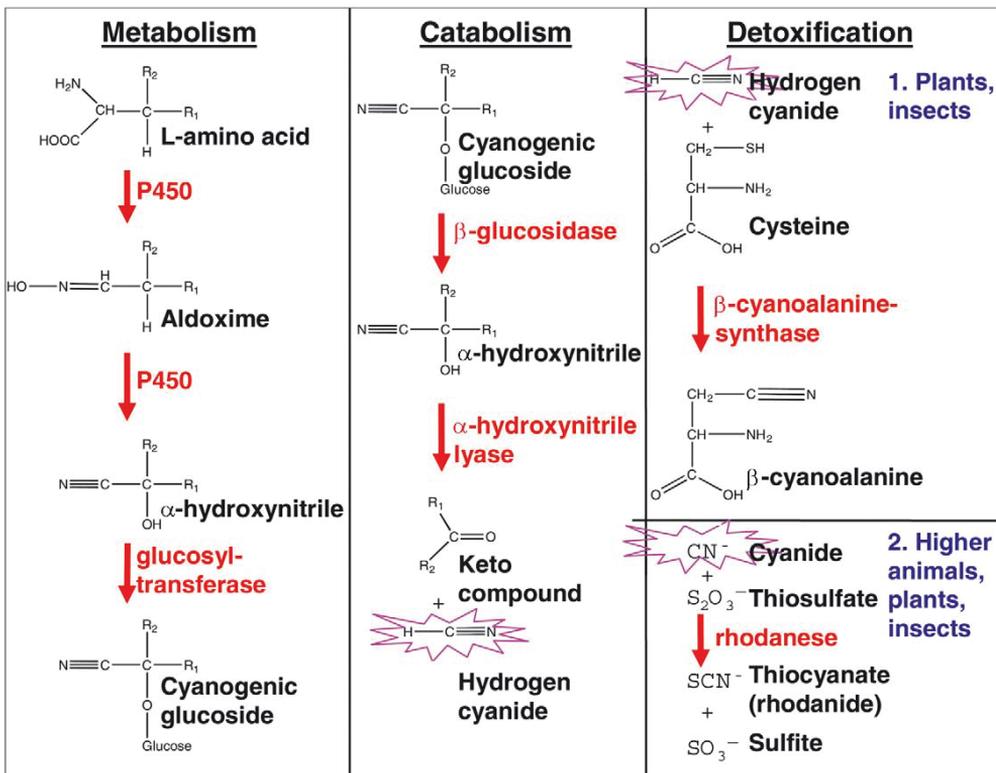
Ket.: (a) Jenis Enbal Bintang Wain dan (b) Enbal Lislis
Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 4.5 Warna Ungu pada Pucuk Ubi Kayu dengan Kandungan HCN Tinggi

Senyawa glukosida sianogenik, dengan adanya enzim beta-glukosidase, akan terhidrolisis menjadi asetosianohidrin. Selanjutnya, sianohidrin akan terurai menjadi hidrogen sianida. Mekanisme tersebut digunakan oleh tanaman ubi kayu dan beberapa tanaman lain, seperti sorghum, almond, dan kacang lima untuk mengusir predator (Zagrobelny dkk., 2004) karena hidrogen sianida merupakan senyawa yang bersifat racun pada sel makhluk hidup.

1. Mekanisme Jalur Biosintesis Asam Sianida (HCN)

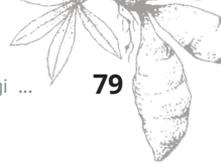
Glukosida sianogenik berubah menjadi senyawa alfa hydroxynitriles karena adanya enzim beta glukosidase atau pada ubi kayu lebih dikenal dengan nama enzim linamarase karena senyawa glukosida sianogenik ubi kayu 90% merupakan senyawa linamarin. Jalur metabolisme dan katabolisme glukosida sianogenik (Zagrobelyny dkk., 2004) dapat dilihat pada Gambar 4.6. Glukosida sianogenik berasal dari asam amino protein alifatik L-valin, L-isoleusin, dan L-leusin, dari asam amino aromatik L-fenilalanin dan L-tirosin dan dari asam amino non-protein alifatik siklopentenil-glisin. Pada tumbuhan, glukosida sianogenik disimpan dalam vakuola (Vetter, 2000). Ketika jaringan tanaman rusak contohnya oleh serangan herbivora maka glukosida sianogenik terhidrolisis oleh enzim beta-glukosidase dan alfa hidroksinitril lyase menghasilkan hidrogen sianida (HCN) yang bersifat racun.



Ket.: Proses enzimatik ditandai dengan warna merah; Racun HCN ditandai dengan warna ungu.

Sumber: Zagrobelyny dkk. (2004)

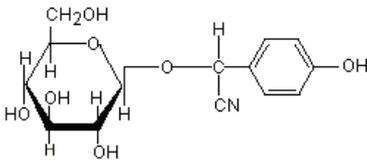
Gambar 4.6 Biosintesis, Katabolisme, dan Detoksifikasi Senyawa Glukosida Sianogenik pada Tanaman, Serangga, dan Hewan Tingkat Tinggi



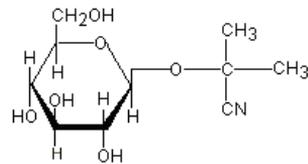
2. Senyawa Sianida dan Berbagai Bentuk Ikatan Kimia

Glikosida sianogen diproduksi secara alami oleh banyak tanaman, dan ketika dihidrolisis akan menghasilkan senyawa hidrogen sianida. Sering terjadi struktur kimia glikosida sianogen yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Senyawa amygdalin terdapat pada almon, dhurrin pada tanaman sorgum, linamarin, dan lotaustralin terdapat pada ubi kayu dan kacang lima, prunasin pada *stone fruits* (buah berbiji besar dan keras, seperti plum, nectarin, aprikot), dan taxiphyllin terdapat pada rebung (Adetunji, Isadare, Akinluwade, & Adewoye, 2015).

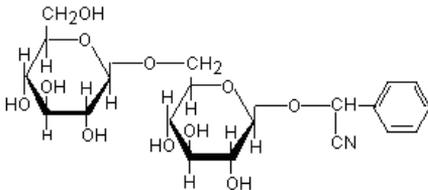
Dhurrin (CAS No. 499-20-7)



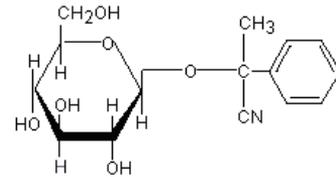
Linamarin (CAS No. 554-35-8)



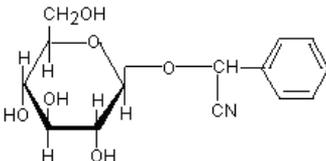
Amygdalin (CAS No. 29883-15-6)



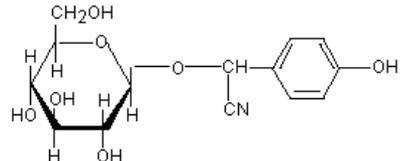
Lotaustralin (CAS No. 534-67-8)



Prunasin (CAS No. 99-18-3)



Taxiphyllin (CAS No. 21401-21-8)



Sumber: Adetunji dkk. (2015)

Gambar 4.7 Beberapa Bentuk Senyawa Sianida pada Tanaman

D. GEJALA KERACUNAN SIANIDA

HCN adalah senyawa kimia yang dapat menyebabkan hipoksia pada jaringan tubuh. Keracunan HCN kronik dapat menyebabkan gangguan sistem syaraf, gangguan pernapasan, kardiovaskular, dan gangguan fungsi tiroid (Dhas, Chitra, Jayakumar, & Mary, 2011). Pada manusia, tanda-tanda klinis dari keracunan sianida akut adalah

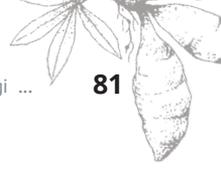
respirasi cepat (napas tersenggal-senggal), penurunan tekanan darah, denyut nadi cepat, pusing, sakit kepala, sakit perut, muntah, diare, berkedut, dan kejang-kejang. Kematian akibat keracunan sianida dapat terjadi ketika tingkat sianida melebihi batas kemampuan individu untuk detoksifikasi atau penetralan secara alami. Dosis akut yang mematikan bagi manusia dilaporkan sekitar 0,5–3,5 mg per kilogram berat badan. Anak-anak sangat berisiko karena ukuran tubuh mereka lebih kecil.

Penduduk yang mengonsumsi ubi kayu sebagai makanan pokok dilaporkan mengalami beberapa gangguan kesehatan dan penyakit. Konsumsi terhadap ubi kayu dengan kandungan HCN rendah mungkin tidak menyebabkan kematian, tetapi dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti *tropical neuropathy* (Osuntokun, 1994), *glucose intolerance*, konzo (*spastic paraparesis*) (Ernesto dkk., 2002), dan kombinasi antara kekurangan yodium, gondok, dan *cretinism* (Delange dkk., 1994).

Penduduk Nigeria dilaporkan mengalami sindrom *tropical ataxic neuropathy*, yaitu suatu penyakit dengan kondisi iritasi dan luka kulit, membran mukosa, mata, dan gangguan syaraf pendengaran. Penyakit tersebut menjangkiti pasien tanpa batas usia. Makanan pokok yang dikonsumsi oleh penduduk Nigeria adalah ubi kayu sehingga studi epidemiologi menyatakan adanya korelasi antara penyakit tersebut dan kebiasaan dalam mengonsumsi ubi kayu. Penyakit terkait gangguan syaraf sangat dipengaruhi oleh keracunan sianida kronik (Osuntokun, 1973).

Ada beberapa faktor yang memengaruhi hidrolisis senyawa glikosida sianogenik hingga membentuk racun sianida yang dapat menyebabkan terjadinya keracunan, yaitu kondisi status gizi atau asupan nutrisi, khususnya yang berkaitan dengan protein, riboflavin, vitamin B12, natrium, dan metionin. Faktor penting yang sangat memengaruhi keracunan HCN adalah sebagai berikut.

1. Bahan makanan yang berasal dari tanaman yang mengandung racun sianida yang tidak cukup mendapatkan proses penetralan atau detoksifikasi selama pemrosesan atau persiapan bahan makanan sehingga racun HCN masih tetap terdapat pada bahan makanan;
2. Jika tanaman yang dikonsumsi mentah atau kurang diproses. HCN dapat dilepaskan dalam tubuh, sampai pH dalam pencernaan rendah sehingga menonaktifkan enzim beta-glukosidase.



E. TEKNIK IDENTIFIKASI KANDUNGAN TOTAL SIANIDA UBI KAYU

1. Metode Kertas *Picrate*

Untuk mengetahui total kandungan sianida (satuan dalam ppm) pada ubi kayu, metode yang selama ini dipakai adalah metode semi-kuantitatif menggunakan senyawa alkalin *picrate* atau lebih dikenal dengan nama *picrate paper kit* yang dikembangkan oleh Dr. Howard Bradbury dan kawan-kawan (1999). Analisis kandungan total sianida menggunakan kertas *picrate* relatif mudah, namun ada beberapa kelemahan, yaitu reaksinya sangat lambat (~16 jam), penanganan dan penyimpanan senyawa kimianya khusus dan hasil reaksinya kadang tidak tepat (Zelder & Tivana, 2015).

Deteksi sianida menggunakan *picrate paper* memerlukan beberapa alat dan bahan. Langkah-langkah yang harus disiapkan dan dilakukan untuk mengetahui kandungan sianida pada ubi kayu menggunakan metode kertas *picrate*, sebagai berikut.

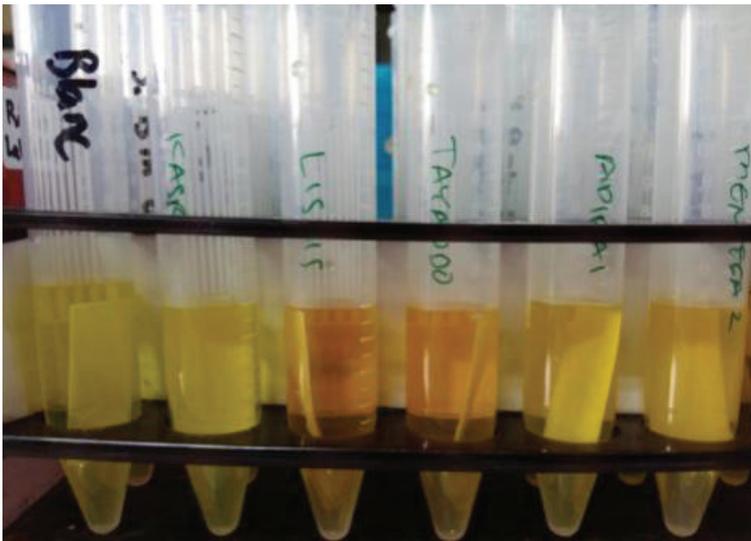
a. Tahap perendaman kertas *picrate*

- 1) Masukkan sampel ubi kayu (tepung/sawut/umbi segar/daun) ke dalam tabung vial bertutup. Sampel sebaiknya dihaluskan menjadi ukuran yang lebih kecil.
- 2) Masukkan 0,5 ml buffer fosfat (pH 10) ke dalam sampel ubi kayu secara merata mengenai seluruh permukaan sampel.
- 3) Letakkan kertas *picrate* ke dalam larutan sampel secara tegak lurus hingga kondisi jenuh dan terjadi perubahan warna pada kertas *picrate*. Pastikan seluruh permukaan bagian bawah kertas menyentuh larutan sampel secara merata.
- 4) Tutup tabung vial dan diamkan hingga 16 jam pada suhu ruang atau 30°C.
- 5) Setelah 16 jam, kertas *picrate* diambil dan diletakkan ke tabung lain kemudian tambahkan 5 ml air selama minimal 30 menit. Warna yang terjadi pada tabung (Gambar 4.8), kemudian diukur menggunakan alat spektrofotometer.

b. Tahap pengukuran menggunakan spektrofotometer atau *scoring*

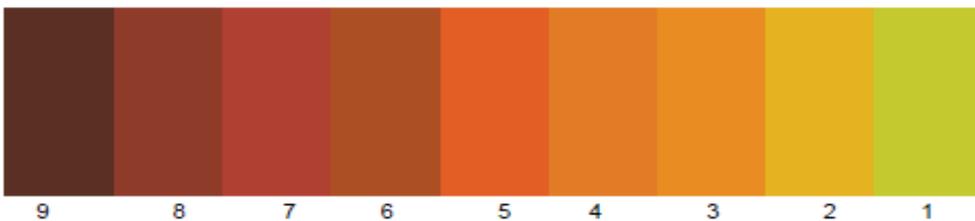
- 1) Setelah terjadi perubahan warna dari kertas *picrate* sampel ke larutan air dibandingkan blanko (larutan kertas *picrate* tanpa sampel) maka dilakukan pengukuran absorbansi warna menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 nm.

- 2) Kadar total HCN dengan satuan ppm dihitung menggunakan rumus: $396 \times \text{absorban}$.
- 3) Pengukuran level HCN secara cepat juga dapat dilakukan dengan cara menaksir kisaran level berdasarkan intensitas warna menggunakan metode skoring dengan skala 1–9 (Fukuda, Guevara, Kawuki, & Ferguson, 2010) (Gambar 4.9). Level warna kuning (skala 1) menunjukkan tidak ada kandungan HCN. Perubahan warna ke arah warna merah tua (skala 9) menunjukkan kandungan sianida tinggi.



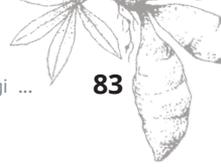
Sumber: Lab. GMMJBT (2017)

Gambar 4.8 Perubahan Warna Kuning Kertas *Picrate* Menjadi Cokelat Kemerahan Karena Senyawa Sianida pada Tabung Sampel Ubi Kayu Tayando dan Lislis



Sumber: Fukuda dkk. (2010)

Gambar 4.9 Intensitas warna menunjukkan level kandungan HCN pada metode *scoring*.

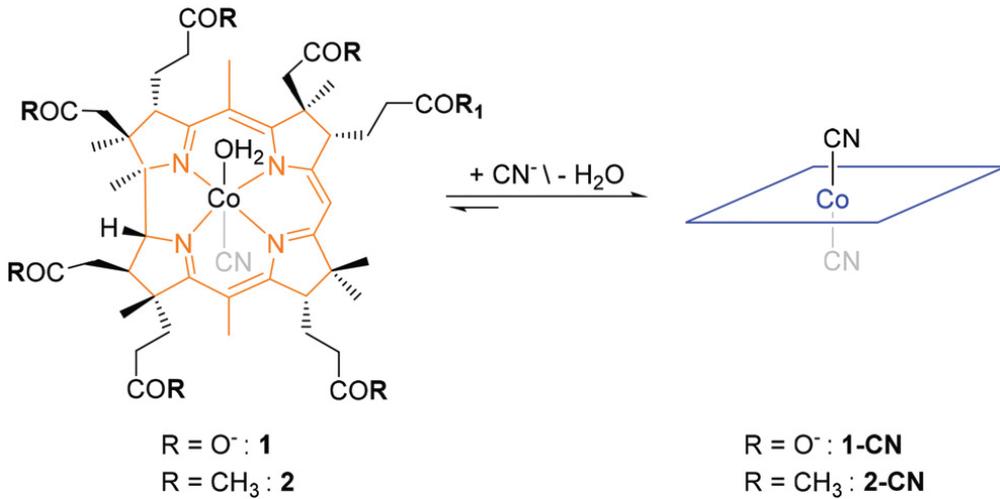


F. PENENTUKAN KADAR HCN MENGGUNAKAN METODE *CORRIN*-BASED CHEMOSENSOR

Rekomendasi World Health Organisation (WHO) terhadap aplikasi suatu kit/*test diagnostic* atau sistem deteksi senyawa pada umumnya termasuk untuk deteksi senyawa sianida haruslah terjangkau, sensitif, selektif, *user-friendly*, cepat, tidak menggunakan alat yang sulit, dan mudah dibawa/efisien. Drochioiu, Arsene, Murariu, dan Oniscu (2008) membandingkan metode analisis sianogen menggunakan senyawa kimia resorcinol dan *picrate*. Metode menggunakan resorcinol lebih akurat, mudah direproduksi, dan lebih sensitif dari metode hidrolisis dan *picrate*. Metode analisis sangat banyak dikembangkan di laboratorium dan memerlukan waktu yang lama.

Perkembangan penelitian terkini yang dilakukan oleh Zelder dan Tivana (2015) untuk mendeteksi sianida secara cepat, yang terkandung pada umbi, tepung, atau pangan berbahan dasar ubi kayu, dapat digunakan *Corrin-based chemosensors* atau sensor kimia berbasis senyawa *corrin*. Metode sensor berbasis senyawa *corrin* ini dapat diaplikasikan oleh petani atau penggiat ubi kayu karena selektif, sensitif, penanganannya mudah, dan hasil deteksinya cepat.

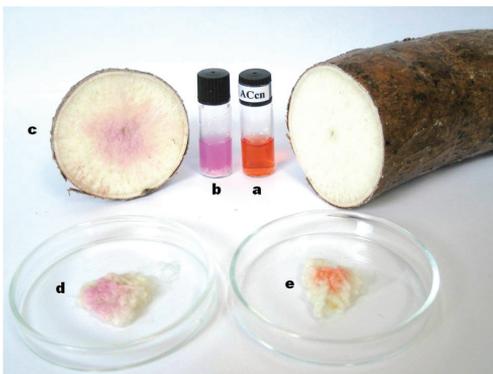
Analisis senyawa toksin sianida secara umum mencakup tiga langkah, yaitu 1) ekstraksi sianogen dari ubi kayu, 2) hidrolisis sianogen menjadi bentuk sianida, dan 3) deteksi kandungan senyawa sianida. Berdasarkan pengetahuan mengenai keterkaitan antara vitamin B12 dan sianida maka pada 2008 kelompok penelitian Zelder mulai membuat program sensor kimia dari turunan vitamin 12 terhadap sianida. Struktur kimia kompleks terdiri dari ion Co(III) pada bagian inti dan mempunyai dua ligan yang akan berikatan dengan sianida dan molekul air (Gambar 4.10). Ikatan struktur kimia kompleks yang terbentuk akan menghasilkan perubahan warna menjadi violet. Perubahan warna karena adanya ikatan antara chemosensor dan matriks biologi mengandung sianida didemonstrasikan pertama kali oleh Mannel-Croise, Probst, dan Zelder (2009). Gambar 4.11 menunjukkan warna larutan *chemosensor* 1 murni sebelum dan sesudah digunakan terhadap berbagai bentuk sampel ubi kayu.



Sumber: Zelder dan Tivana (2015)

Gambar 4.10 Struktur Formula *Corrin-based Chemosensors 1,2*

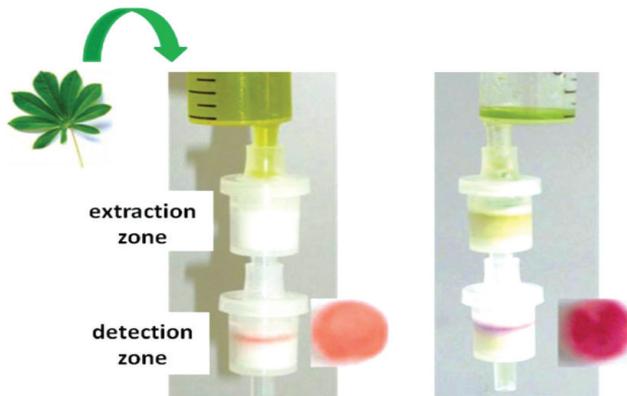
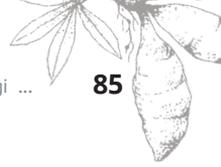
Metode *corrin-based chemosensors* lebih unggul dibandingkan metode deteksi sianida lainnya yang sudah tetap, terutama dalam hal kecepatan deteksi, yaitu hanya memerlukan waktu kurang dari 5 menit dan kemudahan dalam penanganan, baik sampel maupun larutan kimia. Cara lain dalam mendeteksi senyawa sianida dapat dilakukan menggunakan seperangkat alat filter tetap dengan larutan *corrin-based chemosensors* (Gambar 4.12). Cara ini digunakan untuk sampel daun ubi kayu. Warna hijau dari daun ubi kayu akan dihilangkan terlebih dahulu melalui bahan hidropobik silika putih, kemudian sianida akan terdeteksi pada filter selanjutnya, yaitu zona deteksi yang mengandung senyawa *corrin-based chemosensors*.



Ket.: (a) sebelum dan (b) sesudah aplikasi ekstrak kasar ubi kayu, (c) potongan ubi kayu segar, (d) sampel tepung ubi kayu, dan (e) sampel tepung ubi kayu yang telah dicuci

Sumber: Zelder dan Tivana (2015)

Gambar 4.11 Warna Larutan *Chemosensor 1* (1 mM)



Sumber: Zelder dan Tivana (2015)

Gambar 4.12 Susunan Percobaan untuk Deteksi Sianida Menggunakan Zona Deteksi

G. CARA MENGURANGI TOKSISITAS SIANIDA PADA UBI KAYU

Berbagai metode dilakukan untuk mengurangi tingkat toksisitas dan mempertahankan nilai nutrisi dari ubi kayu. Metode tersebut di antaranya adalah dengan cara mengupas, merebus, mengukus, mencacah, memanggang, fermentasi, dan yang paling umum dilakukan, yaitu mengeringkan dengan cara menjemur umbi yang telah dibuat sawut/keripik/*chip* (Garcia & Dale, 1999). Menurut Grace (1997), teknik pengolahan secara tradisional telah lama dilakukan di beberapa wilayah Afrika untuk membuat *garri*, yaitu bahan makanan dari ubi kayu yang populer di masyarakat Afrika. Ubi kayu yang telah diolah menjadi *garri* memiliki keunggulan, yaitu dapat disimpan lama dengan baik. Pengolahan ubi kayu menjadi bentuk *garri* dapat menurunkan tingkat toksisitas sianida. Beberapa modifikasi dalam proses pembuatan *garri*, yaitu dengan a) menambahkan air pada umbi ubi kayu yang telah diparut sebanyak 75% (v/w), kemudian memanaskannya pada suhu 50°C selama 6 jam, dan memfermentasikannya selama 3 hari (40% v/w) selama 12–18 jam, mengeringkan dan memanggangnya; b) Mengupas, mencuci, mengiris umbi kayu dan membuatnya menjadi sawut kemudian menggiling dan memfermentasikannya; atau menumbuk ubi kayu segar kemudian memfermentasikannya dengan menambahkan air kemudian mengeringkan dan mengayak sebelum memanggang dan membuatnya menjadi *garri*.

Kombinasi proses sangat berpengaruh terhadap hasil dan persentase tingkat penurunan racun sianida. Proses pengolahan umbi menjadi bentuk sawut/keripik kemudian dilanjutkan hingga menjadi bentuk *pellet* (Gambar 4.13) merupakan salah

satu teknik dalam mengurangi kandungan sianida (Adetunji, Isadare, Akinluwade, & Adewoye, 2015). Hasil penelitian Burns dkk. (2012) menyatakan bahwa kandungan sianida total yang terdapat pada makanan berbasis ubi kayu dalam bentuk keripik masih memiliki kandungan sianida total yang tinggi dibanding makanan yang menggunakan bahan olahan tepung, *pellet*, atau pati (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Kandungan Sianida Total Beberapa Produk Ubi Kayu di Melbourne (2010)

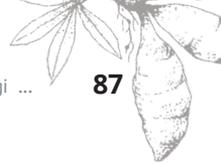
Produk	Asal	Sianida Total (ppm = mg HCN ekivalen/kg berat segar)
<i>Vegetable chips</i>	Australia dan bahan-bahan impor	26(6)
<i>Tapioca crisps (BBQ)</i>	Singapura	42(8)
<i>Cassava chips</i>	India	262 (34)
<i>Frozen cassava, peeled, grated</i>	Fiji dan Vietnam	52 (7,5)
<i>Tapioca flour, starch dan pearls</i>	Thailand	<1
<i>Soup powder dan dipping biscuits (gluten free)</i>	Australia dan bahan-bahan impor	<1
<i>Shrimp meat chip</i>	Korea	<1

Sumber: Burns dkk., (2012)



Sumber: Adetunji dkk. (2015)

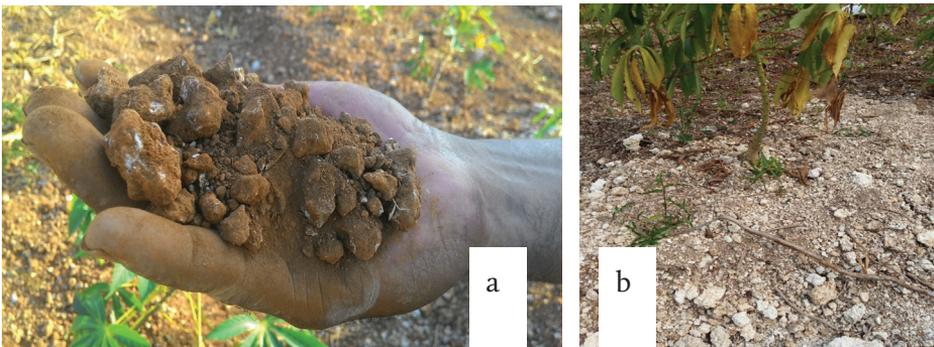
Gambar 4.13 Tahapan Pengolahan Ubi Kayu untuk Meminimalisasi Kandungan Sianida



H. PEMANFAATAN “ENBAL” UBI KAYU TINGGI SIANIDA DI MALUKU TENGGARA (MALRA)

Ubi kayu yang banyak tumbuh di daerah Maluku, terutama Maluku bagian tenggara, yaitu Kepulauan Kei Besar dan Kepulauan Kei Kecil, merupakan ubi kayu jenis pahit yang mengandung HCN dengan kadar lebih dari 90 ppm (Tabel 4.13) (Kurniawati, Hartati, & N. S. Hartati, 2016). Provinsi Maluku meskipun belum termasuk sebagai daerah penghasil utama ubi kayu, namun ubi kayu selalu ditanam secara sederhana pada skala rumah tangga dan dibutuhkan sebagai pangan lokal. Ubi kayu jenis enbal merupakan bahan konsumsi pangan rumah tangga terbesar dibandingkan bahan pangan lain, seperti beras, jagung, dan ubi jalar. Secara umum, masyarakat Maluku Tenggara menyebut ubi kayu menjadi dua kelompok, kelompok pertama adalah ubi kayu dengan rasa pahit yang disebut enbal dan kelompok kedua adalah ubi kayu dengan rasa manis yang disebut kasbi. Tiap-tiap kelompok masih terdiri dari beberapa jenis atau keragaman dalam bentuk dan warna umbi, daun, tangkai daun, serta batang.

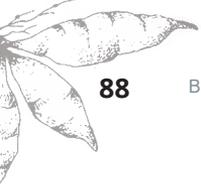
Enbal dan kasbi dapat tumbuh meskipun kondisi lahan di daerah Malra sangat miskin hara karena *top soil* yang tipis dan sebagian besar kondisinya berkarang (Gambar 4.14). Menurut informasi dari penyuluh dinas pertanian setempat, ubi kayu dengan rasa manis yang disebut kasbi merupakan ubi kayu introduksi (Sri, 2015, komunikasi pribadi). Seiring dengan sistem budi daya yang masih sangat sederhana dan dalam skala kecil, penanaman kasbi bercampur dengan jenis enbal. Meskipun kasbi mempunyai cita rasa yang lebih enak dan manis dibandingkan enbal, masyarakat Maluku Tenggara tetap lebih memilih menanam enbal, di antaranya jenis Tayando atau Lislis.



Ket.: (a) di Kabupaten Tula Maluku Tenggara dan (b) Ohoi Ngilngof

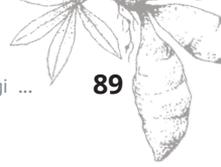
Sumber: Lab. GMMJBT (2017)

Gambar 4.14 Kondisi Tanah pada Lahan Budi Daya Ubi Kayu



Banyak alasan, mengapa petani ubi kayu di Malra masih memilih menanam enbal di kebun atau pun pekarangan rumahnya. Enbal merupakan jenis ubi kayu khas daerah Malra (ubi kayu lokal) yang dikonsumsi bersama dengan lauk pauk, terutama ikan secara turun temurun dengan berbagai varian olahan (Gambar 4.15). Masyarakat mempercayai bahwa mengonsumsi enbal dapat menahan rasa lapar yang lebih lama (tetap kenyang) karena kandungan patinya tinggi sehingga baik untuk diet para penderita diabetes. Ubi kayu jenis enbal juga mempunyai produktivitas yang tinggi. Jika dipanen dengan umur lebih dari 12 bulan, akan menghasilkan umbi berjumlah 4–15 buah dengan kisaran berat 5–12 kg/tanaman. Selain sebagai makanan pokok, enbal juga diolah menjadi panganan cemilan atau makanan pendamping dalam bentuk enbal bunga dan makanan ringan (stik) (Gambar 4.16).

Proses pengolahan enbal menjadi bahan pangan yang biasa dilakukan di Maluku Tenggara agar aman pangan, yaitu pertama setelah umbi enbal dipanen, umbi segera dikupas bagian korteks/kulit luar umbinya. Umumnya umbi enbal mempunyai kategori pengelupasan kulit yang sukar karena dipanen rata-rata di atas 12 bulan. Umbi yang telah dikupas kemudian dicuci bersih dari kotoran-kotoran yang menempel. Perendaman umbi sesekali dilakukan. Umbi bersih selanjutnya dilakukan proses pamarutan. Hasil parutan umbi dicetak menggunakan alat sederhana, biasanya berbentuk bulat dengan diameter antara 20–30 cm, dan dilakukan pengepresan atau penekanan agar kandungan air yang terdapat dalam enbal dapat keluar. Tahapan penting dari pengolahan enbal adalah proses pemerasan. Proses pemerasan ini sangat penting karena bertujuan untuk menghilangkan kandungan HCN yang tinggi pada umbi enbal. Tahapan selanjutnya adalah proses pengeringan. Pengeringan enbal dilakukan menggunakan penjemuran dibawah sinar matahari. Cetakan enbal yang telah kering kerap masih menyisakan aroma asam. Bahan pangan berupa enbal cetak siap diolah lebih lanjut (Gambar 4.15), biasanya dikonsumsi sebagai menu utama, seperti halnya nasi. Hasil akhir pemrosesan tepung enbal sudah tidak mengandung HCN. HCN dapat hilang 100% pada bahan pangan dan sangat aman untuk dikonsumsi tanpa menghilangkan kandungan nutrisi lainnya, seperti protein, Fe, dan Zn (Tabel 4.3).



Tabel 4.3 Kandungan Nutrisi Ubi Kayu Genotipe Lokal Maluku Tenggara

Parameter	Umbi Enbal 1	Umbi Enbal 2	Umbi Enbal 3	Tepung Enbal
Protein (%)	0,66	0,76	0,93	0,68
Beta Karoten (ppm)	ND	ND	ND	ND
HCN (ppm)	90,10	58,26	96,04	ND
Fe (ppm)	4246,54	19,54	36,22	33,97
Zn (ppm)	16,14	8,59	6,67	5,11

Keterangan: ND: *not detected*.

Sumber: Lab GMMJBT(2015)

Di negara lain, salah satunya Amazon, juga menggunakan ubi kayu sebagai makanan pokok dengan kandungan sianida tinggi. Meskipun banyak tumbuh dan tersedia ubi kayu dengan kandungan sianida rendah, tetapi beberapa suku di wilayah tersebut menanam dan mengonsumsi ubi kayu tinggi sianida. Ubi kayu tinggi sianida tetap dipilih untuk ditanam sebagai tanaman pangan karena adanya persepsi bahwa jenis ubi kayu tinggi sianida dapat menghasilkan panen umbi yang lebih tinggi (Wilson & Dufour, 2002).

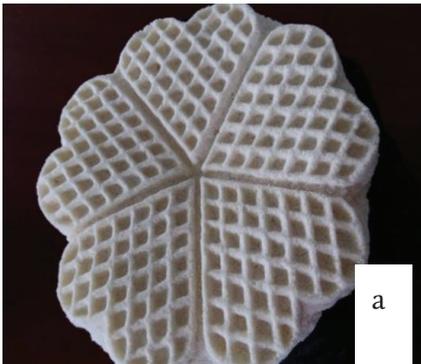
Menurut Montagnac, Daus, dan Tanumihardjo (2009), memukul atau menghancurkan bagian dari ubi kayu sangat efektif untuk menghilangkan kandungan glukosida sianogenik karena proses tersebut dapat memecah sel, kemudian terjadi hambatan hidrolisis kontak langsung antara linamarin dan enzim linamarase pada proses katabolisme. Proses pamarutan dan penjemuran menggunakan sinar matahari untuk membuat umbi ubi kayu menjadi tepung dapat menghilangkan 96–99% kandungan total sianida. Proses perendaman dan penjemuran atau kombinasi perendaman, fermentasi, dan pemanggangan dapat menghilangkan 98% sianogen. Daun ubi kayu yang mempunyai 10 kali lipat kandungan sianigen dibandingkan umbi, melalui proses pemukulan dan perebusan daun efisien dapat menghilangkan kandungan sianogen sebesar 99%.

Proses pengolahan enbal secara tradisional di Maluku Tenggara terbukti sangat efektif dalam menghilangkan kandungan HCN pada ubi kayu tinggi sianida. Modifikasi pengolahan enbal juga telah dilakukan di antaranya menjadi tepung mocaf enbal agar tepung yang dihasilkan lebih memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan berkualitas (Gambar 4.15 dan 4.16).



Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 4.15 Varian Produk Olahan Enbal Secara Tradisional sebagai Makanan Pokok

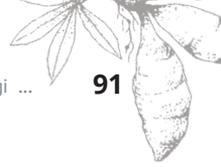


Ket.: (a) Bunga dan (b) Stik Enbal sebagai Makanan Pendamping atau Cemilan

Sumber: Lab GMMJBT(2015)

Gambar 4.16 Bentuk Enbal

Di Kepulauan Pasifik, umbi ubi kayu yang digunakan sebagai makanan pokok umumnya direbus dahulu sebelum dikonsumsi. Umbi dipotong-potong menjadi ukuran sekitar 40 cm atau lebih kecil dan diperoleh hasil sekitar 50% kandungan sianidanya dapat hilang. Namun, ketika umbi belum cukup lembut atau empuk pada saat proses perebusan maka penurunan kadar HCN terjadi hanya 40%. Ketika umbi diproses dengan cara diparut dan kemudian baru direbus, diperoleh hasil bahwa kandungan sianida berkurang sebesar 80%. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencucian dan perebusan atau kombinasi proses pengolahan sebelum dikonsumsi



dapat mengurangi kandungan HCN dari ubi kayu (Kurniawati, Hartati, Hartati, Taryana, & Nawawi, 2015).

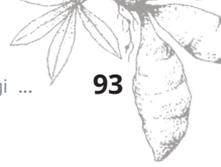
KESIMPULAN

Ubi kayu memiliki kandungan nutrisi yang sangat berpotensi selain kandungan pati, di antaranya adalah kandungan beta karoten, vitamin, dan mineral. Terdapat dua jenis umbi ubi kayu ditinjau dari cita rasa yang berkorelasi sangat erat dengan kandungan anti-nutrisinya, yaitu racun sianida. Ubi kayu tinggi sianida banyak dibudidayakan dan dimanfaatkan menjadi bahan makanan pokok. Secara karakteristik morfologi, ubi kayu dengan kandungan sianida tinggi dapat diketahui dari warna pucuk daun. Ubi kayu dengan kadar HCN tinggi umumnya memiliki pucuk berwarna hijau keunguan hingga ungu. Salah satu jenis ubi kayu bersianida tinggi adalah enbal dari Maluku Tenggara. Enbal dengan HCN tinggi dapat dikonsumsi secara aman setelah dilakukan proses pengolahan secara tradisional. Kandungan racun sianida pada enbal dapat dihilangkan hingga 100%. Proses pencucian, perendaman, perebusan, pemotongan, pamarutan, atau perajangan menjadi bentuk yang terkecil serta penjemuran atau pengeringan merupakan proses penting yang sangat berperan dalam menghilangkan kandungan HCN dari umbi atau daun ubi kayu.

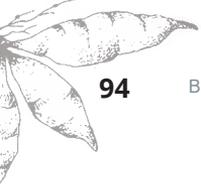
DAFTAR PUSTAKA

- Adetunji, A. R., Isadare, D. A., Akinluwade, K. J., & Adewoye, O. O. (2015). Waste-to-wealth applications of cassava-A review study of industrial and agricultural applications. *Advances in Research*, 4(4), 212-229.
- Akintonwa, A., Tunswaashe, O., & Onifade, A. A. (1994). Fatal and non-fatal acute poisoning attributed to cassava based meal. *Acta Horticult.*, 375, 285-288.
- Antia, B. S., Akpan, E. J., Okon, E. A., & Umoren, I. U. (2006). Nutritive and anti nutritive of evaluation of sweet potatoes leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5, 166-168.
- Balagopalan, C., Padmaja, G., Nanda S. K., & Moorthy S. M. (1988). *Cassava in food, feed, and industry*. Boca Raton, Florida USA: CRC Press.
- Bantacut, T. (2010). Ketahanan pangan berbasis cassava. *Pangan*, 19(4), 3-13.
- Barratt, N., Chitundu, D., Dover, O., Elsinga, J., Eriksson, S., Guma, L., ... & Stevens, T. (2006). Cassava as drought insurance: Food security implications of cassava trials in Central Zambia. *Agrekon*, 45(1), 106-123.
- Bradbury, J. H., & Denton, I. C. (2011). Mild methods of processing cassava leaves to remove cyanogens and conserve key nutrients. *Food Chemistry*, 127, 1755-1759.

- Bradbury, M. G., Egan, S. V., & Bradbury, J. H. (1999). Picrate paper kits for determination of total cyanogens in cassava roots and all forms of cyanogens in cassava products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(4), 593–601.
- Burns, A. E., Bradbury, J. H., Cavagnaro, T. R., & Gleadow, R. M. (2012). Total cyanide content of cassava food products in Australia. *Journal of Food Composition and Analysis* 25(1), 79–82.
- Cardoso, A. P., Mirione, E., Ernesto, M., Massaza, F., Cliff, J., Haque, M. R., & Bradbury, J. H. (2005). Processing of cassava roots to remove cyanogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 451–460.
- Chávez, A. L., Sánchez, T., Jaramillo, G., Bedoya, J. M., Echeverry, J., Bolaños, E. A., Ceballos, H., & Iglesias, C. A. (2005). Variation of quality traits in cassava roots evaluated in landraces and improved clones. *Euphytica*, 143, 125–133.
- Claves, A. I., Bedoya, J. M., Sanchez, T., Iglesias, C., Ceballos, H., & Roca, W. (2000). Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), 410–413.
- Conn, E. E. (1979). Cyanogenic glycosides. Dalam A. Neuberger, & T. H. Jukes (eds.). *International Review of Biochemistry: Biochemistry of Nutrition*, 27, 21–43. Baltimore: University Park Press.
- Conn, E.E. (1969). Cyanogenic glycosides. *J. Agric. Food Chem.*, 17(3), 519–526.
- Delange, F., Ekpechi, L. O., & Rosling, H. (1994). Cassava cyanogenesis and iodine deficiency disorders. *Acta Horticulturae* 375, 289–293.
- Deptan. (2007). *Panduan pengujian individual kebaruan, keunikan, keseragaman dan kestabilan Ubi kayu*. Pusat Perlindungan Varietas Tanaman. Hlm. 22.
- Dhas, P. K., Chitra, P., Jayakumar, S., & Mary, A. R. (2011). Study of the effects of hydrogen cyanide exposure in cassava workers. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 15(3), 133–136.
- Drochioiu, G., Arsene, C., Murariu, M., & Oniscu, C. (2008). Analysis of cyanogens with resorcinol and picrate. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 3540–3545.
- Emmanuel, O. A., Clement, A., Agnes, S. B., Chiwona-Karltun, L., & Drinah, B. N. (2012). Chemical composition and cyanogenic potential of traditional and high yielding CMD resistant cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties. *International Food Research Journal*, 19(1), 175–181.
- Ernesto, M., Cardoso, A. P., Nicala, D., Mirione, E., Massaza, F., Cliff, J., Haque, M. R., & Bradbury, J. H. (2002). Strategy for the elimination of konzo in Mozambique. *Roots*, 8(1), 8–11.
- Ezeigbo, O. R., Ukabi, C. F., Ike-Amadi, C. A. & Ekaiko, M. U. (2015). Determination of starch and cyanide contents of different species of fresh cassava tuber in Abia State, Nigeria. *British Biotechnology Journal*, 6(1), 10–15.
- FAO/WHO. (1995). *Codex Standard for Edible Cassava Flour. Codex Standard 176-1989*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organisation and World Health Organisation of the United Nations.
- Fukuda, W. M. G., Guevara, C. L., Kawuki, R., & Ferguson, M. E. (2010). *Aelected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava*. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture (IITA). 19 pp.



- Garcia, M., & Dale, N. (1999). Cassava root meal for poultry. *Applied Poultry Science*, 8, 132–137.
- Grace, M. R. (1997). *Plant Production and Protection Series Number 3*. Rome: FAO.
- Halstrøm, F., & Møller, K. O. (1945). The content of cyanide in human organs from cases of poisoning with cyanide taken by mouth; with a contribution to the toxicology of cyanides. *Acta Pharmacol Toxicol*, 1(1), 18–28.
- Haque, M. R., & Bradbury, J. H. (1999). Simple method for determination of thiocyanate in urine. *Clinical Chemistry*, 45, 1459–1464.
- Islam, A. T. M. T., Prodhan, A. K. M. A., & Fakir, M. S. A. (2007). Morphological differences in three cassava morphotypes. *J. Agrofor. Environ.*, 1(2), 113–116.
- Khieu, B., Chhay, T., Ogle, R. B., & Preston, T. R. (2005). Research on the use of cassava leaves for livestock feeding in Cambodia. *Proceeding of the regional workshop on "The Use of Cassava Roots and Leaves for On-Farm Animal Feeding"*, Hue, Vietnam 2005, 17–19.
- King, N. L. R., & Bradbury, J. H. (1995). Bitterness of cassava: Identification of a new apiosyl glucoside and other compounds that affect its bitter taste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68, 223–230.
- Kurniawati, S., Hartati, & Hartati, N. S. (2016). Pengelolaan terpadu ubi kayu lokal Maluku Tenggara melalui aplikasi pupuk organik hayati, pengolahan mocaf enbal dan inisiasi produksi bibit kultur jaringan. *Prosiding Kongres Teknologi Nasional 2016*, 512–524.
- Kurniawati, S., Hartati, N. S., Hartati, Taryana, N., & Nawawi. (2015). Peningkatan nilai ekonomi ubi kayu melalui pengelolaan terpadu budi daya dan pascapanen untuk mendukung penyediaan bahan pangan nasional berkualitas tinggi di daerah Maluku Tenggara. Laporan Akhir Tahun Kegiatan Agro-Marine Techno Park–LIPI, Pusat Penelitian Oseanografi Tahun Anggaran 2015. Diakses pada 11 November 2017 dari [http://repository.usp.ac.fj/4852/1/Report Cyanide_in_Cassava_and_Cassava_Products2.pdf](http://repository.usp.ac.fj/4852/1/Report%20Cyanide%20in%20Cassava%20and%20Cassava%20Products2.pdf)
- Männel-Croisé, C., Probst, B., & Zelder, F. (2009). A straightforward method for the colorimetric detection of endogenous biological cyanide. *Anal. Chem.*, 81(22), 9493–9498.
- Mariyono, Anggraeny, Y. N., & Kiagega, L. (2008). Teknologi alternatif pemberian pakan sapi potong untuk wilayah industri bagian Timur. *Pros. Seminar Nasional Sapi Potong*. Palu, 24 November 2008. BPTP Sulawesi Tengah, 151–159.
- Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Processing techniques to reduce toxicity and antinutrients of cassava for use as a staple food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 17–27.
- Monte, J. I. C. (2013). Antimicrobial activity of selected phytochemicals against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* cells and biofilms. *Thesis*. Faculdade de Engenharia-Universidade do Porto. FEUP.
- National Research Council. (2002). *Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals: Volume 2*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10522>.
- Nirwanto, W. 2012. Karakteristik morfologi dan pola pita isozim pada ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz.) tinggi beta karoten. (Skripsi). Fakultas MIPA Program Studi Biologi, Depok.
- Osuntokun, B. O. (1973). Ataxic neuropathy associated with high cassava diets in West Africa. In Nestel, B., MacIntyre, R. (Eds.), *Chronic Cassava Toxicity*. Ottawa, Kanada: International Development Research Centre, 127–138.

- 
- Osuntokun, B. O. (1994). Chronic cyanide intoxication of dietary origin and a degenerative neuropathy in Nigerians. *Acta Horticulturae*, 375, 311–321.
- Preston, T. R., Rodrigues, L., & Borin, K. (2000). Associations of cassava and legume trees as perennial forage crops for livestock. In: T.R. Preston and R.B. Ogle (Eds.). *Workshop-seminar “making better use of local feed resources”* January 2000. SARE-UAF, UAF, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Ravindran, V. (1991). Preparation of cassava leaf products and their use as animal feed. Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding (Editors: D Machin and Solveig Nyvold). *FAO Animal Production and Health Paper*, 95, 111–122.
- Richardson, K. V. A. (2013). Quality characteristics, root yield and nutrient composition of six cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties. *Gladstone Road Agricultural Center Crop Research Report 18*, 1–13.
- Tonukari, N. J. (2004). Cassava and the future of starch. *Electronic Journal of Biotechnology*, 7(1), 5–8.
- Vetter, J. (2000). Plant cyanogenic glycosides. *Toxicon*, 38, 11–36.
- White, W. L. B., Arias-Garzon, D. I., McMahon, J. M. & Sayre, R. T. (1998). Cyanogenesis in Cassava: The role of hydroxynitrile lyase in root cyanide production. *Physiol*, 116, 1219–1225.
- Wilson, W. M. & Dufour, D. L. (2002). Why “bitter” cassava? The productivity of “bitter” and “sweet” cassava in a Tukanoan Indian settlement in the Northwest Amazon. *Economic Botany*, 56(1), 49–57.
- Zagrobelyny, M., Bak, S., Rasmussen, A. V., Jørgensen, B., Naumann, C. M. & Møller, B. L. (2004). Cyanogenic glucosides and plant-insect interactions. *Phytochemistry* 65, 293–306.
- Zelder, F. & Tivana, L. (2015). Corrin-based chemosensors for the ASSURED detection of endogenous cyanide. *Org. Biomol. Chem.*, 13, 14–17.

BAB KELIMA



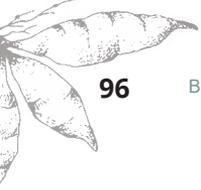
Propagasi *in vitro* Ubi Kayu

Nurhamidar Rahman, Hani Fitriani, Hartati, dan Enny Sudarmonowati

A. PROPAGASI *in vitro*

Perbanyak (propagasi) secara *in vitro* (kultur jaringan) merupakan suatu metode pengisolasian bagian dari tanaman, seperti protoplasma, sekelompok sel, jaringan, organ, dan protoplas, dalam keadaan aseptik sehingga bagian-bagian tersebut dapat memperbanyak diri dan beregenerasi menjadi tanaman utuh/lengkap atau planlet yang sama dengan induknya, dan selanjutnya dapat ditanam di lingkungan yang autotrof (Katuuk, 1989). Propagasi *in vitro* telah diaplikasikan pada ubi kayu untuk tujuan perbanyak jumlah tanaman, konservasi genetik *resources* tanaman, dan perbaikan genetik tanaman.

Menurut Suryana (2009), salah satu permasalahan utama yang dihadapi dalam pengembangan agroindustri pangan nonberas, seperti ubi kayu, yaitu ketersediaan bahan baku pangan lokal yang tidak kontinu sehingga tidak dapat menjamin keberlanjutan industri pengolahannya, misalnya pada pengolahan tepung *cassava*. Strategi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan teknologi modern melalui teknik *in vitro* untuk menunjang ketersediaan dan kontinuitas produksi serta kegiatan penelitian perbaikan tanaman. Selain itu, teknologi *in vitro* dapat mengatasi permasalahan mengenai hama dan penyakit pada tanaman ubi kayu, seperti *Cassava Mosaik Virus* (CMV) yang menyerang ubi kayu dan merupakan ancaman yang dapat menurunkan tingkat produksi ubi kayu.

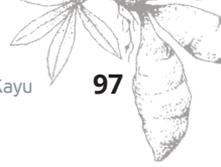


Umumnya, pemeliharaan ubi kayu dilakukan di lapangan dalam bentuk koleksi stek, tetapi aplikasi propagasi in vitro memiliki beberapa keuntungan, di antaranya sebagai berikut.

1. Tanaman hasil perbanyakan dapat disimpan dalam waktu yang lama dengan biaya pemeliharaan yang rendah jika ditumbuhkan dengan kondisi *slow growth*.
2. Bebas dari penyakit.
3. Lebih mudah mengatur kondisi pertanaman, terutama dari kandungan nutrisi, konsentrasi zat pengatur pertumbuhan (ZPT), kadar gula, cahaya, temperatur, dan kelembapan.
4. Dapat diaplikasikan pada berbagai jenis tanaman.
5. Tidak dipengaruhi musim.
6. Hanya membutuhkan bagian kecil tanaman untuk memproduksi tanaman baru yang utuh.

Penelitian perbanyakan dan perbaikan tanaman ubi kayu melalui teknik kultur jaringan telah banyak dilakukan. Penelitian yang dilakukan mencakup penelitian pembentukan tunas baru (multiplikasi tunas) dan pembentukan kalus embriogenik (Hankoua dkk., 2006; Onuoch & Onwubiku, 2007; Feitosa, Bastos, Ponte, Juca, & Campos, 2007; Rossin & Rey, 2011; Wongtiem dkk., 2011; Mapayi, Ojo, Oduwaye, & Porbeni, 2013; Hartati, Rahman, Fitriani, & Sudarmonowati, 2013). Penelitian perbaikan tanaman ubi kayu di Afrika dan negara Amerika Latin difokuskan terhadap perbaikan genotipe atau varietas yang tahan terhadap hama dan penyakit (Mushiyama dkk., 2011; Cacai dkk., 2013). Perbaikan sifat ubi kayu yang telah dilakukan di Indonesia, yaitu peningkatan kandungan nutrisi pada umbi seperti jenis protein tertentu komponen lain, seperti fosfor dan rasio antara amilosa dan amilopektin (Sudarmonowati, Hartati, & Taryana, 2002).

Selain pada tanaman ubi kayu, kultur jaringan juga dimanfaatkan oleh usaha-usaha berskala besar dan laboratorium kultur jaringan untuk memperbanyak bibit tanaman perkebunan dan hortikultura yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, seperti jati, gaharu, sengon, kopi, kakao, dan pisang serta tanaman hias, seperti anggrek, aglonema, dan anthurium.



B. JENIS-JENIS PROPAGASI *IN VITRO*/KULTUR JARINGAN

Kultur jaringan (*tissue culture*) dapat digolongkan menjadi beberapa jenis berdasarkan bahan tanaman yang digunakannya, yaitu kultur meristem, kultur protoplasma, kultur kalus, dan kultur meristem, yang akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

1. Kultur meristem

Kultur yang menggunakan eksplan dan berasal dari jaringan meristem biasanya diperoleh dari meristem apikal atau meristem tunas aksilar. Eksplan meristem ini berada di bagian dalam ujung jaringan sehingga dibutuhkan suatu alat, yaitu mikroskop untuk mengambil jaringan ini. Tujuan utama aplikasi kultur meristem adalah mendapatkan dan memperbanyak tanaman yang bebas virus (eliminasi virus dari bahan tanaman). Kultur meristem telah banyak diterapkan pada berbagai tanaman.

Kultur meristem merupakan suatu metode perbanyakan tanaman yang bebas virus dan secara luas sudah diaplikasikan, terutama pada tanaman hortikultura. Sel-sel meristem pada umumnya stabil karena mitosis pada sel-sel meristem terjadi bersamaan dengan pembelahan sel yang berkesinambungan sehingga ekstra duplikasi DNA dapat dihindarkan. Hal ini menyebabkan tanaman yang dihasilkan identik dengan tanaman donornya (Gunawan, 1988).

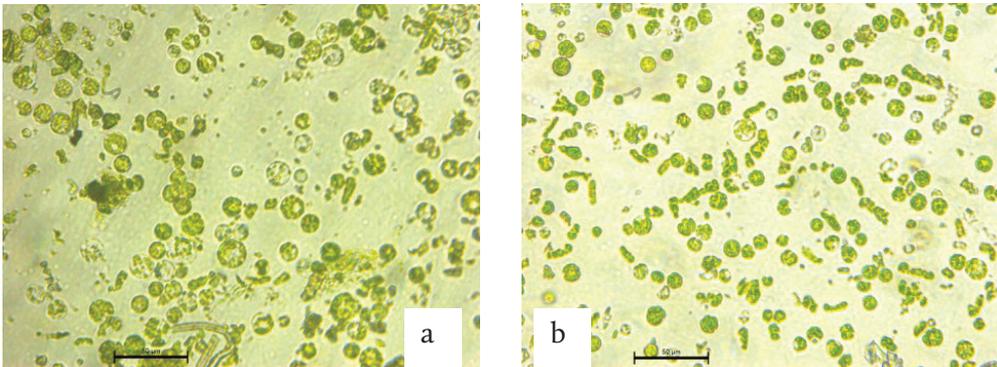
Jaringan meristem merupakan jaringan yang sel-selnya aktif membelah. Biasanya, jaringan ini akan mempunyai daya hidup yang lebih besar dan dapat beregenerasi dengan baik apabila ditanam bersama dengan daun primordianya. Namun, jika tujuannya untuk mendapatkan tanaman bebas virus, sebaiknya meristem ditanam tanpa disertakan daun primordia. Jaringan meristem termasuk jaringan vegetatif sehingga planlet yang dihasilkan pun merupakan suatu klon. Oleh karena itu, kelompok tanaman yang dihasilkan dari kultur meristem sering disebut *mericlone*. Pada umumnya, jaringan meristem akan tumbuh dan berkembang menjadi planlet dalam waktu 3–6 bulan setelah tanam melalui subkultur berulang. Keberhasilan kultur meristem tergantung beberapa faktor, di antaranya media kultur, keadaan fisiologis eksplan, dan lingkungan fisik tumbuh.

2. Kultur Protoplasma

Dewasa ini muncul masalah pengembangan tanaman unggul. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menciptakan varietas baru yang berproduksi tinggi serta tahan terhadap hama, penyakit, dan cekaman abiotik. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan varietas baru, antara

lain melakukan persilangan dengan spesies tertentu, melakukan mutasi buatan, penerapan metode transformasi, dan melakukan kultur protoplas.

Protoplas pada dasarnya adalah sel hidup yang dihilangkan dinding selnya atau sering disebut sebagai sel telanjang. Satu-satunya pembatas adalah membran plasma yang membatasi lingkungan luar dengan bagian dalam sel. Sel yang sudah kehilangan dinding selnya akan menghadapi perubahan tekanan osmotik yang sangat drastis dan berbeda dengan lingkungan semula. Tekanan osmotik yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat merusak viabilitas protoplas. Namun, lingkungan dengan tekanan osmotik yang cocok dapat memelihara kestabilan protoplas lebih lama. Penghilangan dinding sel dapat dilakukan dengan cara mekanik atau enzimatik. Oleh karena itu, protoplas membutuhkan proteksi osmotik di dalam medium sampai dinding sel terbentuk. Osmotikum dibutuhkan mulai dari isolasi sampai kultur. Sementara itu, eksplan yang dapat digunakan untuk isolasi protoplas adalah semua bagian tanaman yang masih muda. Kegiatan kultur protoplas pada tanaman ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI sudah dilakukan dengan menggunakan eksplan dari mesofil daun ubi kayu dari genotipe yang tersedia di kultur (Gambar 5.1)

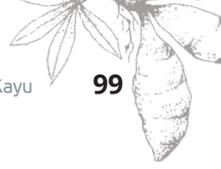


Keterangan:

- a) protoplas sebelum dipurifikasi
- b) protoplas setelah dipurifikasi

Sumber: Lab. GMMJBT (2016)

Gambar 5.1 Kondisi protoplas ubi kayu diamati di mikroskop *inverted* (40x).

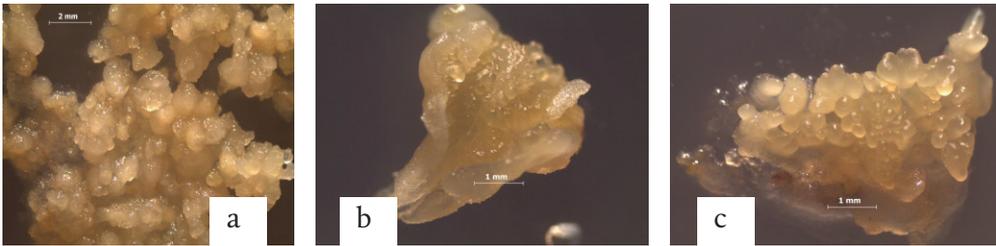


3. Kultur Kalus

Kultur kalus merupakan salah satu teknik kultur *in vitro* yang banyak digunakan untuk menghasilkan bibit tanaman bebas penyakit. Terdapat banyak keuntungan dalam penggunaan kultur kalus, antara lain dapat diproduksi dalam jumlah banyak dengan kondisi lingkungan yang terkontrol, tidak memerlukan lahan yang luas, dan dapat menghasilkan metabolit yang lebih tinggi dari tanaman aslinya (Yustina, 2003).

Kalus adalah kumpulan massa sel yang terdiri atas sel-sel yang belum terorganisasi (*amarphous*) dan terjadi dari sel-sel jaringan yang membelah diri secara terus-menerus. Secara *in vitro*, kalus dapat terbentuk pada bekas-bekas luka irisan karena sebagian sel pada permukaan irisan tersebut akan mengalami proliferasi (Hendaryono & Wijayani, 1994). Adapun tipe-tipe kalus menurut Kesee dkk. (1991) dalam Sugiyono (1993), yaitu kalus embriogenik, kalus proliferaatif, dan kalus senesen.

Penggunaan ZPT tanaman dalam media kultur kalus merupakan bagian yang perlu diperhatikan. ZPT 2,4-D merupakan senyawa yang dapat memacu terbentuknya kalus. Pembentukan kalus pada ujung eksplan menurut Krisnamoorthy (1981) dalam Astutik (2007) diawali dengan membesarnya sel-sel epidermis bagian atas, kemudian sel-sel tersebut membelah menjadi dua. Ketika tanaman dilukai maka kalus akan terbentuk, akibat selnya mengalami kerusakan dan terjadi autolisis (pemecahan). Dari sel yang rusak tersebut dihasilkan senyawa-senyawa yang merangsang pembelahan sel di lapisan berikutnya sehingga terbentuk gumpalan sel-sel yang terdeferensiasi. Menurut Kharisma (2011), adanya proses pembelahan dan pembesaran sel secara terus-menerus menyebabkan jumlah dan besar sel bertambah sehingga berat kalus meningkat pula. Hal ini tidak terlepas dari fungsi gula sebagai sumber energi yang berperan penting dalam kultur jaringan, terutama kultur kalus yang belum mampu melakukan fotosintesis untuk menghasilkan gula yang dibutuhkan untuk pertumbuhan eksplan. Menurut Kumari, Settu, dan Sujatha (2006), kalus yang berwarna putih kekuningan dengan struktur yang kompak mengindikasikan adanya kapasitas embriogenik dari massa kalus tersebut. Gambar 5.2 adalah beberapa kalus embriogenik yang berasal dari beberapa genotipe ubi kayu koleksi LIPI.



Keterangan:

- a) Gajah
- b) Mentega 2
- c) Merauke

Sumber: Fathoni (2017)

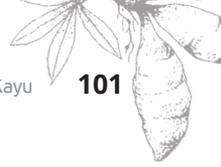
Gambar 5.2 Kalus Embriogenik Beberapa Genotipe Ubi Kayu

4. Kultur Suspensi

Kultur sel mempunyai prinsip dasar, yaitu bahan tanam yang bersifat totipotensi dan budi daya yang terkendali. Pelaksanaan teknik kultur jaringan ini berdasarkan teori sel, seperti yang dikemukakan oleh Schleiden (1838) dan Schwann (1839) dalam Vasil (2008), yaitu bahwa sel mempunyai kemampuan autonom, bahkan mempunyai kemampuan totipotensi. Totipotensi adalah kemampuan setiap sel, dari mana saja sel tersebut diambil, apabila diletakkan dalam lingkungan yang sesuai akan dapat tumbuh menjadi tanaman yang sempurna (Suryowinoto, 1991). Kultur suspensi sel merupakan hasil dari kultur kalus, di mana kalus biasanya didefinisikan untuk kumpulan sel-sel yang belum berdiferensiasi dan jika ini dipisahkan dalam kultur cair maka disebut kultur suspensi. Kultur suspensi sel dapat dimanfaatkan untuk memproduksi suatu zat, langsung dari sel tanpa membentuk tanaman lengkap baru. Zat-zat bisa meliputi massa sel atau ekstrak bahan kimia. Kultur seperti ini serupa dengan kultur mikroorganisme. Sel-sel yang digunakan dapat direayasa secara genetik untuk meningkatkan sintesis zat tertentu.

5. Kultur anther/haploid

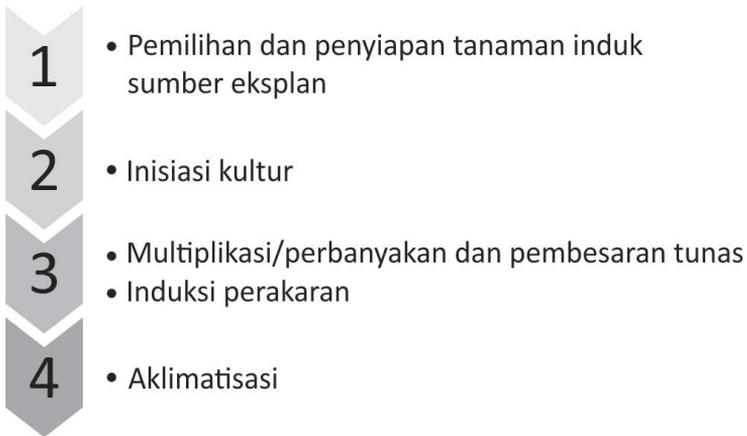
Kultur anther juga sering disebut kultur haploid jika serbuk sari digunakan sebagai sumber eksplan. Kultur serbuk sari ini lebih tepat disebut kultur haploid dibandingkan kultur anther. Keuntungan dari tanaman haploid adalah sebagai berikut.



- a. Semua sifat ditampilkan dalam kondisi mampu menghasilkan tanaman haploid atau tanaman yang hanya mempunyai satu genom saja (monohaploid), baik sifat dominan maupun resesif.
- b. Seleksi pada level haploid jauh lebih mudah dibandingkan level ploidi yang tinggi.
- c. Penggandaan kromosom tanaman haploid akan menghasilkan tanaman diploid yang homozigot, sedangkan penggandaan kromosom berikutnya akan menghasilkan tanaman tetraploid homozigot.
- d. Hibridisasi seksual dengan tanaman diploid akan menghasilkan tanaman triploid

C. TAHAPAN PROPAGASI *IN VITRO* UBI KAYU

Proses kultur jaringan memiliki beberapa tahapan, antara lain mempersiapkan dan mengondisikan tanaman induk sebagai sumber eksplan agar tanaman yang digunakan tumbuh dengan baik; inisiasi kultur; multiplikasi tunas dan perakaran serta aklimatisasi (Gambar 5.3). Tanaman induk yang dipilih harus jelas jenis, spesies, dan varietasnya bebas hama dan penyakit. Setelah mendapatkan tanaman indukan, dilanjutkan dengan sterilisasi yang tepat, baik dari jenis sterilan, konsentrasi maupun lama perlakuan. Tahap selanjutnya, yaitu induksi multiplikasi atau perbanyak tanaman. Pada tahap ini ditambahkan hormon sitokinin dalam media kulturnya dengan konsentrasi rendah untuk merangsang pembentukan tunas adventif. Tunas yang dihasilkan kemudian dipindahkan ke media lain untuk pertumbuhan atau pembesaran tunas. Apabila tunas telah besar dan sudah lengkap, baik daun maupun akarnya, tunas tersebut dipindahkan ke lapangan atau ke lingkungan luar, seperti ke rumah kaca atau *greenhouse*. Penyungkupan dilakukan pada tanaman yang diaklimatisasi tersebut untuk menjaga kelembapannya. Media aklimatisasi dapat berupa sekam bakar, *cocopeat* atau serbuk pakis. Disarankan media disterilkan terlebih dahulu dengan cara direbus atau disemprot dengan cairan fungisida yang dicampur dengan furadan.



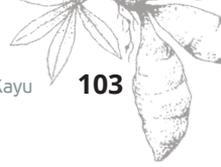
Gambar 5.3 Tahapan Kegiatan dalam Kultur Jaringan Tanaman

1. Sterilisasi dan Inisiasi Kultur

Pada tahap ini, eksplan yang digunakan harus jelas, baik jenis, spesies, maupun varietasnya serta harus sehat dan bebas dari hama dan penyakit. Tanaman indukan sebagai sumber eksplan harus dikondisikan dan dipersiapkan secara khusus di rumah kaca sehingga eksplan yang akan dikulturkan sehat dan dapat tumbuh baik serta bebas dari sumber kontaminan.

Sterilisasi bahan merupakan kegiatan untuk menghilangkan kontaminan organisme yang menempel di permukaan eksplan. Tujuan utama tahap ini adalah mengusahakan kultur yang aseptik dan aksenik. Aksenik berarti bebas dari mikroorganisme yang tidak diinginkan, sedangkan aseptik berarti bebas dari mikroorganisme (Sani, 2007).

Sterilisasi merupakan salah satu faktor yang memengaruhi propagasi secara *in vitro* ubi kayu. Pengertian sterilisasi sama seperti yang dilakukan pada perbanyakan tanaman *in vitro* lainnya dengan teknik kultur jaringan, yaitu segala kegiatan dalam kultur jaringan harus dilakukan di tempat yang steril atau di *Laminar Air Flow* (LAF) dan menggunakan etanol yang disemprotkan secara merata pada peralatan yang digunakan. Sumber eksplan yang diambil dari lapang disterilisasi terlebih dahulu. Tahapan sterilisasi ubi kayu yang selama ini dilakukan di Puslit Bioteknologi LIPI adalah sebagai berikut. Awalnya eksplan di potong sepanjang 12–15 cm (3–5 tunas), lalu dicuci dengan detergen di bawah air mengalir selama kurang lebih 1 jam. Pembilasan dilakukan dengan menggunakan akuades steril sebanyak dua kali. Setelah itu, direndam dithane 4% dan digoyang-goyangkan selama 1,5 jam. Tahapan



selanjutnya dilakukan di dalam LAF, yaitu eksplan direndam sambil dikocok terlebih dahulu menggunakan Clorox 5% selama 3 menit dan dibilas sebanyak enam kali dengan menggunakan alkohol 70% selama 3 menit, kemudian dibilas sebanyak enam kali dengan akuades steril. Induksi tunas dilakukan pada media MS tanpa ZPT atau MS₀ (Rahman & Alam, 2016). Adapun tahapan sterilisasi ubi kayu terbagi menjadi dua (Gambar 5.4 dan 5.5), yaitu tahapan sterilisasi ubi kayu di luar LAF dan di dalam LAF.



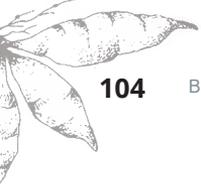
Gambar 5.4 Tahapan Sterilisasi Ubi Kayu di Luar LAF



Gambar 5.5 Tahapan Sterilisasi Ubi Kayu di Dalam LAF

2. Multiplikasi Atau Perbanyak Propagul

Multiplikasi tunas atau penggandaan tunas merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan dalam perbanyak tanaman secara *in vitro*. Tahap multiplikasi atau perbanyak propagul bertujuan untuk menggandakan propagul atau bahan tanaman yang diperbanyak, misalnya tunas atau embrio, dan memeliharanya dalam keadaan tertentu sehingga sewaktu-waktu dapat dilanjutkan untuk tahap berikutnya. Menurut Wendi dkk. (1991), perbanyak melalui multiplikasi tunas merupakan metode yang banyak digunakan dalam perbanyak tanaman secara *in vitro* karena selain cepat juga memiliki peluang yang kecil untuk terjadinya penyimpangan secara genetik.



Multiplikasi tunas dapat diinduksi dari mata tunas aksilar atau dari benih yang ditanam pada media yang mengandung sitokinin, di mana eksplan tersebut dapat ditanam pada media yang sama tanpa melalui pemindahan ke media baru. Tahap multiplikasi ini juga merupakan tahap pembentukan tunas adventif dan tunas aksilar yang tumbuh dari mata tunas adventif secara bersama-sama (Armini, Wattimena, & Gunawan, 1992).

3. Aklimatisasi

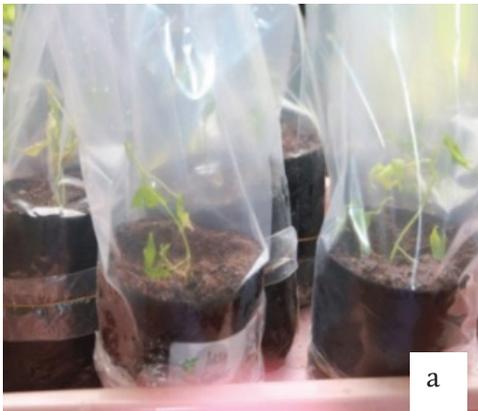
Dalam proses perbanyak tanaman secara kultur jaringan, tahap aklimatisasi planlet merupakan salah satu tahap kritis yang sering menjadi kendala dalam produksi bibit secara massal. Hal ini dikarenakan perubahan lingkungan dari laboratorium ke lapangan sering kali menyebabkan kematian planlet. Planlet yang dihasilkan melalui teknik kultur jaringan sering memperlihatkan lapisan lilin (kutikula) yang kurang berkembang sebagai akibat tingginya kelembapan di dalam wadah kultur (90–100%). Hal ini menyebabkan tanaman kehilangan air dalam jumlah yang cukup besar melalui evaporasi kutikula pada saat tanaman dipindahkan ke tanah karena kelembapan udara pada kondisi *in vivo* jauh lebih rendah dibandingkan kondisi *in vitro*. Planlet kadang-kadang memiliki daun yang tipis, lunak, tidak aktif berfotosintesis, dan tidak adaptif terhadap kondisi *in vivo*. Sel-sel palisade lebih kecil dan lebih sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat menerima cahaya secara efisien dengan rongga udara mesofil yang lebih besar dibandingkan tanaman normal. Stomata tidak berfungsi dengan sempurna dan tidak menutup sehingga menyebabkan terjadinya cekaman air pada beberapa jam pertama aklimatisasi. Dengan demikian, planlet memerlukan perubahan-perubahan secara bertahap melalui proses adaptasi ketika dipindahkan ke lingkungan normal (*ex vitro*) (Taji, Dodd, & Williams, 1992). Prosedur pembiakan dengan kultur jaringan baru bisa dikatakan berhasil jika planlet dapat diaklimatisasi ke kondisi eksternal dengan keberhasilan yang tinggi (Hendaryono & Wijayani, 1994).

Pada tahap ini, planlet atau tunas mikro dipindahkan ke lingkungan di luar botol, seperti rumah kaca, rumah plastik, atau *screenhouse* (rumah kaca kedap serangga). Proses ini disebut aklimatisasi. Aklimatisasi adalah proses pengondisian planlet atau tunas mikro (jika pengakaran dilakukan secara *ex vitro*) di lingkungan baru yang aseptik di luar botol, dengan media tanah atau pakis sehingga planlet dapat bertahan hidup dan menjadi bibit yang siap ditanam di lapangan (Gambar 5.6). Berikut ini beberapa saran dan petunjuk untuk melakukan aklimatisasi.



- a. Proses aklimatisasi adalah proses penyesuaian diri sehingga disarankan jika tanaman kultur hendak dipindah maka harus diperhatikan media tumbuh yang tepat untuk tanaman tersebut.
- b. Planlet yang masih ada di dalam botol dikeluarkan dengan hati-hati dengan menggunakan pinset.
- c. Planlet kemudian dibilas di bawah air mengalir untuk membersihkan sisa media agar.
- d. Tiriskan planlet yang sudah bersih di atas tisu.

Pemindahan planlet harus dilakukan secara hati-hati dan bertahap, yaitu dengan memberikan sungkup. Sungkup digunakan untuk melindungi planlet dari udara luar dan serangan hama penyakit karena hasil kultur jaringan sangat rentan terhadap serangan hama penyakit dan udara luar. Setelah planlet mampu beradaptasi dengan lingkungan barunya maka secara bertahap sungkup dilepaskan dan pemeliharaan planlet dilakukan dengan cara yang sama dengan pemeliharaan bibit generatif.



a



b

Keterangan:

- a) planlet yang baru diaklimatisasi yang ditanam di polibag dan disungkup
- b) tanaman yang telah dipindahkan ke *screenhouse*

Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 5.6 Hasil Aklimatisasi Tanaman Ubi Kayu *in vitro*



D. FAKTOR YANG MEMENGARUHI KEBERHASILAN PROPAGASI *IN VITRO* UBI KAYU

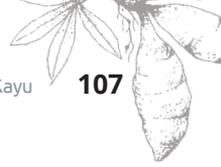
Propagasi *in vitro* ubi kayu akan berhasil apabila faktor-faktor yang diperlukan terpenuhi. Menurut Green dan Phillips (1975), faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kultur jaringan tanaman adalah bahan tanam (eksplan), sterilisasi alat, ruang kerja, dan pekerja. Sementara itu, menurut George dan Sherrington (1984), faktor-faktor tersebut, antara lain faktor eksplan, komponen medium, dan lingkungan kultur serta zat pengatur tumbuh (ZPT).

1. Eksplan Tanaman

Faktor eksplan meliputi ukuran, umur, jenis eksplan, dan genotipe suatu tanaman yang menentukan keberhasilan kultur *in vitro*. Bahan tanaman atau eksplan yang digunakan untuk kultur jaringan berukuran lebih kecil dan tidak banyak apabila dibandingkan perbanyakannya secara konvensional (Gunawan, 1988). Eksplan yang terlalu kecil biasanya memiliki daya tahan untuk hidup yang rendah dan tingkat kegagalannya tinggi. Sebaliknya, eksplan yang terlalu besar akan mudah menggulung. Ukuran eksplan yang baik berkisar antara 0,5–1 cm, tetapi ukuran ini dapat bervariasi tergantung bagian tanaman yang digunakan sebagai bahan eksplan dan jenis tanaman (Katuuk, 1989).

2. Medium

Medium yang digunakan dalam kultur *in vitro* dapat berupa media cair atau pun media padat. Media cair digunakan untuk kultur sel, sedangkan media padat biasanya digunakan untuk menumbuhkan kalus yang kemudian akan berkembang menjadi tanaman utuh. Komposisi medium yang digunakan untuk kultur *in vitro* meliputi lima komponen utama, yaitu senyawa anorganik, sumber karbon, vitamin, zat pengatur tumbuh (ZPT), dan suplemen organik. Senyawa anorganik dibedakan menjadi unsur makro dan unsur mikro. Medium umumnya mengandung nitrat dan kalium. Amonium merupakan senyawa esensial untuk sebagian besar kultur, namun konsentrasi yang dibutuhkan lebih sedikit dari nitrat. Sumber karbon yang digunakan bisa berupa glukosa, fruktosa, maltosa, dan sukrosa yang paling sering digunakan. Vitamin yang sangat penting adalah tiamin. Piridoksin, asam nikotinat, dan mio-inositol dapat meningkatkan pertumbuhan sel (Murashige & Skoog, 1962). Komponen-komponen dalam medium digunakan untuk memenuhi kebutuhan zat hara dan mengarahkan pertumbuhan eksplan.



3. Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan eksplan dalam kultur *in vitro*, yaitu cahaya, temperatur, dan pH medium. Selama pertumbuhan secara *in vitro*, sel tumbuhan tidak melakukan fotosintesis secara efisien dan umumnya dalam keadaan nonautotrof. Meskipun seluruh kebutuhan energi untuk pertumbuhan secara *in vitro* sudah dipenuhi dari gula, untuk menghasilkan planlet hijau dengan daun normal diperlukan cahaya.

4. Zat Pengatur Tumbuh

Kombinasi zat pengatur tumbuh (ZPT) yang ditambahkan ke dalam medium merupakan faktor utama keberhasilan kultur *in vitro*. ZPT yang biasa digunakan, antara lain auksin, sitokinin, dan giberelin (Wetherell, 1982). Dari ketiga jenis ZPT ini, auksin dan sitokinin adalah jenis yang paling sering digunakan untuk budi daya jaringan tanaman. ZPT ini sering digunakan karena mempunyai kemampuan untuk merangsang pertumbuhan eksplan dan memengaruhi pertumbuhan akar. Golongan auksin yang lebih sering digunakan adalah 2,4-D, NAA, IBA, IAA, dan pikloram. Auksin secara alami diproduksi dalam bentuk asam indol asetat (AIA), tetapi auksin jenis ini tidak stabil (Wetherell, 1982). Artinya, ZPT AIA tidak mudah terurai oleh enzim-enzim yang dikeluarkan oleh sel atau karena pemanasan pada saat proses sterilisasi. AIA juga kurang menguntungkan karena cepat rusak oleh cahaya dan oksidasi enzimatis. Golongan sitokinin yang umum digunakan dalam teknik kultur jaringan, antara lain inetin, zeatin, 2-iP dan benzil amino purin (BAP), dan thidiazuron (TDZ). Zat-zat dengan aktivitas sitokinin dapat diisolasi dari berbagai jenis tumbuhan. Zeatin, misalnya, diperoleh dari hasil hidrolisis RNA kacang buncis, bayam Amerika, gandum, dan umbi kentang (Letham, 1963).

Fungsi auksin pada tanaman meliputi pembesaran sel, pertumbuhan mata tunas samping, aktivitas kambium, pertumbuhan akar, dan absisi (pengguguran daun). Proses absisi ada hubungannya dengan AIA pada sel-sel di daerah absisi. Daerah absisi adalah kumpulan sel yang terdapat pada pangkal tangkai daun. Kegunaan lain dari auksin adalah untuk menstimulasi sintesis protein dalam jaringan tanaman sehingga merangsang pembelahan dan pemanjangan sel yang akan memengaruhi pertambahan tinggi planlet, terutama NAA dan 2,4-D (Rost, Barbour, Stocking, & Murphy, 1988). George dan Sherington (1993) mengemukakan bahwa pada kultur jaringan, sitokinin berperan dalam mendorong pembelahan sel atau jaringan yang digunakan sebagai eksplan dan merangsang perkembangan pucuk-pucuk tunas.



Dalam perbanyakan *in vitro*, sitokinin digunakan untuk mengatasi dormansi apikal dan mempertinggi percabangan tunas lateral dari ketiak daun.

Perbanyakan sel dapat diinduksi dengan penggunaan auksin (NAA atau 2,4-D atau sitokinin (zeatin dan thidiazuron). Sementara itu, untuk regenerasi dibutuhkan auksin (NAA, IAA, IBA) dalam konsentrasi rendah dan sitokinin dalam konsentrasi tinggi. Senyawa 2,4-D jarang digunakan untuk tujuan regenerasi karena senyawa ini dapat menekan diferensiasi sel pada tanaman dikotil.

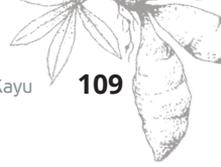
E. APLIKASI KULTUR JARINGAN UNTUK PROPAGASI UBI KAYU SECARA *IN VITRO*

1. Mikropropagasi

Mikropropagasi termasuk dalam ilmu dan seni memperbanyak tanaman di dalam wadah kaca dalam kondisi steril. Mikropropagasi merupakan bagian dari teknik kultur jaringan tanaman yang berskala komersial. Selain itu, teknik mikropropagasi ini juga sering disebut dengan *microcutting* (mini stek). Bagian tanaman yang diperbanyak secara mikropropagasi adalah meristem (jaringan tanaman muda yang sedang tumbuh) dan tunas tanaman (tunas akar, tunas pucuk, tunas samping, dan mata tunas).

2. Mikrografting/Sambung Mikro

Upaya yang dilakukan untuk menggabungkan dua karakter ubi kayu tersebut adalah melalui stek sambung. Namun, cara ini memerlukan waktu yang relatif lama untuk mengetahui hasilnya dan jika diproduksi secara massal dalam waktu yang bersamaan dapat menghadapi kendala keterbatasan tunas entres yang seragam. Dalam rangka mengatasi masalah tersebut, dapat diupayakan melalui teknik sambung mikro *in vitro*. Sambung mikro *in vitro* adalah salah satu teknik perbanyakan vegetatif yang dilakukan dalam kondisi aseptik melalui teknik kultur *in vitro* yang bertujuan untuk menggabungkan keunggulan sifat batang bawah dan batang atas. Selain itu, sambung mikro adalah suatu teknik yang dapat mengombinasikan keuntungan antara multiplikasi yang cepat dan perbaikan sifat yang berasal dari penyambungan dengan batang bawah yang superior (Gebhardt & Goldbach, 1988).



F. MIKROGRAFTING UBI KAYU

Mekanisme terjadinya pertautan pada sambung mikro sama seperti pada teknik *in vivo*, yaitu terjadinya kontak kambium antara batang atas dan batang bawah dengan tepat. Umumnya, teknik sambung mikro dilakukan antara ubi kayu karet sebagai batang atas dan jenis ubi kayu lainnya sebagai batang bawah.

Keuntungan dengan cara teknik sambung mikro pada tanaman ubi kayu adalah dapat mempersingkat waktu penyediaan bibit dan dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak, dengan tanaman yang dihasilkan lebih seragam dan memiliki *inkompatibilitas* yang rendah serta lebih ekonomis. Menurut Estrada-Luna, Lopez-Peralta, dan Cardenas-Soriano (2002), teknik sambung mikro secara *in vitro* memiliki kelebihan, antara lain dapat meremajakan tanaman, meregenerasi tanaman, menghasilkan tanaman yang bebas penyakit, dan mempersingkat waktu dalam penyediaan bibit untuk dapat dipindah ke lapang. Teknik sambung mikro juga merupakan alternatif teknik produksi yang dapat dilakukan apabila tunas mikro sulit berakar. Sambung mikro secara *in vitro* ini telah diaplikasikan pada beberapa jenis tanaman, di antaranya *Pistacia vera* L. cv. ÔSiirtÓ (Onay dkk., 2003) serta tanaman jeruk dan anggur bebas virus (Naz, Jaskani, Abbas, & Qasim, 2007). Pada penelitian yang dilakukan oleh Amiri (2006) pada tanaman ceri (*Prunus avium* L.), teknik sambung mikro ditujukan untuk meremajakan jaringan dewasa dan memperbanyak tanaman bebas penyakit.

Varietas Adira-4 dan genotipe Gebang merupakan dua dari 117 koleksi yang ada di Kebun Plasma Nutfah Ubi Kayu Pusat Penelitian (Puslit) Bioteknologi LIPI. Varietas Adira-4 merupakan salah satu varietas ubi kayu unggul nasional. Hasil umbi dapat mencapai sekitar 35 ton/ha. Di Kediri Jawa Timur hasil Adira-4 berkisar antara 26–34 ton/ha dan di Lampung 30–41 ton/ha. Selain berdaya hasil dan berkadar pati tinggi, Adira-4 juga lebih genjah, tahan terhadap penyakit layu yang merupakan penyakit penting ubi kayu, dan sesuai dikembangkan dalam pola tumpangsari. Sementara itu, ubi kayu genotipe Gebang mempunyai kandungan amilopektin tinggi dan bermanfaat sebagai pengganti gelatin dalam pembuatan cangkang kapsul, di mana umumnya gelatin diproduksi dari bahan yang kaya akan kolagen, seperti tulang dan kulit. Kulit dan tulang diperoleh dari hewan, seperti sapi dan babi sehingga diragukan kehalalan dari produk tersebut. Selain itu, proses pembuatannya lama dan membutuhkan biaya yang mahal.

Saat ini, teknik sambung mikro *in vitro* di tanaman ubi kayu, selain dengan tanaman karet sebagai batang bawah, belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, dilakukan suatu penelitian pendahuluan mikro sambung antara varietas Adira-4 sebagai batang atas dan genotipe Gebang sebagai batang bawah. Tujuan dilakukannya penelitian pendahuluan ini dalam rangka memperoleh teknik yang tepat untuk perbanyak ubi kayu melalui sambung mikro *in vitro* dengan berbagai genotipe atau pun varietas yang terdapat di Kebun Plasma Nutfah Ubi Kayu Puslit Bioteknologi LIPI. Potensi yang dimiliki varietas Adira-4 memiliki sifat unggul sehingga bagus untuk dijadikan model penelitian (Lestari, 2009.).

Tipe sambung yang digunakan dalam penelitian mikro sambung antara varietas Adira-4 dan Gebang adalah tipe V. Untuk batang bawah dipotong sepanjang dua buku dari pangkal batang bawah, sedangkan batang atasnya dipotong sebesar dua buku dari tajuk. Batang bawah harus seragam dengan diameter batang sama atau sedikit lebih besar daripada batang atas. Bagian tajuk batang bawah dipangkas, lalu disayat membentuk huruf V dengan pisau skalpel. Sayatan batang atas tersebut harus dibuat sesuai dengan sayatan batang bawah, baik bentuk maupun ukurannya. Selanjutnya, batang atas disambungkan/disisipkan ke batang bawah dengan menggunakan pinset. Tahap terakhir, sambungan diikat dengan aluminium foil yang sudah disterilkan untuk memperkokoh sambungan eksplan dan ditumbuhkan pada media MS (Murashige & Skoog, 1962) padat dan cair tanpa ZPT, diinkubasi pada suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan penyinaran menggunakan lampu TL.



Pada media cair, kultur hasil sambung mikro ditanam dengan menggunakan kertas steril yang dilubangi bagian tengahnya dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran kultur sebagai penyangga berdirinya kultur. Gambar 5.7 menunjukkan perbedaan pertumbuhan tanaman hasil sambung mikro *in vitro* umur 8 MST antara media padat dan cair.

Sumber: Lab. GMMJBT (2013)

Gambar 5.7 Perbedaan Pertumbuhan Tanaman Hasil Sambung Mikro *in vitro* Umur 8 MST



1. Kelebihan dan Kekurangan Mikrografting untuk Propagasi Ubi Kayu

Beberapa keuntungan yang diperoleh jika memperbanyak bibit tanaman melalui mikrografting secara *in vitro* ini, di antaranya menghasilkan tanaman yang bebas penyakit, tanaman lebih seragam, dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak dengan lebih ekonomis, dan waktu relatif singkat serta rendahnya inkompatibilitas (Kala & Mathur, 2002). Tanaman hasil mikrografting ini memberikan efek timbal balik antara batang bawah dan batang atas yang terjadi secara normal dan akan memengaruhi keragaman dalam pola distribusi hara, kemampuan hara untuk bergerak melintasi bagian penyatuan sambungan, dan regulasi transpor hormon. Keberhasilan dari teknik mikrografting ini salah satunya ditentukan oleh keterampilan dalam menyambung tanaman yang dimiliki oleh seorang pemulia tanaman.

2. Analisis Fisiologi Mikrografting

Luka akibat tipe sambung mikro akan berakhir setelah terjadinya pertautan antara jaringan kambium batang bawah dan atas dengan sempurna. Menurut Hartmann, Kester, dan Davies (1997) dalam proses penyambungan pada planlet yang terluka masing-masing sel, baik planlet batang bawah maupun batang atas, saling kontak, menyatu dan membaur, dan sel-sel parenkim yang terbentuk dan terdeferensiasi membentuk kambium sebagai lanjutan dari lapisan kambium batang bawah dan batang atas yang lama. Dari lapisan kambium akan terbentuk jaringan pembuluh sehingga terjadi proses translokasi hara dari batang bawah ke batang atas atau sebaliknya. Selanjutnya, hasil fotosintesis dari batang atas ke batang bawah berlangsung sebagaimana mestinya.

G. PERAN KULTUR JARINGAN DALAM BIOTEKNOLOGI UNTUK MEMBANTU PROGRAM PEMULIAAN TANAMAN

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak buku dan jurnal yang diterbitkan terkait dengan perkembangan yang sangat cepat dalam bidang kultur jaringan tanaman dan kultur organ. Hal tersebut didorong oleh meningkatnya kebutuhan akan konservasi sumber daya plasma nutfah, kebutuhan produk obat-obatan yang lebih baik, kerawanan pangan, kebutuhan akan sumber energi yang terbarukan serta kekhawatiran terhadap pemanasan global dan berkurangnya sumber air bersih di bumi. Seluruh aspek tersebut tercakup secara komprehensif dalam bidang yang disebut dengan bioteknologi.



Pada umumnya, tahapan proses pemuliaan tanaman membutuhkan waktu 10–15 tahun hingga dapat diaplikasikan. Beberapa proses yang harus dilalui, di antaranya manipulasi plasma nutfah, seleksi genotipe dan stabilisasi, pengujian varietas, peningkatan varietas, pengurusan hak paten hingga proses produksi. Kultur jaringan tanaman dan prosedur modifikasi genetik yang membentuk basis dari bioteknologi tanaman mampu memberikan kontribusi pada sebagian besar tahapan proses pemuliaan tanaman tersebut (Evans & Bravo, 1983; Evans, Sharp, & Medina-Filho, 1984). Bioteknologi tanaman dapat didefinisikan sebagai aplikasi kultur jaringan dan genetika molekuler untuk mengembangkan komoditas yang berasal dari tanaman. Kultur jaringan merupakan proses perawatan dan propagasi bagian tanaman dalam lingkungan aksenik yang terkontrol, sedangkan genetika molekuler merupakan bidang yang mencakup teknik-teknik untuk melakukan isolasi, karakterisasi, rekombinasi serta proses perbanyakan dan transfer fragmen DNA yang mengandung gen yang mengkode sifat tertentu (Gelvin, Thomashow, McPherson, Gordon, & Nester, 1982; Watson, Chambers, & Smith, 1987). Dalam perkembangan selanjutnya, ditemukan teknik transfer gen dan regenerasi tanaman transgenik yang dimediasi oleh *Agrobacterium* (Herrera-Estrella, 1983), yang terbukti sangat berguna dalam proses introduksi sifat agronomis yang diinginkan pada tanaman transgenik (Shah dkk., 1986). Penemuan tersebut mempertegas pentingnya pemanfaatan teknik kultur jaringan dalam berbagai penelitian, sejalan dengan usaha pemuliaan tanaman menggunakan bioteknologi.

H. KESIMPULAN

Peningkatan produksi ubi kayu mempunyai peranan sangat penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dunia yang semakin lama semakin meningkat. Permasalahan yang dihadapi dalam pengembangan produksi sumber nonberas, terutama ubi kayu, adalah ketersediaan bahan baku pangan ubi kayu yang tidak kontinu. Salah satu strategi mengatasi masalah tersebut, yaitu melalui peningkatan produksi umbi ubi kayu dengan menggunakan teknologi modern yang dapat menunjang ketersediaan dan kontinuitas produksinya. Teknologi *in vitro* merupakan salah satu teknologi modern yang saat ini terus berkembang pada bidang pertanian untuk perbanyakan cepat. Ini merupakan teknik menumbuhkembangkan bagian tanaman, baik berupa sel, jaringan maupun organ, dalam kondisi aseptik secara *in vitro*. Beberapa aplikasi teknik kultur jaringan untuk propagasi tanaman ubi kayu diharapkan dapat dilaksanakan sebagai sumber keragaman genetik (*diversity*) dan sifat unggul pembuatan kultivar ubi kayu dengan sifat unggul yang diinginkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Armini, N. M., Wattimena, G. A., & Gunawan, L. W. (1992). *Perbanyakan tanaman*. Dalam G. A. Wattimena, N. A. Mattjik, E. Samsudin, M. A. Wiendi, & A. Ernawati (ed.) *Bioteknologi tanaman*. Bogor: Laboratorium Kultur Jaringan Tanaman, Pusat Antar Universitas, IPB.
- Astutik, A. (2007). Kajian zat pengatur tumbuh dalam perkembangan kultur jaringan. *Buana Sains*, 7(2), 113–121.
- Amiri, E. A. (2006). In vitro techniques to study the shoot-tip grafting of *Prunus avium* L. (cherry) var. Seeyahe Mashad. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 4(1), 151–154.
- Cacai, G. H. T., Adoukonou-Sagbagja, H., Kumulugui, B.S., Ovono, P. O., Houngue, L., & Ahanhanzo, C. 2013. Eradication of cassava (*Manihot esculenta*) mosaic symptoms through thermotherapy and meristems cultured in vitro. *Intl. J. Agron. Plant. Prod.* 4, 3697–3701.
- Estrada-Luna, A. A., Lopez-Peralta, C., & Cardenas-Soriano, E. (2002). In vitro micrografting and the histology of graft union formation of selected species of prickly pear cactus (*Opuntia* spp.). *Scientia Horticulturae*, 92(3–4), 317–327.
- Evans, D., & Bravo, A. (1983). *Protoplast isolation and culture, technique for propagation and breeding*. New York: Macmillan publishing CD.
- Evans, D. A., Sharp, W.R., & Medina-Filho, H.P. (1984). Somaclonal variation and gametoclonal variation. *Amer. J. Bot.* 71(6), 759–774.
- Fathoni, A. (2017). Riset ubi kayu: Status dan prospek pemanfaatannya. Dipresentasikan pada Lokakarya Peran Riset dan Kebijakan untuk Penguatan Rantai Nilai Ekonomi Ubi Kayu Indonesia. Cibinong, 7 September 2017.
- Feitosa, T., Bastos, J. L. P., Ponte, L. F. A., Juca, T. L., & Campos, F. A. P. (2007). Somatic embryogenesis in cassava genotypes from the Northeast of Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 201–206.
- Gelvin, S. B., Thomashow, M. F., McPherson, J. C., Gordon, M. P., & Nester, E. W. (1982). Sizes and map positions of several plasmid-DNA-encoded transcripts in octopine-type crown gall tumors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(1), 76–80.
- Lembar Informasi Pertanian (LIPTAN). (1995). Balai Informasi Pertanian (BIP) Irian Jaya. 1994. *Pengolahan tanah minimum (minimum illage)*. Jayapura: Balai Informasi Pertanian Irian Jaya.
- Gunawan, L. W. (1988). *Teknik kultur jaringan*. Bogor: Laboratorium Kultur Jaringan Tanaman. Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor.
- Gunawan, L. W., Mattjik, N. A., Syamsudin, E., Wiendi, N. M. A., & Ernawati, A. (1992). *Bioteknologi tanaman*. Bogor: Pusat Antar-Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor.
- Gamborg, O. L., & Phillips, G. C. (1995). Media preparation and handling. Dalam Gamborg & Phillips (Eds.). *Plant cell, tissue, and organ culture: Fundamental methods*, 21–34. Berlin: Springer-Verlag.
- George, E. F., & Sherrington, P. D. (1993). Factors affecting growth and morphogenesis. *Plant propagation by tissue culture*. London: Exegetics Ltd, 231–271.
- George, E. F., Hall, M. A., & Klerk, G. D. (2008). *Plant propagation by tissue culture*. 3rd ed. Wageningen: Springer..

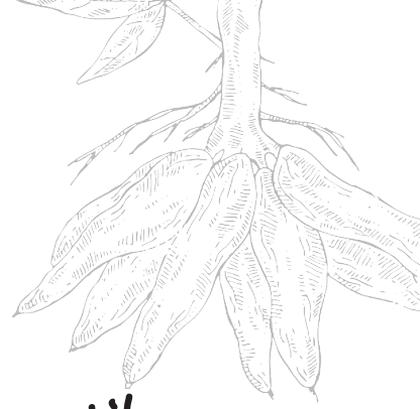
- Gebhardt, K., & Goldbach, H. (1988). Establishment, graft union characteristics and growth of *Prunus* micrografts. *Physiologia Plantarum*, 72(1), 153–159.
- Green, C. E., & Phillips, R. L. (1975). Plant Regeneration from Tissue Cultures of Maize 1. *Crop Science*, 15(3), 417–421.
- Hankoua, B. B., Taylor, N. J., Ng, S. Y. C., Fawole, I., Puonti-Kaerlas, J., Padmanabhan, C., ... & Fondong, V. N. (2006). Production of the first transgenic cassava in Africa via direct shoot organogenesis from friable embryogenic calli and germination of maturing somatic embryos. *Afr. J. Biotechnol.* 5,1700–1712.
- Harahap, I. S. K., Saito, T., San, L. P., Sasaki, N., Nurputra, D. K. P., Yusoff, S., ... & Takeshima, Y. (2012). Valproic acid increases SMN2 expression and modulates SF2/ASF and hnRNPA1 expression in SMA fibroblast cell lines. *Brain and Development*, 34(3), 213–222.
- Hartati, N. S., Rahman, N. Fitriani, H., & Sudarmonowati, E. (2013). Koleksi kultur *in vitro* ubi kayu (*Manihot esculanta* Crantz.) sebagai material perakitan bibit unggul. Dalam Sutanto, R. U. M. S., Soedjanaatmadja, U. Supriatman, & T. Panji (Eds.). *Seminar Nasional Riset Pangan Obat-obatan dan Lingkungan untuk Kesehatan*. Bogor, 27–28 Juni 2013.
- Hartmann, H. T., Kester, D.E., & Davies, (1997). *Plant propagation, principles and practise*, Sixth Edition. New Jersey: Practice hall International Inc.
- Hendaryono, D. P. S., & Wijayani, A. (1994). *Teknik kultur jaringan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Herrera-Estrella, L. (1983). Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a ti-plasmid-derived vector,nature. *International Weekly Journal of Science*. 303(5914), 209–213.
- Holbrook, N. M., Shashidar, V. R., & James, R. A. (2002). Stomatal control in tomato with ABA-deficient roots: Response of grafted plants to soil drying Ex. 7 *Journal of Experimental Botany*, 53(373), 1503–1514. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.373.1503> Published: 01 June 2002
- Munnns, H. T., Kester, D. E., & Davis-Jr., F. T. (1990). *Plant propagation: Principle and practices*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Kala, C. P., & Mathur, V. B. (2002). Patterns of plant spesies distribution in the trans-Himalayan region of Ladakh, India. *Journal of Vegetation Science* 13(6), 751–754.
- Katuuk, J. R. P. (1989). *Teknik kultur jaringan dalam mikropropagasi tanaman*. Jakarta: P2 LPTK.
- Kharisma, G. G. (2011). *Pengaruh suplemen organik terhadap induksi kalus dan regenerasi tunas pada kalus biji padi (Oryza sativa L.) CV Ciherang secara in vitro*. (Disertasi Doktor), Universitas Atmajaya, Yogyakarta.
- Kumari, B. D. R., Settu, G., & Sujatha. (2006). Somatic embryogenesis and plant regeneration. *IJBT*. 5, 243–345.
- Kurniati, R., Purwito, A., Wattimena, G. A., Marwoto, B., & Supenti, S. (2016). Induksi Kalus dan bulblet serta regenerasi tanaman lili varietas sorbon dari tangkai sari bunga. *Jurnal Hortikultura*, 22(4), 303–308.
- Lestari, A. P. (2009). Pengembangan pertanian berkelanjutan melalui substitusi pupuk anorganik dengan pupuk organik. *Jurnal Agronomi*, 13(1), 38–44.



- Lestari, E., Dewi, I. S., Yunita, R., & Sukmadjaja, D. (2016). Induksi mutasi dan keragaman somaklonal untuk meningkatkan ketahanan penyakit blas daun pada padi Fatmawati. *Buletin Plasma Nutfah* 16(2), 96–102.
- Letham, D. S. (1963). Zeatin, a factor inducing cell division isolated from *Zea mays*. *Life sciences*, 2(8), 569–573.
- Lieberman, S., & Bruning, N. (1990). *The real vitamin & mineral book*. New York: Avery Group. ISBN 0-89529-769-8.
- Mapayi, E. F., Ojo, D. K., Oduwaye, O. A., & Porbeni, J. B. O. (2013). Optimization of in vitro propagation of cassava (*Manihot esculanta* Crantz.) genotypes. *J. Agric. Sci.* 5, 261–269.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473–497.
- Mushiyama, I., Hakizimana, E., Gashaka, G., Sallah, P. Y. K., Kalisa, S., Gatunzi, F., ... & Gahakwa, D. (2011). Micro-propagation of disease resistant cassava variety in Rwanda. *Rwanda J.*, 24, 49–57.
- Mustahib, T. (2012). Teknik kultur jaringan. *Agroinovasi*, 18 April 2012. Balitbang Pertanian.
- Naz, A. A., Jaskani, M. J., Abbas, H., & Qasim, M. (2007). In vitro studies on micrografting tecnique in two producecirus free plant. *Pak. J. Bot.* Vol. 39(5), 1773–1778.
- Onay, A., Pirinc, V., Adiyaman, F., Isikalan, C., Tikat, E., & Basaran, D. (2003). In vivo and in vitro micrografting of pistachio, *Pistaciavera* L.cv. “Siirt”. *Turk. J. Biol.*, 27, 95–100.
- Onuoch, C. I., & Onwibiku, N. I. C. (2007). Micropogation of cassava (*Manihot esculanta* Crantz.) using different concentrations of *benylaminopurine* (BAP). *J. Eng. Appl. Sci.* 2, 1229–1231.
- Pierik, R. L. M. (1987). In vitro culture of higher plant as in tool. Dalam *Propagation of horticultural crops*. International Symposium on Propagation of Ornamental Plants. *Acta Horticulturae*.
- Rahman, N., & Alam, S. (2016). Perbanyak benih ubi kayu secara kultur jaringan. *Vigor Balai Besar Pengembangan Pengujian Mutu Benih TPH*, Vol. 1/April 2016. ISSN: 1907-6339.
- Rahardja, P. C., & Wiryanta, W. (2003). *Aneka cara memperbanyak tanaman*. Jakarta: AgroMedia.
- Roca, W. M., Henry, G., Angel, F., & Sarria, R. (1992). *Biotechnology research applied to cassava improvement at the International Center of Tropical Agriculture (CIAT)*. Dalam *Advance in gene technology: Feeding the world in the 21st century*. The 1992 Miami Biotechnology Winter Symposium. Miami, USA: IRL Press at Oxford University Press.
- Rossin, C. B., & Rey, M. E. C. (2011). Effect of explant source and auxins on somatic embryogenesis of selected cassava (*Manihot esculanta* Crantz) cultivars. *South African J. Bot.* 77, 59–65.
- Rost, T. L., Barbour, M. G., Stocking, C. R., & Murphy, T. M. (1998). *Plant biology*. California: Wadsworth Publishing Company.
- Sani, H. B. (2007). In vitro propagation of *Globba brachyanthera* K. Schum. *Proceedings Asia Pacific Conference on Plant Tissue and Agribiotechnology* (APaCPA), 17, 21.
- Shah, D. M., Horsch, R. B., Klee, H. J., Kishore, G. M., Winter, J. A., Tumer, N. E., ... & Siegel, N. R. (1986). Engineering herbicide tolerance in transgenic plants. *Science*, 233(4762), 478–481.
- Soetanto, N. E. (2008). *Tepung kasava dan olahannya*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

- 
- Sudarmonowati, E., Hartati, R., & Taryana, T. (2002). Produksi tunas, regenerasi dan evaluasi hasil ubi kayu (*Manihot esculenta*) Indonesia asal kultur jaringan di lapang. *Natur Indonesia*, 4(2), 96–108.
- Sugiyono. (1993). *Pengaruh hormon 2.4-D dan BAP terhadap multiplikasi kalus Purwoceng (Pimpinella pruatjan Molkenb) pada kultur aseptis*. (Skripsi). Departemen Pendidikan Nasional Fakultas Biologi Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto.
- Suryana, A. (2009). Dukungan kebijakan pengembangan industri tepung cassava. Paper dipresentasikan pada Lokakarya Nasional Akselerasi Industrialisasi Tepung Cassava untuk Memperkokoh Ketahanan Pangan Nasional. Balai Kartini, Jakarta, 9 Mei 2009.
- Suryowinoto, M. (1991). *Budi daya jaringan terobosan bermanfaat dalam bioteknologi*. Yogyakarta: UGM.
- Suwarto. (2009). Peningkatan produktivitas cassava: Analisis kesenjangan produksi potensial dengan produksi riil. *Prosiding Lokakarya Nasional: Akselerasi Industrialisasi Tepung Cassava untuk Memperkokoh Ketahanan Pangan Nasional*. Jakarta: BULOG dan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Taji, A. M., Dodd, W. A., & Williams, R. R. (1992). *Plant tissue culture practice*. Dalam Acram M. Taji, William A. Dodd, Richard. R. Williams. Armidale: N.S.W. University of New England Botany Dept. 1992.
- Vasil, I. K. (2008). A history of plant biotechnology: From the cell theory of Schleiden and Schwann to biotech crops. *Plant Cell Rep.*, 27, 1423–1440. DOI 10.1007/s00299-008-0571-4.
- Watimena, G. A. (1989). Zat pengatur tumbuh: Peran fisiologis dan dasar-dasar pemakaian. *Bul. Agron.* (edisi khusus November), 28–49.
- Watson, J. V., Chambers, S. H., & Smith, P. J. (1987). A pragmatic approach to the analysis of DNA histograms with a definable G1 peak. *Cytometry Part A*, 8(1), 1–8.
- Wetter, L. R., & Constabel, F. (1991). *Metode kultur jaringan tanaman*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wetherell, M., & Potter, J. (1992). *Mapping the language of racism: Discourse and the legitimation of exploitation*. Columbia: Columbia University Press.
- Wendi, W., & Zhien, M. (1991). Harmless delays for uniform persistence. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 158(1), 256–268.
- Widiyana, T. (2013). Teknik perbanyakan secara modern (kultur jaringan). *Teknik Pertanian* 14(2), 65–67. Jakarta: Penerbit Swadaya.
- Wongtiem, P., Courtois, D., Florin, B., Juchaux, M., Peltier, D., Broun, P., & Ducos, J. P. (2011). Effects of cytokinins on secondary somatic embryogenesis of selected clone Rayong 9 of *Manihot esculanta* Crantz for ethanol production. *Afr. J. Biotechnol.* 10, 1600–1608.
- Yuliarti, N. (2010). *Kultur jaringan tanaman skala rumah tangga*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Yustina. (2003). *Kultur jaringan, cara memperbanyak tanaman secara efisien*. Jakarta: Agromedia Pustaka.

BAB KEENAM



Induksi Embriogenesis Somatik untuk Perbanyak Bibit dan Perbaiki Mutu Genetik Ubi kayu

Hani Fitriani, Supatmi, dan Enny Sudarmonowati

A. BIOTEKNOLOGI UBI KAYU DENGAN PEMANFAATAN EMBRIOGENESIS SOMATIK

Kemajuan pesat bioteknologi kultur jaringan tanaman untuk pertumbuhan dan multiplikasi, baik sel, jaringan, maupun organ tanaman di media tertentu secara aseptik dan lingkungan terkontrol mampu memberikan alternatif solusi bagi penyediaan bibit unggul tanaman. Teknik mikropropagasi *in vitro* dengan menggunakan bahan material, seperti pucuk tanaman, batang, akar, maupun tunas aksilar mampu meningkatkan perbanyak tanaman secara cepat dan dalam jumlah yang besar (Perveen & Mansuri, 2015). Beberapa tahapan yang dilakukan dalam mikropropagasi di antaranya adalah prepropagasi, inisiasi eksplan, subkultur eksplan, pertumbuhan akar, pucuk serta aklimatisasi. Untuk mendapatkan bibit-bibit unggul, seperti memiliki daya hasil tinggi, tahan penyakit, dan nutrisi tinggi, diperlukan pemilihan genotipe dan tetua tanaman yang bagus sebagai bahan material untuk kultur jaringan dalam upaya menghasilkan variasi somaklonal dengan sifat-sifat yang diharapkan. Hal ini menjadi poin penting dan kritis dalam pengembangan kultur jaringan tanaman.

Ubi kayu merupakan salah satu komoditas pangan yang penting dan menjanjikan di sebagian besar negara di dunia terutama Amerika, Asia, dan Afrika. Pengembangan ubi kayu melalui teknik konvensional sering menghadapi kendala, seperti sempitnya keragaman genetik dan

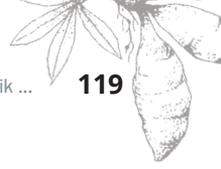
lamanya siklus seleksi disebabkan masa pra-produksi yang panjang serta sifat-sifat unggul yang diminati terkadang tidak dimiliki oleh tetua-tetua tanaman yang digunakan dalam persilangan. Selain itu, evaluasi tanaman hasil persilangan sering kali harus menunggu tanaman tersebut berbuah yang memerlukan waktu relatif panjang.

Bioteknologi dapat menawarkan alternatif penanganan masalah tersebut. Pemuliaan tanaman melalui kultur jaringan bermanfaat dalam menginduksi keragaman genetik dan mempertahankan kestabilan genetik (Yunita, 2009). Bekerja pada tingkat sel, bahkan molekuler, akan berpengaruh terhadap percepatan dan ketepatan (*precision*) perbaikan varietas tanaman (Wijayanto, 2013). Saat ini ratusan spesies tanaman telah berhasil diperbaiki melalui bioteknologi. Di bidang pertanian, teknik-teknik baru bioteknologi dan rekayasa genetik telah memunculkan harapan yang sangat tinggi dalam hal kemungkinan dihasilkannya produk baru dan unggul. Teknik-teknik yang dimungkinkan, antara lain dengan regenerasi *in vitro* tanaman, variasi somaklonal, mutasi, fusi protoplas, dan transfer gen.

B. INDUKSI EMBRIOGENESIS SOMATIK

Penggandabiakan dalam kultur jaringan dapat dilakukan melalui jalur organogenesis dan embriogenesis somatik. Metode embriogenesis somatik lebih banyak mendapat perhatian karena memiliki banyak keuntungan, di antaranya jumlah propagula yang dihasilkan tidak terbatas dan dapat diperoleh dalam waktu yang lebih singkat. Selain itu, embrio yang dihasilkan bersifat bipolar sehingga tahapan pengakaran tidak diperlukan, bibit dari biji apomiksis sangat serupa, kalus embriogenik dapat diperbanyak dan dipercepat dalam media cair, bibit dapat dibuat setiap saat tanpa mengenal musim dan masa istirahat embrio (Taryono, 2012). Sementara itu, Raemakers, Jacobsen, dan Visser (1995) menyatakan bahwa kelebihan embriogenesis dibandingkan metode lain adalah proses embriogenesis dapat dipertahankan dalam waktu relatif lama melalui pembentukan kalus embriogenik yang berulang-ulang sehingga tidak tergantung sumber eksplan.

Embriogenesis somatik adalah memperbanyak tanaman yang berasal dari sel haploid atau diploid untuk membentuk tanaman baru tanpa melalui peleburan sel gamet (Dixon, 1985). Konsep embriogenesis somatik ini berasal dari konsep totipotensi sel yang pertama kali diusulkan oleh Haberlandt pada tahun 1902 (BB Biogen, 2014), yang menyatakan bahwa semua sel yang hidup normal memiliki potensi untuk beregenerasi menjadi organisme utuh. Totipotensi sel

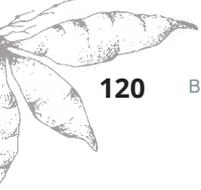


adalah kemampuan satu sel atau protoplas tanaman sebagai satu individu untuk membentuk tanaman atau individu yang lengkap. Hampir seluruh sel kompeten tanaman dapat diinduksi menjadi sel embriogenik karena sel tanaman memiliki kemampuan totipotensi sel (Mujib, Banerjee, & Ghosh, 2005). Dalam pemuliaan modern, embriogenesis somatik amat penting karena dapat meregenerasikan satu sel tanaman yang sudah dimanipulasi, baik dengan transformasi maupun mutasi menjadi tanaman lengkap (Manrique-Trujillo, Díaz, Reaño, Ghislain, & Kreuzer, 2013), dan mengekspresikan perubahannya. Selain itu, Dodeman, Ducreux, dan Kreis (1997) berpendapat bahwa embriogenesis somatik adalah proses regenerasi tanaman melalui pembentukan struktur, seperti embrio yang diinduksi dari sel-sel somatik atau gamet. Berbagai bagian tanaman, seperti *leaf lobes*, biji, tunas pucuk, dan daun telah banyak digunakan untuk menghasilkan embrio somatik.

Embrio somatik dapat muncul secara alami pada beberapa spesies tanpa adanya proliferasi kalus yang dikenal dengan proses embriogenesis langsung (Willian & Maheswaran, 1986). Akan tetapi, embrio somatik juga dapat terbentuk secara tidak langsung dalam kultur sel secara *in vitro* melalui proses induksi pada sel-sel embriogenik yang kompeten. Metode yang terakhir ini merupakan metode yang paling umum digunakan untuk tujuan praktis dan metode ini telah berhasil diaplikasikan pada ratusan spesies tanaman (Redenbaugh, 1993). Bentuk khusus embriogenesis somatik secara tidak langsung adalah embrio somatik sekunder yang merupakan embrio somatik yang terbentuk dari embrio somatik primer.

Embrio somatik dapat dihasilkan dalam jumlah besar dari kultur kalus, namun untuk tujuan perbanyakan dalam skala besar, jumlahnya dapat lebih ditingkatkan melalui inisiasi sel embrionik dari kultur suspensi yang berasal dari kalus embrio somatik primer yang dicirikan dari strukturnya yang bipolar, yaitu mempunyai dua calon meristem, meristem akar dan meristem tunas. Dengan memiliki struktur tersebut maka perbanyakan melalui embrio somatik lebih menguntungkan daripada pembentukan tunas adventif yang unipolar.

Perkembangan metode embriogenesis somatik yang sangat cepat memungkinkan metode tersebut untuk digunakan dalam aplikasi praktis dan tujuan komersial, terutama untuk perbanyakan klon secara vegetatif (Vassil, 1994). Beberapa di antaranya digunakan untuk proses perbaikan sifat tanaman (seleksi sel, transformasi genetik, hibridisasi somatik, dan produksi tanaman poliploidi), preservasi plasma nutfah, eliminasi virus, dan produksi metabolit sekunder secara *in vitro*. Benih sintetis digunakan dalam bidang agroforestri (Redenbaugh, 1993) dan perbanyakan secara cepat dilakukan dengan bioreaktor (Ziv, 2000).



C. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI KEBERHASILAN INDUKSI EMBRIOGENESIS SOMATIK

Embriogenesis somatik dikatakan berhasil terbentuk jika kalus atau sel yang digunakan bersifat embriogenik yang dicirikan oleh sel yang berukuran kecil, sitoplasma padat, inti besar, vakuola kecil, dan mengandung butir pati. Embrio somatik yang dihasilkan memiliki sifat klonal yang sama seperti induknya dan juga mempunyai sifat juvenil, seperti embrio yang berasal dari biji (Hutan, 2012). Oleh karena itu, diperlukan beberapa syarat untuk mendukung keberhasilan pembentukan embrio somatik, antara lain jenis eksplan, zat pengatur tumbuh, genotipe, dan media tanam.

1. Jenis Eksplan

Dalam perbanyakan tanaman secara kultur jaringan, eksplan merupakan faktor penting penentu keberhasilan. Jenis eksplan merupakan faktor penting dalam perbanyakan *in vitro* karena setiap bagian tanaman yang dikulturkan mempunyai daya regenerasi berbeda (Mythilly, Satyavathi, Pavankumar, Rao, & Manga, 1997). Pemilihan jenis eksplan sangat menentukan pertumbuhan planlet menjadi haploid atau diploid (Idowu, Ibitoye, & Ademoyegun 2009). Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan sebagai bahan kultur adalah jenis tanaman, bagian tanaman yang digunakan, morfologi permukaan, lingkungan tumbuhnya, kondisi tanaman, dan musim serta waktu pengambilan eksplan. Umumnya bagian tanaman yang digunakan sebagai eksplan adalah jaringan muda yang sedang aktif karena mempunyai regenerasi yang tinggi.

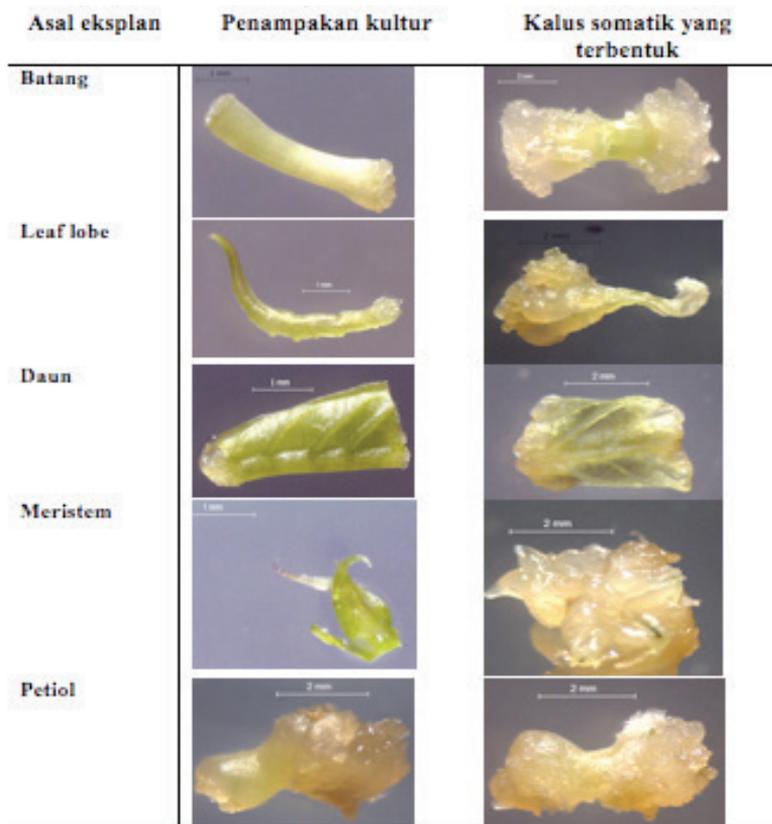
Penggunaan eksplan dari jaringan muda lebih sering berhasil karena sel-selnya aktif membelah, dinding sel tipis karena belum terjadi penebalan lignin dan selulose yang menyebabkan kekakuan pada sel. Menurut Zuyasna dan Hafsah (2013), semakin tua suatu jaringan, semakin besar variasi yang diperoleh dari tanaman yang diregenerasikan. Penggunaan eksplan yang bersifat meristematik umumnya memberikan keberhasilan pembentukan embrio somatik yang lebih tinggi. Menurut Wattimena (1992), perbedaan dari bagian tanaman yang digunakan akan menghasilkan pola pertumbuhan yang berbeda.

Ukuran eksplan juga memengaruhi keberhasilan kultur. Eksplan dengan ukuran kecil lebih mudah disterilisasi dan tidak membutuhkan ruang serta media yang banyak, namun kemampuannya untuk beregenerasi juga lebih kecil sehingga dibutuhkan media yang lebih kompleks untuk pertumbuhan dan regenerasinya.



Sebaliknya, semakin besar eksplan, semakin besar kemungkinannya untuk membawa penyakit dan makin sulit untuk disterilkan, membutuhkan ruang dan media kultur yang lebih banyak.

Dari beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan tersebut, jenis material yang memberikan respons paling tinggi terhadap persentase pembentukan embrio somatik adalah meristem dan *young leaflobe*. Dengan demikian, penelitian-penelitian embrio somatik ubi kayu selanjutnya dengan genotipe atau varietas yang berbeda akan tetap menggunakan kedua material tersebut. Hal ini tetap dilakukan untuk memastikan bahwa pada berbagai genotipe yang diujicobakan akan diperoleh hasil yang sama bahwa meristem dan *young leaflobe* merupakan jenis material yang paling responsif dalam pembentukan embrio somatik (Gambar 6.1).



Sumber: Lab. GMMJBT (2014)

Gambar 6.1 Jenis eksplan dari tanaman ubi kayu di kebun koleksi Puslit Bioteknologi LIPI yang digunakan untuk induksi embrio somatik (atas) dan respons dari masing-masing eksplan tersebut terhadap pembentukan embrio somatik (bawah) pada media induksi yang sama diamati secara mikroskopis.



2. Zat Pengatur Tumbuh (ZPT)

Induksi kalus dapat berhasil apabila dalam media ditambahkan zat pengatur tumbuh, baik auksin maupun sitokinin. Aktivitas ZPT di dalam pertumbuhan tergantung dari jenis, struktur kimia, konsentrasi, genotipe tanaman serta fase fisiologi tanaman. Menurut Wareing dan Phillips (1981), kebutuhan nutrisi dan ZPT untuk memacu proses morfogenesis pada kultur *in vitro* akan berbeda untuk setiap jenis tanaman dan eksplan yang digunakan. Dalam budi daya tanaman dengan menggunakan teknik *in vitro*, pemberian ZPT dalam media tanam perlu diperhatikan karena memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan eksplan menjadi bibit baru.

Interaksi dan perimbangan antara ZPT yang diberikan dalam media dan yang diproduksi secara endogen akan menentukan arah perkembangan suatu kultur tanaman. Penambahan auksin atau sitokinin eksogen mengubah level ZPT endogen sel. Level ZPT endogen ini merupakan faktor pemicu (*triggering factor*) untuk proses-proses yang tumbuh dan morfogenesis (Abidin, 1995). Konsentrasi ZPT yang digunakan tergantung pada tahap perkembangan yang terjadi. Penggunaan ZPT pada kultur kalus secara tunggal atau kombinasi dengan konsentrasi yang tepat diharapkan dapat menginduksi dan meningkatkan pertumbuhan kalus sehingga didapatkan biomassa yang besar. Pada induksi pembentukan kalus, konsentrasi ZPT yang lebih tinggi diperlukan untuk proses morfogenesis awal. Winarto, Mattjik, Purwito, dan Marwoto (2010) menyatakan bahwa beberapa ZPT sintetik juga dapat memodifikasi dan memengaruhi ZPT endogen yang kadang bersifat menurun pada generasi berikutnya.

Auksin digunakan untuk menginduksi sel-sel menjadi embriogenik. Auksin merupakan salah satu ZPT yang sangat berperan dalam berbagai proses perkembangan tumbuhan, seperti pembelahan dan pemanjangan sel (Davies, 1995), diferensiasi sel dan inisiasi pembentukan akar lateral (Bhalerao dkk., 2002), pembesaran sel (Stern, Jansky, & Bidlack, 2003), dominansi apikal, perkembangan pembuluh (jaringan pengangkut) (Mattsson, Sung, & Berleth, 1999), perkembangan aksis embrio (Friml dkk., 2003) serta perkembangan embrio. Peran auksin dalam embriogenesis somatik adalah untuk inisiasi embriogenesis somatik (Chugh & Khurana, 2002), induksi kalus embriogenik (Chithra, Martin, Sunandakumari, & Madhusoodanan, 2005), proliferasi kalus embriogenik (Huan & Tanaka, 2004) serta induksi embrio somatik (Shinoyama, Nomura, Tsuchiya, & Kazuma, 2004).



Menurut Rahayu dan Habibah (2009), untuk menginduksi kalus embriogenik umumnya digunakan auksin yang mempunyai aktivitas kuat atau dengan konsentrasi tinggi. Salah satu auksin yang sering digunakan dalam kultur jaringan tanaman adalah Pikloram (4-Amino-3,5,6-Trichloro Picolinic Acid), dengan berat molekul 241,46. Pikloram adalah jenis auksin kuat yang berdasarkan hasil evaluasi merupakan media terbaik untuk induksi embrio somatik dari eksplan daun embrio/*leaflet*. Karena aktivitas pikloram yang kuat maka penelitian mengenai induksi embriogenesis somatik di Puslit Bioteknologi LIPI memanfaatkannya untuk menginduksi embriogenesis somatik dan *friable embryogenic callus* (FEC) pada setiap genotipe atau varietas ubi kayu lokal yang ada di koleksi kultur dengan konsentrasi sekitar 10–12 mg/l (Harddeger & Shakya, 2004). ZPT selain pikloram yang sering diberikan adalah 2,4-D (*2,4-Diklorofenoksiasetat*), IAA (*Indole Acetic Acid*), dan NAA (*Naphthalene Acetic Acid*).

Sitokinin adalah senyawa turunan adenine dan berperan dalam pengaturan pembelahan sel dan diferensiasi sel dalam proses embriogenesis somatik. Sitokinin digunakan untuk merangsang terbentuknya tunas, memengaruhi metabolisme sel, dan merangsang sel dorman serta mendorong pembelahan sel sebagai aktivitas utama. Sitokinin yang biasa dikombinasikan dengan auksin dalam menginduksi embrio somatik di antaranya adalah Benzil Adenin (BA), kinetin, dan 2-ip.

3. Genotipe Tanaman

Dalam kultur jaringan, setiap genotipe menunjukkan respons kepekaan terhadap ZPT yang berbeda, tergantung kondisi ZPT endogen. Hal ini sama seperti yang telah dikemukakan oleh Sudarmonowati, Fitriani, Supatmi, dan Nurdiya (2009) bahwa setiap genotipe tanaman akan memberikan respons pertumbuhan *in vitro* yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan genotipe merupakan faktor terpenting yang harus diperhatikan (Ritchie & Hodges, 1993). Hasil penelitian Bi, Kou, Chen, Mao, dan Wang (2007) menunjukkan bahwa embrio dewasa dari 31 genotipe gandum (*Triticum*) yang diteliti memiliki respons yang berbeda-beda dalam hal induksi kalus, diferensiasi kalus embriogenik, regenerasi planlet, dan efisiensi kultur.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, genotipe memiliki peranan dalam merespons, baik terhadap pembentukan embriogenesis somatik maupun FEC. Dalam satu siklus subkultur dari embrio somatik sekunder (ESS) yang dikulturkan di media, Gresshoff dan Doy (GD) telah berhasil terbentuk *friable embryogenic callus* (FEC) kurang dari tiga bulan, sedangkan pada Mentega 2 hampir



setahun belum berhasil terbentuk FEC. Hal ini dikarenakan pembentukan FEC tersebut dipengaruhi juga oleh genotipe tanaman itu sendiri (Jain, 2006).

4. Media Tanam

Media merupakan faktor penentu dalam perbanyakan dengan kultur jaringan. Komposisi media kultur embriogenesis somatik termasuk salah satu faktor yang sangat menentukan keberhasilan pembentukan embrio. Media kultur tersebut tersusun dari beberapa atau seluruh komponen, meliputi larutan hara makro dan mikro, vitamin, gula sebagai sumber energi, agar sebagai pematid, asam amino dan N-organik, serta arang aktif dan ZPT (Gunawan, 1988). Penelitian yang dilakukan Sudarmonowati dkk. (2009) menunjukkan bahwa media yang mengandung Gresshoff & Doy (GD, merek Duchefa) dengan penambahan pikloram dan L-Tyrosine telah berhasil menginduksi kalus embriogenik ubi kayu secara efisien, sedangkan media, baik MS komposisi penuh maupun setengah komposisi, direkomendasikan untuk diferensiasi dan perkembangan embrio somatik ubi kayu yang mampu berkecambah (Groll, Mycock, & Gray, 2002). Begitu pula, media induksi embrio somatik dan FEC ubi kayu yang paling efektif yang telah lama digunakan di Puslit Bioteknologi LIPI adalah media yang mengandung GD dengan penambahan L-Tirosin dan mikro agar, sukrosa, dan hormon auksin pikloram pada pH 5,8. Pada induksi embrio somatik primer (ESP) terdapat penambahan CuSO_4 2 uM. Sebelumnya, media induksi yang digunakan adalah MS. Namun, hasil yang diperoleh adalah persentase embrio somatik yang terbentuk lebih rendah jika dibandingkan penggunaan media GD. Sementara itu, media tanam pada saat aklimatisasi untuk tanaman regenerasi adalah tanah dan pupuk kompos dengan perbandingan 1 : 1 dengan ukuran polibag yang digunakan adalah 10 cm x 15 cm.

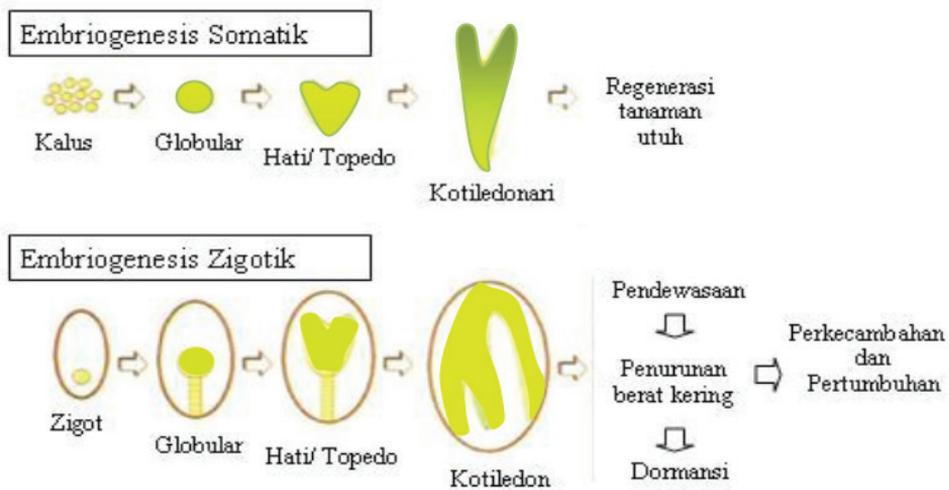
5. Tahapan Fase Pembentukan Embriogenesis Somatik

Perbanyakan tanaman melalui embriogenesis somatik terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap inisiasi kalus embriogenik, perbanyakan kalus embriogenik, pendewasaan, penuaan, dan perkecambahan embrio somatik (von Arnold, Sabala, Bozhkov, Dyachok, & Filonova, 2002). Menurut Bhojwani dan Razdan (1989), embrio somatik melewati tahap perkembangan (*development phase*) mulai dari kumpulan sel meristematis yang membelah terus-menerus disebut sebagai kalus embriogenik. Kemudian menjadi embrio somatik yang ditandai dengan beberapa tahapan fase embrionik, yaitu globular, bentuk hati, bentuk torpedo, dan kotiledon (Gambar 6.2). Pada tahap konversi (*conversion phase*), yaitu tahap setelah mencapai



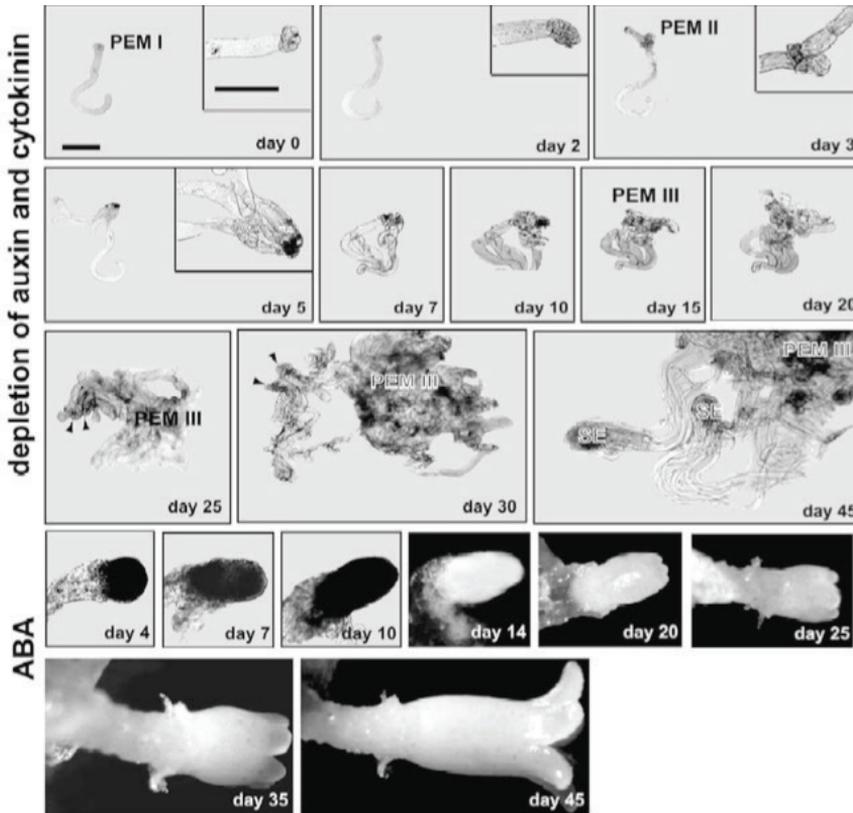
bentuk kotiledon, embrio somatik mulai mengalami perkecambahannya, dilanjutkan dengan tahap maturasi (*maturation phase*), yaitu embrio somatik akan mengalami perubahan biokimia dan menjadi keras.

Umumnya tahapan perkembangan embrio somatik pada tanaman dikotil dan monokotil terdapat perbedaan. Pada tanaman dikotil, tahapan yang dapat teramati, yaitu globular, jantung/hati, torpedo, dan planlet. Sementara itu, pada tanaman monokotil, tahapan yang dapat teramati, adalah globular, jantung/hati, dan torpedo. Menurut Gray (2005), tahap perkembangan embrio somatik dan embrio zigotik memiliki pola yang sama, yaitu dimulai dari fase globular, hati, torpedo, dan planlet untuk tanaman dikotil (Gambar 6.2). Dalam setiap tahapan tersebut, manipulasi zat pengatur tumbuh terutama golongan auksin dan sitokinin sangat menentukan perkembangan somatik embrio hingga menjadi tanaman (Gambar 6.3).



Sumber: Zimmerman (1993)

Gambar 6.2 Perbandingan antara Embriogenesis Somatik dan Embriogenesis Zigotik



Sumber: von Arnold dkk. (2002)

Gambar 6.3 Perkembangan Formasi Embrio Somatik dan Perkembangannya pada *Picea abies*

D. INDUKSI EMBRIOGENESIS SOMATIK PADA UBI KAYU

Pada ubi kayu, perbanyakkan bibit dengan menginduksi somatik embrio dalam rangka mendapatkan variasi somaklonal telah banyak dilakukan, mulai dari induksi kalus embriogenik hingga induksi embriogenesis somatik dan FEC. Pada umumnya, proses induksi kalus embriogenik hingga FEC dilakukan dengan menggunakan berbagai perlakuan ZPT, terutama auksin yang tinggi serta beberapa jenis eksplan. Tahapan induksi somatik embriogenik pada ubi kayu sebagai berikut.

1. Induksi Kalus Embriogenik Ubi Kayu

Induksi kalus embriogenik ubi kayu umumnya dapat dilakukan dengan menggunakan eksplan, di antaranya *leaf lobes* dan tunas pucuk. Media yang digunakan adalah media yang mengandung zat pengatur tumbuh auksin (pikloram, NAA, IAA, dan TDZ) dengan konsentrasi yang besar dan juga penambahan CuSO_4 yang dikultur di tempat yang gelap. Menurut Danso dan Ford-Lloyd (2002), penambahan CuSO_4 pada media dapat meningkatkan induksi embrio primer dan meningkatkan



produksi embrio sekunder serta dapat mempersingkat waktu pematangan embrio somatik menjadi 25 hari sejak inisiasi embrio.

Jenis-jenis kalus yang terbentuk setelah dikultur di media tersebut bisa dibedakan menjadi kalus yang sifatnya kompak dan kalus yang frozen (cenderung putih salju). Umumnya pada ubi kayu, kalus yang kompak dengan warna kuning dan mengilap merupakan kandidat unggul terbentuknya kalus embriogenik dibandingkan kalus yang berwarna putih (*frozen*). Meskipun demikian, warna kalus yang dihasilkan juga tergantung dari jenis dan genotipe dari tanaman itu sendiri sehingga penentuan apakah kalus yang dihasilkan embriogenik atau tidak dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo. Selain itu, kalus embriogenik ini akan mengalami fase awal pre-embriogenik yang umumnya ditandai dengan terbentuknya fase nodular. Untuk menghasilkan *primary somatic embryo* (PSE) dan *secondary somatic embryo* (SSE), kalus embriogenik tersebut perlu dipindahkan ke media lain sampai beberapa kali subkultur (Ubalua & Mbanaso, 2014; Ma, Zhou, & Zhang, 2014).

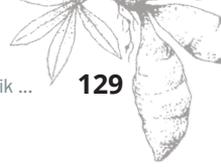
2. Siklus Embriogenesis Somatik Ubi Kayu

Salah satu syarat penting untuk keberhasilan sistem transformasi genetik adalah tersedianya kultur yang dapat dengan mudah digunakan untuk teknik transfer gen (Taylor dkk., 1996). Pada ubi kayu, cara yang paling efektif adalah dengan pengembangan kultur embriogenesis somatik. Ubi kayu termasuk dalam kelompok tanaman dikotil yang tahapan pada proses pembentukan embriogenesis somatik meliputi globular, hati, torpedo, dan kotiledonari. Umumnya tahapan pada saat bentuk hati pada beberapa tanaman agak sulit teramati karena proses terbentuknya membutuhkan waktu yang singkat dari bentuk hati ke torpedo. Pada ubi kayu, proses pembentukan embriogenesis somatik pertama kali dilaporkan oleh Stamp & Henshaw pada tahun 1982 yang berasal dari eksplan daun muda (Joseph, Yeoh, & Loh, 2004). Seperti yang terjadi pada sebagian besar penelitian pada tanaman lain, induksi embrio somatik pada ubi kayu berasal dari eksplan, seperti *leaf lobes* dan tunas pucuk yang diinduksi di media MS (Murashige dan Skoog) dengan penambahan auksin tinggi hingga membentuk kalus embriogenik yang ditandai dengan pembentukan fase awal nodular dan warna kalus yang cenderung *glossy*. Induksi kalus embriogenik ini akan menghasilkan embrio somatik primer. Induksi embrio somatik primer di beberapa genotipe ubi kayu dilakukan dengan menggunakan media MS dengan penambahan CuSO_4 dan pikloram yang diinduksi di ruang gelap (Ubalua & Mbanaso, 2014). Embrio somatik primer yang disubkultur setiap

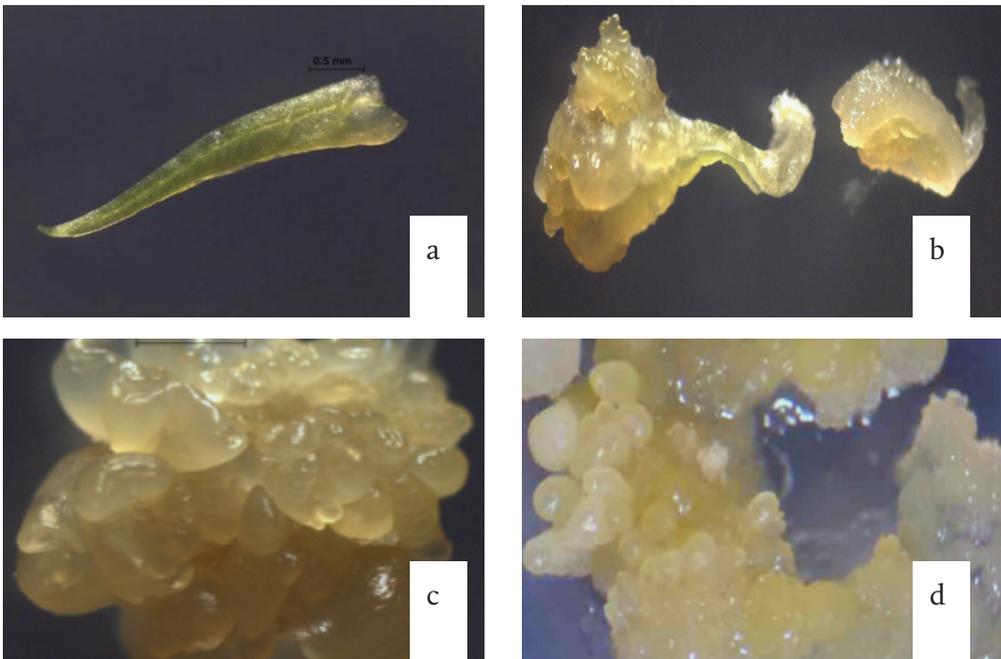
4 minggu sekali di media yang sama disebut sebagai somatik embrio sekunder. Somatik embrio tersebut dapat digunakan sebagai stok untuk tujuan maturasi yang kemudian diregenerasikan menjadi planlet. Proses maturasi embrio biasanya dilakukan dengan subkultur somatik embrio primer dan atau sekunder ke medium yang mengandung CuSO_4 dan BAP yang diinkubasikan dengan 16 jam di tempat terang (Hankoua, 2006).

3. Induksi *Friabel Embriogenik Kalus* (FEC) Ubi Kayu

Penggunaan embrio somatik sebagai bahan untuk transformasi genetik mulai banyak berkurang disebabkan oleh kecenderungan struktur dari embrio somatik yang multiseluler. Fokus penggunaan kultur embriogenik terbaru, yaitu FEC, mulai banyak dilakukan, terutama untuk ubi kayu. Sistem FEC ini merupakan alternatif kultur embriogenik yang jaringan embriogeniknya akan membelah secara terus menerus hingga membentuk kalus friabel (remah) dalam jumlah besar yang memiliki sifat totipotensi (Taylor dkk., 2001). Sel ini diidentifikasi sebagai target ideal untuk digunakan dalam transfer gen karena sifat selnya yang sebagian besar memiliki sifat totipotensi dan dapat berkembang menjadi tanaman baru seperti induknya (Ma dkk., 2015). Strategi umum yang digunakan untuk induksi FEC adalah penggunaan media GD (Gresshoff dan Doy) (Duchefa Biochemie BV) yang ditambahkan dengan sukrosa dan pikloram. Dosis konsentrasi yang digunakan dalam penambahan pikloram untuk induksi FEC ubi kayu tidaklah sama, tergantung dari genotipe ubi kayu yang digunakan, umumnya berkisar antara 33–50 μM pikloram. Dari periode inkubasi, jaringan tanaman yang digunakan akan berubah menjadi friabel dan berwarna kuning yang muncul di permukaan embrio. Sekali diinduksi, pemeliharaan FEC dapat dilakukan dengan mentransfernya ke kultur suspensi atau kultur padat di media dengan penambahan sukrosa yang lebih tinggi dan pikloram. Dengan cara tersebut, jumlah FEC bisa dicapai hingga ukuran gram dan dapat digunakan sebagai target untuk insersi transgen dalam rangka regenerasi embrio menjadi tanaman (Taylor dkk., 1996, 2001; Schroeder, Kwak, & Allen, 2001). Umumnya, untuk menginduksi FEC dari tanaman ubi kayu, seperti dari Amerika Latin, Asia, dan Afrika, digunakan pikloram disertai penambahan CuSO_4 . Hasil penelitian yang dilakukan Sudarmonowati & Henshaw (1992) pada tanaman ubi kayu terutama ubi kayu asal Amerika Latin (CMC 40 dan Mcol 113) adalah dengan menggunakan pikloram dengan konsentrasi 0,06–12 mg/l untuk menginduksi embriogenesis somatik.



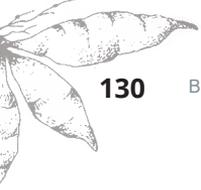
Pada beberapa jenis tanaman tertentu, proses terbentuknya FEC ini lebih sulit dibandingkan embrio somatik karena membutuhkan waktu yang cukup lama, salah satunya tergantung dari genotipe. Genotipe tertentu dapat membutuhkan waktu sekitar 6–18 bulan. Beberapa faktor yang memengaruhi terbentuknya FEC di antaranya adalah spesies tanaman, genotipe, komposisi media, dan interval subkultur. Semua faktor tersebut dapat berbeda pengaruhnya pada setiap tanaman. Gambar 6.4 merupakan tahapan pembentukan kalus FEC pada ubi kayu dengan material *young leaf lobe*. Dari eksplan menjadi kalus embrio somatik primer dibutuhkan waktu sekitar 3–4 minggu. Selanjutnya, dari kalus embrio somatik primer menjadi kalus embrio somatik sekunder diperlukan waktu sekitar 3–4 minggu dan terakhir dari kalus embriogenik sekunder menjadi FEC tergantung pada berbagai faktor. Ada yang membutuhkan waktu singkat sekitar 3–4 minggu, tetapi juga ada yang membutuhkan waktu cukup lama hingga beberapa kali subkultur di media yang sama.



Ket.: a) Eksplan *young leaf lobe*, b) Kalus embriogenik primer, c) Kalus embriogenik sekunder, d) *friable embryogenic callus* (FEC)

Sumber: Lab. GMMJBT (2013)

Gambar 6.4 Tahapan Pembentukan Friable Embryogenic Callus pada Ubi Kayu



4. Regenerasi Embrio Somatik Ubi Kayu Menjadi Planlet

Hartmann, Klester, dan Davies (1990) membedakan jenis regenerasi tanaman secara vegetatif (somatik) pada kultur jaringan menjadi lima jenis, yaitu kultur ujung meristem (*meristem-tip culture*), proliferasi tunas aksilar (*axillary shoot proliferation*), induksi tunas adventif (*adventitious shoot induction*), organogenesis, dan embriogenesis somatik. Embrio somatik dapat dihasilkan dalam jumlah besar dari kultur kalus, namun untuk tujuan perbanyak skala besar, jumlahnya kadang-kadang dapat ditingkatkan melalui inisiasi sel embriogenik dari kultur suspensi yang berasal dari kalus primer (Wiendi, Wattimena, & Gunawan, 1991). Potensi terbesar multiplikasi klon adalah melalui embriogenesis somatik di mana satu sel dapat menghasilkan satu embrio untuk menjadi tanaman lengkap (Admojo, Indrianto, & Hadi, 2014).

Pada teknik *in vitro*, sel atau jaringan tanaman diisolasi dari bagian tanaman (seperti protoplasma, sel atau sekelompok sel, jaringan, dan organ) yang kemudian distimulasi untuk memperbanyak diri dan beregenerasi menjadi tanaman yang lengkap dengan menggunakan media tertentu dan ditumbuhkan di lingkungan tumbuh yang sesuai. von Arnold dan Clapham (2008) menyebut bahwa regenerasi tanaman melalui embriogenesis somatik meliputi lima tahapan sebagai berikut.

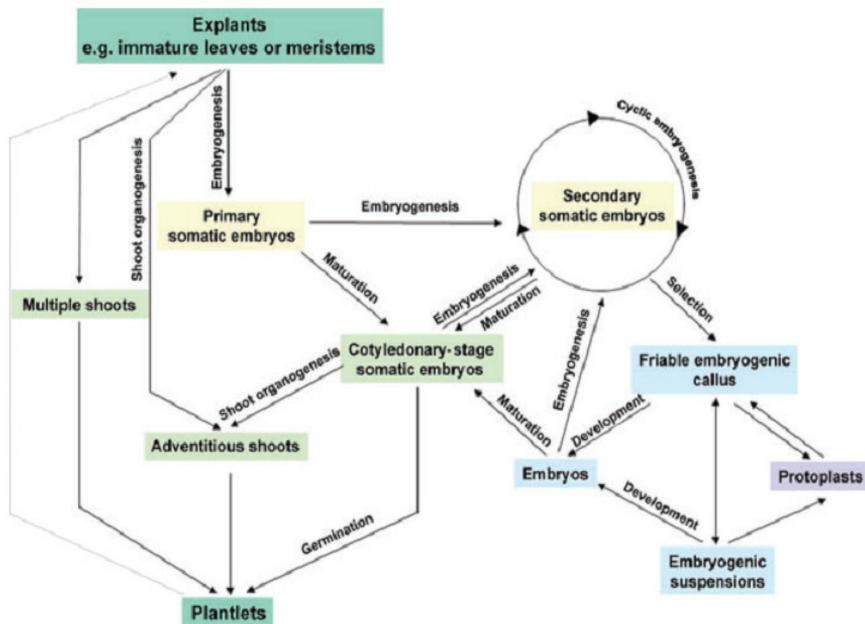
- a. Inisiasi kultur embriogenik dengan mengulurkan eksplan primer pada medium yang ditambahkan ZPT, terutama auksin, tetapi sering kali sitokinin.
- b. Proliferasi kultur embriogenik pada media solid atau cair yang ditambahkan dengan ZPT pada konsentrasi yang sama, seperti pada tahap inisiasi.
- c. Pra-pendewasaan embrio somatik pada media dengan pengurangan atau tanpa ZPT; hal ini menghambat proliferasi dan menstimulasi pembentukan dan perkembangan awal somatik embrio.
- d. Pendewasaan embrio somatik dengan mengulurkan pada media yang ditambahkan ABA dan atau memiliki penurunan potensial osmotik.
- e. Regenerasi tanaman pada medium tanpa ZPT.

Dibandingkan tanaman lain, laporan tentang transformasi genetik singkong sangat terlambat. Sampai dengan tahun 1990-an, sistem regenerasi tanaman singkong telah sepenuhnya dikembangkan berdasarkan embriogenesis somatik, organogenesis tunas dari kotiledon embrio somatik (*somatic cotyledons*), dan *friable embryogenic calli* (FEC) (Gambar 6.5).



Dalam rangka pengembangan spesies tanaman, metode regenerasi dari embriogenesis somatik dapat menjadi solusi pemecahan masalah yang selama ini tidak dapat dilakukan secara konvensional, seperti yang telah dilakukan pada tanaman kopi dan singkong (Schöpke dkk., 1996). Transformasi eksplan dan regenerasi dari embrio somatik langsung merupakan salah satu metode yang cepat, sederhana, dan dapat menghindari masalah terjadinya variasi somaklonal. Metode ini dapat memfasilitasi proses transformasi pada beberapa rekalsitran dan hanya dapat menghasilkan tanaman dari regenerasi secara langsung dari embrio somatik (Tetu, Sangwan, & Sangwan-Norreel, 1990). Namun, embriogenesis somatik secara langsung ini hanya berhasil diaplikasikan pada beberapa spesies tanaman saja.

Dalam proses regenerasi dari embriogenesis somatik atau pun FEC, media kultur merupakan salah satu faktor yang berperan penting. Sebelum memakai media yang saat ini dipakai untuk regenerasi berbagai genotipe atau varietas ubi kayu yang ada di kultur, berbagai formula sudah diujicobakan, namun keberhasilannya sangat rendah. Adapun media regenerasi yang saat ini digunakan di Laboratorium Genetika Molekuler dan Modifikasi Jalur Biosintesis LIPI untuk berbagai genotipe atau varietas lokal ubi kayu adalah media yang mengandung MS dengan penambahan BAP 0,4 mg/l, CuSO_4 2 μM , sukrosa 2%, Mikro agar 0,8% pada pH 5,8, dan diinkubasi di ruang kultur pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$, cahaya 1.000 lux, dan lama penyinaran 12–16 jam.



Sumber: Liu dkk. (2011)

Gambar 6.5 Tahapan Proses Regenerasi dari Kalus Embrio Somatik Menjadi Tanaman



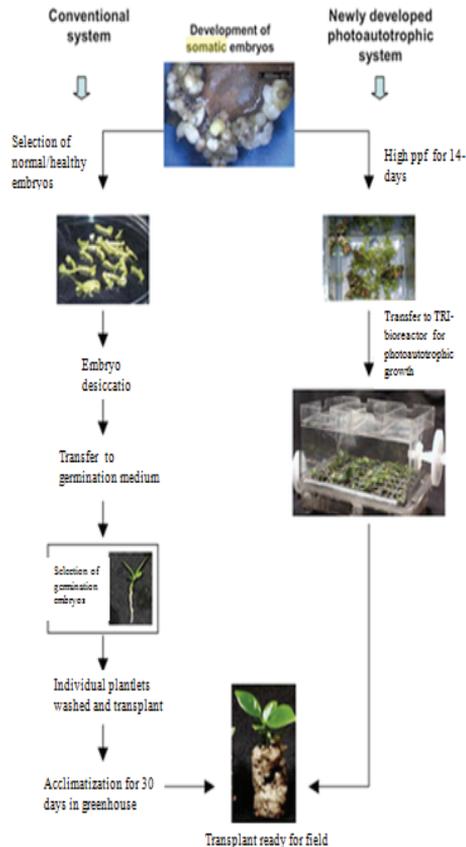
5. Perbanyak Regenerasi Embrio Somatik Ubi Kayu dalam Skala Bioreaktor

Untuk menghasilkan embriogenik somatik dalam jumlah besar beberapa cara dapat dilakukan, di antaranya dengan mengkultur embrio somatik di kondisi fotoautotropik. Beberapa sistem kultur *in vitro* yang dapat dilakukan di antaranya adalah dengan menggunakan media padat dan media cair untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi embrio somatik tersebut dalam beregenerasi. Ada tiga cara *pretreatment* yang dapat dilakukan dalam sistem kultur fotoautotropik tersebut, di antaranya adalah Magenta vessel, RITA bioreaktor dengan menggunakan sistem immersi sementara, dan pengembangan bioreaktor dengan menggunakan sistem immersi akar sementara (TRI-bioreaktor) (Mallón, Covelo, & Vieitez, 2012). Desain dari TRI-bioreaktor umumnya terdiri dari dua bagian ruang, yaitu ruang bawah yang digunakan untuk penyerapan larutan hara nutrisi, sedangkan bagian ruang atas digunakan sebagai tempat untuk kultur embrionya. Ruang penyalur aliran udara terletak di antara dua ruang tersebut (Kozai, 2015). Beberapa keuntungan regenerasi embrio somatik dengan sistem fotoautotropik dibandingkan sistem kultur konvensional (Gambar 6.6) adalah sebagai berikut.

- a. Kualitas embrio somatik yang dihasilkan lebih baik. Hal ini dikarenakan sistem ini mampu mengurangi hiperhidrisiti (kelebihan air dalam jaringan) dan abnormalitas embrio. Selain itu, sistem ini mampu mengonversi embrio somatik menjadi planlet dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan cara regenerasi *in vitro* konvensional.
- b. Umumnya embrio somatik akan berkembang dengan bentuk dan ukuran yang lebih seragam.
- c. Penggunaan zat pengatur tumbuh dan beberapa unsur organik, seperti asam amino dan vitamin ke dalam media kultur dapat dikurangi. Hal ini berbeda dengan sistem kultur *in vitro* konvensional yang umumnya membutuhkan nutrisi yang lebih banyak.
- d. Masalah-masalah yang berkaitan dengan biji sintetis yang mengandung gula dan nutrisi organik lain dapat diatasi dengan menggunakan sistem fotosintetik aktif embrio somatik.
- e. Sistem fotoautotropik ini dapat mengurangi biaya produksi, terutama biaya tenaga kerja dan peningkatan kualitas tanaman dibandingkan sistem kultur *in vitro* konvensional (Kozai, 2015).



Beberapa hasil penelitian pengembangan embrio somatik ubi kayu dalam skala besar dengan menggunakan bioreaktor RITA menunjukkan bahwa 84% embrio somatik ubi kayu berhasil diproduksi dalam jumlah besar. Namun, beberapa parameter yang perlu diperhatikan, di antaranya kondisi dan jenis dari embrio yang digunakan. Hasil dari pengembangan ubi kayu dengan bioreaktor RITA menyebutkan bahwa jumlah tanaman dan daun kotiledon sebesar 2,5 dan 2,1 kali lebih tinggi dari normalnya (Joseph dkk., 2004; Kozai, 2015). Sementara itu, biomasnya sekitar 2,8 dan 3,5 kali lebih tinggi dibandingkan metode normal. Pengembangan akar dari planlet hasil embrio somatik dengan menggunakan TRI-bioreaktor mampu menghasilkan hampir 90% planlet membentuk akar yang lebih besar dibandingkan di RITA-bioreaktor (Kozai, 2015).



Sumber: Kozai (2015)

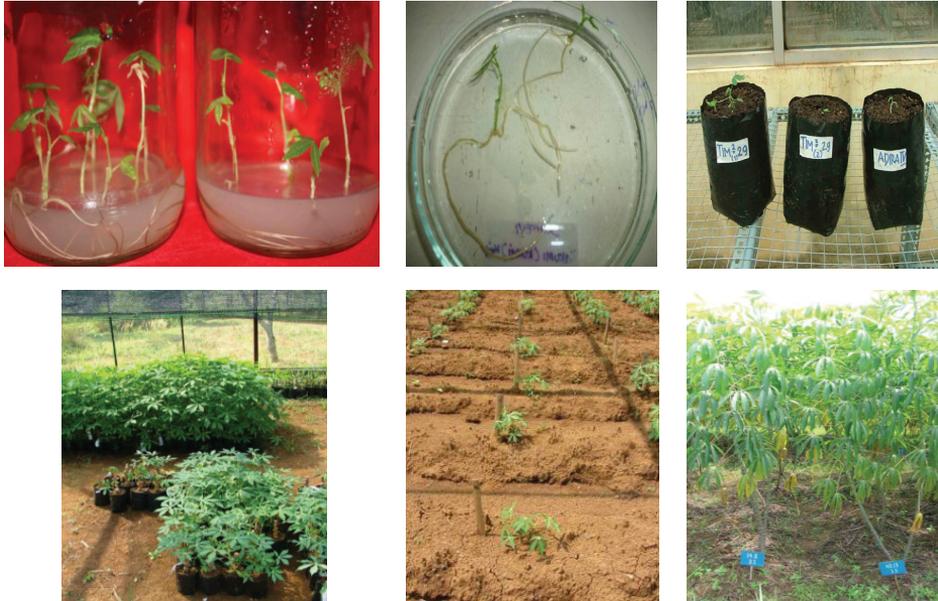
Gambar 6.6 Perbedaan Regenerasi Embrio Somatik dengan Menggunakan Kultur Konvensional dan Sistem Fotoautotropik (Bioreaktor)



6. Aklimatisasi Planlet Hasil Regenerasi Embrio Somatik

Tahap akhir dari teknik embriogenesis somatik adalah aklimatisasi. Tahapan ini adalah periode kritis dalam perbanyakkan tanaman dengan kultur jaringan karena peralihan dari kondisi heterotrof ke autotrof, dan sangat peka terhadap evapotranspirasi dari planlet, serangan cendawan, dan bakteri serta intensitas cahaya yang tinggi sehingga perlu perhatian khusus. Planlet dengan pertumbuhan tunas dan akar yang kuat dapat meningkatkan ketahanan planlet untuk beradaptasi di lingkungan *ex vitro*. Peningkatan daya adaptasi planlet di lapang sangat penting dilakukan guna mendukung dan menjaga kelangsungan hidup tanaman di lapangan. Salah satu ciri keberhasilan dalam regenerasi planlet *in vitro* ini adalah jika plantlet tersebut mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Kondisi kultur dengan kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan tanaman *in vitro* rentan mengalami kerusakan selama proses adaptasi di lapangan. Dengan demikian, perlakuan yang tepat pada tahap aklimatisasi sangat diperlukan guna meningkatkan kualitas pertumbuhan dan perkembangan tanaman hasil kultur *in vitro*. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan daya adaptasi serta ketahanan terhadap infeksi patogen karena merupakan hal yang sangat penting dilakukan untuk menghasilkan bahan tanam bermutu dan berproduksi tinggi.

Berikut ini merupakan beberapa tahapan aklimatisasi dari tanaman ubi kayu *in vitro* hasil regenerasi embriogenesis somatik (Gambar 6.7). Pertama adalah tanaman kultur dibersihkan dengan air bersih untuk menghilangkan sisa-sisa media agar sehingga meminimalkan terjadinya kematian akibat jamur. Setelah dibersihkan dari sisa-sisa agar, tanaman kultur ditanam di media polibag dengan ukuran 10 x 15 cm yang mengandung tanah dan kompos dengan perbandingan 1 : 1. Selanjutnya, disimpan di tempat yang teduh dengan diberi naungan serta paranet agar kelembapannya terjaga. Setelah memasuki umur 1,5–2 bulan di polibag, tanaman kemudian dipindahkan ke lapangan. Gambar terakhir adalah tanaman ubi kayu yang siap untuk dipanen pada umur sekitar 10 bulan.



Sumber: Lab. GMMJBT (2012)

Gambar 6.7 Tahapan Aklimatisasi pada Tanaman Ubi Kayu *in vitro* Hasil Regenerasi dari Kalus Embriogenesis Somatik hingga Penanaman ke Lapangan

E. PERKEMBANGAN PENELITIAN EMBRIOGENESIS SOMATIK PADA KULTUR *IN VITRO* UBI KAYU DI PUSLIT BIOTEKNOLOGI LIPI

Pada dekade terakhir ini, era bioteknologi modern untuk regenerasi melalui somatik embriogenesis lebih banyak menarik perhatian para peneliti bioteknologi karena akan dapat dihasilkan banyak individu baru yang berasal dari satu sel somatik. Induksi embrio somatik sekunder ubi kayu telah dikembangkan setelah induksi somatik embrio primer. Berbagai keuntungan pengembangan embrio somatik primer di antaranya adalah tingkat multiplikasi yang tinggi, sumber eksplan yang beragam, dan tingkat produksi tinggi yang menjadi dasar pemanfaatan embrio somatik primer ini dalam penelitian-penelitian ubi kayu (Raemakers, Jacobser, & Vissen 1995).

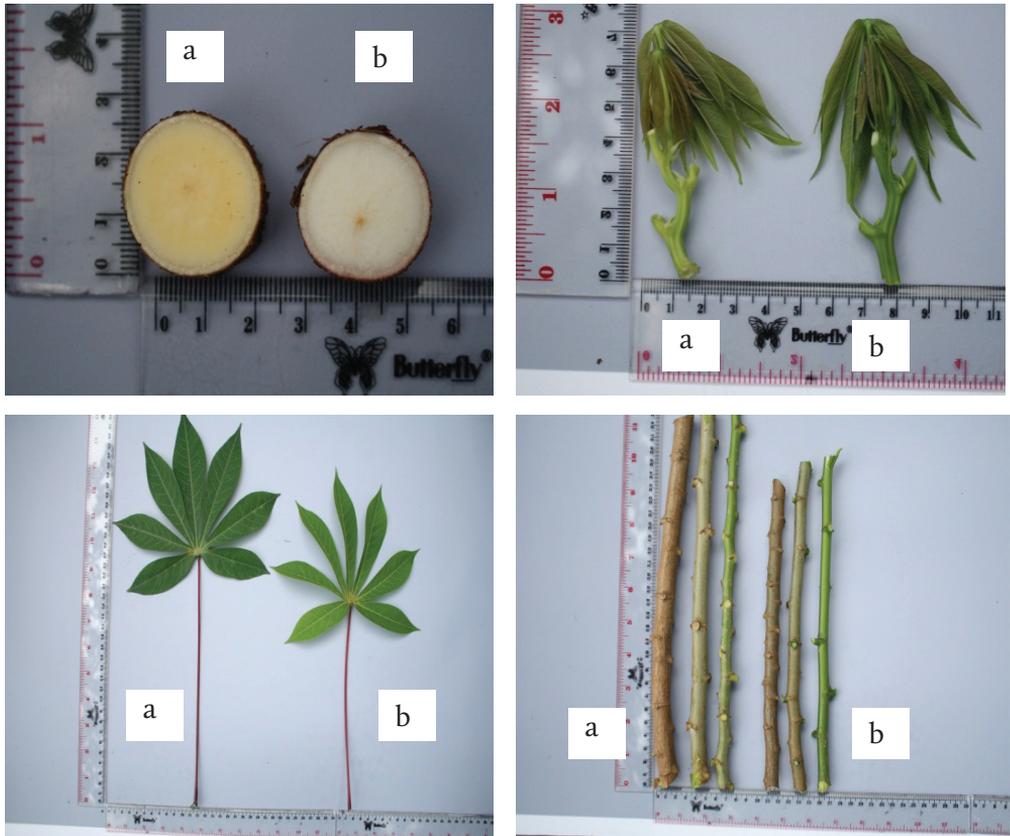
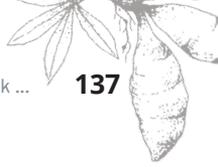
Di Indonesia, penelitian tentang embrio somatik ubi kayu di Pusat Penelitian (Puslit) Bioteknologi LIPI telah dilakukan sejak tahun 1980-an, berkolaborasi dengan beberapa instansi, baik dalam negeri maupun luar negeri. Induksi embrio somatik ubi kayu dikembangkan dengan menggunakan berbagai bahan material,



di antaranya daun muda, umbi, petiol, batang, dan tunas samping dari jenis-jenis ubi kayu asal Nigeria dan Amerika Selatan. Sejak itu, telah dilakukan penelitian untuk mendapatkan embrio somatik sebagai material untuk transformasi genetika dan varian ubi kayu dari beberapa genotipe ubi kayu lokal Indonesia, antara lain Gebang, Iding, Rawi, Tim-Tim 29, Darul Hidayah, Menti, Mentega 2, Gajah, dan Ubi Kuning.

Saat ini, penelitian tentang embriogenesis somatik ubi kayu dari berbagai genotipe lokal Indonesia yang terdapat di kebun koleksi ubi kayu Puslit Bioteknologi LIPI dari Laboratorium Genetika Molekuler dan Modifikasi Jalur Biosintesis Tanaman masih berjalan. Penelitian ini terus dikembangkan dengan berfokus mulai ke arah FEC dari berbagai genotipe ubi kayu lokal Indonesia dengan bekerja sama dengan pihak luar, seperti AVEBE dan Wageningen University, Netherland. Hasil kolaborasi tersebut di antaranya modifikasi kandungan amilosa ubi kayu dari salah satu varietas unggul nasional Adira-4 dengan cara meningkatkan atau pun menurunkan kadar amilosanya. Hal tersebut disesuaikan, baik untuk kepentingan industri pangan maupun nonpangan dengan menggunakan konstruk gen untuk induksi transgenesis.

Beberapa genotipe ubi kayu regeneran dari embriogenesis somatik dan FEC yang sudah dikembangkan di Puslit Bioteknologi LIPI di antaranya Ubi Kuning, Mentega 2, Gajah serta FEC dari beberapa line di antara line 25 atau dikenal dengan FEC 25. FEC ini sudah didaftarkan melalui Pendaftaran Vairetas Tanaman (PVT) ke Kementan agar memiliki kekuatan hukum dan diberi label, yaitu Carvita 25. Sertifikat PVT sudah diterima oleh Puslit Bioteknologi LIPI tanggal 26 Januari 2017. Keunggulan dari FEC 25 (Carvita 25) ini adalah kandungan nutrisinya yang tinggi, seperti beta karoten yang dapat dilihat secara kasat mata dari warna umbinya yang kuning. Warna umbi yang kuning berkorelasi dengan tingginya kadar beta karoten dan beberapa fenotipik Carvita 25 yang berbeda dengan tanaman induknya, yaitu ubi kayu varietas Adira-4 yang merupakan ubi kayu lokal Indonesia (Gambar 6.8). Berikut ini adalah sertifikat PVT untuk Carvita 25 (Gambar 6.9).



Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 6.8 a) Fenotipik Carvita 25 dan b) yang Berbeda dengan Tanaman Induknya Varietas Adira-4



Sumber: Lab. GMMJBT (2016)

Gambar 6.9 Sertifikat Pendaftaran Varietas Tanaman (PVT) Ubi kayu Carvita 25 Hasil Varian Somaklonal



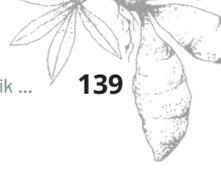
FEC telah menjadi target penelitian tentang embrio somatik karena lebih efektif sebagai material transformasi genetik dibandingkan embrio somatik. Menariknya, FEC merupakan material terbaik untuk memperbanyak tanaman dan transformasi genetik di beberapa jenis genotipe ubi kayu (Sudarmonowati, Supatmi, & Reny, 2009). Beberapa genotipe ubi kayu lokal Indonesia yang telah berhasil menjadi FEC, di antaranya Gebang, Gajah, dan Adira-4 (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Beberapa Genotipe/Varietas Ubi Kayu Koleksi Ubi Kayu

Genotipe/Varietas Ubi kayu	Media	Jenis eskplan	Zat Pengatur Tumbuh (ZPT)	Embrio somatik (ES)/ <i>Friable embryogenic callus</i> (FEC)
Adira-4	GD	daun, meristem	Pikloram	ES, FEC
	MS		Pikloram 2,4-D	- ES
Iding	GD	daun	Pikloram	ES
	MS		Pikloram 2,4-D	- ES
Gebang	GD	daun, meristem	Pikloram	ES, FEC
	MS		Pikloram 2,4-D	- ES
Rawi	GD	daun	Pikloram	ES
	MS		Pikloram 2,4-D	- ES
Menti	GD	daun	Pikloram	ES
	MS		Pikloram 2,4-D	- ES
Tim-Tim 29	GD	daun	Pikloram	ES
	MS		Pikloram 2,4-D	- ES
Gajah	GD	daun, meristem petiol, batang,	Pikloram	ES, Pikloram

Ket.: Koleksi yang ada di Puslit Bioteknologi LIPI yang telah menghasilkan Embrio Somatik (ES) atau *Friable Embryogenic Callus* (FEC) dengan beragam media dan jenis eksplan berbeda.

Sumber: Priadi dkk. (2006)



F. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI EMBRIOGENESIS SOMATIK UBI KAYU DI MASA DEPAN

Perbanyakkan secara *in vitro* melalui embriogenesis memiliki prospek yang bagus untuk dikembangkan dalam rangka menyediakan sarana untuk menghasilkan sejumlah besar tanaman yang identik secara genetik dan sering merupakan tanaman yang bebas patogen. Melalui kultur *in vitro* tanaman dapat diperbanyak setiap waktu sesuai dengan kebutuhan karena faktor perbanyakannya tinggi. Prospek pemanfaatan dari embriogenesis somatik yang lain di antaranya adalah sebagai berikut.

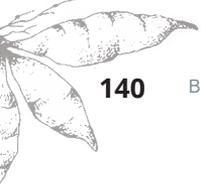
1. Perbanyakkan Bibit Ubi Kayu Skala Besar

Perkembangan yang sangat cepat dalam metode embriogenesis somatik telah memungkinkan untuk digunakan dalam aplikasi praktis dan tujuan komersial, terutama sekali untuk perbanyakkan klon secara vegetatif (Vassil, 1994). Embrio somatik dapat digunakan untuk membantu kegiatan pemuliaan tanaman dalam rangka proses perbaikan sifat tanaman (seleksi sel, transformasi genetik, hibridisasi somatik, dan produksi tanaman poliploid), preservasi plasma nutfah, eliminasi virus, produksi metabolit sekunder secara *in vitro*, dan inisiasi mikoriza. Di sisi lain dalam bidang agroforesti, penggunaan embrio somatik sangat diminati sebagai benih sintetis (Bajaj, 1995; Litz & Gray, 1995), dan perbanyakkan menggunakan bioreaktor (Ziv, 2000).

Perbanyakkan bibit ubi kayu hasil kultur jaringan telah dilakukan oleh Puslit Bioteknologi LIPI untuk melestarikan plasma nutfah ubi kayu dari berbagai daerah di Indonesia yang memiliki sifat unggul. Hal ini dilakukan dalam rangka mendukung program pemerintah, yaitu untuk menjamin seluruh penduduknya memperoleh pangan yang cukup, mutu yang layak, aman, dan didasarkan pada optimalisasi pemanfaatan dan keragaman sumber daya lokal. Beberapa genotipe ubi kayu hasil kultur jaringan yang telah dikembangkan oleh Puslit Bioteknologi LIPI di antaranya adalah Tayando, Lis-Lis, Kasbi, Mentega 2, Gajah, Menti, dan Ubi Kuning.

2. Peningkatkan Keragaman Genetik Ubi Kayu Melalui Induksi Varian Somaklonal

Planlet atau tanaman mini hasil kultur *in vitro* kemungkinan menghasilkan fenotipe yang abnormal, bahkan sering kali sifatnya dapat diturunkan pada generasi berikutnya. Keragaman tersebut dikenal sebagai variasi somaklonal dan



telah diketahui berhasil dilakukan pada berbagai jenis tanaman (Kuksova, Piven, & Gleba, 1997). Variasi somaklonal dapat menghasilkan karakteristik agronomi yang diinginkan, seperti peningkatan sifat toleransi tanaman terhadap kadar garam, resisten terhadap herbisida, penyakit, temperatur ekstrem, aluminium, atau bahkan dapat menghasilkan mutasi biokimia pada tanaman hias (Maluszynsky, Ahloowalia, & Sigurbjörnsson, 1995). Keragaman plasma nutfah yang tinggi merupakan syarat utama dalam perbaikan varietas tanaman. Salah satu teknik untuk meningkatkan keragaman adalah melalui induksi variasi somaklonal.

Variasi somaklonal adalah keragaman genetik yang berasal dari kultur *in vitro* (Larkin & Scowcroft, 1981). Keragaman genetik merupakan faktor yang sangat penting dalam program pemuliaan tanaman. Variasi somaklonal pada tanaman yang dihasilkan dari kultur *in vitro* dapat digunakan untuk mendapatkan sumber keragaman genetik baru dalam upaya perbaikan sifat tanaman yang diinginkan serta untuk menghasilkan kultivar baru (Jain, 2001). Bajji, Bertin, Lutts, dan Kinet (2004) menambahkan bahwa variasi somaklonal dapat dimanfaatkan sebagai sumber keragaman genetik pada seleksi *in vitro* untuk memperoleh suatu sifat unik yang diinginkan. Perubahan genetik yang terjadi dalam kultur *in vitro* disebabkan oleh penggandaan kromosom, perubahan struktur kromosom (pindah silang), dan perubahan gen (Bairu & Kane, 2011). Menurut Evans dan Sharp (1986), perubahan genetik yang terjadi dalam kultur *in vitro* meliputi mutasi gen pada genom nukleus dan sitoplasma, translokasi, delesi, inversi, transposabel elemen, dan amplifikasi gen.

Beberapa faktor yang memengaruhi munculnya variasi somaklonal adalah sumber eksplan yang digunakan, lamanya sel atau jaringan tanaman yang dikulturkan secara *in vitro*, tipe regenerasi yang digunakan, genotipe tanaman donor serta konsentrasi dan tipe zat pengatur tumbuh yang digunakan. Tanaman ubi kayu hasil regenerasi dari FEC yang diinduksi dari material *young leaf lobe* asal varietas Adira-4 telah menghasilkan varian tanaman ubi kayu dengan beragam karakter morfologi tanaman, baik warna kulit luar maupun korteks pada umbi juga warna daging umbi yang berbeda dengan tanaman induknya. Warna daging tanaman induknya putih, sedangkan warna daging dari tanaman hasil regenerannya berbeda-beda, ada yang putih atau pun kuning. Varietas Adira-4 merupakan salah satu varietas ubi kayu unggul nasional yang dikeluarkan oleh Balitkabi Kementerian Pertanian. Keunggulan dari Adira-4 ini adalah menghasilkan umbi rata-rata 35 t/ha, agak tahan hama tungau merah dan penyakit bakteri hawar daun serta sesuai untuk pati dan tepung.



3. Perbaikan Mutu Genetik Ubi Kayu secara Somatik Embriogenesis atau FEC

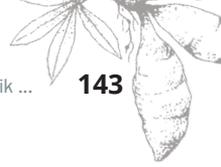
Pemuliaan ubi kayu secara tradisional sering kali mengalami kesulitan di antaranya karena heterozigositas yang tinggi dan fertilitas yang rendah (Li, Sautter, Potrykus, & Puonti-Kaerlas, 1996). Menurut Zhang, Phansiri, dan Puonti-Kaerlas (2001), rekayasa genetik ubi kayu mempunyai potensi yang besar untuk melengkapi teknik pemuliaan tradisional dalam menghasilkan bibit yang tahan terhadap hama dan penyakit atau dalam rangka meningkatkan mutu umbinya. Metode embriogenesis somatik telah dapat meregenerasi tanaman secara utuh dari sel-sel tunggal (Toonen & de Fries, 1995) sehingga memungkinkan untuk melakukan program seleksi pada tingkat sel. Sebagai contoh, seleksi sel dan regenerasi melalui embriogenesis somatik telah digunakan untuk meningkatkan toleransi tanaman jeruk terhadap kadar garam tinggi dan tahan terhadap penyakit (Litz, Moore, & Srinivasan, 1985), resisten terhadap virus pada tebu (Oropeza & de Gracia, 1996), perkecambahan melon pada temperatur rendah (Ezura, Amagai, Kikuta, Kubota, & Oosawa, 1995), dan sifat resisten kopi terhadap pitotoksin (Nyange, Williamson, McNicol, & Hacker, 1995). Aplikasi seleksi sel dan embriogenesis somatik dalam menghasilkan varietas baru pada tanaman hias telah banyak dilakukan (Hutchinson dkk., 1992).

Kalus embriogenik adalah media yang efektif untuk transformasi genetik, baik melalui teknik *Particle bombardment* maupun spesies bakteri. Teknik ini telah dimanfaatkan untuk mengembangkan sistem transformasi genetik atau untuk melestarikan plasma nutfah melalui kriopreservasi embrio somatik. Menurut Zainuddin, Schlegel, Gruissem, dan Vanderschuren (2012), jaringan embriogenik telah digunakan, baik sebagai target transformasi genetik maupun regenerasi tanaman ubi kayu transgenik. Josep dkk. (2004) menggunakan kalus embriogenik sebagai bahan penelitian induksi mutasi pada ubi kayu melalui iradiasi sinar gama. Beberapa spesies tanaman telah memanfaatkan embriogenesis somatik untuk transformasi genetik (Tabel 6.2). Berdasarkan kelebihan embriogenesis somatik dan FEC, Puslit Bioteknologi LIPI juga mengembangkan kedua material tersebut untuk merakit varian baru ubi kayu dengan sifat unggul, antara lain tinggi nutrisi, seperti beta karoten, protein, Zn, Fe atau pun patinya; daya simpan umbi; dan ketahanan terhadap cekaman kekeringan maupun unsur Al agar dapat membantu pemerintah dalam menjamin ketersediaan bibit ubi kayu unggul sehingga dapat dimanfaatkan untuk industri yang berbasis ubi kayu.



Tabel 6.2 Beberapa Spesies Tanaman yang telah Diregenerasi dari Transformasi Embriogenesis Somatik

Spesies	Strategi	Transformasi	Sumber
<i>Arachis hypogaea</i>	B	<i>Microbombardmen</i>	Livingtone & Birch, 1995 dalam Hafsah, 2012
	D	<i>Microbombardmen</i>	Sing sit dkk., 1997 dalam Hafsah, 2012
<i>Asparagus officinalis</i>	C	<i>Microbombardmen</i>	Cabrera-Ponca dkk., 1997 dalam Hafsah, 2012
<i>Carica papaya</i>	B	<i>Agrobacterium</i>	Cabrera-Ponca dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012; Yang dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
	C	<i>Agrobacterium</i>	Cheng dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
	D	<i>Microbombardmen</i>	Fitche dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
<i>Citrus sp.</i>	C	<i>Microbombardmen</i>	Yao dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
<i>Cucumis sativus</i>	B	<i>Agrobacterium</i>	Rahajo dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
	C	<i>Microbombardmen</i>	Schulze dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
<i>Glycine max</i>	B	<i>Microbombardmen</i>	Liu dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
	C	<i>Microbombardmen</i>	Stewart dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
<i>Ipomoea batatas</i>	B	<i>Agrobacterium</i>	New ell dkk., 1995 dalam Hafsah, 2012
	C	<i>Agrobacterium</i>	Gama Mics dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
<i>Manihot esculenta</i>	C	<i>Microbombardmen</i>	Schopke dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
	D	<i>Microbombardmen</i>	Raemakers dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
	E	<i>Agrobacterium</i>	Lie dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
		<i>Agrobacterium</i>	Koehorst-van Putten dkk., 2012
<i>Medicago sativaa</i>	D	<i>Agrobacterium</i>	Zainuddin dkk., 2012
		<i>Agrobacterium</i>	Ninkovic dkk., 1995 dalam Hafsah, 2012
<i>Oryza sativa</i>	C	<i>Microbombardmen</i>	Lie dkk., 1997 dalam Hafsah, 2012; Nayak dkk., 1997 dalam Hafsah, 2012; Jain dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012
<i>Panax ginseng</i>	B	<i>Agrobacterium</i>	Lee dkk., 1995 dalam Hafsah, 2012
<i>Sassharum officinarum</i>	C	<i>Microbombardmen</i>	Snyman dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012



Spesies	Strategi	Transformasi	Sumber
<i>Solanun melongena</i>	B	<i>Agrobacterium</i>	Fari dkk., 1995 dalam Hafsah, 2012
<i>Sorghum sp.</i>	B	<i>Microbombardmen</i>	Casas dkk., 1993 dalam Hafsah, 2012
<i>Zea mays</i>	C	<i>Microbombardmen</i>	Zhong dkk., 1996 dalam Hafsah, 2012

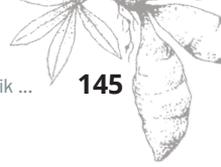
G. KESIMPULAN

Keberhasilan induksi embriogenesis somatik pada tanaman ubi kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya jenis eksplan dan genotipe, media tumbuh, dan zat pengatur tumbuh. Beberapa tahapan proses induksi embrio somatik ubi kayu adalah tahap induksi kultur embriogenik, pemeliharaan kultur embriogenik, perkembangan dan pendewasaan embrio somatik serta perkecambahan/regenerasi dan aklimatisasi. Prospek pengembangan embrio somatik dan perkembangan lebih jauh (FEC) membawa prospek yang menguntungkan dalam mengembangkan beberapa genotipe unggul lokal Indonesia. Puslit Bioteknologi LIPI telah mengembangkan teknik embrio somatik dan FEC di beberapa genotipe lokal Indonesia, seperti Adira-4, Gebang, Ubi Kuning, Mentega 2, dan Tayando untuk propagasi dalam jumlah besar dan meningkatkan mutu genetik ubi kayu. Prospek pengembangan embrio somatik sangat menjanjikan terutama untuk bahan induksi transgenesis. Selain itu, juga peningkatan kualitas bibit dan fungsi dari ubi kayu sebagai alternatif sumber pangan, pakan, dan industri yang potensial pada masa sekarang dan yang akan datang.



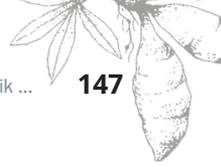
DAFTAR PUSTAKA

- Abidin. (1995). *Zat pengatur tumbuh*. Bandung: Angkasa.
- Admojo, L., Indrianto, A., & Hadi, H. (2014). Perkembangan penelitian induksi kalus embriogenik pada jaringan vegetatif tanaman karet klonal (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg). *Warta Perakatan*, 33(1), 19–28.
- Bajaj, Y. P. S. (1995). Somatic embryogenesis and its applications for crop improvement. Dalam *Somatic Embryogenesis and Synthetic Seed I* (pp. 105–125). Berlin, Heidelberg: Springer. BB Biogen. (2014). Dasar-dasar teknik kultur jaringan. Diakses 115 April 2017 dari <http://biogen.litbang.pertanian.go.id/2014/07/ringkasan-kuliah-prof-r-dr-ika-mariska-s-1-dasar-dasar-teknik-kultur-jaringan-tanaman/>.
- Bairu, M. W., & Kane, M. E. (2011). Physiological and developmental problems encountered by in vitro cultured plants. *Plant Growth Regulation*, 63(2), 101–103.
- Bajji, M., Bertin, P., Lutts, S., & Kinet, J. M. (2004). Evaluation of drought resistance-related traits in durum wheat somaclonal lines selected in vitro. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(1), 27–35.
- Bhalerao, R. P., Eklöf, J., Ljung, K., Marchant, A., Bennett, M., & Sandberg, G. (2002). Shoot-derived auxin is essential for early lateral root emergence in Arabidopsis seedlings. *The Plant Journal*, 29(3), 325–332.
- Bhojwani, S. S., & Razdan, M. K. (1989). *Plant tissue culture: Theory and practice*. Elsevier.
- Bi, R. M., Kou, M., Chen, L. G., Mao, S. R., & Wang, H. G. (2007). Plant regeneration through callus initiation from mature embryo of Triticum. *Plant Breeding*, 126(1), 9–12.
- Chithra, M., Martin, K. P., Sunandakumari, C., & Madhusoodanan, P. V. (2005). Somatic embryogenesis, encapsulation, and plant regeneration of *Rotula aquatica* Lour., a rare rhoeophytic woody medicinal plant. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 41(1), 28–31.
- Chugh, A., & Khurana, P. (2002). Gene expression during somatic embryogenesis. *Current Science*, 83(6), 715–730.
- Danso, K., & Ford-Lloyd, B. (2002). Induction of high-frequency somatic embryos in cassava for cryopreservation. *Plant Cell Reports*, 21(3), 226–232.
- Davies, P. J. (1995). The plant hormone concept: Concentration, sensitivity and transport. Dalam *Plant Hormones* (hlm. 13–38). Dordrecht: Springer.
- Dodeman, V. L., Ducreux, G., & Kreis, M. (1997). Zygotic embryogenesis versus somatic embryogenesis. *Journal of Experimental Botany*, 48(8), 1.493–1.509.
- Dixon, R. A. (1985). *Plant cell culture a practical approach*. Washington DC: Department of Biochemistry, Royal Holloway College. Oxford: IRL Press.
- Evans, D. A., & Sharp, W. R. (1986). Applications of somaclonal variation. *Nature Biotechnology*, 4(6), 528.
- Ezura, H., Amagai, H., Kikuta, I., Kubota, M., & Oosawa, K. (1995). Selection of somaclonal variants with low-temperature germinability in melon (*Cucumis melo* L.). *Plant Cell Reports*, 14(11), 684–688.
- Friml, J., Vieten, A., Sauer, M., Weijers, D., Schwarz, H., Hamann, T., ... & Jürgens, G. (2003). Efflux-dependent auxin gradients establish the apical-basal axis of Arabidopsis. *Nature*, 426(6963), 147.



- Gray, D. J. (2005). Propagation from non-meristematic tissues-Non-zygotik embryogenesis, Chap.14, Dalam R. N. Trigiano, D. J. Gray (Eds.), *Plant development and biotechnology*. Boca Raton: CRC Press. hlm. 187–200.
- Groll, J., Mycock, D. J., & Gray, V. M. (2002). Effect of medium salt concentration on differentiation and maturation of somatic embryos of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Annals of Botany*, 89(5), 645–648.
- Gunawan, L. W. (1988). *Teknik kultur jaringan tumbuhan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor (IPB).
- Hankoua, B. B., Taylor, N. J., Ng, S. Y. C., Fawole, I., Puonti-Kaerlas, J., Padmanabhan, C., & Fondong, V. N. (2006). Production of the first transgenic cassava in Africa via direct shoot organogenesis from friable embryogenic calli and germination of maturing somatic embryos. *African Journal of Biotechnology*, 5(19).
- Harddeger, M., & Shakya, R. (2004). Transformation of carrot. I.S. Curtis (Ed.). *Transgenic Crops of The World-Essential Protocol*, Kluwer Academic Publisher, 291–300.
- Hartman, H. T., Klester, D. E., & Davies, F. T. (1990). *Plant propagation principle and practices*. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Huan, L. V. T., & Tanaka, M. (2004). Callus induction from protocorm-like body segments and plant regeneration in *Cymbidium* (Orchidaceae). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(3), 406–410.
- Hutan, P. T. (2012). Pembentukan kalus remah dari eksplan daun ramin (*Gonystylus bancanus* (Miq) Kurz.). *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 6(3), 181–194.
- Hutchinson, J. F., Kaul, V. I. J. A. Y., Maheswaran, G., Moran, J. R., Graham, M. W., & Richards, D. (1992). Genetic-improvement of floricultural crops using biotechnology. *Australian Journal of Botany*, 40(6), 765–787.
- Idowu, P. E., Ibitoye, D. O., & Ademoyegun, O. T. (2009). Tissue culture as a plant production technique for horticultural crops. *African Journal of Biotechnology*, 8(16), 3782–3799.
- Jain, S. M. (2001). Tissue culture-derived variation in crop improvement. *Euphytica*, 118(2), 153–166.
- Jain, S. M. (2006). Biotechnology and mutagenesis in genetic improvement of cassava. *Cassava Improvement to Enhance Livelihoods in Sub-Saharan Africa and Northeastern Brazil*.
- Joseph, R., Yeoh, H. H., & Loh, C. S. (2004). Induced mutations in cassava using somatic embryos and the identification of mutant plants with altered starch yield and composition. *Plant Cell Reports*, 23(1–2), 91–98.
- Kozai, T. (2015, May). Photoautotrophic (sugar-free medium) micropropagation—its principle and application. Dalam *In vitro cellular & developmental biology-animal*, 51, S14–S14. 233 Spring ST, New York, NY 10013 USA: Springer.
- Kuksova, V. B., Piven, N. M., & Gleba, Y. Y. (1997). Somaclonal variation and in vitro induced mutagenesis in grapevine. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 49(1), 17–27.
- Larkin, P. J., & Scowcroft, W. R. (1981). Somaclonal variation—a novel source of variability from cell cultures for plant improvement. *Theoretical and Applied Genetics*, 60(4), 197–214.

- 
- Li, H. Q., Sautter, C., Potrykus, I., & Puonti-Kaerlas, J. (1996). Genetic transformation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Nature Biotechnology*, *14*(6), 736.
- Litz, R. E., Moore, G. A., & Srinivasan, C. (1985). In vitro systems for propagation and improvement of tropical fruits and palms. *Horticultural Reviews*, *7*, 157–200.
- Litz, R. E., & Gray, D. J. (1995). Somatic embryogenesis for agricultural improvement. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *11*(4), 416–425.
- Liu, J., Zheng, Q., Ma, Q., Gadidasu, K. K., & Zhang, P. (2011). Cassava genetic transformation and its application in breeding. *Journal of Integrative Plant Biology*, *53*(7), 552–569.
- Ma, Q., Zhou, W., & Zhang, P. (2015). Transition from somatic embryo to friable embryogenic callus in cassava: dynamic changes in cellular structure, physiological status, and gene expression profiles. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 824.
- Maluszynski, M., Ahloowalia, B. S., & Sigurbjörnsson, B. (1995). Application of in vivo and in vitro mutation techniques for crop improvement. *Euphytica*, *85*(1–3), 303–315.
- Manrique-Trujillo, S., Díaz, D., Reaño, R., Ghislain, M., & Kreuze, J. (2013). Sweetpotato plant regeneration via an improved somatic embryogenesis protocol. *Scientia Horticulturae*, *161*, 95–100.
- Mallón, R., Covelo, P., & Vieitez, A. M. (2012). Improving secondary embryogenesis in *Quercus robur*: Application of temporary immersion for mass propagation. *Trees*, *26*(3), 731–741.
- Mattsson, J., Sung, Z. R., & Berleth, T. (1999). Responses of plant vascular systems to auxin transport inhibition. *Development*, *126*(13), 2979–2991.
- Mythili, P. K., Satyavathi, V., Pavankumar, G., Rao, M. V. S., & Manga, V. (1997). Genetic analysis of short term callus culture and morphogenesis in pearl millet, *Pennisetum glaucum*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *50*(3), 171–178.
- Mujib, A., Banerjee, S., & Ghosh, P.D. 2005. Origin, development and structure of somatic embryos in selected bulbous ornamentals: BAP as inducer. p.15–24. *Dalam A. Mujib, J. Samac (Eds.). Somatic embryogenesis, plant cell monogr. (2). Verlag-Berlin Heidenberg: Springer.*
- Nyange, N. E., Williamson, B., McNicol, R. J., & Hacker, C. A. (1995). In vitro screening of coffee genotypes for resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*). *Annals of applied biology*, *127*(2), 251–261.
- Oropeza, M., & de García, E. (1996). Somaclonal variants resistant to sugarcane mosaic virus and their agronomic characterization. *In Vitro-Plant*, *32*(1), 26–30.
- Perveen, A., & Mansuri, S. (2015). Rapid propagation of a biodiesel plant cassava (*Manihot esculenta* crantz) through tissue culture. *Int. J. Biol. Biotech.*, *12*(3), 369–372.
- Priadi, D., & Sudarmonowati, E. (2006). Pengaruh komposisi media dan ukuran eksplan terhadap pembentukan kalus embriogenik beberapa genotipe lokal ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz). *Biodiversitas*, *7*(3), 269–272.
- Raemakers, C. J. J. M., Jacobsen, E., & Visser, R. G. F. (1995). Secondary somatic embryogenesis and applications in plant breeding. *Euphytica*, *81*(1), 93–107.
- Rahayu, E. S., & Habibah, N. A. (2009). *Buku ajar kultur jaringan tumbuhan*. Semarang, Universitas Negeri Semarang.



- Redenbaugh, K. (1993). *Synseeds: Applications of synthetic seeds to crop improvement*. Boca Raton FL: CRC Press.
- Ritchie, S. W., & Hodges, T. K. (1993). Cell culture and regeneration of transgenic plants. *Transgenic Plants*, 1, 147–178.
- Schroeder, J. I., Kwak, J. M., & Allen, G. J. (2001). Guard cell abscisic acid signalling and engineering drought hardiness in plants. *Nature*, 410(6826), 327.
- Schöpke, C., Taylor, N., Carcamo, R., Konan, N. K., Marmey, P., Henshaw, G. G., Beachy, R. N., & Fauquet, C. (1996). Regeneration of transgenic cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz) from microbombarded embryogenic suspension cultures. *Nature Biotech*, 14(6), 731.
- Shinoyama, H., Nomura, Y., Tsuchiya, T., & Kazuma, T. (2004). A Simple and efficient method for somatic embryogenesis and plant regeneration from leaves of chrysanthemum [*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura]. *Plant Biotechnology*, 21(1), 25–33.
- Stern, K. R., Jansky, S., & Bidlack, J. E. (2003). *Introductory plant biology*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Sudarmonowati, E., Supatmi, & Reny, H. Z. (2009). Induction and regeneration of primary somatic embryos (PSE) and secondary somatic embryos (SSE) of local cassava genotypes Iding and Gebang for genetic transformation materials. *Proceedings of Symposium & National Congress of PERIPI*. Bogor, November 17–19, 2009.
- Sudarmonowati, E., Fitriani, H., Supatmi, & Nurdiya, A. (2009). Factors affecting friable embryogenic callus in several plant species. *Jurnal Konsorsium Bioteknologi* (submitted Desember 2009).
- Sudarmonowati, E., & Henshaw, G. G. (1992). The induction of somatic embryogenesis of recalcitrant cassava cultivars using picloram and dicamba. Dalam W. M. Roca, & A. M. Thro (Eds.). *Prosiding International Scientific Meeting Cassava Biotechnology Network* (1, 1992, Cartagena de Indias, Colombia).
- Taryono. (2012). *Pengantar bioteknologi tanaman*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Taylor, N. J., Edwards, M., Kiernan, R. J., Davey, C. D., Blakesley, D., & Henshaw, G. G. (1996). Development of friable embryogenic callus and embryogenic suspension culture systems in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Nature Biotechnology*, 14(6), 726.
- Taylor, N. J., Masona, M. V., Carcamo, R., Ho, T., Schöpke, C., & Fauquet, C. M. (2001). Production of embryogenic tissues and regeneration of transgenic plants in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Euphytica*, 120(1), 25–34.
- Tetu, T., Sangwan, R. S., & Sangwan-Norreel, B. S. (1990). Direct somatic embryogenesis and organogenesis in cultured immature zygotic embryos of *Pisum sativum* L. *Journal of Plant Physiology*, 137(1), 102–109.
- Toonen, M. A. J., & de Vries, S. C. (1995). Initiation of somatic embryos from single cell. Dalam T. L. Wang, & A. Cuming (Eds). *Embryogenesis the generation of plant*. Bios Scientific Publishers Limited, Oxford, 173–177.
- Ubalua, A. O., & Mbanaso, E. (2014). Somatic embryogenesis in two Nigerian cassava cultivars (Sandpaper and TMS 60444). *Journal of Evolutionary Biology Research*, 6(3), 9–12.
- Vasil, I. K. (1994). Automation of plant propagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 39(2), 105–108.

- 
- von Arnold, S., Sabala, I., Bozhkov, P., Dyachok, J., & Filonova, L. (2002). Developmental pathways of somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 69(3), 233–249.
- von Arnold, S., & Clapham, D. (2008). Spruce embryogenesis. Dalam *Plant embryogenesis* (pp. 31–47). Humana Press.
- Wareing, P. F., & Phillips, I. D. J. (1981). *Growth & differentiation in plants*. 3rd ed. Pergamon.
- Wattimena, G. A., Gunawan, L. W., Mattjik, N. A., Syamsudin, E., Wiendi, N. M. A., & Ernawati, A. (1992). *Bioteknologi tanaman laboratorium kultur jaringan tanaman*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas IPB. Bogor, 309.
- Willian, E. G., & Maheswaran, G. (1986). Somatic embryogenesis: Factors influencing coordinated behaviour of cells as an embryogenic group. *Annals of Botany*, 57(4), 443–462.
- Winarto, B., Mattjik, N. A., Purwito, A., & Marwoto, B. (2010). Aplikasi 2, 4-D dan TDZ dalam pembentukan dan regenerasi kalus pada kultur anther Anthurium. *Jurnal Hortikultura*, 20(1).
- Wiendi, N. M. A., Wattimena, G. A., & Gunawan, L. V. (1991). *Bioteknologi tanaman I*. PAU IPB. 507 p.
- Wijayanto, T. (2013). Prospek penerapan bioteknologi dalam pemanfaatan dan pengembangan biodiversitas padi lokal Sulawesi Tenggara. *Jurnal Agroteknos*, 3, 1.
- Yunita, R. (2009). Pemanfaatan variasi somaklonal dan seleksi *in vitro* dalam perakitan tanaman toleran cekaman abiotik. *Jurnal Litbang Pertanian*, 28(4), 142–148.
- Zainuddin, I. M., Schlegel, K., Gruissem, W., & Vanderschuren, H. (2012). Robust transformation procedure for the production of transgenic farmer-preferred cassava landraces. *Plant Methods*, 8(1), 24.
- Zhang, P., Phansiri, S., & Puonti-Kaerlas, J. (2001). Improvement of cassava shoot organogenesis by the use of silver nitrate *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 67(1), 47–54.
- Zimmerman, J. L. (1993). Somatic embryogenesis: A model for early development in higher plants. *The Plant Cell*, 5(10), 1411.
- Ziv, M. (2000). Bioreactor technology for plant micropropagation. *Horticultural Reviews*, 24, 1–30.
- Zuyasna & Hafisah, S. (2013). Induksi embrio somatik dari tanaman kakao adaptif Aceh menggunakan eksplan bunga serta zat pengatur tumbuh Picloram. *J. Floratek*, 8, 1–9.

BAB KETUJUH



Perbaikan Mutu Genetik Ubi Kayu Melalui Teknik Iradiasi Sinar Gama

Supatmi, N. Sri Hartati, dan Enny Sudarmonowati

A. PERBAIKAN MUTU GENETIK UBI KAYU: TEKNOLOGI KONVENSIONAL VS BIOTEKNOLOGI

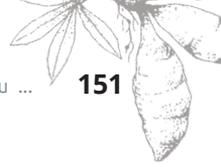
Keanekaragaman jenis ubi kayu di Indonesia memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan. Pemanfaatannya sebagai bahan makanan pokok di beberapa daerah di Indonesia, seperti Jawa, Sumatra, dan Papua serta potensi pengembangannya sebagai bahan baku industri makanan dan industri bioetanol menjadikan ubi kayu sebagai tanaman primadona bagi petani. Terlebih lagi, kemampuan hidup ubi kayu di lahan-lahan marginal serta manfaat dari hampir semua bagian tanaman, mulai dari umbi, kulit, batang, dan daunnya menambah nilai lebih dari tanaman ini untuk dikembangkan. Namun, tantangan terbesar dari pengembangan ubi kayu adalah didapatkannya varietas yang unggul dalam hal produktivitas dan kandungan nutrisinya sehingga ubi kayu mampu menjadi produk pangan nasional yang tidak hanya mengenyangkan, tetapi juga menyehatkan dan mencerdaskan.

Pemuliaan ubi kayu secara konvensional merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menghasilkan keragaman genetik ubi kayu. Namun, perbedaan waktu pembungaan heterogenitas dari biji yang dihasilkan membuat variasi genetik ubi kayu dengan sifat yang diinginkan tidak mudah didapatkan (Ahiabu, Lokko, Danso, & Klu, 1997; Ceballos dkk., 2007). Saat ini, perkembangan bioteknologi tanaman, seperti kultur jaringan dan biologi molekuler banyak dilakukan dalam upaya untuk pemuliaan tanaman. Pemuliaan tanaman pada umumnya dilakukan untuk memperbaiki varietas tanaman



dalam upaya mendapatkan bibit unggul dengan sifat-sifat tertentu, seperti tahan terhadap penyakit, memiliki kandungan unggul tertentu, menghasilkan produksi tinggi, dan memiliki kualitas yang lebih baik. Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, diperlukan suatu usaha untuk mempertinggi tingkat keragaman genetik tanaman. Cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan keragaman genetik tanaman terutama ubi kayu, yakni dengan menggabungkan teknik pemuliaan secara konvensional dengan kombinasi induksi mutasi dan teknik bioteknologi.

Upaya pemuliaan tanaman dengan teknik mutasi telah terbukti mampu menghasilkan banyak varietas mutan. Perkembangan varietas mutan tanaman tercatat mengalami peningkatan yang pesat selama 40 tahun terakhir dengan menghasilkan kurang lebih 2.252 varietas mutan tanaman di seluruh dunia (Maluszynski, Nichterlein, Zanten, & Ahloowalia, 2001; FAO-IAEA, 2011; Sikora, Chawade, Larsson, J. Olsson, & O. Olsson, 2012). Sebagian besar varietas mutan tanaman tersebut dihasilkan dari benua Asia terutama China, Jepang, dan India. Kemudian, diikuti oleh benua Eropa, seperti Belanda dan benua Amerika (Maluszynski dkk., 2001). Mutasi adalah perubahan pada materi genetik dari suatu makhluk hidup yang terjadi secara acak dan tiba-tiba yang menyebabkan terjadinya perubahan yang sifatnya terwariskan (*heritable*). Berdasarkan proses terjadinya, mutasi bisa dibedakan menjadi dua, yaitu mutasi yang terjadi secara spontan (*spontaneous mutation*) dan melalui induksi (*induced mutation*). Mutan yang dihasilkan, baik secara alami maupun induksi, sebenarnya tidak terdapat suatu perbedaan mendasar (Maluszynski dkk., 2001; Sikora dkk., 2012). Keduanya menghasilkan variasi genetik yang dapat digunakan sebagai dasar dalam seleksi tanaman, baik secara alami (evolusi) maupun seleksi secara buatan (pemuliaan). Metode mutasi ini sangat penting dalam proses pemuliaan tanaman karena mampu meningkatkan keragaman genetik tanaman yang memungkinkan untuk dilakukan seleksi genotipe tanaman sesuai dengan tujuan pemuliaan yang dikehendaki. Misalnya, seleksi genotipe tanaman yang memiliki tingkat produksi tinggi, tahan penyakit, dan memiliki sifat tertentu, seperti genjah. Selain itu, mutasi induksi pada tanaman dapat dilakukan dengan perlakuan dari bagian organ tanaman, seperti stek, biji, serbuk sari, dan rhizoma dengan menggunakan bahan mutagen tertentu yang mampu mempercepat frekuensi dan kemungkinan terjadinya proses mutasi (Wu dkk., 2005; FAO-IAEA, 2011). Hal ini sangat menguntungkan karena pada umumnya proses mutasi secara alami terjadi secara lambat dan memerlukan waktu yang sangat lama. Namun, bahan-bahan mutagen serta prinsip kerja dari induksi mutasi pada tanaman, terutama untuk diterapkan pada induksi mutasi ubi kayu,



berbeda-beda. Selain itu, jenis-jenis mutasi yang dihasilkan dan prosedur mutasi tanaman di setiap negara berbeda-beda. Oleh karena itu, sebelum memperbaiki mutu genetik ubi kayu secara bioteknologi, pengetahuan dasar mengenai bahan mutagen dan prinsip kerjanya serta jenis-jenis mutasi yang terjadi pada mutagenesis tanaman secara umum perlu dipelajari dan dipahami, dalam rangka memperbaiki mutu genetik ubi kayu yang unggul pada masa depan.

B. IRADIASI SEBAGAI SALAH SATU TEKNIK INDUKSI MUTASI TANAMAN

Iradiasi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk induksi mutasi tanaman. Iradiasi dikategorikan sebagai cara fisika yang digunakan untuk induksi mutasi. Secara umum, bahan mutagen yang digunakan dalam induksi mutasi dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu mutagen fisika (*physical mutagen*) dan mutagen kimia (*chemical mutagen*). Mutagen fisika yang digunakan dalam proses mutasi bersifat sebagai radiasi pengion yang melepaskan suatu energi (ionisasi) ketika melewati atau menembus materi (Soeranto, 2003; Sikora dkk., 2012). Penggunaan mutagen fisika dengan iradiasi dapat meningkatkan rata-rata mutasi alami yang terjadi sebesar 1.000–1 juta fold (Soeranto, 2003). Mutagen fisika yang banyak digunakan dalam pemuliaan tanaman, di antaranya adalah radiasi Gama, sinar-X, radiasi beta, neutron, dan partikel akselerator (Tabel 7.1) (Soeranto, 2003; FAO-IAEA, 2011). Pada prinsipnya, ketika bahan tanaman diradiasi pada dosis tertentu maka proses ionisasi akan terjadi dalam jaringan yang menyebabkan terjadinya proses perubahan pada jaringan itu sendiri, seperti pada sel, genom, kromosom, dan DNA yang menyebabkan terjadinya proses mutasi. Mutasi yang dihasilkan disebut sebagai mutan, mampu meningkatkan keragaman genetik tanaman yang menjadi dasar proses seleksi dalam pemuliaan tanaman.

Tabel 7.1 Macam-Macam Jenis Radiasi dan Karakteristiknya

Tipe Radiasi	Sumber	Deskripsi	Energi	Daya Tembus
Sinar-X	Mesin sinar-X	Radiasi elektromagnetik	50–300kV	Beberapa mm sampai banyak cm
Sinar gama	Radioisotop dan reaksi nuklir	Radiasi elektromagnetik	Sampai beberapa MeV	Banyak cm
Neutron	Reaktor nuklir	Partikel tidak berubah	Kurang dari 1 sampai berjuta	Banyak cm
Partikel beta	Radioisotop, aselerator	Partikel tidak berubah	Kurang dari 1 sampai berjuta eV	Banyak cm



Tipe Radiasi	Sumber	Deskripsi	Energi	Daya Tembus
Partikel Alfa	Radioisotop	Inti Helium	2–9 MeV	Sedikit mm
Proton atau Deutron	Reaktor nuklir aselerator	Inti Hidrogen	Sampai beberapa GeV	Sampai banyak cm

Sumber: Soeranto (2003), FAO-IAEA (2011)

Mutagen kimia yang digunakan dalam induksi mutasi pada umumnya menggunakan senyawa alkil (*alkylating agents*), seperti *ethyl methane sulphonate* atau etil metan sulfonat (EMS), *diethyl sulphate* atau dietil sulfat (DES), *methyl methane sulphonate* atau metil metan sulfonat (MMS), *hydroxylamine* atau hidroksilamin, *nitrous acids* atau asam-asam nitrat, dan *acridines* (Wu dkk., 2005; Wang dkk., 2008; Martin, Ramiro, Martínez-Zapater, & Alonso-Blanco, 2009; Gady, Hermans, van de Wal, van Loo, Visser, & Bachem, 2009; FAO-IAEA, 2011). Pada prinsipnya, mutagen kimia mampu menyebabkan terjadinya proses mutasi melalui beberapa cara, yaitu gugus alkil yang terdapat dalam bahan mutagen kimia dapat ditransfer ke molekul lain yang posisinya memiliki tingkat kepadatan elektron yang cukup tinggi, seperti gugusan kelompok fosfat dan molekul purin dan pirimidin yang merupakan penyusun utama struktur *dioxiribonucleic acid* (DNA). DNA merupakan struktur kimia yang membawa gen yang sifatnya diwariskan. DNA tersusun atas purin yang mengandung basa-basa yang disebut sebagai adenine (A) dan guanine (G) serta pirimidin yang terdiri atas tirosin (T) dan sitosin (C). Purin merupakan basa yang memiliki cincin ganda, sedangkan pirimidin memiliki cincin tunggal. Struktur molekul DNA tersebut tersusun secara pilitan ganda (*double helix*). Beberapa mutasi yang terjadi akibat perlakuan mutagen kimia di antaranya perubahan basa pada struktur DNA yang mengarah pada pembentukan *7-alkyl guanine* atau alkil guanin (Gady dkk., 2009; FAO-IAEA, 2011).

Proses mutasi, baik menggunakan mutagen kimia maupun fisika mampu mengubah struktur DNA dari tanaman. Proses tersebut dapat menimbulkan perubahan sifat-sifat genetik tanaman, baik ke arah positif maupun negatif dan kemungkinan juga akan kembali ke sifat semula atau normal (*recovery*). Pada umumnya, mutasi yang bersifat positif dan mampu diwariskan ke generasi berikutnya merupakan mutasi yang diharapkan oleh pemulia tanaman. Sifat-sifat positif tersebut bersifat relatif tergantung dari tujuan pemuliaan tanaman itu sendiri. Selain itu, berbagai perlakuan mutasi, baik dengan menggunakan mutagen kimia maupun mutagen fisik pada tanaman akan menginduksi terjadinya mutasi yang bermacam-macam pada tingkat sel dan jaringan sebagai berikut.



1. Mutasi Genom (*Genome Mutation*)

Mutasi perangkat kromosom (genom) terjadi karena adanya perubahan jumlah kromosom (ploidi). Perubahan jumlah kromosom yang terjadi karena kehilangan atau penambahan perangkat kromosom disebut sebagai euploid, sedangkan yang terjadi hanya pada salah satu kromosom dari genom disebut aneuploid. Poliploid pada tanaman terjadi jika kromosom diploid ditambah dengan satu atau lebih set kromosom.

Mutasi genom tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa mutagen kimia dan fisika. Beberapa mutagen kimia di antaranya *colchicine* atau *nitrous oxide* yang mampu mengubah tingkat ploidi pada tanaman. Salah satu contohnya adalah mutan tanaman sorgum yang diinduksi dengan *colchicine* mampu mengurangi jumlah kromosom menjadi haploid, kemudian diikuti dengan diploidisasi (Soeranto, 2003; FAO-IAEA, 2011). Sementara itu, contoh tanaman yang mengalami mutasi karena radiasi sinar gama di antaranya terjadi pada mutan tanaman barley yang genom kromosomnya berubah menjadi aneuploid (Soeranto, 2003; FAO-IAEA, 2011).

2. Mutasi Gen (*Crene or Point Mutation*)

DNA merupakan informasi genetik yang tersimpan dalam gen tanaman yang tersusun dalam bentuk pilinan ganda dan tersusun atas basa-basa purin dan pirimidin yang dihubungkan melalui ikatan fosfat dan gula. Induksi mutasi, baik menggunakan bahan mutagen kimia maupun fisika, mampu menginduksi perubahan spesifik dari susunan pasangan basa yang ada dalam struktur DNA tersebut sehingga menyebabkan terjadinya mutasi. Secara umum, mutasi pada tingkat gen dibagi menjadi dua, yaitu *microlesion* dan *macrolesion*. *Microlesion* atau sering disebut juga sebagai mutasi titik (*point mutation*) adalah mutasi yang terjadi karena adanya penambahan, transisi, dan perubahan pasangan basa dan atau penyisipan baru pasangan basa. Sebaliknya, mutasi *macrolesion* adalah mutasi yang terjadi karena adanya penghapusan, duplikasi, dan atau penyusunan kembali pasangan basa (Soeranto, 2003).

Induksi mutasi dengan menggunakan mutagen kimia pada umumnya berhubungan dengan terjadinya mutasi *microlesion*, sedangkan mutasi fisik terutama radiasi biasanya menyebabkan terjadinya mutasi *macrolesion*. Pada beberapa mutasi gen, secara karakter morfologi ditandai dengan sterilitas dan kematian pada tanaman dalam rangka untuk mencegah terbentuknya bivalensi



dalam proses meiosis. Hal ini pada mutan yang homozigot akan memengaruhi penurunan produktivitas dan daya saing mutan yang dapat merugikan. Sementara itu, pada mutan yang heterozigot dapat mengarah pada peningkatan viabilitas dan daya saing mutan, seperti pada tanaman *Zea*, *Hordellm*, dan *Oryza* (Till dkk., 2007; FAO-IAEA, 2011).

C. PROSEDUR KERJA MUTASI TANAMAN DENGAN RADIASI SINAR GAMA DI INDONESIA

Teknik mutasi dengan radiasi sinar gama pada umumnya dilakukan dengan sumber sinar gama Cobalt-60. Di Indonesia, induksi mutasi dengan sinar gama tersebut dilakukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) berdasarkan surat keputusan Presiden RI Nomor 230 Tahun 1954. Pada intinya, pemerintah membentuk Panitia Negara untuk melakukan penelitian radioaktivitas di atmosfer Indonesia yang mungkin timbul karena imbas adanya percobaan-percobaan nuklir di laut Pasifik (Soeranto, 2003). Dalam perkembangannya, pengembangan penelitian dalam bidang peternakan, pertanian, industri, hidrologi, dan kimia di Indonesia menjadi berkembang dengan dibentuknya Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) yang kemudian menjadi Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR). Dengan adanya fasilitas ini, institusi lembaga lain, seperti pertanian dan lembaga riset lain seperti LIPI bisa mengembangkan penelitian tentang pemuliaan tanaman melalui teknik radiasi dengan bantuan pelayanan dan fasilitas radiasi dari BATAN. Pada umumnya, *gamma chamber* yang memiliki sumber sinar Gama dari Cobalt-60 banyak digunakan untuk penelitian radiasi yang memerlukan radiasi akut, yaitu radiasi dengan laju dosis yang tinggi, seperti biji-bijian, stek, dan bagian reproduktif tanaman yang berukuran kecil (Melki & Maourani, 2010; Marcu, Cristea, & Daraban, 2013). Untuk penelitian dengan perlakuan dosis kronik (*chronic irradiation*), yaitu radiasi dengan laju dosis yang rendah, seperti tanaman pot atau tanaman kultur jaringan digunakan *Gamma room* dengan aktivitas awal sebesar 75.000 Curies (Soeranto, 2003).

D. RADIOSENSITIVITAS TANAMAN TERHADAP IRADIASI SINAR GAMA

Tanaman memiliki sensitivitas dalam merespons adanya perlakuan iradiasi sinar gama yang disebut sebagai radiosensitivitas. Radiosensitivitas tanaman terhadap iradiasi sinar gama tersebut tergantung dari beberapa faktor, di antaranya dari



sumber radiasi yang digunakan, dosis radiasi, dan intensitas iradiasi itu sendiri. Selain itu, bahan-bahan tanaman yang digunakan dalam perlakuan iradiasi sinar gama juga memengaruhi tingkat radiosensitivitas tanaman. Di antaranya adalah jenis tanaman yang digunakan, ukuran dari bahan tanaman yang digunakan, fase tumbuh dari tanaman yang diradiasi serta tingkat ketebalan dari bahan yang akan diradiasi (Maharani, Khumaida, Syukur, & Ardie, 2015).

Secara umum, iradiasi sinar gama memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan cara mengubahnya pada tingkat sel dan jaringan, baik secara sitologi, genetik, biokimia, maupun fisiologi dari tanaman. Mekanisme terjadinya kerusakan jaringan yang diakibatkan oleh iradiasi terjadi secara cepat, dimulai dengan fase kerusakan fisik awal yang terjadi dalam kurun waktu satu menit setelah diradiasi. Setelah itu terjadi kerusakan sel dan jaringan secara fisika-kimia yang prosesnya kurang lebih 10–16 detik, kemudian diteruskan dengan kerusakan secara kimia, dan akhirnya kerusakan secara biologi. Kerusakan secara biologi membutuhkan waktu selama 10 menit hingga 10 tahun, tergantung dari gejala-gejala khusus yang terjadi setelah iradiasi (Kumar dkk., 2013).

1. Radiosensitivitas Tanaman Hasil Radiasi secara Fisik dan Sitologi

Salah satu cara untuk mengetahui radiosensitivitas tanaman terhadap iradiasi sinar gama adalah dengan mengukur dosis letal. Dosis letal merupakan frekuensi maksimum dari mutasi yang terjadi dengan dampak kerusakan yang minimum pada tanaman (Kamaruddin, Abdullah, & Harun, 2016). Dosis letal biasanya diukur dari persentase tanaman yang mati setelah proses radiasi, minimal 20% tanaman yang mati (LD 20) atau LD 50 (50% tanaman yang mati). Oleh karena itu, salah satu langkah penting sebelum melakukan induksi mutasi dengan menggunakan iradiasi sinar gama adalah penentuan dosis radiasi untuk bahan tanaman yang digunakan.

Dosis radiasi berkaitan dengan sejumlah energi radiasi yang disimpan oleh bahan tanaman. Unit yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi adalah Gray (Gy). Satu Gy setara dengan penyerapan 1 Joule energy/kg dari hasil radiasi atau sama dengan 1/10 Krad. Dosis radiasi ini dibagi dalam 3 kategori, yaitu tinggi (> 10 kGy), medium (1–10 kGy), dan rendah (<1 kGy). Dosis tinggi biasanya digunakan untuk sterilisasi produk-produk makanan sedangkan dosis rendah biasanya digunakan untuk induksi mutasi dari bahan biji dengan dosis yang berkisar antara 60–700 Gy, seperti yang telah diaplikasikan pada biji padi, jagung, gandum, kacang, dan anggur (Till dkk., 2007; Melki & Maourani, 2010; FAO-IAEA, 2011). Sementara itu, untuk



bahan tanaman dari kultur *in vitro* dengan ukuran yang kecil maka umumnya dalam satuan milligram (mg) dan dosis radiasi yang digunakan adalah dosis yang lebih rendah. Beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa untuk kalus dosis radiasi yang digunakan berkisar antara 2–5 Gy karena dosis antara 15–20 Gy menyebabkan terjadinya proses nekrosis dan kehilangan kapasitas regenerasinya. Beberapa contoh penggunaan dosis, di antaranya ada kultur kalus pada kurma di atas 25 Gy memiliki daya hidup yang rendah, sedangkan dosis 20 Gy merupakan dosis yang optimal di mikropropagasi kentang. Pada kultur kalus *sweet potato* dosis 10 Gy menyebabkan letal (kematian), sedangkan pada bawang dosis 8–10 Gy menyebabkan proliferasi dan regenerasi kalus menjadi terhambat (Ahloowalia & Maluszynski, 2001). Selain itu, pada tebu, dosis 20 Gy kalus mengalami penurunan regenerasi lebih dari 50% dan 60 Gy mengalami penurunan sebesar 2,5%, sedangkan dosis optimal didapatkan pada dosis antara 5–10 Gy (FAO-IAEA, 2011). Dosis radiasi yang tinggi akan bersifat menghambat sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan kromosom. Jika bahan yang diradiasi tersebut adalah biji, kemungkinan biji yang diradiasi pada dosis yang tinggi akan menyebabkan yang rendah tingkat germinasi dan juga menghambat pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, dosis radiasi yang rendah bisa bersifat sebagai stimulator, terutama menstimulasi aktivasi RNA pada proses translasi sehingga memengaruhi proses sintesis protein yang bisa terlihat pada saat proses awal germinasi dari biji yang diradiasi.

Secara sitologi, radiosensitivitas tanaman hasil radiasi dapat diamati melalui perubahan kromosom. Umumnya, iradiasi sinar gama menyebabkan terjadinya abnormalitas kromosom pada saat proses mitosis terjadi. Di antaranya adalah pembelahan yang tidak simetris, penggumpalan kromosom, dan terhambatnya tahap metafase. Pengelompokan kromosom terjadi karena adanya proses polimerisasi nukleus, disosiasi sebagian di nukleoprotein, dan pengaturan pola organisasi kromosom (Kamaruddin dkk., 2016). Penggumpalan kromosom terjadi karena adanya pelengketan kromosom. Pelengketan ini menyebabkan penyusunan normal kromosom pada tahap metafase tidak dapat terbelah menuju kutub masing-masing. Hal ini menyebabkan benang spindel yang menuju ke kutub terputus menjadi beberapa fragmen. Fragmen ini harus bergerak menuju kutub atau terhambat menuju kutub. Alhasil, beberapa kromatid menjadi hilang pada saat menuju kutub (Kumar dkk., 2013; Kamaruddin dkk., 2016). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa radiasi sinar gama menyebabkan terjadinya perubahan genetik dan kerusakan fisiologi tanaman.

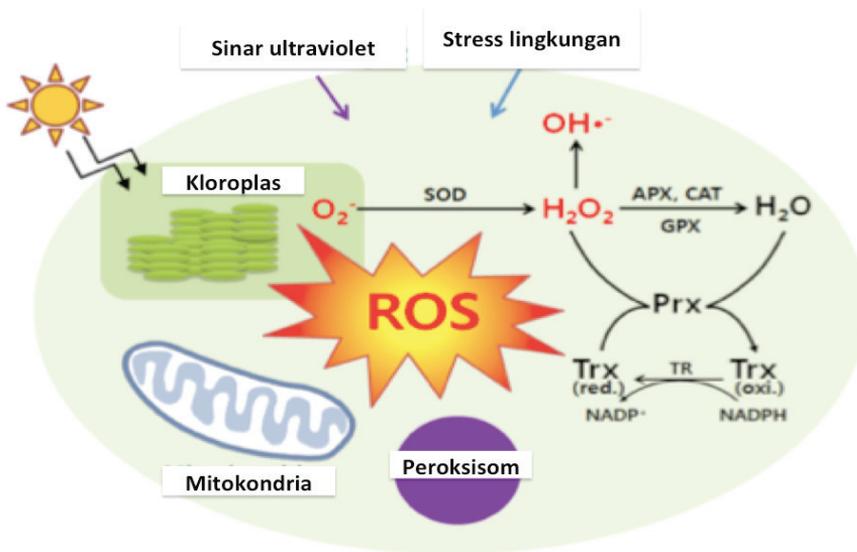


2. Radiosensitivitas Tanaman Hasil Radiasi secara Molekuler dan Biologi

Umumnya kerusakan secara biologis pada tanaman setelah diradiasi terjadi karena adanya interaksi antara atom-atom dan molekul yang ada dalam sel terutama air dalam sel yang mampu menginduksi radikal bebas sehingga merusak komponen sel tanaman, yaitu nukleus dan mengubah genetik dan fisiologi tanaman (Kumar dkk., 2013). Mekanisme molekuler dan biologis yang bertanggung jawab terhadap radiosensitivitas tanaman hasil dari iradiasi masih belum dapat diketahui secara jelas. Beberapa ahli menyebutkan beberapa hal yang berkaitan dengan kerusakan sistem metabolisme dari tanaman (Sharafi & Motallebi-Azar, 2011; Kumar dkk., 2013; Han dkk., 2016). Radiasi sinar gama akan menyebabkan terjadinya induksi stres oksidatif dan kerusakan DNA. Proses induksi stres oksidatif tanaman yang diradiasi akan menyebabkan terjadinya induksi *reactive oxygen species* (ROS). ROS ini menyebabkan terjadinya pemutusan utas ganda DNA yang akan mengganggu proses transkripsi DNA menjadi RNA sehingga akan memengaruhi proses translasi RNA menjadi protein (Han dkk., 2016). Menariknya, tanaman memiliki mekanisme untuk bertahan terhadap kondisi stres akibat iradiasi sinar gama tersebut, yaitu sistem perlawanan terhadap ROS dan sistem perbaikan DNA. Sistem perlawanan terhadap ROS bisa terjadi secara enzimatis dan non-enzimatis. Secara enzimatis, umumnya melibatkan beberapa enzim, di antaranya *superoxide dismutase* (SOD), *glutathione peroxidase* (GPx), dan katalase yang langsung bertindak untuk melawan ROS. Sebaliknya, secara non-enzimatis sistem melibatkan GSH (*surfhidril glutathione*), *ascorbic acids*, dan *carotenoids* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya ROS (Chi dkk., 2014; Simon, Haj-Yehia, & Levi-Schaffer, 2000; Han dkk., 2016) (Gambar 7.1).

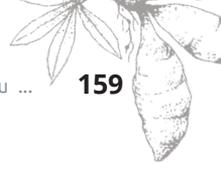
Oleh karena itu, salah satu cara untuk mengetahui radiosensitivitas tanaman adalah dengan mengukur kandungan radikal bebas dan total kapasitas antioksidan dari tanaman setelah proses iradiasi (Han dkk., 2016). Kandungan radikal bebas dari tanaman yang diradiasi bergantung pada dosis radiasi yang digunakan. Semakin tinggi dosis radiasi maka semakin tinggi pula akumulasi dari kandungan radikal bebas tersebut. Jika kandungan senyawa radikal bebas tersebut terakumulasi dalam jumlah besar maka akan menyebabkan terjadinya pemutusan utas ganda DNA yang menyebabkan terjadinya proses penghambatan pembelahan sel, penuaan, dan apoptosis (kematian sel) (Simon dkk., 2000; Han dkk., 2016). Sementara itu, pengukuran kandungan total antioksidan dalam tanaman yang diradiasi akan menentukan seberapa besar kemampuan dari tanaman tersebut untuk merespons

stres akibat iradiasi. Radiosensitivitas tanaman membuat tanaman cenderung menjadi sensitif/rentan terhadap perlakuan iradiasi secara biokimia dan molekuler dipengaruhi oleh adanya perbedaan dalam jumlah DNA yang dikandung, sistem pemulihan dari tanaman, dan juga siklus kinetik sel itu sendiri (Han dkk., 2016). Pada umumnya siklus kinetik sel terdiri atas lima fase proliferasi, yaitu fase istirahat (Fase Go) saat sel diprogram untuk melaksanakan fungsi-fungsi khusus. Jika saat proses iradiasi sel dalam fase istirahat, hal ini akan menyebabkan sel tanaman tidak bisa melaksanakan fungsi-fungsi khusus tersebut. Fase yang lain adalah fase G₁ yang merupakan interfase terjadinya sintesis protein dan RNA. Fase ketiga adalah fase S yang merupakan fase sintesis DNA dan fase G₂ merupakan fase premitosis, setelah sintesis DNA selesai maka sintesis protein dan RNA akan berlanjut sehingga dihasilkan prekursor mikrotubular dari proses mitosis. Proses yang kelima adalah M atau mitosis, yaitu terjadinya fase pembelahan sel sampai selesai dan akan berulang kembali ke siklus awal (Polyn, Willems, & de Veylder, 2015). Jadi, proses iradiasi akan memengaruhi radiosensitivitas tanaman karena siklus kinetik sel menjadi terganggu.



Sumber: Chi dkk. (2013)

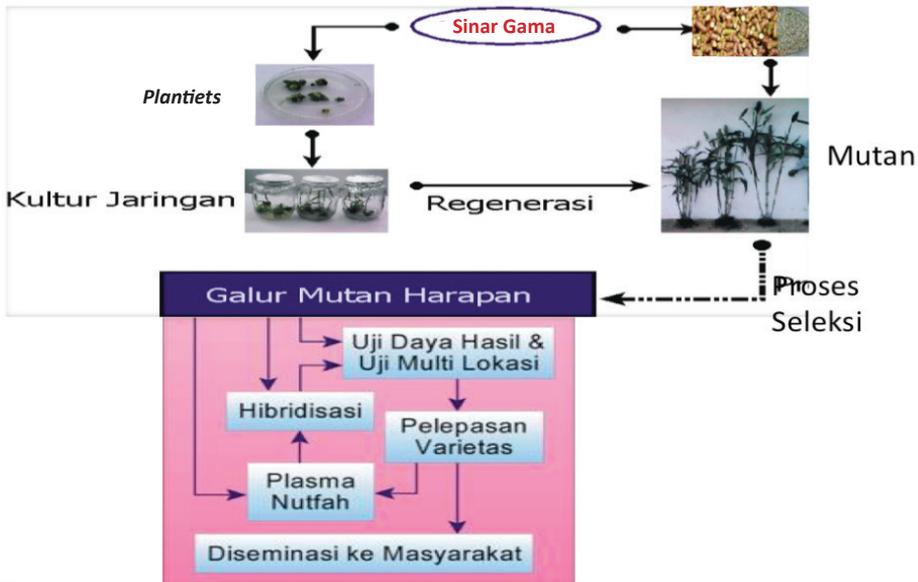
Gambar 7.1 Respons Sel dalam Melawan ROS karena Berbagai Macam Stres Radiasi, UV, dan Lingkungan



E. IDENTIFIKASI KANDIDAT MUTAN (*PUTATIVE*)

Setelah proses seleksi dosis yang sesuai (LD 50 dan LD 20) untuk radiasi maka tanaman yang hidup disebut sebagai kandidat mutan (*putative*). Kandidat mutan ditumbuhkan di ruang tumbuh, yaitu rumah kaca dan atau di kebun-kebun percobaan (Gambar 7.2). Untuk mengidentifikasi kandidat mutan tanaman dengan sifat yang diinginkan maka dilakukan beberapa uji fenotipik dan molekuler. Pada umumnya, identifikasi tanaman mutan merupakan tantangan yang sangat besar. Hal ini dikarenakan frekuensi mutasi yang terjadi rendah, sedangkan mutasi dengan sifat yang diinginkan membutuhkan jumlah populasi yang sangat besar. Selain itu, produksi dan analisis populasi mutan yang bisa mencapai ribuan tanaman membutuhkan penanganan yang besar. Oleh karena itu, beberapa langkah untuk mengidentifikasi dan memilih mutan yang diharapkan perlu dilakukan. Ada dua langkah besar yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi dan menyeleksi mutan tanaman, yaitu dengan skrining mutan dan konfirmasi validasi mutan.

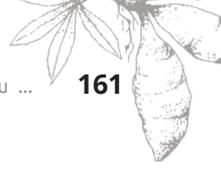
Skrining tanaman mutan bisa dilakukan pertama kali dengan melihat karakteristik morfologi dari tanaman, misalnya skrining tanaman yang tahan terhadap kekeringan atau penyakit maka bisa dideteksi dengan melihat penampakan visualnya (Gambar 7.2). Salah satu cara yang dilakukan untuk skrining adalah melalui skrining genotipe tanaman. Perbedaan genetik dari setiap tanaman individu dapat ditentukan dengan menganalisis sekuen DNA dari setiap individu dibandingkan dengan sekuen dari individu lain atau referensi (Sikora dkk., 2012). Dengan menggunakan teknik ini, variasi bisa teridentifikasi dan pewarisan sifat-sifat yang diharapkan. Selain itu, teknik deteksi mutasi dengan tingkat presisi yang tinggi juga sudah banyak dikembangkan, di antaranya sekuen seluruh genom (*whole genome sequencing*), penggunaan *molecular markers*, dan teknik pembuktian genetik terbalik (*reverse genetic technique*) dengan menggunakan *Targeting Induced Local Lesions in Genomes* (TILLING) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi terjadinya mutasi pada spesifik gen (Barkley & Wang, 2008; Gilchrist & Haughn, 2010; Sikora dkk., 2012).



Sumber: bem.sttn-batan.ac.id

Gambar 7.2 Alur Pemuliaan Mutasi Tanaman dari Kultur Jaringan dengan Perlakuan Radiasi Sinar Gama

Selain skrining dan validasi gen, propagasi tanaman secara besar-besaran perlu dilakukan untuk mendapatkan galur mutan harapan yang banyak. Dalam propagasi tanaman dengan menggunakan biji, biasanya mutan resesif akan terseleksi pada generasi kedua (M_2) dan generasi ketiga (M_3) setelah perlakuan. Sementara itu, pada tanaman hasil vegetatif beberapa siklus propagasi dilakukan untuk menghilangkan *chimera* (mutasi yang tidak stabil). Biasanya, subkultur tanaman *in vitro* sampai dua atau empat generasi (V_2 sampai dengan V_4) mampu menghasilkan propagasi secara cepat dan mendapatkan genotipe yang tahan terhadap penyakit. Pada beberapa tanaman, seperti pisang dan kentang, prosedur ini mampu mengurangi durasi penanaman di lapang selama 5 tahun dengan hanya menumbuhkannya di laboratorium selama kurang lebih 9 bulan (Ahloowalia & Maluszynski, 2001). Selain itu, ketika tanaman diregenerasikan secara kultur suspensi sel atau somatik embrio maka regeneran tanaman yang dihasilkan akan menghasilkan mutan yang lebih stabil (Sikora dkk., 2012; Bado dkk., 2015; Hallajian, 2016). Dengan beberapa prosedur tersebut, diharapkan galur harapan tersebut memiliki keunggulan yang tinggi yang selanjutnya dapat dilepas sebagai varietas yang dapat dimanfaatkan oleh petani atau pemulia ke depannya.



F. STATUS INDUKSI MUTASI TANAMAN DENGAN IRADIASI SINAR GAMA DI DUNIA

Induksi mutasi dengan menggunakan sinar gama telah banyak dikembangkan untuk meningkatkan hasil tanaman pertanian, seperti gandum, padi, barley, katun, dan kacang, terutama dengan menggunakan bahan biji yang diradiasi. *International Atomic Energy Agency* (FAO/IAEA), suatu divisi pertanian sebagai lembaga dunia yang mengurus peningkatan kualitas tanaman pertanian dengan teknik radiasi, melaporkan bahwa lebih dari 1.800 jenis kultivar, baik hasil induksi mutasi langsung maupun hasil dari keturunan perkawinan dari sesama mutan, telah banyak dikeluarkan sebagai kultivar di lebih dari 50 negara di dunia (Maluszynski dkk., 2001). Sebagai contoh adalah padi mutan semi-kerdil yang disebut sebagai Calrose 76 dengan karakter morfologi, yaitu pendek dan batang yang kaku. Calrose 76 telah diresmikan di California dan memberi kontribusi pada peningkatan produksi padi di USA. Beberapa padi mutan yang lain, di antaranya Basmati 370 yang memiliki batang pendek di Pakistan; PNR di India yang memiliki daya hasil tinggi, batang pendek, dan genjah (Chakraborty & Paul, 2013); Zhefu 802 di China (Zeng dkk., 2002); dan *aromatic indica* RD6 di Thailand (Roychoudhury, Basu, Sarkar, & Sengupta, 2008).

Selain tanaman padi, kultivar tanaman lain yang diperoleh dari hasil induksi mutasi sinar gama, di antaranya barley yang diberi nama Diamant dan Golden Promise yang pengembangannya memiliki dampak yang besar di Eropa. Tanaman mutan ini bahkan digunakan sebagai tetua bagi tanaman barley yang sudah mulai langka, seperti 90 kultivar barley baru di lebih dari 12 negara di Eropa yang dihasilkan dari persilangan dengan Diamant (Xu, 1990). Tanaman kapas mutan NIAB-78 yang memiliki hasil panen yang tinggi telah berkontribusi besar dalam pengembangan industri tekstil di Pakistan. Kultivar ini merupakan kultivar hasil mutasi yang toleran panas dan tahan terhadap penyakit *bollworm* (Akhtar, Hussain, Khan, Haq, & Iqbal, 2004).

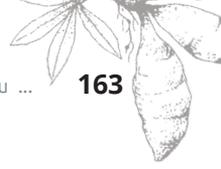
Induksi mutan ubi kayu dengan iradiasi sinar gama telah menghasilkan banyak kultivar baru di dunia. Ubi kayu mutan “Tek Bankye” telah dilepas sebagai kultivar di Ghana (FAO-IAEA, 2011). Selain itu, mutan kultivar hasil radiasi 25 Gy disegregasikan dengan kultivar lokal Isunikakiyon di Nigeria menghasilkan kultivar baru yang dilepas di Kumasi pada November (Asare dkk., 1997). Kultivar ini memiliki kualitas yang bagus dan memiliki berat kering pati hingga mencapai 40%. Selain itu, kultivar ini menjadi populer untuk petani ubi kayu meskipun kultivar ini cenderung sensitif terhadap serangan *African cassava mosaic virus* (ACMV). Kultivar ubi kayu

Bosomnsia di Ghana yang diradiasi menghasilkan dua nomer mutan, yaitu VT1 dan VT2 yang toleran terhadap ACMV (Ahiabu dkk., 1997). Mutan ini mengalami kondisi yang baik meskipun telah diinfeksi oleh virus dan tidak menunjukkan tanda-tanda terinfeksi. Dari radiasi sinar gama dosis 50 Gy pada eksplan globular somatik embrio ubi kayu, hampir 50% nomor mutan menunjukkan variasi morfologi yang tinggi dibandingkan *wild type*-nya (Joseph, Yeoh, & Loh, 2004). Nomor mutan S14 dan S15 menunjukkan variasi morfologi sebesar 17 fold dan 60 fold yang memperlihatkan penurunan panen umbi dibandingkan *wild type*-nya. Selain itu, S15 mutan juga menunjukkan hampir 50% mengalami penurunan kadar pati dan 30% kadar amilosanya (Joseph dkk., 2004). Mutan ubi kayu lokal Indonesia genotipe Gajah hasil iradiasi sinar gama yang ditanam di beberapa lokasi berbeda menunjukkan hasil panen umbi segar per mutan tanaman memiliki hasil produksi yang tinggi mencapai lebih dari 8 kg atau potensi panen yang diperkirakan bisa mencapai 64 ton per hektare dibandingkan kontrol (Subekti dkk., 2017). Beberapa genotipe lain dari mutan ubi kayu hasil radiasi sinar gama generasi ketiga di lapang (M1.V3), yaitu Adira-4 dan Malang 4. Selain itu, varietas UJ-5 menunjukkan tinggi tanaman dan panjang umbi yang lebih tinggi ketika ditanam di lahan dengan tingkat keasaman tinggi dibandingkan kontrolnya (Khumaida, Ardie, & Sopandie, 2016).

Saat ini teknik induksi mutasi tanaman dengan iradiasi sinar gama banyak mengalami perkembangan. Pengembangan tersebut dengan mengombinasikan bioteknologi dan kultur jaringan untuk mendapatkan mutan dalam waktu yang cepat dan unggul, selain pengembangan secara konvensional melalui persilangan. Hal ini merupakan kemajuan dalam perakitan kultivar tanaman mutan unggul hasil radiasi sinar gama di dunia.

G. HASIL PEMULIAAN UBI KAYU DENGAN IRADIASI SINAR GAMA DI LIPI

Pemuliaan ubi kayu sebagai salah satu kekayaan plasma nutfah di Indonesia dengan menggunakan teknik konvensional dan bioteknologi telah dilakukan di Puslit Bioteknologi LIPI sejak 20 tahun yang lalu. Salah satu pendekatan yang dilakukan adalah dengan induksi mutasi menggunakan teknik radiasi sinar gama untuk mendapatkan mutan ubi kayu yang diharapkan. Bahan yang digunakan untuk radiasi adalah stek, kultur *in vitro*, dan biji dari beberapa genotipe ubi kayu koleksi Puslit Bioteknologi LIPI. Tujuan kegiatan induksi mutan ubi kayu adalah induksi mutan ubi kayu Adira-4, Iding, dan Gebang yang bersifat unggul dalam hal



amilosa tinggi, amilosa rendah, daya hasil tinggi, kandungan pati tinggi, dan tahan kekeringan dengan integrasi marka molekuler untuk mencapai tujuan akhir, yaitu pelepasan varietas ubi kayu unggul setelah melalui uji multilokasi. Pengembangan mutan ubi kayu dengan teknik radiasi sinar gama ini merupakan proyek yang didanai oleh IAEA sejak tahun 2005 dan mitra kerja sama dari beberapa instansi pemerintah, yaitu BATAN dan Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi) dan Balai Besar Bioteknologi dan Sumber Daya Genetika, Kementerian Pertanian (BB BIOGEN).

1. Induksi Mutasi Melalui Radiasi Stek Ubi kayu

Induksi mutasi ubi kayu dengan radiasi sinar gama dengan bahan stek dilakukan pada beberapa genotipe ubi kayu, di antaranya Darul Hidayah, Gebang, Iding, Adira-4 dengan dosis radiasi, yaitu 2 krad, 10, 20, 30, 40, dan 50 krad. Mutan radiasi tersebut kemudian ditanam di lapang dengan percobaan dalam skala kecil pada genotipe Darul Hidayah, Gebang, Iding, dan Adira-4 serta percobaan skala besar pada Adira-4 dan Iding. Seleksi dan propagasi dari mutan ubi kayu tersebut dilakukan sampai generasi ketujuh. Rata-rata mutasi yang terjadi dengan radiasi stek ubi kayu beberapa genotipe tersebut relatif berbeda. Beberapa di antaranya adalah Adira-4 radiasi 30 krad memiliki rata-rata mutan yang dihasilkan adalah 8,25%, Iding radiasi dosis 2 krad sebesar 3%, Adira-4 dosis 2 krad sebesar 2,5 krad, Gebang dosis 10 krad, Gebang dosis 50 krad, dan Darul Hidayah dosis 10 krad sebesar 2%. Menariknya, beberapa mutan yang dihasilkan tersebut memiliki beberapa keunggulan, di antaranya memiliki kadar amilosa tinggi, kadar pati tinggi, daya hasil tinggi, dan daya simpan umbi yang lama (Tabel 7.2 dan Gambar 7.3).

Tabel 7.2 Beberapa mutan potensial dari ubi kayu lokal hasil radiasi biji ditumbuhkan sampai beberapa generasi di Puslit Bioteknologi LIPI.

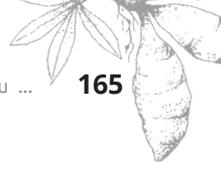
Jenis ubi kayu	Dosis radiasi	Statu propagasi ke:	Karakteristik mutan yang dihasilkan
Darul Hidayah	10 20 30	M1V7	Kadar pati tinggi (32% lebih tinggi dari kontrol)
Gebang Iding Adira IV	10, 20, 30, 40, 50	M1V5	Kadar pati tinggi
Adira IV	2	M1V4	Kadar amilosa tinggi
Iding	2	M1V4	Kadar amilosa tinggi (38% lebih tinggi dari kontrol)
Adira IV	20	M1V4	Kadar amilosa tinggi
Adira IV	30	M1V5	Kadar amilosa tinggi Kadar pati tinggi Berat umbi tinggi

Sumber: Lab. GMMJBT (2012)



Sumber: Lab. GMMJBT (2012)

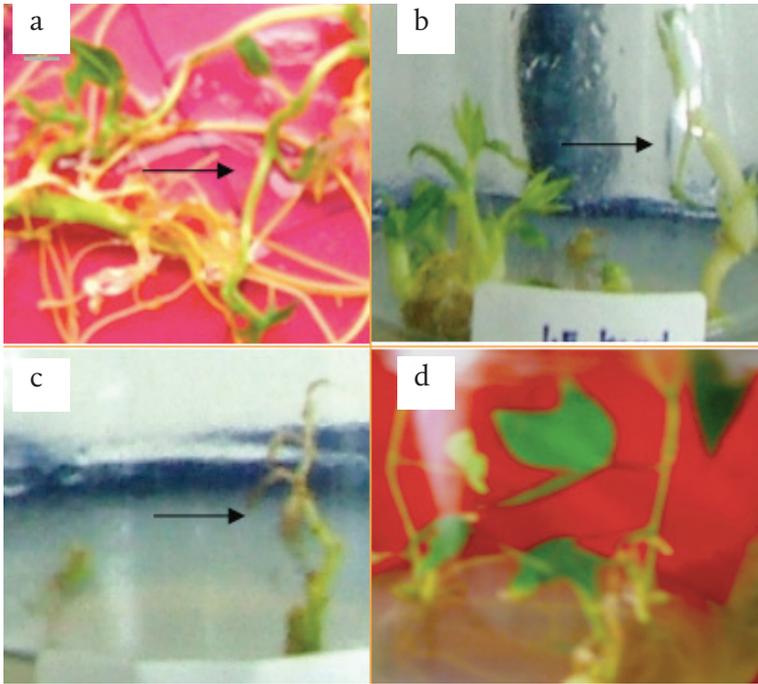
Gambar 7.3 Ubi Kayu Adira-4 Dosis 30 krad dengan Daya Simpan Umbi sampai dengan 15 Hari (kiri) dan Kontrol Adira-4 (kanan)



2. Induksi Mutasi Melalui Radiasi Tunas Pucuk Ubi Kayu *in vitro*

Induksi mutasi ubi kayu dengan radiasi sinar gama juga dilakukan dengan menggunakan eksplan ubi kayu *in vitro*. Beberapa genotipe ubi kayu yang diradiasi *in vitro*, di antaranya Gebang dengan dosis radiasi 0,2–2 krad, Ubi Kuning dan Mentega 2 dengan dosis radiasi 5–75 Gy. Seleksi dan propagasi dilakukan di ruang kultur hingga generasi keempat sebelum dilakukan perbanyakan di lapang. Dari hasil perbanyakan di ruang kultur, Gebang dengan dosis radiasi 1–2 krad menunjukkan abnormalitas pertumbuhan dan cenderung mati, sedangkan pada dosis 0,2 krad menunjukkan pertumbuhan yang normal (Gambar 7.3) (Supatmi & Sudarmonowati, 2012a). Untuk itu, propagasi dalam jumlah yang besar dilakukan pada Gebang dosis 0,2 krad hingga beberapa generasi. Menariknya, dari perbanyakan beberapa generasi tersebut menunjukkan beberapa potensi mutan dengan kadar amilosa yang rendah dan daya simpan yang lama hingga mencapai 16 hari.

Sebaliknya, genotipe lain, yaitu Ubi Kuning menunjukkan perkembangan yang bagus pada dosis 10 Gy yang kemudian dilakukan propagasi di ruang kultur hingga generasi keempat dan dilanjutkan perbanyakan di lapang (Rahman, Supatmi, & Fitriani, 2013a; Rahman, Supatmi, Ayuningtyas, & Hartati, 2013b). Data sementara di lapang hingga generasi kedua menunjukkan perkembangan yang menarik dari Ubi Kuning radiasi *in vitro*. Beberapa mutan menunjukkan perbedaan kadar beta karoten yang berbeda-beda yang berpotensi terhadap tinggi dan atau rendah beta karoten. Hal tersebut terjadi juga pada Mentega 2 radiasi *in vitro* yang menunjukkan letal pada dosis 75 Gy. Untuk genotipe Iding dan Adira-4 *in vitro*, iradiasi dilakukan dengan dosis antara 0,2 krad sampai 2 krad karena pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dosis 5 dan 10 krad menunjukkan tanda-tanda letal, sedangkan pada dosis 2 krad menunjukkan tanda-tanda pertumbuhan abnormal dan dosis 1 krad menunjukkan pertumbuhan normal. Efek yang umum terjadi dari ubi kayu *in vitro* setelah diradiasi adalah adanya pertumbuhan abnormal pada daun dan batang pada permulaan pertumbuhan (Gambar 7.4). Bentuk daun menunjukkan abnormalitas pada permulaan awal dari pertumbuhan yang kemudian hilang pada fase perkembangan lebih lanjut. Beberapa variasi pada bentuk akar dan ukuran akar juga terlihat. Stabilitas dari perubahan karakter morfologi ini perlu diamati lebih lanjut hingga beberapa generasi. Selain itu, perlu diamati perubahan genetik yang terjadi sebagai efek dari iradiasi yang dilakukan untuk menghasilkan ubi kayu mutan dengan sifat yang diharapkan.



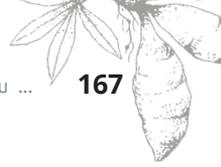
Ket.: a) eksplan 1,0 krad yang memiliki batang yang panjang; b) eksplan 1,5 krad yang memiliki batang yang besar dan daun yang abnormal; c) eksplan 2,0 krad yang memiliki daun yang sangat pendek cenderung mati; d) eksplan 0,2 krad yang memiliki penampakan seperti planlet normal

Sumber: Supatmi dan Sudarmonowati (2012a)

Gambar 7.4 Morfologi Gebang Radiasi Generasi Kedua di Kultur *in vitro*

3. Induksi Mutasi Melalui Radiasi Biji Ubi kayu

Induksi mutasi biji ubi kayu melalui radiasi sinar gama dilakukan pada genotipe Malang 10248 pada dosis 20 krad yang dilanjutkan dengan propagasi di lapang sampai beberapa generasi. Menariknya, beberapa mutan menunjukkan variasi morfologi, baik petiol maupun warna umbi (Gambar 7.5) (Supatmi & Sudarmonowati, 2012b; Supatmi, Fitriani, Hartati, & Sudarmonowati, 2016). Selain itu, beberapa mutan memiliki beberapa keunggulan, di antaranya kandidat genjah kurang dari 10 bulan dan memiliki daya simpan sampai dengan 11 hari (Gambar 7.6) (Supatmi & Sudarmonowati, 2012b).



Ket.: a) Individu No. 1 warna kuning; b) Individu No. 2 warna kuning; c) Individu No. 3 warna putih; d) Individu No. 5 warna putih; e) Individu No. 6 warna putih; f) Individu No. 7 warna kuning.

Sumber: Supatmi dan Sudarmonowati (2012b)

Gambar 7.5 Variasi Morfologi Warna Luar Umbi Mutan Malang 10248 Hasil Radiasi Biji 20 krad Generasi Ketiga

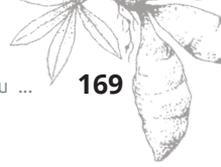


Ket.: a–b) buah dan bunga mutan Malang individu nomer 2 klon 1; c–d) buah dan bunga mutan Malang individu nomer 5 klon 1

Sumber: Supatmi dan Sudarmonowati (2012b)

Gambar 7.6 Mutan Malang 10248 Hasil Radiasi Biji 20 krad yang Memiliki Potensi Genjah

Beberapa upaya untuk menghasilkan variasi mutan ubi kayu unggul hasil radiasi biji dilakukan juga dengan cara mengawinsilangkan biji ubi kayu hasil radiasi dengan jenis ubi kayu lain, di antaranya biji MLG10260 dengan biji ubi kayu Tlekung Ireng, MLG 10308 dengan MLG 10248, dan Klenteng Lampung dengan MLG 10260. Dari hasil penyilangan tersebut, belum didapatkan biji hasil turunan F₁-nya sehingga penelitian lebih lanjut belum bisa dilakukan. Upaya untuk mendapatkan varian mutan ubi kayu unggul juga dilakukan dengan teknik sambung, di antaranya adalah penyambungan stek ubi kayu MLG10248 hasil radiasi biji 20 krad sebagai *rootstock* dengan ubi kayu karet sebagai *scion*. Dari beberapa hasil penyambungan yang dilakukan ada satu nomor yang menghasilkan umbi meskipun ditanam dalam polibag (Gambar 7.7). Meskipun demikian, uji lebih lanjut mengenai kelebihan hasil teknik sambung tersebut perlu dilakukan.



Ket.: a) Nomor ubi kayu MB III.22 yang disambung dengan ubi kayu karet; b) Ubi kayu hasil sambung yang telah menghasilkan umbi di polibag; c) Ubi kayu hasil penyambungan yang berbunga; d) Umbi hasil teknik sambung antara MLG10248 dan ubi kayu karet.

Sumber: Lab. GMMJBT (2012)

Gambar 7.7 Penyambungan Stek Ubi Kayu MLG 10248 Hasil Radiasi Biji 20 krad sebagai *Rootstock* (bagian bawah) dengan Ubi Kayu Karet sebagai *Scion* (bagian atas)

4. Uji Stabilitas Genetik Ubi kayu

Keragaman genetik ubi kayu lokal Indonesia dan hasil induksi mutasi diidentifikasi dan divalidasi dengan menggunakan karakteristik morfologi serta teknologi biologi molekuler, seperti RAPD dan AFLP (Sudarmonowati, Hartati, & Sukmarini, 2006; Sudarmonowati, Hartati, Fitriani, Supatmi, & Wahyuni, 2011). Karakter morfologi diamati dari seleksi mutan setelah penanaman di lapang hingga generasi kelima atau lebih untuk memastikan bahwa mutan ubi kayu memiliki stabilitas genetik (Gambar 7.8). Beberapa ubi kayu lokal Indonesia dan mutan ubi kayu memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan, di antaranya kadar patinya yang tinggi dan kandungan nutrisi beta karoten yang sangat baik untuk memenuhi kebutuhan nutrisi masyarakat serta beberapa potensi toleran terhadap kekeringan (Sudarmonowati dkk., 2011; Hartati, Fitriani, Supatmi, & Sudarmonowati, 2012; Hartati, Supatmi, Aryaningrum, & Sudarmonowati, 2013).



Sumber: Lab. GMMJBT (2012)

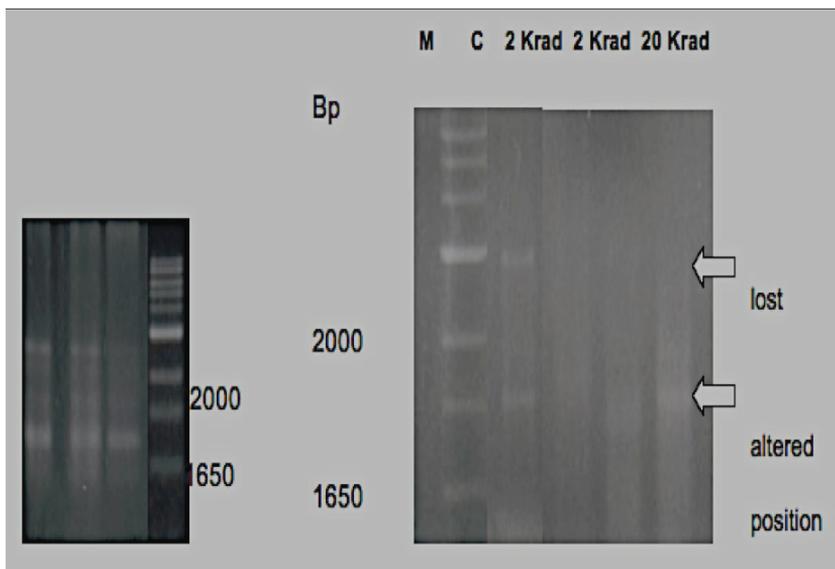
Gambar 7.8 Beberapa genotipe ubi kayu hasil radiasi ditanam di lapang hingga generasi kelima.

Mutan ubi kayu hasil iradiasi sinar gama generasi ketiga dianalisis dengan teknik RAPD dan AFLP dengan menggunakan dua primer, yaitu OPB-10 dan OPE-15 yang sebelumnya terbukti mampu mendeteksi keragaman genetik dari beberapa genotipe ubi kayu lokal. Hasil dari RAPD menunjukkan bahwa terdapat perubahan posisi pita dan jumlah pita hasil elektroforesis pada sampel ubi kayu Adira-4 dan Iding yang diradiasi pada dosis 2, 20, dan 50 krad dengan menggunakan primer OPE-15. Adira-4 hasil iradiasi 2 krad memiliki pola pita yang berbeda dengan hasil radiasi 50 krad. Pola pita dari Adira-4 hasil radiasi itu pun berbeda jika dibandingkan kontrol. Analisis dengan menggunakan primer lain, yaitu OPB-10 menunjukkan adanya keanekaragaman genetik dari ubi kayu hasil radiasi dibandingkan kontrol (Gambar 7.9).

Meskipun demikian, analisis lebih lanjut perlu dilakukan dengan menggunakan beberapa sampel dalam jumlah yang lebih besar. Selain itu, analisis menggunakan primer OPB-10 juga menunjukkan hasil pita yang lebih jelas yang dapat digunakan untuk membedakan ubi kayu mutan hasil radiasi (2 krad dan 20 krad) dengan kontrol



meskipun kualitas pita yang dihasilkan kurang bagus (Gambar 7.9). Hasil analisis dengan menggunakan teknik AFLP menunjukkan indikasi yang sama meskipun beberapa analisis lebih lanjut perlu dilakukan. Hasil analisis ubi kayu mutan hasil radiasi dengan menggunakan teknik RAPD dan AFLP ini merupakan hasil deteksi awal adanya variasi genetik yang harus dikonfirmasi lagi saat masa pemanenan dan juga analisis hasil amilosa dari ubi kayu mutan tersebut. Penggunaan penanda marker, seperti mikrosatelit dan teknologi DNA TILLING pada mutan ubi kayu ke depan perlu dilakukan untuk mengetahui kestabilan genetik dari ubi kayu mutan hasil iradiasi sinar gama.



Ket: Gambar kiri (kiri ke kanan: Adira-4 iradiasi, kontrol dan *marker*); Gambar kanan (Adira-4 kontrol yang dibandingkan tanaman yang diradiasi 2 krad dan 20 krad)

Sumber: Lab. GMMJBT (2012)

Gambar 7.9 Analisis genetika ubi kayu hasil Iradiasi sinar gama menggunakan RAPD dengan primer OPB-10.



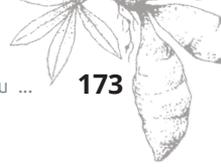
H. PROSPEK PENGEMBANGAN UBI KAYU HASIL IRADIASI SINAR GAMA DI MASA MENDATANG

1. Peningkatan Potensi Mutan Ubi Kayu Radiasi untuk Mempelajari Proses Biologi dan Jalur Biosintesis Ubi Kayu

Penggunaan kultur jaringan untuk regenerasi ubi kayu, baik melalui somatik embriogenik, kultur suspensi sel dan organogenesis maupun penggunaan teknologi analisis dengan biologi molekuler telah banyak dikombinasikan dalam induksi mutasi melalui radiasi sinar gama dalam upaya untuk meningkatkan hasil panen ubi kayu. Penentuan dosis letal dan dosis optimal untuk multiplikasi bahan radiasi dengan menggunakan kultur jaringan merupakan metode yang efektif. Hal ini dikarenakan dengan jumlah jaringan atau kalus yang sedikit dalam miligram dapat digunakan untuk induksi mutasi.

Lebih lanjut, regenerasi menggunakan teknik kultur suspensi sel memungkinkan jumlah jaringan yang digunakan hanya dalam ukuran mikrogram meskipun dosis radiasi yang digunakan untuk menginduksi mutasi dimungkinkan lebih kecil dibandingkan dosis radiasi pada kultur kalus. Meskipun untuk ubi kayu penggunaan kultur suspensi sel sebagai bahan untuk induksi mutasi dengan radiasi belum banyak dilaporkan, potensi mutan yang dihasilkan terutama jika dikembangkan dalam skala bioreaktor akan sangat besar, khususnya untuk induksi mutasi dari eksplan awal biji dan eksplan vegetatif. Selain itu, pengembangan kultur suspensi ini juga dapat digunakan dalam sistem seleksi ketahanan tanaman terhadap gangguan gulma dengan menambahkan senyawa toksik ke dalam media kultur untuk mengetahui potensi tanaman yang tahan terhadap herbisida sehingga tanaman tersebut dipastikan tahan terhadap gangguan tanaman pengganggu atau gulma. Hal ini sangat bermanfaat untuk menekan biaya produksi yang timbul dari penggunaan herbisida (Jain, 2006; Sikora dkk., 2012).

Induksi mutasi menjadi dimensi baru yang tidak hanya untuk meningkatkan hasil tanaman, tetapi juga untuk mengeksplorasi proses biologi yang terjadi pada tanaman. Hal ini dikarenakan selama ini penggunaan induksi mutan masih sangat dibutuhkan untuk mempelajari proses biologi tanaman serta untuk memahami regulasi dan fisiologi dari mutasi terhadap perubahan mekanisme biologi yang terjadi dan bagaimana keseimbangan genomik bisa terjadi (Barkley & Wang, 2008). Salah satunya dengan penggunaan TILLING untuk mempelajari proses-proses tersebut dan meningkatkan kualitas tanaman. TILLING merupakan salah satu teknik insersi mutagenesis yang mampu menghasilkan mutasi dengan frekuensi



yang tinggi dan didistribusikan secara random di genom. Dalam teknologi TILLING, bahan kimia seperti *ethyl methanesulfonate* (EMS) dan atau iradiasi sinar gama untuk induksi mutasi diikuti dengan teknik skrining cepat digunakan untuk induksi *point mutation*. Lebih lanjut, teknologi TILLING ini tidak melibatkan transgenesis atau manipulasi sel kultur, namun mampu menghasilkan seri allele mutasi yang berguna dalam analisis genetik (Barkley & Wang, 2008; Gilchrist & Haughn, 2010; Sikora dkk., 2012). TILLING disebut juga sebagai salah satu teknik *reverse genetics* (pembuktian terbalik) karena dengan menggunakan bahan kimia, seperti EMS dan iradiasi mampu menginduksi mutan secara besar-besaran dan dilanjutkan dengan identifikasi mutan untuk mengetahui target tertentu gen yang telah terhapus atau berubah (Sikora dkk., 2012).

Oleh karena itu, beberapa pendekatan *reverse genetics* dengan menggunakan teknologi TILLING mulai banyak dilakukan. Beberapa mutan hasil induksi yang menggunakan agen kimia umumnya memiliki rata-rata penambahan nukleotida yang tinggi dengan tingkat kepadatan mutasi yang tinggi dan menggunakan teknik populasi TILLING di beberapa jenis tanaman. Umumnya, hasil analisis gen membuktikan adanya rata-rata 1 mutasi per 200–500 kb dari hasil skrining dengan tingkat kepadatan tertinggi diamati di beberapa spesies poliploid, seperti pada gandum (Tadele, Chikelu, & Till, 2010). Seleksi melalui *high-throughput* TILLING membuat penemuan allele baru dari tanaman yang diinduksi dapat dilakukan secara cepat dan murah. Tren terbaru dari prosedur TILLING ini bergantung pada diversifikasi dari peralatan bioinformatika, metode terbaru dari deteksi mutasi termasuk adanya *mismatch* yang spesifik dan sensitif pada endonukleasenya, serta penemuan *single nucleotide polymorphism* (SNP) dengan menggunakan *next-generation sequencing technologies* (Kurowska dkk., 2011).

Selain itu, identifikasi dan analisis mutan dengan menggunakan teknik biologi molekuler, seperti *DNA fingerprinting* dan *mapping* menggunakan marker PCR, seperti *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD), *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP), dan *Sequence-Tagged Microsatellite Sites* (STMS) merupakan cara yang efektif dalam menentukan rata-rata mutan hasil radiasi (Sudarmonowati dkk., 2006; Sikora dkk., 2012). Hal ini karena mutasi berkaitan erat dengan perubahan sekuen DNA di beberapa tanaman sehingga akan memengaruhi struktur molekuler dan fungsi genomik dari tanaman tersebut. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam usaha mempercepat peningkatan hasil dan kualitas panen.



Beberapa penelitian molekuler untuk validasi mutan hasil iradiasi sinar gama dengan pendekatan *reverse genetics* telah banyak dilakukan, di antaranya penelitian mutan gandum potensi radiosensitivitas tinggi. Hal ini dilakukan dengan mengukur kandungan radikal bebas dan total kapasitas antioksidan serta ekspresi gen *TaKu70* dan *TaKu80* yang merupakan gen yang berkaitan dengan reparasi DNA (Han dkk., 2016). Penelitian tersebut menemukan bahwa iradiasi sinar gama menyebabkan terjadinya stress oksidatif dan kerusakan DNA pada gandum hexaploid sehingga menyebabkan terjadinya abnormalitas pada *seedling*. Selain itu, ekspresi *TaKu70* meningkat pada gandum varietas HY1 yang memiliki potensi radiosensitivitasnya tinggi sehingga diduga gen tersebut bertanggung jawab terhadap radiosensitivitas tinggi pada gandum tersebut (Han dkk., 2016). Pada ubi kayu, teknik TILLING telah digunakan untuk meningkatkan kualitas nutrisi ubi kayu, terutama kandungan protein. Teknik iradiasi biji ubi kayu yang kemudian dilanjutkan dengan polinasi tertutup (*self-pollination*) dilakukan untuk mengimplementasikan sistem TILLING dengan target *waxy starch*. *Waxy starch* juga dapat diproduksi dengan transformasi genetik. Seleksi konvensional dilakukan untuk mendapatkan kandidat kandungan amilosa tinggi atau rendah di pati umbi. Di antaranya didapatkan ubi kayu dengan granul kecil yang memiliki kandungan amilosa lebih tinggi dibandingkan normal (Ceballos dkk., 2005).

Dengan penggunaan kombinasi antara iradiasi sinar gama dan bioteknologi (kultur jaringan dan biologi molekuler) maka proses-proses biologi yang terjadi pada ubi kayu, akan dapat dipelajari, misalnya jalur biosintesis pati, beta karoten, dan sistem pertahanan terhadap kondisi lingkungan tercekam sehingga memberikan kontribusi besar terhadap dunia ilmu pengetahuan. Sebagai contoh, karakterisasi molekuler mutan ubi kayu dengan beberapa macam teknik molekuler (AFLP, RAPD) akan sangat bermanfaat dalam pengembangan basis data ubi kayu mutan di dunia yang akan dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas ubi kayu di masa mendatang. Dari hasil penelitian dan pengetahuan dasar tersebut maka pengembangan ubi kayu untuk peningkatan keamanan pangan nasional, nutrisi dan pemasaran terutama untuk mendapatkan varietas ubi kayu yang unggul dalam daya hasil tinggi, bebas penyakit, tahan kering, kualitas pati yang bagus serta memiliki daya simpan yang lama dapat diperoleh.

2. Prospek Ubi Kayu Hasil Radiasi untuk Industri Pangan

Ubi kayu juga merupakan tanaman potensial yang bisa dikembangkan dalam industri makanan. Induksi mutasi ubi kayu dengan radiasi sinar gama mampu



menghasilkan beberapa mutan yang potensi untuk dikembangkan karena kadar amilosa yang tinggi dan terjadinya perubahan persentase komposisi kandungan patinya (amilosa dan amilopektin). Hal ini membuka peluang yang lebih luas untuk dikembangkan sebagai pasar baru dengan harga yang tinggi di pasar (Bajpaj, 2013). Selain itu, beberapa kandidat mutan ubi kayu yang memiliki variasi kadar pati dan komposisi yang cocok, digunakan untuk mempelajari mekanisme biosintesis pati, termasuk di antaranya gen-gen yang terlibat dalam sintesis pati dengan menggunakan beberapa teknik biologi molekuler.

Dari berbagai induksi mutasi ubi kayu yang dihasilkan, mutan ubi kayu yang sudah dilepas sebagai varietas tergolong masih sedikit. Meskipun demikian, proses mutagenesis memiliki potensi yang besar, terutama dalam mengembangkan germplasm ubi kayu menjadi beberapa nomer mutan yang memiliki sifat-sifat unggul yang diharapkan. Hal ini bisa dilakukan dengan melakukan kolaborasi antara pemulia tanaman dan peneliti bioteknologi dalam mengembangkan mutan baru ubi kayu. Teknik bioteknologi merupakan teknologi yang membantu pemulia tanaman dan mempersingkat waktu dalam mengembangkan kultivar baru, seperti persilangan haploid ganda dengan mengombinasikannya dengan persilangan dengan mutan tertentu. Pada waktu yang lalu, kurangnya interaksi antara pemulia tanaman dan peneliti bioteknologi menyebabkan kurangnya peningkatan hasil panen karena teknologi konvensional dihadapkan pada berbagai masalah, di antaranya perubahan iklim ekstrem dan pemanasan global yang menyebabkan hasil produksi tidak bisa diprediksi. Oleh karena itu, pemanfaatan bioteknologi melalui induksi mutasi ubi kayu sangat membantu pemulia dan petani pada masa mendatang.

3. Prospek Ubi Kayu Hasil Radiasi untuk Industri Bioetanol

Selain dapat dikembangkan dalam industri pangan dan pakan, ubi kayu memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai bioetanol. Brazil merupakan salah satu negara pionir untuk produksi bioetanol dunia. Disana pengembangan tebu telah banyak dimanfaatkan dalam produksi bioetanol. Ubi kayu memiliki potensi yang sama dengan tebu untuk produksi bioetanol karena ubi kayu memiliki kadar pati dan berat kering yang tinggi meskipun ditanam di lahan yang kering dan miskin nutrisi (Ziska dkk., 2009). *Input* energi yang dibutuhkan pada pengembangan ubi kayu hanya sebesar 5 sampai 6% dari total energi yang dibutuhkan untuk total biomassa. Hal ini berarti ada keuntungan 95% yang digunakan untuk meningkatkan total biomasanya (Papong & Malakul, 2010). Di Thailand, kultivar ubi kayu Rayong telah dilepas dan terbukti unggul dalam peningkatan kadar pati dan hasilnya yang



dikembangkan dalam produksi bioetanol (Jain dkk., 2006). Lebih jauh, kultivar ini memiliki kualitas stek yang bagus dan mampu dikembangkan dalam jumlah yang besar. Menurut Ziska dkk. (2009), jika produksi tanaman di lahan-lahan marginal mampu menghasilkan biomassa yang tinggi dari produk yang terbuang maka akan memberikan keuntungan yang besar dalam dunia pemasaran bioetanol dan keuntungan di lingkungan daripada pengembangan biomassa dari produk tanaman pangan. Ubi kayu yang dapat ditumbuhkan dalam berbagai macam kondisi lingkungan merupakan sumber yang ideal dalam pengembangan bioetanol. Ubi kayu mutan dapat dikembangkan untuk peningkatan produksi biomassa yang meningkatkan efektivitas produksi dari bioetanol. Penggunaan ubi kayu sebagai sumber bioenergi akan meningkatkan nilai ekonomi dari ubi kayu itu sendiri, melindungi lingkungan, dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Pemanfaatan lahan kering untuk menumbuhkan ubi kayu sebagai bahan bioetanol akan meningkatkan lapangan pekerjaan serta meningkatkan peluang ekspor ke negara lain, seperti China dan India (Jansson, Westerbergh, Zhang, Hu, & Sun, 2009; Bajpai, 2013). Hal ini akan tercapai dengan induksi mutasi ubi kayu, salah satunya dengan iradiasi sinar gama. Dari hasil beberapa mutan ubi kayu yang telah dikembangkan di Indonesia, beberapa mutan ubi kayu hasil radiasi, yaitu Gebang 0,2 krad memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut untuk bioetanol karena kadar amilosanya yang rendah (Sumber tidak diterbitkan).

I. KESIMPULAN

Induksi mutasi dengan iradiasi sinar gama yang dikombinasikan dengan teknologi bioteknologi, seperti kultur jaringan dan analisis biologi molekuler, merupakan pendekatan yang sangat bagus dalam menghasilkan mutan ubi kayu berkualitas unggul. Bahan material, baik berupa biji, stek, maupun bahan kultur jaringan, dapat digunakan untuk induksi mutan dengan iradiasi sinar gama. Beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam induksi mutan unggul melalui iradiasi sinar gama adalah penentuan dosis letal dan optimum dalam regenerasi tanaman hasil radiasi yang sangat tergantung pada jenis bahan yang digunakan dalam proses iradiasi. Selain itu, identifikasi dan validasi mutan dengan karakteristik morfologi dan analisis biologi molekuler (TILLING, RAPD, AFLP), merupakan tahapan penting untuk mendapatkan kandidat galur mutan yang diharapkan. Perbanyakkan di ruang kultur/percobaan serta lapangan sangat diperlukan untuk mengevaluasi stabilitas genetik dari tanaman ubi kayu yang dilakukan lebih dari tiga generasi, tergantung

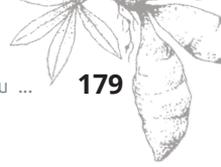


dari bahan tanaman yang digunakan untuk iradiasi. Pengembangan iradiasi sinar gama pada ubi kayu, baik dengan bahan dari stek, kultur pucuk *in vitro*, maupun biji, telah dilakukan pada beberapa genotipe ubi kayu lokal hasil koleksi di Puslit Bioteknologi LIPI, seperti Darul Hidayah, Gebang, Iding, Adira-4 dengan dosis radiasi, yaitu 2 krad, 10, 20, 30, 40, dan 50 krad untuk bahan dari stek; Gebang dengan dosis radiasi 0,2–2 krad, Iding, dan Adira-4 dengan dosis radiasi 0,2 krad sampai dengan 2 krad, dan Ubi Kuning serta Mentega 2 dengan dosis radiasi 5–75 Gy untuk bahan dari kultur pucuk *in vitro*; dan biji Malang 10248 radiasi 20 krad. Beberapa percobaan mutan ubi kayu lokal hasil radiasi memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan karena beberapa sifat unggul, seperti kadar amilosa tinggi, kadar amilosa rendah, kadar pati tinggi, daya hasil tinggi, dan daya simpan umbi yang lama telah dihasilkan dengan teknik ini meskipun proses evaluasi stabilitas genetik masih terus dilakukan sebelum dapat dilepas sebagai kultivar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahiabu, R. K., Lokko, Y., Danso, K., & Klu, G. Y. P. (1997). Mutagenesis for ACMV resistance in a ghanian cassava cultivar “Bosom Nsia”. *IAEATECDOC*, 951, 9–18.
- Ahloowalia, B. S., & Maluszynski, M. (2001). Induced mutations—A new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, 118(2), 167–173.
- Akhtar, K. P., Hussain, M., Khan, A. I., Haq, M. A., & Iqbal, M. M. (2004). Influence of plant age, whitefly population and cultivar resistance on infection of cotton plants by cotton leaf curl virus (CLCuV) in Pakistan. *Field Crops Research*, 86(1), 15–21.
- Barkley, N. A., & Wang, M. L. (2008). Application of TILLING and EcoTILLING as reverse genetic approaches to elucidate the function of genes in plants and animals. *Current Genomics*, 9(4), 212–226.
- Bajpai, P. (2013). Global production of bioetanol. Dalam *Advances in Bioetanol* (pp. 79–88). India: Springer.
- Bado, S., Forster, B. P., Nielen, S., Ghanim, A., Lagoda, P. J., Till, B. J., & Laimer, M. (2015). Plant mutation breeding: Current progress and future assessment. *Plant Breeding Reviews*, 39, 23–88.
- Ceballos, H., Fregene, M., Lentini, Z., Sánchez, T., Puentes, Y. I., Pérez, J. C., & Tofiño, A. P. (2005, June). Development and identification of high-value cassava clones. Dalam *II International Symposium on Sweetpotato and Cassava: Innovative Technologies for Commercialization 703*, 63–70.
- Ceballos, H., Sanchez, T., Tofino, A. P., Rosero, E. A., Dufour, D., Smith, A. M., ... & Lentini, Z. (2007). Development and identification of cassava clones with special starch characteristics. In *Proceedings Starch Update 2017 The 4th International Conference on Strach Technology*, 6–7 November 2007. Bangkok, Thailand: Queen Sirikit National Convention Center.
- Chakraborty, N. R., & Paul, A. (2013). Role of induced mutations for enhancing nutrition quality and production of food. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management*, 4(1).

- Chi, Y. H., Paeng, S. K., Kim, M. J., Hwang, G., Melencion, S. M. B., Oh, H., & Lee, S. Y. (2014). Redox-dependent functional switching of plant proteins accompanying with their structural changes. *Thiol-based Redox Homeostasis and Signalling*, 84.
- FAO-IAEA. (2011). *Mutant variety database*. Diakses dari <http://mvgs.iaea.org/AboutMutantVarieties.aspx>.
- Fathoni, A. (2017). Riset ubi kayu: Status dan prospek pemanfaatannya. Dipresentasikan pada Lokakarya Peran Riset dan Kebijakan untuk Penguatan Rantai Nilai Ekonomi Ubi Kayu Indonesia. Cibinong, 7 September 2017.
- Gady, A. L., Hermans, F. W., van de Wal, M. H., van Loo, E. N., Visser, R. G., & Bachem, C. W. (2009). Implementation of two high through-put techniques in a novel application: Detecting point mutations in large EMS mutated plant populations. *Plant Methods*, 5(1), 13.
- Gilchrist, E., & Haughn, G. (2010). Reverse genetics techniques: Engineering loss and gain of gene function in plants. *Briefings in Functional Genomics*, elp059.
- Hartati, N. S., Fitriani, H., Supatmi, & Sudarmonowati, E. (2012). Karakter umbi dan nutrisi tujuh genotipe ubi kayu (*Manihot esculenta*). *Agricola Jurnal Pertanian*, 2(2), 101–110. ISSN: 2088-1673. Fakultas Pertanian, Universitas Musamus Merauke.
- Hartati, N. S., Supatmi, Aryaningrum, P. D., & Sudarmonowati, E. (2013). Identification of differentially expressed cDNA in cassava under drought stress using cDNA-RAPD approach. *Annales Bogoriensis*. 17(1), 7–14.
- Hallajian, M. T. (2016). Mutation breeding and drought stress tolerance in plants. Dalam *Drought stress tolerance in plants*, 2, 359–383. Springer International Publishing.
- Han, B., Gu, J., Zhao, L., Guo, H., Xie, Y., Zhao, S., ... & Liu, L. (2016). Factors Affecting the radiosensitivity of hexaploid wheat to irradiation: Radiosensitivity of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *PloS One*, 11(8), e0161700.
- Joseph, R., Yeoh, H. H., & Loh, C. S. (2004). Induced mutations in cassava using somatic embryos and the identification of mutant plants with altered starch yield and composition. *Plant Cell Reports*, 23(1–2), 91–98.
- Jain, S. M. (2006). Biotechnology and mutagenesis in genetic improvement of cassava. *Cassava Improvement to Enhance Livelihoods in Sub-Saharan Africa and Northeastern Brazil*.
- Jansson, C., Westerbergh, A., Zhang, J., Hu, X., & Sun, C. (2009). Cassava, a potential biofuel crop in (the) People's Republic of China. *Applied Energy*, 86, S95–S99.
- Kamaruddin, N. Y., Abdullah, S., & Harun, A. R. (2016). The effect of gama rays on the radiosensitivity and cytological analysis of *Zingiber officinale* Roscoe Varieties Bentong and Tanjung Sepat. *International Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engineering*, 3(1), 143–145.
- Kumar, D. P., Chaturvedi, A., Sreedhar, M., Aparna, M., Venu-Babu, P., & Singhal, R. K. (2013). Gama radiosensitivity study on rice (*Oryza sativa* L.). *Asian J. Plant Sci. Res.*, 3(1), 54–68.
- Kurowska, M., Daszkowska-Golec, A., Gruszka, D., Marzec, M., Szurman, M., Szarejko, I., & Maluszynski, M. (2011). TILLING—a shortcut in functional genomics. *Journal of Applied Genetics*, 52(4), 371.
- Khumaida, N., Ardie, S. W., & Sopandie, D. (2016). Influence of agro-ecology on growth and performance of several potential mutants of cassava. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 70–77.



- Maharani, S., Khumaida, N., Syukur, M., & Ardie, S. W. (2015). Radiosensitivitas dan keragaman ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) hasil iradiasi sinar gama. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 43(2), 111–117.
- Maluszynski, M., Nichterlein, K., Zanten, L. V., & Ahloowalia, B. S. (2001). Officially released mutant varieties—the FAO/IAEA database. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 65(3), 175–177.
- Martín, B., Ramiro, M., Martínez-Zapater, J. M., & Alonso-Blanco, C. (2009). A high-density collection of EMS-induced mutations for TILLING in Landsberg erecta genetic background of Arabidopsis. *BMC Plant Biology*, 9(1), 147.
- Melki, M., & Marouani, A. (2010). Effects of gama rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environmental Chemistry Letters*, 8(4), 307–310.
- Marcu, D., Cristea, V., & Daraban, L. (2013). Dose-dependent effects of gama radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) seedlings. *International Journal of Radiation Biology*, 89(3), 219–223.
- Papong, S., & Malakul, P. (2010). Life-cycle energy and environmental analysis of bioethanol production from cassava in Thailand. *Bioresource Technology*, 101(1), S112–S118.
- Polyn, S., Willems, A., & de Veylder, L. (2015). Cell cycle entry, maintenance, and exit during plant development. *Current Opinion in Plant Biology*, 23, 1–7.
- Roychoudhury, A., Basu, S., Sarkar, S. N., & Sengupta, D. N. (2008). Comparative physiological and molecular responses of a common aromatic indica rice cultivar to high salinity with non-aromatic indica rice cultivars. *Plant Cell Reports*, 27(8), 1,395.
- Rahman, N., Supatmi, & Fitriani, H. (2013a). Daya hidup dan pertumbuhan kultur *in vitro* ubi kayu (*Manihot esculenta*) genotipe ubi kuning hasil radiasi. *Prosiding Seminar Nasional Riset Pangan, Obat-obatan, dan Lingkungan untuk Kesehatan*. Bogor, 27–28 Juni 2013. 409–414, ISSN: 978-602-14503-1-4.
- Rahman, N., Supatmi, Ayuningtyas, & Hartati, N.S. (2013b). Respons pertumbuhan kultur *in vitro* ubi kayu genotipe ubi kuning hasil radiasi pada media MS tanpa zat pengatur tumbuh. *Prosiding Seminar Nasional ke-52 Temu-Ilmiah Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia*. Hotel Phoenix, Yogyakarta, 21 November 2013. 165–174, ISSN: 0854-4778.
- Soeranto, H. (2003). Peran iptek nuklir dalam pemuliaan tanaman untuk mendukung industri pertanian. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM BATAN, Yogyakarta*, 8.
- Subekti, I., Khumaida, N., & Ardie, S. W. (2017). Identification of potentially high yielding irradiated cassava ‘Gajah’ genotype with different geographic coordinates. Dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54(1), 012013). IOP Publishing.
- Sudarmonowati, E., Hartati, N. S., & Sukmarini, L. (2006). Amylose content variation of Indonesian cassava genotypes and its correlation with RAPD and AFLP markers. Dalam *Proceedings of the First International Meeting on Cassava Breeding, Biotechnology and Ecology. Brasilia, Brazil, 11–15 November 2006* (85–94). Thesaurus Editora.
- Sudarmonowati, E., Hartati, N. S., Fitriani, H., Supatmi, & Wahyuni. (2011). DNA fingerprinting of selected cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes containing unique starch composition and their morphology. *Regional Conservation and Sustainable Utilization of Tropical Biodiversity-SEAMEO-BIOTROP*. Bogor, 20–21 Desember 2011.
- Sikora, P., Chawade, A., Larsson, M., Olsson, J., & Olsson, O. (2012). Mutagenesis as a tool in plant genetics, functional genomics, and breeding. *International Journal of Plant Genomics*, 2011.

- 
- Simon, H. U., Haj-Yehia, A., & Levi-Schaffer, F. (2000). Role of reactive oxygen species (ROS) in apoptosis induction. *Apoptosis*, 5(5), 415–418.
- Supatmi, & Sudarmonowati, E. (2012a). Improved regeneration, acclimatization and shoot cutting production of “Gebang” cassava derived from irradiated *in vitro* shoots. *Annales Bogorienses*, 16(2): 7–12.
- Supatmi, & Sudarmonowati, E. (2012b). Root morphology and yield variation of irradiated MLg-10248 cassava multiplied by innovative ratooning technique. *Proceedings the 5th Indonesian Biotechnology Conference An International Forum*. Lombok, July 4th–7th 2012. 340–352, ISSN 2301-8216.
- Supatmi, Fitriani, H., Hartati, N. S., & Sudarmonowati, E. (2016). Variasi morfologi dan evaluasi daya hidup stek ubi kayu “MLG-10248” asal radiasi biji hasil perbanyakan cepat dengan teknik ratooning. *Prosiding Seminar Nasional ke-56 Temu-Ilmiah Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia*. Hotel Phoenix, Yogyakarta, 26 Mei 2016, 269–274. ISSN: 0854-4778.
- Sharafi, Y., & Motallebi-Azar, A. R. (2011). Gama irradiation influences on some biological traits in two almond (*Prunus amygdalu*. L) cultivars. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(2), 255–258.
- Tadele, Z., Chikelu, M. B. A., & Till, B. J. (2010). TILLING for mutations in model plants and crops. Dalam *Molecular techniques in crop improvement* (307–332). Dordrecht: Springer.
- Till, B. J., Cooper, J., Tai, T. H., Colowit, P., Greene, E. A., Henikoff, S., & Comai, L. (2007). Discovery of chemically induced mutations in rice by TILLING. *BMC Plant Biology*, 7(1), 19.
- Wu, J. L., Wu, C., Lei, C., Baraoidan, M., Bordeos, A., Madamba, M. R. S., ... & Bruskiwich, R. (2005). Chemical-and irradiation-induced mutants of indica rice IR64 for forward and reverse genetics. *Plant Molecular Biology*, 59(1), 85–97.
- Wang, N., Wang, Y., Tian, F., King, G. J., Zhang, C., Long, Y., ... & Meng, J. (2008). A functional genomics resource for *Brassica napus*: Development of an EMS mutagenized population and discovery of FAE1 point mutations by TILLING. *New Phytologist*, 180(4), 751–765.
- Xin, Z., Wang, M. L., Barkley, N. A., Burow, G., Franks, C., Pederson, G., & Burke, J. (2008). Applying genotyping (TILLING) and phenotyping analyses to elucidate gene function in a chemically induced sorghum mutant population. *BMC Plant Biology*, 8(1), 103.
- Xu, Z. H. (1990). Barley (*Hordeum vulgare* L.): Anther culture and the production of haploids. Dalam *Haploids in Crop Improvement I* (125–175). Berlin Heidelberg: Springer.
- Zeng, D., Qian, Q., Dong, G., Zhu, X., Dong, F., Teng, S., ... & Xiong, Z. (2002). Development of isogenic lines of morphological markers in indica rice. *Acta Botanica Sinica*, 45(9), 1116–1120.
- Ziska, L. H., Runion, G. B., Tomecek, M., Prior, S. A., Torbet, H. A., & Sicher, R. (2009). An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass and Bioenergy*, 33(11), 1503–1508.

BAB KEDELAPAN



Studi Molekuler Gen-gen Terkait Beta Karoten dan Ketahanan terhadap Kekeringan pada Ubi kayu

N. Sri Hartati dan Enny Sudarmonowati

A. BIBIT UBI KAYU KAYA NUTRISI DAN TOLERAN KEKERINGAN UNTUK Mendukung Produktivitas Pertanian untuk Bahan Pangan Unggul

Peran ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) sebagai bahan pangan dan bahan baku industri semakin tinggi. Hal ini terlihat dari meningkatnya permintaan pati ubi kayu di pasar internasional. Ubi kayu merupakan sumber karbohidrat yang potensial, tetapi rendahnya kandungan nutrisi, seperti protein, beta karoten, dan mineral varietas menjadi salah satu kelemahan ubi kayu sebagai bahan pangan berkualitas. Oleh karena itu, diperlukan ketersediaan bibit dengan kandungan nutrisi unggul agar ubi kayu dapat memenuhi kebutuhan gizi pangan yang baik. Diversifikasi pangan dengan memanfaatkan talas, disertai dengan tujuan memenuhi kebutuhan gizi, juga diperlukan perbaikan sifat berkaitan dengan nutrisi. Selain itu, diperlukan perakitan galur baru tanaman pangan sumber karbohidrat yang mampu berproduksi optimal, baik pada kondisi cekaman abiotik maupun tanaman yang memiliki kualitas nutrisi unggul, sangat penting dilakukan untuk mendukung ketahanan pangan.

Ubi kayu merupakan tanaman yang fleksibel karena dapat tumbuh dan berproduksi di daerah dataran rendah sampai dataran tinggi, mulai dari ketinggian 10–1.500 m dpl. Singkong juga cocok



dikembangkan di lahan marginal, kurang subur, dan kekurangan air. Singkong dalam pengembangannya selain sebagai tanaman pangan juga sebagai bahan baku bioetanol. Dalam budi daya singkong yang diambil adalah umbinya sebagai bahan pangan yang kaya karbohidrat, tetapi miskin protein. Namun, kekurangan ini bisa dipenuhi dari daun singkong yang juga merupakan sumber protein cukup tinggi. Selain itu, kadar nutrisi tinggi juga dapat diperoleh dengan pemilihan bibit unggul yang memiliki kadar nutrisi tinggi, yaitu beta karoten, protein, dan mineral (Zn dan Fe).

Beta karoten sebagai prekursor vitamin A. Vitamin A sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan, reproduksi, kesehatan kulit, membran mukosa dan kesehatan mata, yaitu berhubungan dengan penglihatan. Berdasarkan hal tersebut maka sangat menguntungkan jika tersedia bahan pangan, seperti ubi kayu yang memiliki kandungan beta karoten tinggi. Meskipun beta karoten tersebar pada berbagai jenis tanaman dan memiliki banyak fungsi dalam tubuh manusia, tetapi defisiensi vitamin A masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di dunia. Permasalahan tersebut, antara lain kematian janin atau diare dan demam setelah melahirkan. Hal tersebut diperburuk dengan rendahnya asupan energi di beberapa negara berkembang (Siqueira, Arruda, de Vargas, & de Souza, 2006). Oleh karena itu, diperlukan asupan beta karoten yang tinggi guna mengatasi permasalahan tersebut.

Masyarakat di negara-negara maju dapat memenuhi kebutuhan nutrisi yang dibutuhkan dari berbagai jenis bahan pangan. Akan tetapi, masih banyak negara yang masih bergantung pada bahan pangan pokok yang rendah nutrisi, seperti padi dan ubi kayu. Prospek aplikasi pemuliaan konvensional, bioteknologi, dan pempupukan dengan mikronutrien dapat meningkatkan kualitas mikronutrien bahan pangan pokok yang disebut biofortifikasi. Biofortifikasi menawarkan penggunaan modifikasi teknik budi daya yang potensial untuk diaplikasikan di negara yang memiliki risiko tinggi terhadap defisiensi mikronutrien (Hotz & Gibson, 2007).

Evaluasi terhadap sumber daya genetik ubi kayu untuk memperoleh genotipe ubi kayu potensial yang memiliki cukup kandungan nutrisi yang baik akan sangat bermanfaat bagi ketersediaan sumber bahan pangan berkualitas. Berdasarkan hasil seleksi terhadap jenis ubi kayu yang dilakukan di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, diperoleh beberapa genotipe yang memiliki kadar beta karoten, protein, dan mineral tinggi di antaranya genotipe Mentega dan Ubi Kuning. Beberapa penelitian dalam bidang kesehatan menunjukkan adanya kasus defisiensi vitamin A yang membahayakan seperti yang ditemukan di Indonesia (Semba, Yuniar,



Gamble, Natadisastra, & Muhilal, 2002) dan juga di negara lain seperti Tanzania. Berdasarkan data WHO saat ini kasus defisiensi vitamin A terdapat di 118 negara (Wasanwisut, 2002).

Tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi, konversi lahan subur yang mengakibatkan pergeseran lahan pertanian ke lahan marginal, dan perubahan iklim dunia karena pemanasan global yang menyebabkan ketidakpastian curah hujan merupakan alasan tentang pentingnya pengembangan tanaman pangan yang lebih tahan cekaman kekeringan. Cekaman abiotik, seperti kekeringan, salinitas, dan perubahan suhu menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman. Di antara cekaman abiotik yang sangat penting untuk diperhatikan adalah ketersediaan air. Kekeringan yang terjadi akibat ketidakpastian curah hujan karena pemanasan global menyebabkan turunnya produktivitas tanaman pertanian hingga lebih dari 50%. Dengan demikian, penyediaan bibit tanaman pertanian yang toleran kekeringan sangat diperlukan untuk menghadapi, baik dampak perubahan iklim maupun pengembangan areal pertanian di daerah suboptimal dengan keterbatasan air.

B. PENDEKATAN MOLEKULER UNTUK UBI KAYU KAYA BETA KAROTEN

1. Karotenoid

Di antara komoditas pangan nonberas yang sangat populer, baik konsumsi langsung maupun sebagai bahan baku pada berbagai industri makanan adalah ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz). Ubi kayu merupakan salah satu komoditas tanaman pangan yang prospektif untuk dikembangkan dan mampu berproduksi tinggi pada lahan kering dibandingkan tanaman pangan lain, seperti padi dan jagung. Meningkatnya minat masyarakat menggunakan ubi kayu sebagai sumber pangan merupakan salah satu indikasi positif bagi tercapainya upaya diversifikasi pangan. Tanaman ubi kayu memiliki keuntungan dari aspek agronomi, seperti toleran terhadap pH tanah, kadar hara rendah serta tahan terhadap hama dan penyakit sehingga dapat dikembangkan, baik sebagai salah satu komoditas pangan pokok alternatif maupun bahan baku bioetanol.

Karotenoid merupakan prekursor vitamin A dan disebut juga provitamin A. Karotenoid memiliki struktur dasar yang terdiri atas delapan unit isoprena yang saling berhubungan dan dua gugus metal yang terdekat dari pusat molekul berada pada posisi 1,6, sedangkan gugus metal yang lain berada pada posisi 1,5. Jenis karotenoid yang sudah dikenal adalah alfa karoten, beta karoten, dan



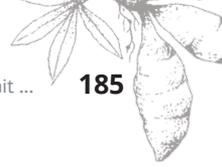
gama karoten, xantofil, kritoxantin, likopena, zeaxantin serta beberapa turunan senyawanya. Provitamin A yang paling potensial adalah beta karoten yang ekuivalen dengan dua vitamin A. Karotenoid dapat menyerap sinar matahari yang kemudian diubah menjadi energi untuk proses fotosintesis.

Karoten dengan rumus molekul $C_{40}H_{56}$ adalah hidrokarbon yang tidak jenuh dan mengandung 11 sampai 12 ikatan rangkap dan tersusun dari unit-unit isoprena dan sepuluh gugus metil. Zat warna karoten mudah larut dalam benzena, kloroform, dan karbon disulfida, tetapi agak sukar larut dalam *petroleum eter*, dan tidak larut dalam alkohol. Semua zat warna karoten larut dalam lemak. Zat warna karoten kadang-kadang terdapat bebas meskipun sering disertai dengan alfa karoten dan gama karoten dalam jumlah kecil.

Sayuran dan buah-buahan yang berwarna hijau atau kuning biasanya banyak mengandung karoten. Ada hubungan langsung antara derajat kehijauan sayuran dan kadar karoten. Karoten terdapat dalam semua bagian tanaman yang hijau dan sebagian besar yang kuning. Semakin hijau daun tersebut semakin tinggi kadar karotennya. Beta karoten adalah zat yang dalam tubuh akan diubah menjadi vitamin A, beta karoten juga tergolong antioksidan yang berguna untuk melawan radikal bebas yang berasal dari zat-zat racun. Senyawa karotenoid berfungsi sebagai antioksidan dan dapat menurunkan risiko kanker, penyakit jantung serta gangguan penglihatan pada usia lanjut.

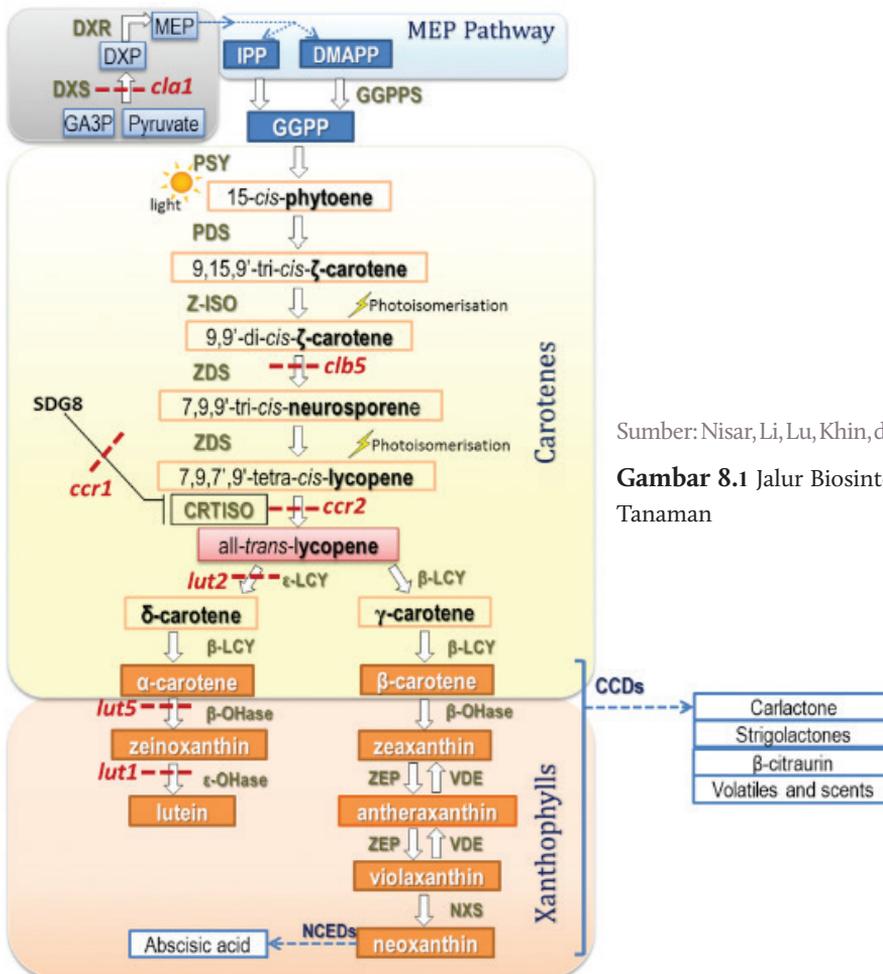
2. Manfaat Beta Karoten/Senyawa Karotenoid

Pada manusia, beta karoten, alfa karoten, dan kriptoksantin diubah menjadi vitamin A. Senyawa karotenoid lainnya, seperti likopen, lutein, dan zeaksantin berfungsi sebagai antioksidan serta dapat menurunkan risiko kanker, penyakit jantung, dan gangguan penglihatan pada usia lanjut (Araújo, Fonsecal, & Boiteux, 2007). Beberapa penelitian dalam bidang kesehatan menunjukkan adanya kasus defisiensi vitamin A yang membahayakan seperti yang ditemukan di Indonesia dan juga di negara lain seperti Tanzania (Semba dkk., 2002). Berdasarkan data WHO saat ini kasus defisiensi vitamin A terdapat di 118 negara (Wasanwisut, 2002). Penanganan kasus kekurangan vitamin A yang dilakukan saat ini adalah pemberian kapsul vitamin A dosis tinggi, fortifikasi vitamin A pada bahan makanan, dan modifikasi diet. Hingga kini masih diperlukan evaluasi efektivitas terhadap program pemberian kapsul vitamin A dosis tinggi (Herman, 2007). Berdasarkan hal tersebut maka akan sangat menguntungkan jika tersedia bahan pangan dalam hal ini jenis ubi kayu yang memiliki beta karoten tinggi dan rasa yang enak.



3. Biosintesis Karotenoid

Jalur biosintesis karotenoid tanaman merupakan salah satu aspek yang sedang diteliti secara intensif, misalnya pada kentang, arabidopsis, wortel, dan juga ubi kayu (Morris dkk., 2004; Sakurai dkk., 2007). Beberapa gen yang terkait dengan biosintesis karotenoid di antaranya adalah *phytoene synthase*, *phytoene desaturase*, likopen siklase, dan beta karoten hidroksilase (Hirschberg dkk., 1997). Pitoen sintase (*phytoene synthase*, PSY) merupakan enzim yang berperan pada tahap pertama biosintesis karotenoid yang mengatalisis reaksi kopling dua molekul geranil-geranil posfat yang menghasilkan senyawa pitoen yang tidak berwarna. Pada tahap selanjutnya dua enzim, yaitu pitoen desaturase (PDS) dan zeaxanthin desaturase menghasilkan senyawa-senyawa berwarna, seperti pitofluen, beta karoten, neurosporen, dan likopen (Gambar 8.1).



Sumber: Nisar, Li, Lu, Khin, dan Pogson (2015)

Gambar 8.1 Jalur Biosintesis Karotenoid Tanaman



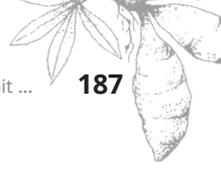
Skrining untuk menentukan genotipe ubi kayu yang kandungan beta karotennya tinggi telah dilakukan terhadap 108 genotipe ubi kayu koleksi milik Puslit Bioteknologi LIPI. Kelompok genotipe ubi kayu dengan beta karoten tertinggi kadarnya lebih tinggi 5–16 kali dibandingkan genotipe asal negara lain, seperti Afrika dan Colombia (Iglesias, Mayer, Chavez, & Calle, 1997; Chaves dkk., 2000; Adewusi, 2002). Berdasarkan uji organoleptik, genotipe tinggi beta karoten dengan warna umbi krem hingga kuning memiliki skor rasa rendah hingga sedang (cenderung pahit). Dengan demikian, akan diterapkan strategi overekspresi gen penyandi beta karoten pada genotipe ubi kayu populer atau yang rasanya banyak disukai, seperti genotipe Roti dan Apuy dengan menggunakan gen dari genotipe ubi kayu tinggi beta karoten.

C. STUDI MOLEKULER UBI KAYU TAHAN KEKERINGAN

1. Mekanisme Respons Tanaman terhadap Kekeringan

Cekaman kekeringan berupa defisit air pada tanaman walaupun terjadi dalam waktu singkat dapat memengaruhi perkembangan tanaman. Hal tersebut terjadi karena stres air menekan pertumbuhan sel. Air berperan sangat penting bagi pertumbuhan tanaman dengan beberapa fungsi, yaitu 1) material untuk berbagai proses kimia meliputi fotosintesis, transpirasi, dan melindungi tanaman terhadap fluktuasi temperatur; 2) turgor sel untuk struktur dan perkembangan, transpor nutrisi dan senyawa organik; 3) hidrasi dan netralisasi muatan pada molekul-molekul koloid; serta 4) penyusun protoplasma sel. Pengaruh cekaman defisit air terhadap daya hasil tanaman telah dilaporkan pada beberapa tanaman, seperti ubi kayu (Bakayoko dkk., 2009), *Vigna subterranean* L. (Vurayai, Emongor, & Moseki, 2011), dan *Carthamus tinctorius* L. (Amini, Arzani, & Karami, 2014).

Respons tanaman yang mengalami stres air adalah mengembangkan mekanisme respons terhadap kekeringan. Mekanisme yang telah diketahui adalah melalui 3 cara, yaitu mekanisme morfologi, fisiologi, dan biokimia atau yang dikenal pula sebagai mekanisme molekuler (Gati, 2006; Farooq, Wahid, Kobayahsi, Fujita, & Basra, 2009; Sujinah & Jamil, 2016). Secara umum, respons yang mudah terlihat adalah mengecilnya ukuran daun untuk meminimumkan kehilangan air. Respons awal tanaman terhadap kekeringan berupa respons secara fisiologis yang merupakan serangkaian proses dalam tanaman, yang diikuti oleh perubahan morfologis. Perubahan morfologis terjadi, baik sebagai mekanisme ketahanan tanaman maupun dampak dari proses akibat cekaman kekeringan. Hal ini juga berdampak terhadap



perubahan proses fisiologis lanjutan yang saling berpengaruh dan diekspresikan dalam bentuk pola pertumbuhan yang berpengaruh terhadap bobot biomassa, hasil, dan komponen hasil tanaman (Sujinah & Jamil, 2016). Secara umum cekaman kekeringan berpengaruh pada luas permukaan fotosintesis akibat menurunnya jumlah daun dan stomata, dimensi stomata, dan aktivitas protoplasma. Penurunan laju fotosintesis merupakan stres lanjutan setelah tanaman mengalami cekaman air yang semakin tinggi. Selain itu, bentuk adaptasi tanaman terhadap defisit air adalah mempertahankan tekanan turgor atau penyesuaian osmotik. Perubahan tekanan turgor akan memengaruhi proses fisiologi dan biokimia dalam tumbuhan, antara lain dengan mengakumulasi senyawa-senyawa terlarut, yang meliputi gula, asam amino, prolin, dan glisin betain. Tanaman dapat beradaptasi terhadap kondisi defisit air dengan mengubah ekspresi gen yang terinduksi cekaman kekeringan, baik berupa protein fungsional maupun protein regulator. Mekanisme toleransi terhadap kekeringan pada umumnya dikendalikan oleh banyak gen dan ekspresi dari masing-masing gen tersebut sangat kompleks.

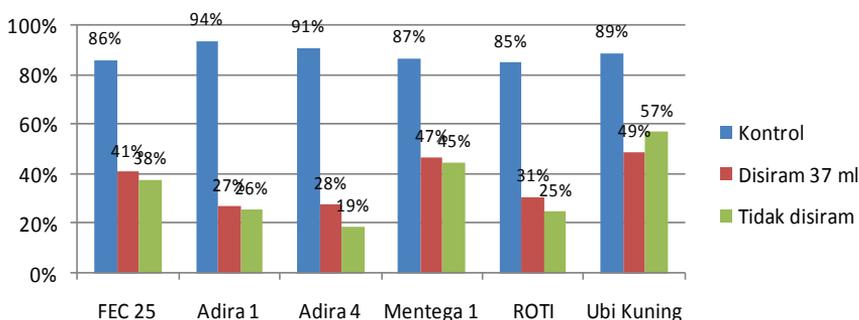
2. Respons Ubi kayu terhadap Cekaman Kekeringan

Secara umum ubi kayu dapat digolongkan sebagai tanaman yang toleran kekeringan, namun tingkat toleransinya berbeda-beda antar-genotipe atau kultivar. Oleh karena itu, perlu dilakukan peningkatan toleransi kekeringan, khususnya untuk jenis ubi kayu yang memiliki tingkat toleransi kekeringan rendah, namun potensi daya hasil tinggi atau memiliki keunggulan dalam aspek lainnya. Dari aspek budi daya terdapat dua pendekatan untuk mengatasi cekaman abiotik, yaitu seleksi jenis tanaman toleran terhadap cekaman lingkungan dan manipulasi lingkungan produksi untuk meniadakan cekaman lingkungan. Penyediaan bibit tanaman tahan cekaman kekeringan sangat diperlukan untuk mengatasi budi daya tanaman di lahan kering. Salah satu di antaranya melalui rekayasa metabolisme atau mekanisme pertahanan tanaman terhadap kadar air rendah. Identifikasi dan karakterisasi gen terkait respons ubi kayu terhadap kekeringan sangat diperlukan untuk memperoleh sumber gen untuk bahan perbaikan genetik.

Jika air tersedia, ubi kayu mempertahankan turgor stomata dan konsentrasi CO_2 internal tinggi, tetapi pada kondisi air terbatas stomata menutup dan menurunkan tekanan air. Selain itu, pertumbuhan luas daun menurun sebagai respons terhadap cekaman kekurangan air dan akan segera kembali pada kondisi semula setelah terbebas dari cekaman (Alfredo, Alves, & Setter, 2004). Pada kondisi cekaman kekeringan yang panjang, ubi kayu menurunkan lebar kanopi daun dan

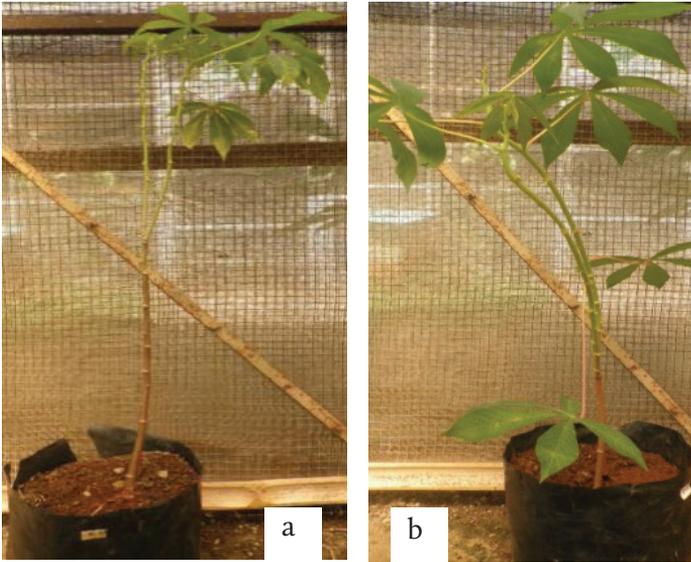
transpirasi air (Catalayud, Llovera, Bois, & Lamaze, 2000). Selama perlakuan cekaman kekeringan jumlah daun per tanaman menurun karena adanya peningkatan senesen daun dan jumlah daun gugur serta terjadi penurunan pertumbuhan tunas baru (Catalayud dkk., 2000). Jumlah daun yang tinggal atau daun hijau yang tinggal (*stay green leaves*) menjadi utama pada seleksi ubi kayu tahan cekaman kekeringan.

Perlakuan terhadap enam genotipe ubi kayu (FEC 25, Adira-1, Adira-4, Mentega 2, Roti, Ubi Kuning) terhadap cekaman kekeringan sedang (disiram 37 ml) dan cekaman berat (tanpa penyiraman) selama 45 hari menyebabkan peningkatan jumlah daun gugur yang signifikan (Hachez, Heinen, Draye, & Chaumont, 2008). Persentase daun yang gugur hingga 45 pada tanaman kontrol dari enam genotipe yang diuji menunjukkan nilai $\leq 5\%$. Pada minggu ketiga perlakuan cekaman kekeringan, persentase jumlah daun gugur adalah $\leq 5\%$ untuk kekeringan sedang dan $> 5\%$ (Adira-1) untuk kekeringan berat. Persentase jumlah daun yang gugur sangat tinggi tampak pada minggu keempat (hari ke-24), yaitu seluruh genotipe yang diuji nilai persentase daun gugurnya $\geq 10\%$. Pada percobaan tersebut, kondisi kekurangan air menyebabkan perbedaan yang signifikan pada vigor tanaman. Pada hari ke-45 hampir seluruh tanaman layu dan persentase daun yang tinggal berkisar antara 27–49% untuk cekaman sedang dan 19–57% untuk cekaman berat (Gambar 8.2). Persentase daun tinggal tertinggi (49% untuk cekaman sedang dan 57% untuk cekaman berat) yang diamati pada hari ke-45 diperoleh untuk Ubi Kuning. Selain itu, Ubi Kuning juga memiliki kemampuan *recovery* tertinggi yang ditunjukkan dengan jumlah tertinggi tunas baru yang muncul (3) setelah 2 minggu penyiraman kembali. Berdasarkan persentase daun yang tinggal selama periode cekaman kekeringan dan tunas baru yang tumbuh setelah penyiraman kembali, Ubi Kuning merupakan genotipe yang paling responsif terhadap perlakuan cekaman kekeringan (Gambar 8.3).



Sumber: Lab. GMMJBT (2013)

Gambar 8.2 Persentase Daun yang Tinggal pada Hari ke-45 Cekaman Kekeringan



Ket.: a) Genotipe Ubi kuning kontrol dan b) perlakuan 26 hari cekaman kekeringan

Sumber: Lab. GMMJBT (2013)

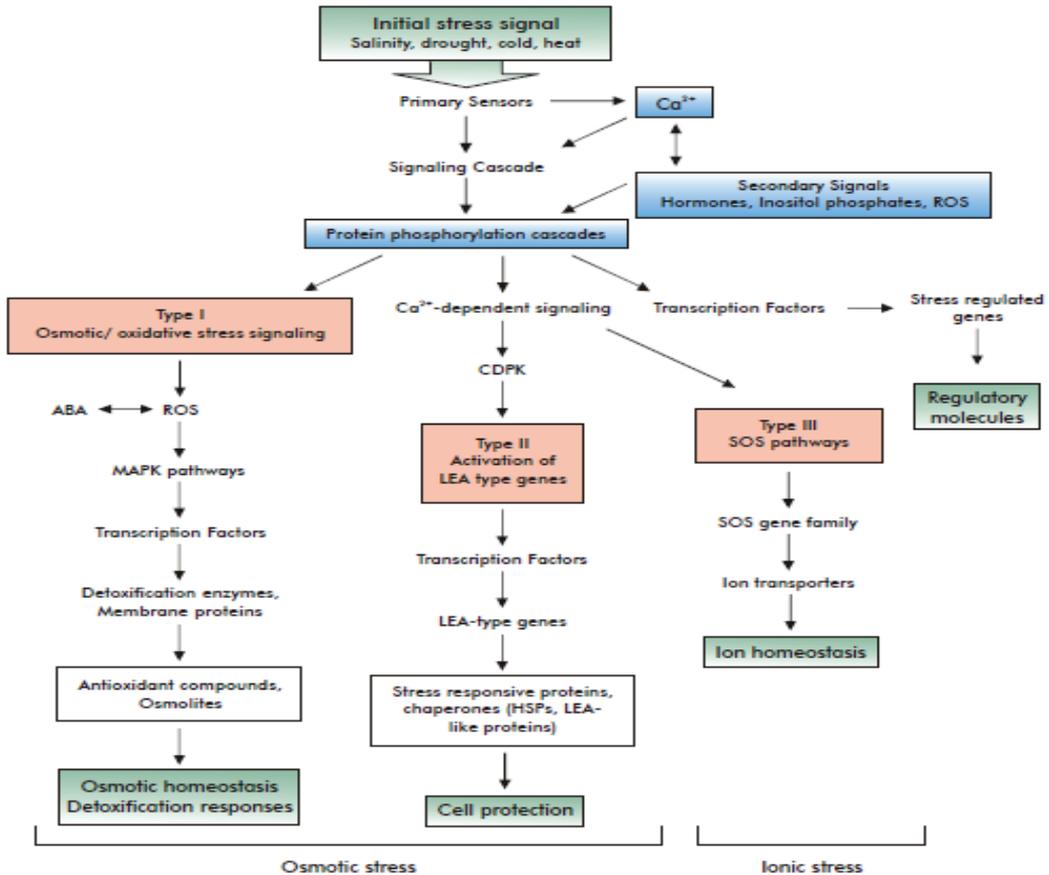
Gambar 8.3 Profil Tanaman Ubi Kayu

3. Gen-Gen Tanaman Terkait Cekaman Kekeringan

Mekanisme ketahanan tanaman terhadap cekaman terjadi melalui ekspresi dua jenis kelompok gen. Pertama adalah gen-gen yang berperan dalam perlindungan sel saat cekaman, seperti mengontrol perubahan tekanan osmosis, perbaikan dan detoksifikasi, dan adaptasi struktural. Kedua adalah gen-gen yang berperan dalam meregulasi ekspresi gen-gen lain yang berperan dalam merespons cekaman, seperti gen-gen penyandi sinyal transduser (kinase dan fosfatase), protein intrinsik membran (aquaporin) dan faktor transkripsi (TF). Perakitan tanaman melalui rekayasa genetika dengan overekspresi jenis gen penyandi enzim, yang terinduksi cekaman kekeringan, diharapkan mampu meningkatkan ketahanan atau toleransi ubi kayu tanaman terhadap cekaman kekeringan ekstrem.

Kehilangan air dari jaringan tanaman pada kondisi kekeringan menyebabkan pertumbuhan terganggu dan terjadi perubahan metabolik dan fisiologis. Perubahan tersebut meliputi akumulasi *abscisic acid* (ABA), penutupan stomata, perubahan potensial air jaringan, penurunan kecepatan fotosintesis serta akumulasi solute (Vajrabhaya, Kumpun & Chadchawan, 2001). Suatu sensor pada tanaman mengaktifkan transmisi signal dan aktifasi faktor transkripsi yang menginduksi ekspresi gen

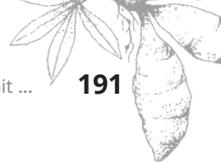
spesifik. Signal stres ionik dan osmotik memicu transduksi signal jalur homeostasis ionik dan osmotik, respons detoksifikasi, dan regulasi pertumbuhan (Gambar 8.4).



Sumber: Rodriguez, Canales, dan Hidalgo (2005)

Gambar 8.4 Jalur Transduksi Cekaman Osmotik dan Ionik pada Tanaman untuk Pengaktifan Gen-Gen terkait Cekaman

Secara umum strategi untuk perakitan tanaman transgenik tahan kekeringan yang telah dikembangkan adalah rekayasa gen yang terlibat dalam metabolisme osmoprotektan, gen transporter, dan gen pendetoksifikasi. Pengaturan metabolisme osmoprotektan di antaranya terjadi melalui peningkatan akumulasi *solute* osmoprotektan, seperti glicin-betain, prolin, dan total gula terlarut (Vajabrhaya dkk., 2001) atau pun senyawa polifenol seperti karotenoid (S. Tas & P. Tas, 2007). Gen-gen terkait ketahanan terhadap kekeringan yang telah diintroduksi atau overekspresi pada tanaman, di antaranya overekspresi gen *late embryogenesis abundant* (LEA)



protein pada padi (Xiao, Huang, Tang, & Xiong, 2007), gen nicotiana protein kinase (NPK1) pada jagung (Shou, Bordallo, & Wang, 2004), gen *beta carotene hydroxylase* pada arabisidopsis (Davison, Hunter, & Horton, 2002) dan tomat (D'Ambrosio, Stigliani, & Giorio, 2011). Overekspresi gen aquaporin RWC3 pada padi telah terbukti dapat meningkatkan respons tanaman terhadap kekeringan (Lian dkk., 2004).

Pada laporan penelitian mengenai sekuensing 20.000 *full length* sekuen gen cDNA ubi kayu yang diperlakukan dengan cekaman kekeringan, diperoleh data bahwa dengan teknik *microarray* terdapat 33 kelompok gen ubi kayu yang terinduksi cekaman kekeringan. Kelompok gen dengan porsi terbesar adalah aquaporin sebanyak 17 transkrip (Sakurai dkk., 2007). Seluruh sekuen gen tersebut dideposisikan dan dapat diakses pada Gene Bank. Selanjutnya, penelitian mengenai analisis transkriptome berdasarkan teknik hibridisasi primer *oligoarray* yang dirancang berdasarkan sekuen gen yang diperoleh Sakurai dkk. (2007) dapat diaplikasikan pada jenis ubi kayu lain dan divalidasi dengan teknik *Real time* PCR serta diperoleh sebanyak 1.300 transkrip gen terinduksi kekeringan lengkap dengan level ekspresinya (Utsumi dkk., 2012).

Perubahan potensial air jaringan terkait dengan aquaporin, yaitu protein yang berperan dalam pengendalian efisiensi transpor air pada membran sel saat terjadi defisit air. Pada *Phaseolus vulgaris* diketahui bahwa peningkatan ekspresi gen aquaporin PIP1 dan PIP2 pada daun berkorelasi dengan penurunan kecepatan transpirasi (Aroca, Ferrante, Vernieri, & Chrispeels, 2006). Demikian pula pada *Vitis vinifera*, ekspresi *plasma membrane intrinsic protein* (PIP) aquaporin VvPIP1;1 dan VvPIP2;2) selain berfungsi sebagai *water channel*, juga dapat menginduksi peningkatan *water permeability* menjadi 3 kali lebih tinggi (Vandeleur dkk., 2009). Laporan penelitian mengenai sekuensing menunjukkan bahwa 20.000 *full length* sekuen gen cDNA ubi kayu yang diperlakukan dengan cekaman kekeringan, dengan teknik *microarray* terdapat 33 kelompok gen ubi kayu yang terinduksi cekaman kekeringan. Kelompok gen dengan porsi terbesar adalah aquaporin sebanyak 17 transkrip (Sakurai dkk., 2007; Tabel 8.1). Seluruh sekuen gen tersebut dideposisikan dan dapat diakses pada Gene Bank. Selanjutnya, penelitian mengenai analisis transkriptome berdasarkan teknik hibridisasi primer *oligoarray*—yang dirancang berdasarkan sekuen gen yang diperoleh Sakurai dkk. (2007)—dapat diaplikasikan pada jenis ubi kayu lain dan divalidasi dengan teknik *real time* PCR serta diperoleh sebanyak 1.300 transkrip gen terinduksi kekeringan lengkap dengan level ekspresinya (Utsumi dkk., 2012).



Tabel 8.1 Beberapa Gen Ubi Kayu yang Terinduksi Cekaman Kekeringan

<i>Arabidopsis Gene</i>	<i>Accession</i>	<i>Description</i>	<i>Cassava transcripts</i>
FL5-3E18	ATHERD10	Aquaporin homolog	17
FL3-5J1	AB004872	<i>Gamma tonoplast intrinsic protein 2</i>	14
FL5-3P12	AB039929	EXGT-A2	13
FL5-2E17	AB039928	<i>Beta-glycosidase homolog</i>	12
rd19A	AB039927	<i>Thiol protease</i>	11

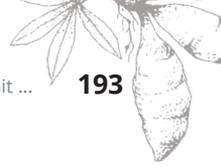
Sumber: Utsumi dkk. (2012)

4. Karakterisasi Gen Aquaporin Ubi kayu

Gen aquaporin (AQP) diketahui berperan dalam membantu respons pertahanan menanggapi cekaman kering dengan mengekspresikan *water channel proteins* (AQPs) yang dibutuhkan dalam permeabilitas membran sel terhadap air. Laju *inflow* dan *outflow* air, yang melalui membran sel, sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman tersebut. Beberapa AQPs diekspresikan pada aerial organ dan akar serta bertindak sebagai osmo-turgor sensor. Selain itu, ekspresi gen-gen AQP bergantung pada organ, perlakuan hormon, dan stres abiotik (Alexandersson, Laure, & Sara, 2005).

AQPs memiliki *well-conserved* struktur, membentuk struktur pori membran dengan interaksi 6 membran berputar helix dan 2 *loop* mengandung *asparagine-prolin-alanin* (NPA). Hal tersebut berkaitan dengan fenomena tumbuhan toleran kekeringan dan menunjukkan mekanisme peningkatan turgor tetap di atas nol sehingga potensial air jaringan tetap rendah dibandingkan potensial air eksternal dan tidak terjadi plasmolisis. *Down regulation* gen-gen AQP tampak saat *recovery* dengan penyiraman tanaman (Djazuli, 2009; Alexandersson dkk., 2005).

Berdasarkan sekuen asam amino, tumbuhan yang mengekspresikan AQPs dibagi menjadi 4 subfamilia, yaitu plasma membran intrinsik protein (PIPs), tonoplast intrinsik protein (TIPs), NOD26-like intrinsik protein (NIPs), dan *small basic intrinsic proteins* (SIPs). Weig, Deswarte, dan Chrispeels (1997) dan Jang dkk. (2004) dalam Alexandersson dkk. (2005) telah mengkaji ekspresi 19 gen AQP Arabidopsis dalam berbagai organ dengan analisis *slot blot semiquantitative* dan *quantitative real-time* RT-PCR untuk mengamati ekspresi 13 gen PIP pada bagian aerial dan akar Arabidopsis sebagai respons cekaman garam, dingin, ABA, dan osmotik, khususnya isoforms TIP dan PIP ekspresi rendah. Hachez dkk. (2008) menyatakan bahwa studi terhadap mRNA AQP dan ekspresi proteinnya pada daun merupakan faktor penting untuk memperoleh pemahaman lebih baik tentang peran gen AQP dalam proses fisiologis. Hasil *quantitative* RT-PCR dan *immunodetection* menyebutkan bahwa



ekspresi protein intrinsik membran plasma *Zea mays* (ZmPIPs) terlokalisasi dan melimpah pada daun terutama saat diurnal jam pertama periode terang.

Isolasi fragmen gen aquaporin telah dilakukan dengan teknik RT-PCR terhadap cDNA Ubi Kuning hasil perlakuan cekaman kekeringan selama 26 hari menggunakan primer, yaitu AQUAPOR-3 (Tabel 8.2). Analisis sekuen terhadap produk PCR Ubi Kuning (Gambar 8.5) dengan perlakuan cekaman 26 hari menunjukkan homologi tinggi (83%–99%) dengan komplet cDNA aquaporin ubi kayu (*Manihot esculenta*) dan beberapa jenis tanaman, di antaranya *Hevea brasiliensis*, *Ricinus comunis*, *Jatropha curcas*, *Populus tremuloides*, *Populus trococarpa*, *Quercus petraea*, *Bruguria gymnorhizae*, dan *Populus tremula* (Tabel 8.3).

Tabel 8.2 Urutan Nukleotida Primer yang Digunakan untuk Amplifikasi cDNA Ubi Kuning Hasil Cekaman Kekeringan

Jenis Primer		Sequence (5'→3')	Length	Start	Stop	Tm	GC%
Primer pair 3/ AQUAPOR-3	Forward Primer	TGTTGATCCACCACCAGCTC	20	143	162	59.96	55.00
	Reverse Primer	TTCTCGCCAAGAACAGTCC	20	427	408	59.97	55.00

Sumber: Hartati, Kurniawati, Wahyuni, Supatmi, dan Sudarmonowati (2013)

5'-GGGGATTTGTTGATCCCCACCAGCTCCTCTCATTGACATGGCTGAGATCAAGCTATG-GTCTTTCTACCGTGCTCTTATAGCTGAGTTTATAGCCACTCTTCTTTTCTATACATTACCG-TAGCTACTGTGATTGGCTACAAGAAGCAAAGTACCCTTGTGGTGGAGTTGGCCTTCTGGG-TATTGCATGGGCCTTTGGTGGCATGATATTCATCCTTGTTTACTGCACTGCTGGTATTTCTG-GTGGTCATATTAACCCAGCAGTCACCTTTGGACTGTTCTTGGCGAGGAAGGTGTCACCTGAT-CAGGGCTGTGGCTTACATGGTGGCTCAGTGCTTAGGTGCGATTTGTGGCGTCCGATTGGT-GAAGGCATTTATGAAGCATTCGTATAATGGGCTTGGAGGTGGTGCTAACTCTGTGGCACCTG-GCTACAGCAAGGGCACCCTTTGGGTGCTGAGATCATCGGCACTTTTGTACTTGTCTACACT-GTTTTCTCTGCCACTGACCCTAAGAGGAGTGCACGTGACTCTCACGTCCCTGTGTTGGCTC-CACTTCCAATTGGTTTTGCTGTGTTTCATGGTCCACTTGGCAACGATCCCCATCACTGGAAGT-GGTATTAATCCTGCTAGGAGCTTTGGAGCTGCTGTTATCTACAACATGACAAAGTCTGGGAT-GACCATTGGATTTTCTGGGTTGGACCTTTTATTGGAGCACTTGCAGCAGCTGCATATCAT-CAATACATATTGAGAGCTGCAGCCATCAAGGCTTTGGGACTTTTCCGCAGAA -3'

Sumber: Pandegan (2014)

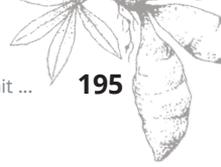
Gambar 8.5 Urutan Nukleotida Genotipe Ubi Kuning Hasil Cekaman Kekeringan Selama 26 Hari dengan Primer AQUAPOR-3



Tabel 8.3 Analisis BLAST N Sekuen Urutan Nukleotida Genotipe Ubi Kuning

Description	Max score	Total score	Query cover	E value	Ident	Accession
PREDICTED: <i>Manihot esculenta</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC110612504), mRNA	1424	1424	98 %	0,0	99 %	XM 021753267.1
<i>Manihot esculenta</i> aquaporin (AQF) gene, complete cds	1424	1424	98 %	0,0	99 %	EU599222.1
PREDICTED: <i>Hevea brasiliensis</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC110660326), transcript variant X2, mRNA	1125	1125	98 %	0,0	93 %	XR 002495890.1
PREDICTED: <i>Hevea brasiliensis</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC110660326), transcript variant X1, mRNA	1125	1125	98 %	0,0	93 %	XM 021818594.1
PREDICTED: <i>Hevea brasiliensis</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC110668316), mRNA	1114	1114	98 %	0,0	93 %	XM 021829510.1
<i>Hevea brasiliensis</i> membran aquaporin 2 (PIP2-8) mRNA complete cds	1114	1114	98 %	0,0	93 %	GQ479824.1
PREDICTED: <i>Manihot esculenta</i> probable aquaporin PIP2-7 (LOC110627201), mRNA	1105	1105	98 %	0,0	93 %	XM 021773485.1
<i>Ricinus communis</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC18034159), mRNA	922	922	98 %	0,0	89 %	NM 001323763.1
<i>Jatropha curcas</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC105641801), mRNA	865	865	98 %	0,0	87 %	NM 001306008.1
PREDICTED: <i>Citrus clementine</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC18034159), mRNA	785	785	97 %	0,0	85 %	XM 006422521.2
PREDICTED: <i>Citrus sinensis</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC1026244436), mRNA	785	785	97 %	0,0	85 %	XM 006486660.2
PREDICTED: <i>Herrania umbratica</i> probable aquaporin PIP-8 (LOC110417759), mRNA	769	769	97 %	0,0	85 %	XM 021430273.1
PREDICTED: <i>Durio zibethinus</i> probable aquaporin PIP2-8 (LOC111297991), mRNA	758	758	97 %	0,0	84 %	XM 022892643.1

Sumber: Pandegan (2013)



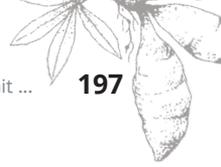
D. KESIMPULAN

Perakitan galur baru tanaman pangan unggul yang memiliki kadar nutrisi tinggi dan mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan yang tidak optimal, seperti ketersediaan air yang rendah sangat penting dilakukan untuk menjaga produktivitas tanaman pangan. Aplikasi teknologi DNA (rekayasa genetik) untuk menghasilkan galur baru ubi kayu yang memiliki berbagai keunggulan termasuk memiliki toleransi tinggi pada kondisi kadar air tanah rendah atau cekaman kekeringan ekstrem. Isolasi dan karakterisasi gen merupakan aspek penting yang harus dilakukan untuk memperoleh bahan perakitan gen untuk transformasi genetik. Fragmen gen *Manihot esculenta* aquaporin (MeAQP) yang telah berhasil disekuens dapat dianalisis lebih lanjut untuk studi ekspresi pada waktu cekaman tertentu, kultivar dan organ berbeda serta dikembangkan bagi keperluan kloning gen.

DAFTAR PUSTAKA

- Adewusi, S., & Bradbury, J. (2002). Carotenoids in cassava: Comparison of open-column and HPLC methods of analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62(4), 375–383.
- Alexandersson, E., Laure, F., & Sara, S. (2005). Whole gene family expression and drought stress regulation of aquaporins. *Plant Molecular Biology*, 59, 469–484.
- Alfredo, A., Alves, C., & Setter, T. (2004). Response of cassava leaf area expansion to water deficit: Cell proliferation, cell expansion and delayed development. *Annals of Botany* 94, 605–613.
- Amini, H., Arzani, A., & Karami, M. (2014). Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. *Turkish Journal of Biology*, 38, 1–12.
- Araújo, A., Fonseca, N., & Boiteux, L. (2007). Nucleotide diversity of a major carotenoid biosynthetic pathway gene in wild and cultivated *Solanum lycopersicon* species. *Plant Physiol.*, 19(3), 233–237.
- Aroca R., Ferrante, A., Vernieri, P., & Chrispeels, M. J. (2006). Drought, abscisic acid and transpiration rate effects on the regulation of PIP aquaporin gene expression and abundance in *Phaseolus vulgaris* plants. *Annals of Botany*, 98, 1301–1310.
- Bakayoko, S., Tschannen, A., Nindjin, C., Dao, D., Girardin, O., & Assa A. (2009). Impact of water stress on fresh tuber yield and dry matter content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Côte d'Ivoire. *African Journal of Agricultural Research*, 4(1), 021–027.
- Catalayud, P. A., Llovera, E., Bois, J. F., & Lamaze, T. (2000). Photosynthesis in drought-adapted cassava. *Photosynthetica*, 38(1), 97–104.
- Chavez, A. L., Bedoya, J. M., Sanchez, T., Iglesia, C., Ceballos, H., & Roca, W. (2000). Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), 410–413.
- D'Ambrosio, C., Stigliani A., & Giorio G. (2011). Overexpression of CrtR-b2 (carotene beta hydroxylase 2) from *S. lycopersicum* L. differentially affects xanthophyll synthesis and accumulation in transgenic tomato plants. *Transgenic Res.* 20(1), 47–60.

- 
- Davison P. A., Hunter, C. N., & Horton, P. (2002). Overexpression of beta-carotene hydroxylase enhances stress tolerance in *Arabidopsis*. *Nature*, *418*(6894), 203–206.
- Djazuli, M. (2010). Pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan beberapa karakter morfo-fisiologis tanaman nilam. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*, *21*(1), 8–17.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanism and management. *Agron. Sustain. Dev.* *29*, 185–212.
- Gati, E. (2006). Mekanisme toleransi dan metode seleksi tumbuhan yang tahan terhadap cekaman kekeringan. *Berita Biologi*, *8*(3), 215–222
- Hachez, C., Heinen, R. B., Draye, X., & Chaumont, F. (2008). The expression pattern of plasma membrane aquaporins in maize leaf highlights their role in hydraulic regulation. *Plant molecular biology*, *68*(4–5), 337–353.
- Hartati, N. S., Paramesti, D., Noor-Rohmah, S., & Imelda, M. (2012). *Laporan akhir kegiatan kompetitif LIPI tahun anggaran 2012*.
- Hartati, N. S., Kurniawati, S., Wahyuni, Supatmi, & Sudarmonowati, E. (2013). *Laporan akhir insentif riset SINas tahun anggaran 2013*.
- Herman, S. (2007). Masalah kurang vitamin A (KVA) dan prospek penanggulangannya. *Media Litbang Kesehatan*, *XVII*(4), 40–44.
- Hirschberg, J., Cohen, M., Harker, M., Lotan, T., Mann, V., & Pecker, I. (1997). Molecular genetics of the carotenoid biosynthesis pathway in plants and algae. *Pure & Applied Chem.*, *69*(10), 2.151–2.158.
- Hotz, C., & Gibson, R. S. (2007). Traditional food-processing and preparation practices to enhance the bioavailability of micronutrients in plant-based diets. *J. Nutr.*, *137*(4), 1097–1000.
- Huang, P. C., Kuo, T., & Wu, R. (1982). *Genetic engineering technique-recent developments*. New York: Academic Press.
- Iglesias, C., Mayer, J., Chavez, L., & Calle, F. (1997). Genetic potential and stability of carotene content in cassava roots. *Euphytica*, *94*(3), 367–373.
- Lian, H. L., Yu, X., Ye, Q., Ding, X., Kitagawa, Y., Kwak, S. S., ... & Tang, Z. (2004). The role of aquaporin RWC3 in drought avoidance in rice. *Plant Cell Physiol.* *45*(4), 481–489.
- Morris, W., Ducreux, L., Griffiths, D., Stewart, D., Davies H., & Taylor, M. (2004). Carotenogenesis during tuber development and storage in potato. *Journal of Experimental Botany* *55*(399), 975–982.
- Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., & Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. *Molecular Plant*, *8*(1), 68–82.
- Pandegan, R. (2014). *Isolasi gen aquaporin dari Manihot esculenta Crantz cv Ubi Kuning terinduksi cekaman kekeringan*. (Skripsi), Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rodríguez, M., Canales, E., & Hidalgo, O. (2005). Molecular aspects of abiotic stress in plants. *Biotechnology Aplicada*, *22*, 1–10.
- Sakurai, T., Plata, G., Rodríguez-Zapata, F., Seki, M., Salcedo, A., Toyoda, A., ... & Ishitani, M. (2007). Sequencing analysis of 20,000 full-length cDNA clones from cassava reveals lineage specific expansions in gene families related to stress response. *BMC Plant Biology*, *7*(66), 1–17.



- Semba, R. D., Yuniar, Y., Gamble, M. V., Natadisastra, G., & Muhilal. (2002). Assessment of vitamin A status of preschool children in Indonesia using plasma retinol-binding protein. *Journal of Tropical Pediatrics*, 48(2), 84–87.
- Shou, H., Bordallo, P., & Wang, K. (2004). Expression of the Nicotiana Protein Kinase (NPK1) enhanced drought tolerance in transgenic maize. *Journal of Experimental Botany*, 55(399), 1.013–1.019.
- Siqueira, E., Arruda, S., de Vargas, R., & de Souza, E. (2006). Beta-carotene from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves improves vitamin A status in rats. *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol Pharmacol.* 2007 July–Aug; 146(1–2), 235–40.
- Sujinah & Jamil. (2016). Mekanisme respon tanaman padi terhadap cekaman kekeringan dan varietas toleran. *Iptek Tanaman Pangan*, 11: 1–7.
- Tas, S., & Tas, P. (2007). Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *Word Journal of Agricultural Sciences*. 3(2), 178–183.
- Utsumi, Y., Tanaka, M. A. H. O., Morosawa, T., Kurotani, A., Yoshida, T., Mochida, K., ... & Sakurai, T. (2012). Transcriptome analysis using a high-density oligomicroarray under drought stress in various genotypes of cassava: An important tropical crop. *DNA research*, 19(4), 335–345.
- Vajrabhaya, M., Kumpun, W., & Chadchawan, S. (2001). The solute accumulation: The mechanism for drought tolerance in RD23 rice (*Oryza sativa* L.) lines. *Science Asia*, 27, 93–97.
- Vandeleur, R. K., Mayo, G., Shelden, M. C., Gilliam, M., Kaiser, B. N., & Tyerman, S. D. (2009). The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: Diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiology*, 149(1), 445–460.
- Vurayai, R., Emongor, V., & Moseki, B. (2011). Effect of water stress imposed at different growth and development stages on morphological traits and yield of Bambara groundnuts (*Vigna subterranean* L. Verdc). *American Journal of Plant Physiology*, 6(1), 17–27.
- Wasanwisut, E. (2002). Recommendations for monitoring and evaluating vitamin A programs: Outcome indicators. *Journal of Nutrition*, 132, 2940S–2942S.
- Weig, A., Deswarte, C., & Chrispeels, M. J. (1997). The major intrinsic protein family of Arabidopsis has 23 members that form three distinct groups with functional aquaporins in each group. *Plant Physiol.*, 114(4), 1347–1357.
- Welsch, R., Arango, J., Bär, C., Salazar, B., Al-Babili, S., Beltrán, J., ... & Beyer, P. (2010). Provitamin A accumulation in cassava (*Manihot esculenta*) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. *The Plant cell*, 22(10), 3348–3356.
- Xiao, B., Huang, Y., Tang, N., & Xiong, L. (2007). Over-expression of a LEA gene in rice improves drought resistance under the field conditions. *Theor Appl Genet.*, 115(1), 35–46.



Sumber: Fathoni (2017)

BAB KESEMBILAN

Modifikasi Komposisi Pati Ubi Kayu dengan Teknik Rekayasa Genetika

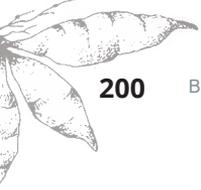
Hani Fitriani, Supatmi, dan Enny Sudarmonowati

A. PATI SEBAGAI BAHAN BAKU INDUSTRI: KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN

Ubi kayu merupakan sumber pati kedua terbesar di dunia setelah jagung, dengan kadar pati antara 73,7–84,9% (basis kering) dan termasuk salah satu komoditas pati terbesar dalam perdagangan internasional. Sebelumnya sebagian besar pati berbahan dasar jagung dan Amerika Serikat sebagai konsumen terbesarnya (Aiemnaka dkk., 2012).

Ubi kayu memiliki periode pemanenan yang beragam. Akibatnya, ubi kayu yang dihasilkan memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda-beda (Moorthy, 2002). Selain itu, tingkat produksi, sifat fisik, dan sifat kimia ubi kayu akan bervariasi pula menurut tingkat kesuburan, ditinjau dari lokasi penanaman singkong (Chetty, Rossin, Gruissem, Vanderschuren, & Rey, 2013). Perbedaan sifat fisik dan kimia ini menyebabkan sifat fungsionalnya pun berbeda, seperti kemampuan membentuk gel dan kekentalannya sehingga mengakibatkan bahan baku yang tidak konsisten. Hal ini akan berdampak pada perbedaan produk akhir yang dihasilkan (Syamsir, Hariyadi, Fardiat, Andarwulan, & Kusnandar, 2010).

Karakterisasi sifat fisik dan kimia ubi kayu ditentukan oleh sifat pati sebagai komponen utama dari ubi kayu. Pati ubi kayu memiliki sifat khusus yang sesuai untuk produk pangan dan nonpangan. Pati ubi kayu mempunyai warna gel yang transparan, tidak berasa serta resisten terhadap pemanasan dan pembekuan (Noerwijati, 2015). Pati ubi kayu



dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dan zat aditif pada industri pangan, di antaranya sebagai pengental, bahan pengisi dalam produk makanan bayi, bahan pengikat pada produk-produk biskuit, industri konveksi, cat, plastik, dan beras sintetik (Tonukari, 2004; Noerwijati, 2015). Meskipun pati ubi kayu banyak sekali manfaatnya, pati ubi kayu masih kurang dimanfaatkan secara maksimal, terutama karena fluktuasi kualitas dan kontinuitas suplainya.

Pemanfaatan pati ubi kayu sangat bergantung pada sifat fisikokimia pati, yang berkaitan dengan proporsi amilopektin dan amilosa. Oleh karena itu, keunggulan ubi kayu tidak hanya ditentukan oleh hasil umbi, tetapi juga oleh sifat pati yang dihasilkan (Rongsirikul dkk., 2010). Sifat fisikokimia tepung ubi kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya faktor genetik, kondisi tanah, cara penanaman, kelembapan, suhu, varietas, cara pemuliaan, umur panen, dan kondisi pascapanen (Tong dkk., 2014). Faktor-faktor tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan karakteristik dari komponen nonpati umbi dan produk yang akan dihasilkan (Moorthy, 2002; Wang dkk., 2010).

Pati yang sering digunakan dalam industri pangan dan nonpangan ada dua macam, yaitu pati modifikasi (*modified starch*) dan pati alami (*native starch*). Pati modifikasi adalah pati alami yang telah berubah sifat fisik dan atau kimianya. Sementara itu, pati dalam bentuk alami (*native starch*) adalah pati yang belum mengalami perubahan sifat fisik dan kimia atau yang masih dalam struktur dan karakteristik alaminya. Namun, pati ini mempunyai keterbatasan yang berhubungan dengan retrogradasi, kestabilan rendah, dan ketahanan pasta yang rendah. Menurut Taufik (2013), terdapat beberapa kendala pada pati alami ubi kayu, sebaga berikut.

1. *Ketahanan terhadap panas rendah*; di industri pangan, pengolahan produk umumnya menggunakan suhu tinggi. Contoh tahapan proses yang menggunakan suhu tinggi adalah pasteurisasi dan sterilisasi. Pati yang tidak tahan terhadap panas cenderung mengalami penurunan viskositas selama proses pengolahan sehingga produk yang dihasilkan cenderung encer.
2. *Ketahanan terhadap proses pengadukan rendah*; pengadukan diperlukan selama proses pengolahan pangan agar bahan yang digunakan tersebar secara homogen di dalam produk. Selain itu, proses pengadukan juga berfungsi untuk mendistribusikan panas sehingga menghindari produk gosong. Pati alami cenderung tidak tahan terhadap proses pengadukan. Hal ini berakibat penurunan viskositas selama proses pengadukan.



3. *Ketahanan terhadap asam rendah*; produk pangan umumnya mempunyai pH netral dan asam. Pati yang digunakan untuk produk asam harus tahan terhadap hidrolisis asam. Jika pati yang digunakan tidak tahan terhadap asam maka akan terjadi penurunan viskositas dari produk selama proses pengolahan dan penyimpanan. Pati alami cenderung mempunyai ketahanan terhadap asam yang rendah.
4. *Suhu gelatinisasi tinggi*; pada saat pengolahan pangan yang berbasis pati. Pati dipanaskan bersama dengan bahan lain sampai membentuk pasta. Pasta pati akan terbentuk jika suhu pemanasan melewati suhu gelatinisasi. Suhu gelatinisasi merupakan suhu yang diperlukan agar pati tersebut tergelatinisasi. Makin tinggi suhu gelatinisasi, makin besar pula panas dan energi yang diperlukan. Produsen makanan cenderung menghendaki pati dengan suhu gelatinisasi rendah sehingga menekan biaya produksi. Pati alami cenderung mempunyai suhu gelatinisasi yang tinggi.
5. *Kecenderungan sineresis selama penyimpanan tinggi*; proses penyimpanan produk dapat dilakukan pada suhu ruang atau suhu dingin. Pemilihan metode penyimpanan sangat bergantung pada jenis produknya. Contoh produk yang disimpan pada suhu dingin adalah es krim. Pati yang digunakan untuk produk yang disimpan pada suhu dingin harus tahan terhadap sineresis sehingga tidak terjadi pemisahan air dari produk. Pati alami cenderung mengalami sineresis pada suhu rendah.

Beberapa kelemahan pada pati alami ubi kayu tersebut menyebabkan tepung tapioka sudah cukup jarang digunakan dalam produksi rumah tangga karena kalah pamor dengan tepung yang terbuat dari gandum. Namun, hingga kini beberapa industri masih membutuhkan suplai tepung tapioka. Padahal, sumber dan produksi pati-patian di negara ini sangat berlimpah, yang terdiri atas tapioka (pati singkong), pati sagu, pati beras, pati umbi-umbian selain singkong, pati buah-buahan (misalnya pati pisang), dan banyak lagi sumber pati yang belum diproduksi secara komersial (Koswara, 2006). Untuk mengatasi sifat-sifat dasar alami pati yang kurang menguntungkan tersebut, diperlukan beberapa karakter pati yang diinginkan oleh industri pengguna pati, antara lain mempunyai kekentalan yang stabil, baik pada suhu tinggi maupun rendah; mempunyai ketahanan, baik terhadap perlakuan mekanis maupun daya pengentalannya yang tahan terhadap kondisi asam dan suhu tinggi. Sifat-sifat penting lainnya yang diinginkan adalah kecerahan yang lebih tinggi (pati lebih putih), kekentalan lebih tinggi, gel yang terbentuk lebih jernih,



tekstur gel yang dibentuk lebih lembek, kekuatan regang rendah, granula pati lebih mudah pecah, waktu dan suhu gelatinisasi yang lebih rendah serta waktu dan suhu granula pati untuk pecah lebih rendah (Koswara, 2006).

B. KOMPOSISI PATI UBI KAYU

Pati ubi kayu terdiri atas amilosa dan amilopektin. Perbandingan amilosa dan amilopektin secara umum adalah 20% dan 80% dari jumlah pati total. Kandungan amilosa dan amilopektin memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap sifat fisik tepung yang dihasilkan. Keduanya saling berhubungan dalam membentuk sifat yang berbeda-beda tergantung pada perlakuannya (Eliasson, 2004).

1. Pati Amilosa Rendah dan Aplikasinya di Industri

Menurut Noerwijati (2015), pati amilosa rendah (amilopektin tinggi) dari ubi kayu berbeda dengan pati amilosa rendah dari jagung dan kentang serta berbeda pula dengan pati ubi kayu, jagung, dan kentang yang mengandung amilosa tinggi. Pati amilosa rendah dari ubi kayu memiliki tingkat kejernihan dan kestabilan yang lebih baik setelah dipanaskan pada suhu 95°C dan disimpan pada suhu rendah (4°C). Di samping itu, pati amilosa rendah dari ubi kayu juga tetap jernih setelah mendapat perlakuan *freez-thaw* selama tiga siklus (Raemakers dkk., 2005). Hal tersebut menunjukkan keunggulan kualitas pati ubi kayu dibandingkan pati dari sumber lain sehingga diharapkan pati ubi kayu akan memiliki daya jual dan daya saing yang lebih tinggi.

2. Pati Amilosa Tinggi dan Pemanfaatannya

Ceballos dkk. (2008) melaporkan telah mendapatkan ubi kayu dengan kadar amilosa tinggi dibandingkan ubi kayu biasa. Ubi kayu amilosa tinggi ditemukan dengan teknik mutasi menggunakan sinar gama (ψ). Kadar amilosa ubi kayu mutan mencapai 30,1%, sedangkan pada ubi kayu normal sekitar 19,8%. Rolland-Sabaté dkk. (2012) juga melaporkan telah menemukan ubi kayu dengan kadar amilosa tinggi (30–31%) melalui mutasi radiasi sinar gama. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa mutasi yang terjadi adalah karena kehilangan gen yang mengode satu dari isoform isoamilase (*isa1* atau *isa2*). Pati dengan kandungan amilosa tinggi akan cepat membentuk gel setelah pendinginan. Ubi kayu lding (klon ubi kayu lokal Indonesia) yang diradiasi menggunakan sinar gama memiliki kadar amilosa yang tinggi (39% amilosa, lebih tinggi 19% dari normal) (Sudarmonowati, Hartati, & Amzal, 2015).



Pati yang beramilosa tinggi (amilopektin rendah) diperlukan untuk industri pangan, khususnya makanan bagi orang yang memiliki masalah pencernaan dan untuk obat-obatan pada industri farmasi. Sebagai contoh, bagi penderita diabetes, sangat penting untuk mengatur pola makan dalam rangka pengendalian kadar glukosa darah. Pengendalian kadar glukosa darah dapat dilakukan, salah satunya dengan mengonsumsi makanan sumber karbohidrat yang rendah glikemik, seperti yang terdapat pada pati dengan kandungan amilosa tinggi. Pati ubi kayu amilosa tinggi memiliki aktivitas hipoglikemik yang lebih tinggi dibandingkan pati yang mengandung amilopektin tinggi. Oleh karena itu, pati dengan kandungan amilosa tinggi cenderung memiliki indeks glikemik yang rendah. Indeks glikemik pangan merupakan tingkatan pangan menurut efeknya terhadap kadar glukosa darah. Menurut Chansri, Puttanlek, Rungsadthong, dan Uttapap (2005), pati dengan kadar amilosa tinggi paling ideal untuk pembuatan mi.

Pati dengan kandungan amilosa tinggi memiliki potensi pengembangan lebih baik daripada pati berkadar amilosa rendah. Produk makanan yang mengandung amilopektin tinggi akan bersifat ringan, porus, garing, dan renyah. Sebaliknya, pati dengan kandungan amilosa tinggi cenderung menghasilkan produk yang keras dan pejal karena proses mekarnya terjadi secara terbatas. Misalnya, tepung beras yang terdiri atas 99% amilopektin sangat cocok untuk membuat biskuit dengan tekstur yang ringan dan lembut (Zulaidah, 2012).

Kandungan amilosa yang tinggi juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku produk-produk instan. Salah satu karakteristik penting produk-produk instan adalah kemampuan rehidrasi produk. Menurut Kearsley dan Dziedzic (1995), kandungan amilosa dan amilopektin juga akan berhubungan dengan daya serap air (daya rehidrasi). Daya rehidrasi produk-produk berpati sangat ditentukan oleh kandungan amilosanya. Semakin tinggi kandungan amilosa, semakin tinggi daya rehidrasi produk. Rehidrasi pati merupakan proses penyerapan air ke dalam bahan kering atau pati yang sebelumnya telah mengalami gelatinisasi. Pati yang telah mengalami gelatinisasi tersebut dapat dikeringkan, tetapi pati tersebut tidak memiliki sifat-sifat sebelum mengalami gelatinisasi dan masih mampu menyerap air dalam jumlah yang besar. Dengan demikian, prinsip rehidrasi sama dengan proses gelatinisasi sehingga faktor-faktor yang memengaruhi pun sama, yaitu suhu, ukuran partikel, konsentrasi, pH, dan komponen lainnya seperti gula, lemak, asam lemak, dan protein (Widodo, Panjaitan, & Yuwono, 2016).



Pati dengan kandungan amilopektin tinggi (amilosa rendah) digunakan pada industri pelapisan kertas dan lem sebagai bahan untuk memodifikasi viskositas dalam eksplorasi minyak dan sebagai komponen campuran dalam pembuatan dinding panel gipsium pada industri konstruksi (Baguma, 2004). Mengingat besarnya manfaat ubi kayu maka kebutuhan akan bahan baku singkong pun semakin meningkat, seiring dengan diversifikasi industri pengolahan bahan baku singkong menjadi bioetanol, industri pangan, kimia, farmasi, industri *pellet* atau makanan ternak, dan industri pengolahan tepung. Industri pengolahan tepung akan menghasilkan, antara lain tepung tapioka yang merupakan bahan baku pembuatan kerupuk, gula cair, dan industri tekstil. Di samping itu, di beberapa daerah singkong dijadikan sebagai bahan makanan pokok pengganti nasi, misalnya tiwul, gatot, roti, biskuit, tape, patila, dan berbagai makanan lainnya. Percepatan kenaikan kebutuhan bahan baku singkong tidak sepadan dengan pertambahan jumlah lahan yang dapat ditanami singkong. Oleh karena itu, diperlukan varietas-varietas ubi kayu baru yang dapat mendukung untuk pengembangan tanaman singkong di tingkat petani dan industri pengolahan singkong.

Menurut Zhang, Phansiri, dan Puonti-Kaerlas (2001), rekayasa genetika ubi kayu mempunyai potensi yang besar untuk melengkapi teknik pemuliaan tradisional dalam menghasilkan bibit yang tahan terhadap hama dan penyakit atau meningkatkan mutu umbinya. Pati ubi kayu memiliki manfaat yang sangat luas dalam industri pangan dan nonpangan sehingga modifikasi pati secara genetik memiliki prospek yang bagus. Indonesia telah melakukan penelitian modifikasi pati secara genetik, yaitu melalui mutasi dan pembentukan tanaman transgenik. Tujuan modifikasi pati secara genetik, di antaranya untuk membentuk klon unggul ubi kayu yang memiliki kadar amilosa rendah, amilosa tinggi, atau untuk mengubah ukuran granula pati (Noerwijati, 2015).

C. PERKEMBANGAN PENELITIAN UBI KAYU DENGAN TEKNOLOGI REKAYASA GENETIKA

Di Indonesia, perkembangan produk-produk hasil *Genetically Modified Organism* (GMO) atau tanaman transgenik telah tersedia sejak akhir tahun 1990-an, antara lain kedelai, jagung, dan tebu. Pangan rekayasa genetika tersebut diimpor dari negara-negara yang telah menanam dan memproduksi sendiri pangan rekayasa genetika. Amerika Serikat adalah salah satu negara yang sudah menggunakan



bibit-bibit transgenik, seperti jagung, tomat, kentang, dan pepaya. Berikut ini adalah beberapa contoh tanaman transgenik (Sufyan, 2015).

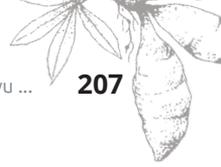
- a. Tomat ungu lebih tahan lama, sekitar 48 hari dari yang awalnya hanya 21 hari.
- b. *Grapple* merupakan hasil rekayasa genetika antara anggur dan apel.
- c. *Pluots* merupakan hasil rekayasa genetika antara buah plum dan aprikot.
- d. *Cucamelon* merupakan hasil rekayasa genetika antara semangka, mentimun, dan jeruk nipis.
- e. *Peacotum* merupakan hasil rekayasa genetika antara *peach*, aprikot, dan plum.
- f. *Lematos* merupakan hasil rekayasa genetika terhadap tomat yang memiliki aroma lemon dan bunga mawar.

GMO merupakan salah satu hasil dari proses pemuliaan tanaman yang mendapatkan perlindungan kekayaan intelektual atau disebut juga dengan Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2002 tentang Perlindungan Varietas Tanaman (UU PVT 2002) dan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2001 tentang Paten (UU Paten 2001). HKI adalah hak yang berkenaan dengan kekayaan yang timbul karena kemampuan intelektual manusia. Kemampuan tersebut dapat berupa karya di bidang teknologi, ilmu pengetahuan, seni, dan sastra (Subroto & Suprapedi, 2008). Meskipun sudah ada payung hukumnya, produk-produk hasil GMO ini tetap menimbulkan pro dan kontra di kalangan masyarakat sehingga menjadi perdebatan. Namun, diharapkan teknik rekayasa genetika tanaman ini dapat membantu mengatasi permasalahan pembangunan pertanian yang tidak lagi dapat dipecahkan secara konvensional, seperti pertumbuhan penduduk terkait dengan ketahanan pangan dan kondisi cuaca yang tidak stabil karena perubahan iklim sehingga menimbulkan tantangan tersendiri bagi sumber pangan manusia. Selain itu, diharapkan permintaan untuk bahan pangan pokok, seperti jagung, padi, ubi kayu, dan gandum yang terus meningkat setiap tahunnya, dapat terpenuhi.

Beberapa peneliti di Indonesia sudah mengembangkan berbagai tanaman transgenik. LIPI bekerja sama dengan BB Biogen mengembangkan padi tahan penggerek batang, padi tahan penyakit *blast*, dan padi tahan kering. Peneliti di berbagai universitas juga telah mengembangkan tanaman transgenik, misalnya UNS dengan padi tahan tungro; Unud dengan kedelai dengan produktivitas tinggi dengan peningkatan kandungan albumin; IPB dengan kentang tahan virus PVY, tahan jamur, dan tahan cacing nematoda; dan UGM dengan kubis tahan hawar

daun. Tidak ketinggalan pula pihak swasta yang mengembangkan tebu dengan kandungan gula tinggi, juga PTPN XI dengan tebu tahan kekeringan.

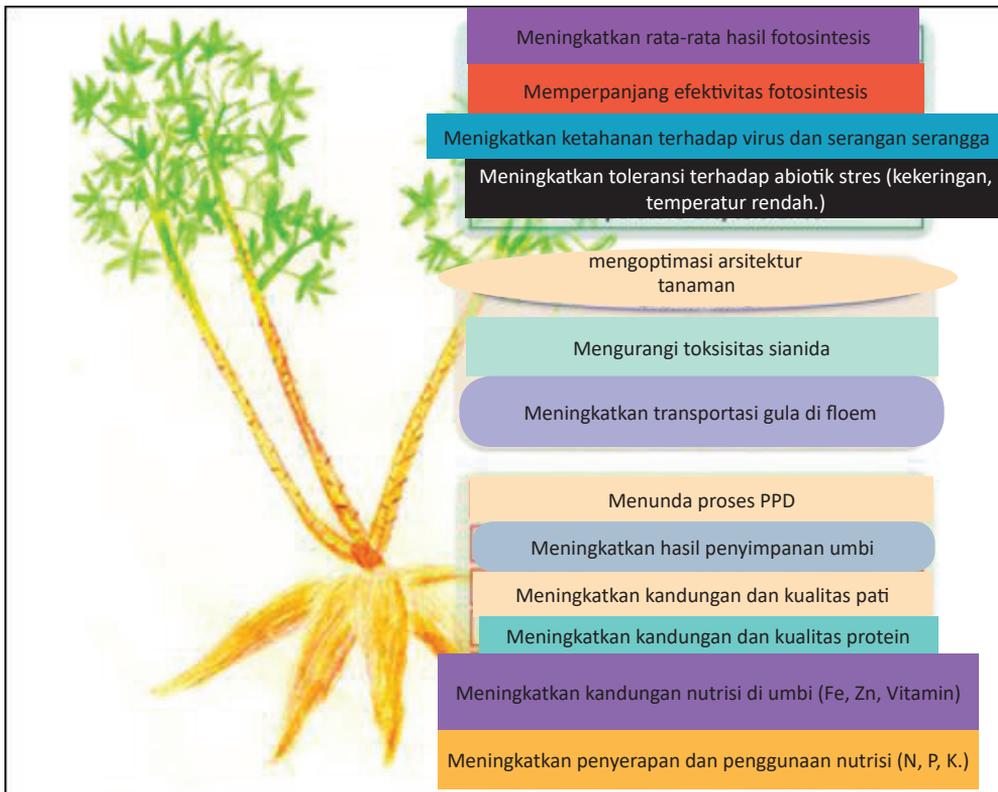
Pemuliaan ubi kayu secara tradisional sering kali mengalami kesulitan, di antaranya heterozigositas tinggi secara alami mempunyai fertilitas yang rendah sehingga buahnya juga rendah (*low fruit set rate*) dan inkompatibilitas serta pemisahan turunan F1 sulit (*serious trait separation in progeny*) (Ceballos, Hershey, & Becerra-López-Lavalle, 2012). Saat ini, perkembangan berbagai penelitian untuk memperoleh tanaman ubi kayu unggul dan untuk meningkatkan mutu genetik ubi kayu dengan teknik rekayasa genetika, telah mengalami perkembangan pesat. Perkembangan tersebut di antaranya peningkatan kualitas agronomi ubi kayu dengan teknik transgenik, misalnya peningkatan kualitas nutrisi, pengurangan kadar sianida, peningkatan biomassa, dan penundaan proses pembusukan umbi. Selain itu, teknologi rekayasa genetika pada ubi kayu diterapkan juga untuk mendapatkan varietas ubi kayu yang unggul dan tahan terhadap penyakit *cassava mozaik disease* (CMD) (Chetty dkk., 2013), tahan terhadap kekeringan (Turyagyenda dkk., 2013), dan memiliki tingkat produksi yang tinggi. Seperti terlihat pada Gambar 9.1, beberapa target pengembangan ubi kayu dapat dilakukan melalui rekayasa genetika. Pada Tabel 9.1, terdapat beberapa hasil penelitian ubi kayu terbaru yang tercatat sejak 2010 hingga kurun waktu tujuh tahun terakhir ini melalui rekayasa genetika dengan menggunakan berbagai genotipe ubi kayu yang berbeda (Chavarriaga-Aguirre dkk., 2016).



Tabel 9.1 Kultivar ubi kayu transgenik telah dilaporkan sejak 2010 dengan gen target dan sifat-sifat yang diinginkannya.

Sumber	Genotipe Ubi kayu	Gen Target
Welsch dkk. (2010)	60.444	Biofortifikasi beta <i>carotene</i> (<i>crtB</i>)
Bonilla (2010)	60.444	<i>Biofortified beta carotene</i> (<i>crtB</i> , <i>crtI</i> , <i>crtY</i>)
Zhang dkk. (2010)	60.444	<i>Leaf retention</i> (<i>senescence-inducible ipt</i>)
Zhao dkk. (2011)	60.444	Pati amilosa rendah (RNAi BGSSI)
Yadav dkk. (2011)	60.444	CBSVD (RNAi FL-CP)
Narayanan dkk. (2011)	60.444	Kandungan protein/sianida (HNL)
Taylor dkk. (2012)	60.444	RNAi CMD (ACMV/EACMV); CBSD (n.d)
Ihemere dkk. (2012)	60.444	Biofortifikasi Besi (FEAI)
Vanderschuren dkk. (2012)	TME 7 (Oko-Iyawo)	Resisten CMV dan CBSV (RNAi-CBSV coat protein)
Koehorst-van Putten dkk. (2012)	Adira-4	Pati amilosa rendah (RNAi-GBSSI)
Ogwok dkk. (2012)	60.444	Resisten UCBSV (siRNA-UCBSV coat protein)
Failla dkk. (2012)	60.444	Biofortifikasi beta carotene (<i>crtB</i> and DXS)
Odipio dkk. (2014)	60.444	Resisten UCBSV (RNAi_UCBSV coat protein)
Ntui dkk. (2015)	KU50	Resisten Sri Lankan CMV (AV2 dan AV1 coat protein)
Narayanan dkk. (2015)	TME 204	Biofortifikasi besi (<i>AtVIT1</i>)
Chauhan dkk. (2015)	TME 204, TME7, 60444	Resisten terhadap CBSV dan UCBSV, Meningkatkan kandungan karoten pada umbi
Li dkk. (2015)	6044	Biofortifikasi vitamin B6 (<i>AtTDX1.1</i> dan <i>AtTDX2</i>)
CIAT 2015 (review) ^y	60444, SM1219-9	Teknik Sentromer untuk toleransi induksi dan herbisida haploid (PPT) (RNAi-CENH3 dan versi modifikasi dari CENH3 <i>plus bar</i>); toleransi terhadap PPD (<i>root-specific</i> SOD) <i>w</i> ; resistensi terhadap <i>Xanthomonas</i> (RNAi-RXam1) <i>v</i> ; pembukaan stomata (penjaga sel-spesifik <i>AtAHA2</i>); induksi berbunga (phloem-spesifik <i>Hd3a</i> dari beras)

Sumber: Chavarriaga-Aguirre dkk. (2016)

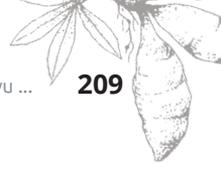


Sumber: Liu, Zheng, Ma, Gadidasu, dan Zhang (2011)

Gambar 9.1 Peningkatan mutu agronomi ubi kayu dengan teknik rekayasa genetika telah dilakukan di dunia.

Sementara itu, para ahli rekayasa tanaman dari ETH Zurich Swiss dan University of Geneva, berhasil mengembangkan tanaman singkong yang mampu menghasilkan vitamin B6 dengan kadar yang lebih tinggi beberapa kali lipat pada akar dan daunnya. Temuan ini diharapkan dapat membantu melindungi jutaan orang, terutama di Afrika dari kekurangan vitamin B6 yang serius (“Rekayasa genetika singkong,” 2016). Vitamin B6 sendiri merupakan campuran dari tiga molekul yang sama, yaitu pyridoxol, piridoksin, dan pyridoxamine. Ini adalah prekursor dari piridoksal fosfat, yakni salah satu ko-enzim yang paling penting dalam tubuh yang terlibat dalam perakitan dan modifikasi protein. Tubuh manusia tidak dapat memproduksi vitamin B6. Itulah alasan mengapa vitamin ini harus disertakan dalam makanan.

Beberapa lembaga penelitian dunia, seperti Cassava Biotechnology Network (CBN), International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Swiss Federal Institute



of Technology (ETH), Donald Danforth Plant Science Center, termasuk LIPI (Indonesia) juga turut serta dalam melakukan penelitian untuk pengembangan tanaman ini. Di Indonesia, pengembangan penelitian ubi kayu dengan teknik rekayasa genetika telah dilakukan di beberapa instansi pemerintah, seperti di Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi), dan Institut Pertanian Bogor (IPB).

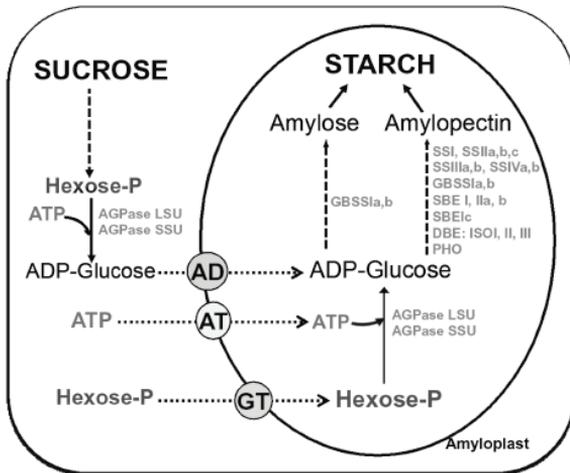
LIPI, dalam hal ini Pusat Penelitian Bioteknologi, telah melakukan penelitian modifikasi pati ubi kayu secara genetik melalui mutasi dan pembentukan tanaman transgenik dengan memanfaatkan tanaman ubi kayu lokal, yaitu varietas Adira-4. Dari hasil penelitian tersebut, telah dihasilkan beberapa klon unggul yang memiliki pati dengan kualitas tinggi, seperti ubi kayu amilosa rendah, ubi kayu amilosa tinggi, dan ubi kayu dengan ukuran granula pati kecil. Selain itu, telah dilakukan penelitian untuk menyiasati perubahan iklim yang lebih kering di masa depan sejak awal tahun 2000, dengan diperolehnya gen penyandi *phytoenesynthase* (Psy) yang terlibat dalam biosintesis beta karoten pada ubi kayu (singkong). Beta karoten ini diduga berkorelasi dengan ketahanan terhadap kekeringan (Saputro, 2015).

Diharapkan dengan adanya varian-varian baru hasil mutasi random atau pun mutasi terarah melalui teknik rekayasa genetika, ubi kayu dapat bersaing dengan komoditas tanaman lainnya, seperti jagung yang telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku di berbagai industri. Sebagai contoh, varian mutasi dari jagung kernel seperti jagung manis, *popcorn*, dan jagung dengan kandungan amilosa rendah mampu menjadi lahan komoditas industri yang berkembang pesat (Ceballos dkk., 2007).

D. JALUR BIOSINTESIS PATI

Dalam jalur biosintesis pati, enzim-enzim yang berperan ada empat macam, yaitu ADP-*glucose pyrophosphorylase* (AGPase), *starch synthase* (SS), *starch branching enzyme* (BE), dan *starch debranching enzyme* (DBE) (Gambar 9.2). Di antara keempat enzim tersebut, SSs dan BEs merupakan enzim yang sangat penting dalam proses biosintesis pati (Abe dkk., 2014). ADP-glukosa disintesis dari enzim ADP-*glucose pyrophosphorylase* yang sebelumnya tidak digunakan dalam plastid sel. Saat ini, *pyrophosphorylase* diperkirakan terletak di amyloplast pada tanaman kentang dan kacang polong, sedangkan pada tanaman barley, enzim ini kemungkinan terletak di dalam sitoplasma. Pada tanaman sereal, enzim ini memiliki bentuk yang unik dari

primordial aslinya (Burrieza, López-Fernández, & Maldonado, 2014). Bagian-bagian yang asli dari ADP-glucose pyrophosphorylase masih bersifat kontroversial, tetapi memiliki suatu area penting sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut (Beckles & Thitisaksakul, 2010).



Keterangan: Amilopektin disintesis dari Starch Synthases dan Branching Enzyme. Amilosa disintesis dengan bantuan enzim Granule-Bound Starch Synthase (GBSS).

Sumber: Beckles dan Thitisaksakul (2010)

Gambar 9.2 Jalur biosintesis pati melibatkan interkonversi gula, gula fosfat, dan gula nukleotida (nucleotide-sugars).

Tahap awal biosintesis pati dilakukan dengan penambahan gugus glukosil sisa dari ADP-glucose ke dalam gugus awal dari ikatan alfa 1,4- glukosa, baik pada sintesis pembentukan amilopektin maupun pada amilosa (Ohdan dkk., 2005). ADP-glucose yang berasal dari *glucose-1-phosphate* dan ATP dikatalisasi oleh enzim *ADP-glucose pyrophosphorylase*, baik di sitosol, di endosperm pada tanaman biji-bijian maupun di dalam plastid pada tanaman nonbiji-bijian (James, Denyer, & Myers, 2003). Pemanjangan dari ikatan alfa 1,4-glukan dilakukan oleh enzim *starch synthases* (SS) untuk amilosa atau *granule bound starch synthase* (GBSS) untuk amilopektin (Ohdan dkk., 2005).

Ada beberapa bentuk isoform dari enzim SS yang terbagi menjadi empat kelompok berdasarkan sekuen homologinya, yaitu SSI, SSII, SSIII, SSIV yang memiliki homologi sekuen. Setiap isoform yang berbeda, memiliki fungsi yang berbeda pula dalam formasi biosintesis pati. Isoform enzim SS, baik yang larut dalam stroma pada plastid maupun sebagian larut, berkaitan dengan granula pati. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa mutan dari isoform SS ini menunjukkan adanya



berbagai variasi fenotipe dengan perubahan kandungan pati, morfologi pati, dan umumnya pada panjang rantai distribusi dari amilopektin (Zeeman, Kossmann, & Smith, 2010; Brust, Lehmann, D'Hulst, & Fettke, 2014).

GBSSI berlawanan dengan SS terlarut di dalam granul pati yang bertanggung jawab terhadap pemanjangan rantai glukukan sangat panjang yang ditemukan pada amilosa (Wattebled dkk., 2002). Mutasi atau *down* regulasi dari *waxy* *gen* yang mengodekan GBSSI pada banyak tanaman menunjukkan hilangnya kandungan amilosa di pati (Raemakers dkk., 2005).

Di beberapa studi yang dilakukan oleh Seung dkk. (2015) pada tanaman *Arabidopsis* mutan terhadap *Protein Targeting to Starch enzyme* (PTST), ada penampakan fenotipik dari kurangnya kandungan amilosa pada patinya. Sementara itu, ikatan 1,6 glukukan dibuat oleh enzim SBE yang menghidrolisis ikatan 1,4 pada rantai dan kemudian mengatalisis formasi ikatan 1-6 dengan mengurangi ikatan terakhir dari rantai glukukan yang telah terpotong dan residu glukosa yang lainnya yang kemungkinan adalah satu dari rantai yang terhidrolisis. Rantai-rantai cabang tidak terbentuk secara acak, namun terbentuk secara periodik yang terdiri atas 20 residu glukukan (Burton dkk., 1995). Enzim SBE memiliki spesifikasi untuk ikatan 1-4 glukukan yang digunakan sebagai substrat (Gambar 9.2).

E. MODIFIKASI PATI UBI KAYU SECARA REKAYASA GENETIKA

Kualitas pati merupakan salah satu sifat penting dalam program pemuliaan ubi kayu sehingga perlu dilakukan rekayasa genetika terkait dengan metabolisme biosintesis pati ubi kayu untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas patinya (Baguma, 2004). Pemahaman mengenai biosintesis pati penting dalam upaya memodifikasi kandungan amilosa dan amilopektin karena rasio amilosa dan amilopektin berpengaruh terhadap kualitas pati yang dihasilkan. Sebagai contoh, pembentukan varietas ubi kayu dengan kadar amilosa rendah dan tinggi sangat dibutuhkan. Amilosa disintesis oleh enzim *granule-bound starch synthase* I (GBSSI) sehingga penghambatan aktivitas enzim tersebut akan diikuti dengan penurunan kandungan amilosa (Zhao, Dufour, Sánchez, Ceballos, & Zhang, 2011).

Modifikasi pati dilakukan dengan mengubah bentuk granula atau mengubah komposisi amilosa dan amilopektin. Modifikasi pati penting dilakukan untuk mengatasi kekurangan sifat fungsional pati alami sehingga dapat digunakan sesuai dengan sifat yang dibutuhkan dan memperluas penggunaan pati dalam proses pengolahan pangan serta menghasilkan karakteristik produk pangan yang



diinginkan (Kusnandar, 2010). Dengan demikian, nilai ekonomi pati alami tersebut menjadi lebih tinggi.

Modifikasi pati ubi kayu dapat dilakukan secara fisik, kimia, enzimatik, dan genetik (Kavlani, Sharma, & Singh, 2012). Modifikasi pati secara fisik merupakan cara yang sederhana, murah, dan aman karena tidak membutuhkan bahan kimia atau agen hayati. Modifikasi pati secara fisik dilakukan, terutama untuk mengubah struktur granula dan mengubah pati alami menjadi pati yang dapat larut dalam air dingin atau pati dengan ukuran granula lebih kecil. Modifikasi secara kimiawi akan mengubah perilaku gelatinisasi, sifat pasta, dan retrogradasi pati. Namun, modifikasi pati secara kimiawi memiliki keterbatasan terkait dengan isu-isu mengenai keamanan konsumen dan lingkungan. Sementara itu, modifikasi pati secara enzimatik melibatkan sejumlah enzim, seperti α -glucosidase, amiloglukosidase (Kasprzak dkk., 2012), dan enzim amilase termasuk di dalamnya adalah α -amilase, β -amilase, dan glukamilase (Horvathova, Janecek, & Sturdik, 2000), terutama enzim hidrolisis yang cenderung menghasilkan senyawa turunan yang sangat fungsional. Modifikasi pati secara enzimatik merupakan cara yang lebih aman untuk lingkungan dan konsumen. Selanjutnya, modifikasi secara genetik dapat dilakukan melalui teknik pemuliaan tanaman konvensional atau melalui bioteknologi yang menghasilkan pati amilosa rendah, pati amilosa tinggi, dan perubahan ukuran pati yang disesuaikan dengan tujuan modifikasi genetik. Sementara itu, modifikasi pati melalui rekayasa genetika bertujuan untuk mengubah sifat kimia dan atau fisik pati secara alami, yaitu dengan cara memotong struktur molekul, menyusun kembali struktur molekul, oksidasi, dan substitusi gugus kimia pada molekul pati (Finch, 1986). Ke depan, modifikasi pati secara genetik melalui kegiatan pemuliaan tanaman memiliki prospek yang bagus dan dapat menekan upaya modifikasi pati secara kimia yang tidak ramah lingkungan.

Perakitan ubi kayu transgenik dengan kandungan amilosa rendah pertama kali dilaporkan oleh Raemakers dkk. (2005) dengan genotipe asal Indonesia, yaitu varietas Adira-4. Pati ubi kayu amilosa rendah yang diperoleh dari Adira-4 memiliki karakteristik yang sama dengan genotipe TMS60444, berdasarkan hasil penelitian Raemakers dkk. (2005). Setelah itu, banyak penelitian serupa yang dilakukan (Raemakers dkk., 2005; Zhao dkk., 2011). Uji lapangan untuk tanaman ubi kayu transgenik dengan kandungan amilosa rendah ini dilakukan di Indonesia (Koehorst-van Putten dkk., 2012).

Namun, pada 2006 Hernan Ceballos beserta rekannya dari CIAT mengidentifikasi suatu varietas singkong baru dengan penurunan kandungan amilosa yang



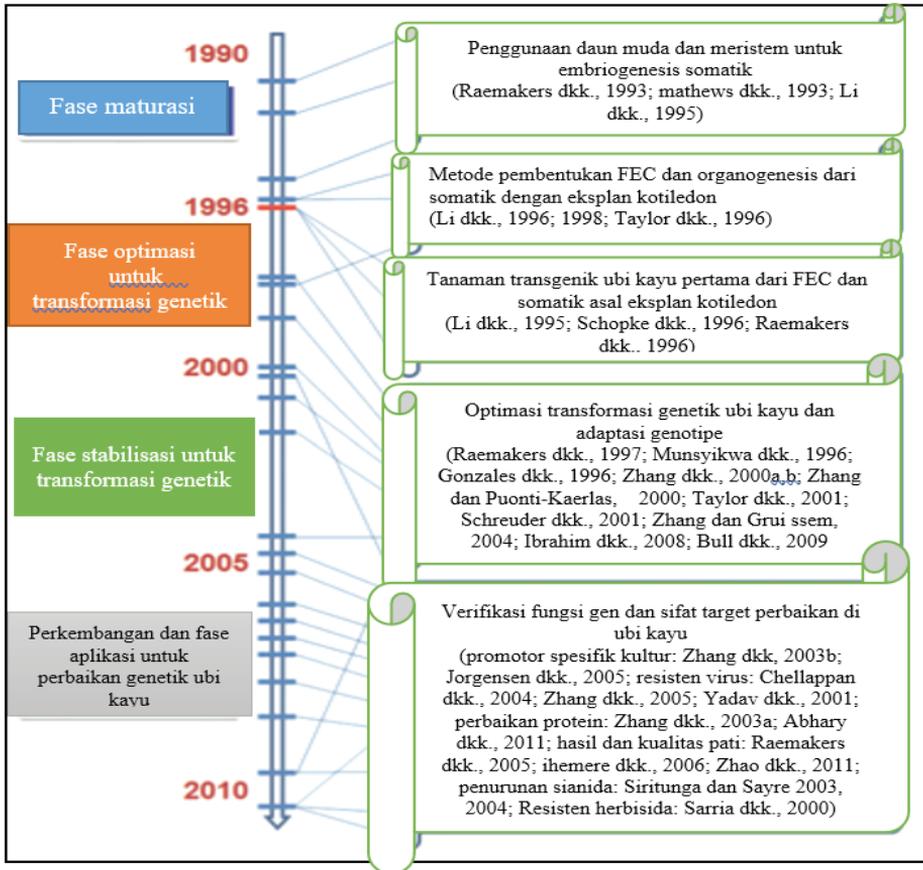
cukup signifikan. Dibandingkan varietas singkong tradisional yang sulit dicerna dengan kandungan 17–25%, mutan itu hanya mengandung rata-rata 3,4% amilosa. Para ilmuwan tidak menemukan adanya pengurangan dalam kandungan pati. Oleh karena itu, singkong tersebut dapat memberikan lebih banyak karbohidrat dibandingkan varietas tradisionalnya. Ini merupakan laporan pertama dari suatu mutasi alami dalam tanaman singkong yang menyebabkan pengurangan drastis kandungan amilosa dalam pati akar. Selain menjadi lebih bergizi dan mudah dicerna, varietas baru tersebut mungkin juga layak bagi produksi bioetanol (Ceballos dkk., 2007). Saat ini, kultivar ubi kayu dengan kandungan amilosa rendah yang akan dilepas ke masyarakat sedang dikembangkan oleh Thailand, Kolombia, dan Brasil (Karlström, 2015).

F. TAHAPAN MODIFIKASI KOMPOSISI PATI SECARA REKAYASA GENETIKA DI LIPI

Modifikasi komposisi pati amilosa rendah dan tinggi secara rekayasa genetika melibatkan kerja sama antara Puslit Bioteknologi LIPI dan pihak asing, yaitu AVEBE dan Wageningen University-Research Centre, Netherland melalui Program Riset Insentif Kementerian Negara Riset dan Teknologi. Riset ubi kayu transgenik amilosa rendah ini merupakan riset pertama di dunia untuk varietas Indonesia. Beberapa tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan ubi kayu transgenik amilosa tinggi atau pun rendah tersebut diantaranya sebagai berikut.

1. Persiapan Material FEC untuk Transformasi Genetika

Material yang digunakan untuk transformasi genetika ubi kayu yang mengandung amilosa rendah dan tinggi adalah *friable embryogenic callus* (FEC). FEC ini menggunakan tanaman ubi kayu asli Indonesia, yaitu varietas Adira-4 (Anggraini dkk., 2009). Seperti tampak pada Gambar 9.3, saat ini FEC lebih banyak dimanfaatkan sebagai material transformasi karena berasal dari sel tunggal dan terbukti lebih efisien sebagai target untuk integrasi transgen (Bull dkk., 2009; Taylor dkk., 2012), dibandingkan embrio somatik yang memiliki struktur kalus multiseluler, yang mana dapat meningkatkan kimera pada tanaman transgenik yang dihasilkan (Raemakers, Sofiri, Jacobsen, & Visser, 1997; Quiroz-Figueroa, Rojas-Herrera, Galaz-Avalos, & Loyola-Vargas, 2006; Liu dkk., 2011).



Sumber: Liu dkk. (2011)

Gambar 9.3 Sejarah Perkembangan Penggunaan FEC sebagai Bahan yang Efektif untuk Transformasi Genetik pada Ubi Kayu

Material yang digunakan untuk memperoleh FEC ubi kayu, yaitu *young leaflobe* dan meristem *in vitro*. Material tersebut diinduksi pada media yang mengandung hormon auksin Pikloram dengan konsentrasi berkisar antara 12 mg/l. Ada dua tahap untuk memperoleh FEC, yaitu induksi kalus primer dan induksi kalus sekunder. Kalus sekunder yang terbentuk diproliferasi dan disubkultur berulang di media dengan komposisi yang sama hingga diperoleh FEC (Gambar 9.4). Proliferasi FEC dari 10 individu *line* dikulturkan pada media GD4 yang mengandung setengah konsentrasi Gresshoeff & Doy (GD) *salts and vitamins*, dan setengah konsentrasi Murashige & Skoog (MS) *salts and vitamins*, dengan penambahan 40 g/l sukrosa, 10 mg/l Pikloram, dan 10 mg/l mikro agar.



Sumber: Fathoni (2017)

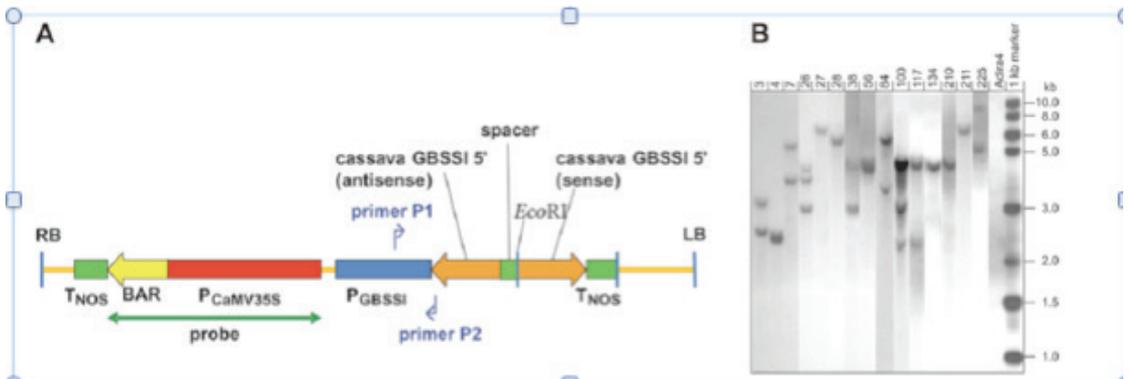
Gambar 9.4 Tahapan Pembentukan *Friable Embryogenic Callus* (FEC) pada Ubi Kayu

Media induksi kalus primer adalah MS ditambah 2 μM , 2% sukrosa, 12 mg/l Pikloram (CIM, *callus induction medium*). Semenetera itu, media induksi kalus sekunder yang digunakan adalah GD dengan penambahan 2% sukrosa, 12 mg/l Pikloram. Pada setiap media induksi, eksplan diinkubasi di ruang kultur dengan suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Untuk induksi kalus primer, diinkubasi selama 3–4 minggu tanpa cahaya kemudian ditransfer ke media untuk induksi sekunder. Selanjutnya, induksi kalus sekunder diinkubasi selama 3–4 minggu dengan cahaya dan subkultur berulang di media baru dengan komposisi yang sama setiap 3–4 minggu.

2. Konstruk Gen yang Berkaitan dengan Modifikasi Pati Amilosa Rendah secara Rekayasa Genetika

Konstruksi *Ribonucleic acid interference* (RNA1) digunakan untuk mendapatkan kadar amilosa rendah, yaitu konstruksi RNA1 p5IRTCGBa (Gambar 9.5) yang digunakan untuk menciptakan ubi kayu transgenik amilosa rendah. Konstruksi ini terdiri atas *inverted repeat* dari bagian gen GBSSI di ubi kayu (Salehuzzaman, Jacobsen, & Visser, 1993). *Inverted repeat* adalah sekuen fragmen yang diambil dari 50 bagian dari cDNA GBSSI dari ubi kayu dengan ukuran 621 bp (dari basa ke 175 sampai basa 795 dari Genbank sekuen X74160).

Selain itu, bagian konstruksi lain adalah *spacer* yang terdiri atas 150 bp fragmen dari 50 sekuen fragmen dari cDNA GBSSI (dari basa 25 ke basa 174 dari sekuen dari genbank X74160). Konstruksi dari GBSSI *inverted repeat* dikendalikan oleh promotor dari GBSSI yang diisolasi dari kentang (Visser, Stolte, & Jacobsen, 1991) dan diterminasi oleh *nopaline synthase* (NOS) *terminator*. Plasmid mengandung *bar* gen (Strauch dkk., 1988) sebagai marker seleksi untuk resistensi terhadap herbisida (Basta atau *phosphinothricin*). *Gen bar* diklon di antara promotor CaMV 35S (Benfey, Ren, & Chua, 1990) dan terminasi NOS (Gambar 9.5).



Keterangan: Skema konstruksi T-DNA dari vektor p5IRTCGBA (5.786 bp) dilakukan dengan *insert* gen GBSSI untuk analisis PCR dan *probe*-nya untuk analisis *Southern blot*. Selanjutnya, *Southern blot* DNA dari 15 transforman digunakan untuk uji lapang dan kontrol Adira yang tidak ditransformasi.

Sumber: Koehorst-van Putten dkk. (2012)

Gambar 9.5 Skema Konstruksi T-DNA dari Vektor

Proses konstruksi plasmid p5IRTCGBa secara detail adalah sebagai berikut.

1. Plasmid vektor biner pKGBA50mfIR1.1 (de Vetten dkk., 2003) dipotong dengan enzim restriksi Bam HI dan diligasi untuk menghilangkan *inverted repeat* dari GBSSI kentang.
2. T-DNA hasil dari vektor pPGBmf yang mengandung promoter GBSSI dan terminasi NOS dipisahkan dari *polylinker* yang mengandung situs enzim pemotongan BamHI.
3. Kaset gen CaMV 35S promoter—gen bar—terminasi NOS didapatkan dari plasmid pDE110 dengan menggunakan enzim pemotongan EcoRI/HindIII dan diklon ke dalam plasmid pAAP172 yang sudah dipotong juga dengan enzim restriksi EcoRI/HindIII (paten WO03010319).
4. Situs BamHI yang terletak di antara sekuen yang mengodekan bar dan terminasi NOS dihilangkan dengan enzim restriksi BamHI yang *sticky ends* dengan menggunakan *Klenow treatment* dan ligasi dari *blund ends*.
5. Kaset gen bar yang didapatkan dari plasmid yang telah dipotong dengan enzim restriksi NdeI dan diklon ke dalam plasmid pPGBmf yang telah dipotong dengan enzim restriksi VspI sehingga menghasilkan vektor pPGBbar2.
6. cDNA GBSSI dari ubi kayu yang berasal dari plasmid pG61 (Salehuzz-aman dkk., 1993) kemudian di PCR dengan menggunakan primer templat, yaitu 5CASGBF1 (5'-TAG AAT TCA CCA GCG GAA CCT ATT TT-3') + 5CASGBR1 (5'-TGT CTA



GAA TGG AAG CAG AGC AGT GT-3') dan CASGBF₂ (5'-ATG AAT TCG GAC CCA AAC TAT CAC TC-3') + 5CASGBR₁ sehingga menghasilkan dua produk PCR. Primer *forward*-nya mengandung situs enzim EcoRI pada 50 basa terakhir, sedangkan primer *reverse*-nya mengandung XbaI pada urutan 50 basa terakhir.

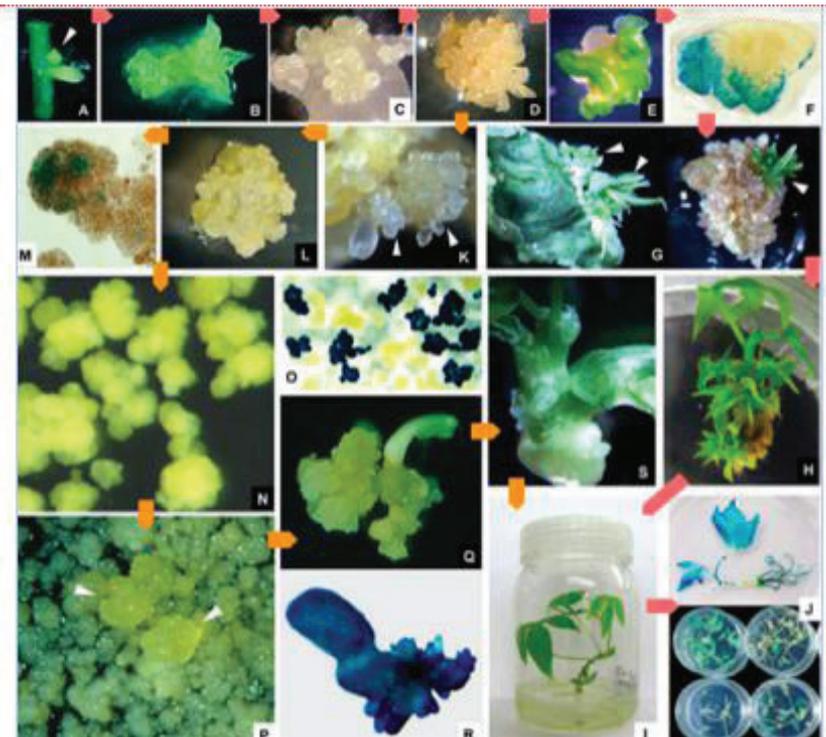
7. Dua fragmen PCR tersebut kemudian diklon ke dalam pGEM-T (Promega), yang kemudian dipotong dengan menggunakan enzim pemotongan EcoRI/XbaI.
8. Dua fragmen ini kemudian diligasi ke dalam plasmid pMTL₂₄, yang telah di potong dengan menggunakan enzim restriksi XbaI sehingga menghasilkan *inverted repeat* dari 50 sekuen basa dari cDNA GBSSI ubi kayu.
9. *Inverted repeat* kemudian diambil dari plasmid pMTL₂₄ dengan memotongnya dengan enzim restriksi BamHI dan diklon ke dalam plasmid pPGBbar₂ yang telah dipotong dengan menggunakan enzim restriksi BamHI.
10. Dua vektor yang telah dihasilkan, yaitu p5IRTCGBa dan p5IRTCGBb, memiliki orientasi yang berbeda dari sekuen *spacer*. Hanya vektor p5IRTCGBa yang digunakan untuk transformasi.
11. Vektor tersebut lalu ditransformasikan ke dalam *Agrobacterium tumefaciens* strain AGLo dengan elektroporasi (Koehorst-van Putten dkk., 2012).

3. Transformasi *A. tumefaciens* yang Mengandung Konstruksi Plasmid p5IRTCGBa ke Tanaman Ubi kayu

Setiap klum FEC yang berisi sekitar 200 mg FEC diletakkan di atas filter membran di media MS₄ dengan 40 g/l sukrosa, kemudian ditambahkan 10 mg/l Pikloram. 50 µl *Agrobacterium* yang dikulturkan selama semalam kemudian ditransformasikan pada FEC ubi kayu dengan cara merendam FEC ke dalam larutan bakteri *A. tumefaciens* yang kemudian dikokultivasi pada suhu 28°C selama 2 hari. Tiap *line* FEC diinokulasikan dalam 10 petri. Setelah diinokulasikan, FEC dikulturkan pada media cair *Schenk and Hildebrandt* (SH), 60 g/l sukrosa ditambah 10 mg/l pikloram dan 200 mg/l claforan selama seminggu untuk tujuan seleksi awal dari positif transforman FEC. Setelah seminggu, FEC diseleksi kembali pada media padat (10 mg/l agar), dengan penambahan komposisi GD₄, penambahan 10 mg/l pikloram, 200 mg/l claforan dan 1 mg/l Phosphinothricin (PPT). Setelah 4–6 minggu, koloni dari *A. tumefaciens* di kultur FEC tersebut tumbuh di media seleksi yang menunjukkan kandidat positif transforman di mana FEC tersebut kemungkinan sudah tersisipi

gen yang diinginkan. Hal ini dikarenakan plasmid yang digunakan resisten terhadap antibiotik claforan dan PPT sehingga FEC yang tumbuh diperkirakan yang berhasil tersisipi plasmid gen yang diinginkan.

Untuk uji lanjutan terhadap kandidat positif transforman tersebut, dilakukan PCR koloni dari *A. tumefaciens* tersebut dengan mengambil koloni tunggal pada kultur FEC yang tumbuh yang kemudian dilakukan PCR dengan menggunakan primer *forward* P1 5'-GAG GGA GTT GGT TTA GTT TTT AGA-3' (yang merupakan *annealing* dari sekuen GBSSI promotor kentang) dan primer *reverse* P2 5'-ACA CTG CTC TGC TTC CAT TCT-3' yang terdapat di dalam kaset konstruksi vektor binari p5IRTGGBa. Sampel FEC yang menunjukkan positif koloni *A. tumefaciens* dari hasil PCR, kemudian diperbanyak di media seleksi kembali yang mengandung 5 mg/l PPT untuk menyeleksi *A. tumefaciens* yang tidak tersisipi plasmid gen yang diinginkan. FEC yang masih bertahan kemudian diperbanyak kembali di media yang mengandung 10 mg/l PPT. Akhirnya, regenerasi FEC menjadi planlet dilakukan dengan menumbuhkan di media regenerasi (Gambar 9.6) (Liu dkk., 2011).



Sumber: Liu dkk. (2011)

Gambar 9.6 Ilustrasi tahapan transformasi FEC ubi kayu dengan *A. tumefaciens* sampai dengan regenerasi FEC menjadi planlet.



Setelah planlet hasil transformasi diregenerasikan, tahap selanjutnya adalah aklimatisasi di rumah kaca. Tanaman transgenik *in vitro* diaklimatisasi di pot kecil yang ditutup dengan plastik untuk menjaga kelembapan. Penambahan Perlite yang dicampurkan ke dalam tanah digunakan untuk mencegah terjadinya kematian tanaman transgenik *in vitro* karena kelebihan air dan juga serangan jamur karena tingkat kelembapan yang tinggi. Di samping itu, penambahan penyemprotan tanaman dilakukan dengan menggunakan Admire (0,03 g/l) untuk mencegah serangan larva *gnats* (*Sciara prothalliorum*) (Koehorst-van Putten dkk., 2012).

4. Uji Lapang Ubi kayu Transgenik

Pada 1997 mulai diberlakukan peraturan keamanan hayati GMO di Indonesia dengan dikeluarkannya Keputusan Menteri Pertanian Nomor 856/Kpts/HK.330/9/1997 tentang Ketentuan Keamanan Hayati Produk Bioteknologi Pertanian Hasil Rekayasa Genetik (PBPHRG) (Herman, 2016). Dalam rangka pengaturan keamanan hayati dan keamanan pangan suatu produk pertanian hasil rekayasa genetika, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) Nomor 61/2011. Peraturan ini mengatur tentang prosedur pengujian, penilaian, pelepasan, dan penarikan varietas rekayasa genetika (GMO).

Menurut Herman (2010), dalam proses pengkajian keamanan hayati, tanaman GMO harus melalui tahapan pengujian di fasilitas uji terbatas (FUT) dan lapangan uji terbatas (LUT). FUT adalah suatu fasilitas yang dibangun untuk melaksanakan kegiatan perakitan dan pengujian tanaman GMO dengan konsep pengelolaan risiko sampai pada suatu tingkat yang dapat diterima. FUT dibangun dengan mengikuti standar keamanan hayati internasional. FUT terdiri atas gedung utama (*head-house*), rumah kaca, dan rumah kasa (Traynor dkk., 2001 dalam Herman, 2016). Rumah kaca dibangun dari dinding yang terbuat dari polikarbonat dan kasa 200 mesh, dengan sistem pintu ganda (*double door*) untuk mencegah terjadinya penyebaran serbuk sari. Rumah kaca juga dilengkapi dengan *shelldeck* dan *exhaust fan* untuk memperoleh suhu ruangan mendekati suhu udara luar dan tidak mengganggu fungsi sebagai *containment* yang memiliki kesamaan lingkungan dengan tempat tumbuh terbuka. Sesuai dengan kebutuhan untuk mengakomodasi tanaman dataran tinggi seperti kentang, rumah kaca juga dapat dilengkapi dengan *chiller* dan atau AC. Rumah kasa dibuat dari kawat kasa dengan sistem pintu ganda.



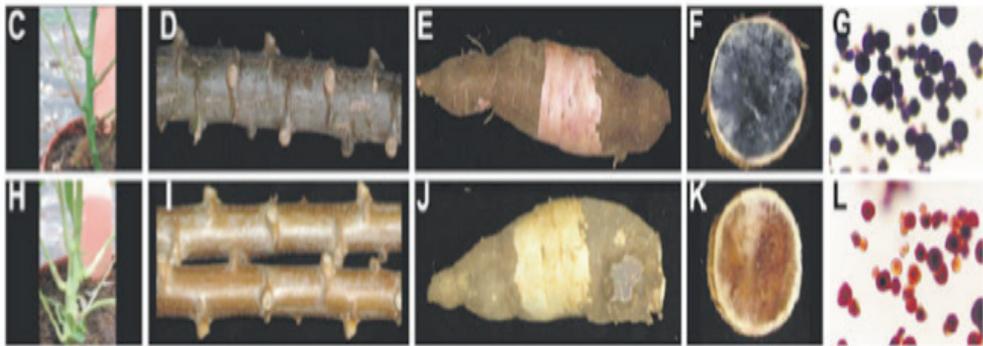
Seperti halnya pengujian tanaman GMO di FUT, LUT yang digunakan untuk percobaan tanaman GMO juga harus memenuhi ketentuan pembatasan/pengamanan (*confinement*) gen novel. Ketentuan tersebut meliputi (1) pencegahan lepasnya gen novel dari lokasi percobaan melalui serbuk sari, biji/benih, atau bagian tanaman lain (*genetic confinement*); (2) pencegahan bahan tanaman GMO untuk dikonsumsi oleh manusia dan hewan ternak (*material confinement*); dan (3) pencegahan lepasnya tanaman GMO dari lokasi percobaan (*material confinement*). Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mencegah atau menghindarkan pemindahan gen, antara lain (1) isolasi jarak, isolasi biologis, misalnya kedelai GMO ditanam di sekitar tanaman melon, jagung, dan padi gogo; (2) isolasi waktu, misalnya jagung GMO ditanam di sekitar tanaman jagung lokal yang hampir panen; (3) isolasi fisik, misalnya kapas GMO ditanam pada lahan bera; dan (4) isolasi reproduktif, misalnya dengan melakukan perompesan bunga atau membungkus bunga tanaman GMO menggunakan kantong khusus, biasanya dilakukan pada tanaman menyerbuk silang, seperti jagung.

Tanaman GMO ubi kayu yang mengandung pati amilosa rendah dan tinggi yang diperoleh dari hasil rekayasa genetika yang dilakukan bersama antara LIPI dan Wageningen University (WUR) diuji lapang pada kondisi lingkungan endemiknya, yaitu di kawasan *Cibinong Science Centre* (CSC). Mengingat ini adalah tanaman transgenik, ada beberapa tahapan yang harus dilalui sebelum ditanam di lapang. Pertama, penanaman di fasilitas uji terbatas (FUT) dilakukan sebanyak dua kali, yaitu selama kurang lebih 6–8 bulan dengan tujuan untuk memperbanyak bibit terlebih dahulu, kemudian untuk penanaman kedua kalinya di FUT membutuhkan waktu 2–3 bulan sebelum dipindah ke *screenhouse*. Penanaman di-*screenhouse* dilakukan sebanyak dua kali juga; yang pertama bertujuan untuk memperbanyak bibit. Selanjutnya, ditanam di kebun percobaan atau LUT. Baik FUT maupun LUT dibangun sesuai dan mengikuti standar keamanan hayati internasional.

Setelah tanaman berumur 4 bulan, secara morfologi tanaman transgenik ubi kayu dengan kandungan amilosa rendah dan tinggi memiliki tingkat keragaman yang tinggi. Beberapa keragaman tersebut terlihat dari warna daun, terutama pada pucuk, warna batang tua dan muda, warna petiol, dan warna umbi. Pada tanaman GMO ubi kayu amilosa rendah, terlihat jika warna batang muda dan tua serta warna korteks dan daging umbi berbeda dari tanaman induknya, yaitu varietas Adira-4 (Gambar 9.7). Namun, untuk tanaman GMO ubi kayu amilosa tinggi, warna dan bentuk umbi belum dapat diamati secara detail karena dua kali penanaman. Saat penanaman pertama hanya ada tiga nomor yang mampu berumbi dengan ukuran



yang sangat kecil dan saat penanaman kedua yang awalnya berumbi, menjadi berupa pembengkakan pada pangkal batang (Gambar 9.8). Selain itu, tegakan pada tanaman ini lebih rapuh seperti merunduk dengan ukuran batang yang kecil sehingga memerlukan penyangga seperti ajir. Penyangga tersebut digunakan untuk berdirinya tanaman di hampir semua aksesinya meskipun tanaman sudah berumur lebih dari 5 bulan. Selain itu, percabangannya lebih banyak dibandingkan tanaman kontrolnya, yaitu varietas Adira-4.



Sumber: Koehorst-van Putten dkk. (2012)

Gambar 9.7 Perbandingan Karakteristik Morfologi Tanaman Transgenik Ubi Kayu Amilosa Rendah (Gambar H-L) dan Tanaman Kontrol Varietas Adira-4 (Gambar C-G) yang Ditanam di Puslit Bioteknologi LIPI



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 9.8 Keragaman Karakter Morfologi dari Tanaman Transgenik Ubi Kayu Amilosa Tinggi yang Ditanam di Puslit Bioteknologi LIPI



G. KESIMPULAN

Modifikasi komposisi pati ubi kayu dengan teknik rekayasa genetika untuk memperbaiki karakteristik pati ubi kayu, terutama komposisi amilosa dan amilopektin yang rendah dan atau tinggi, dilakukan dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan dan industri yang belum dapat dilakukan secara efektif dengan teknik konvensional. Perkembangan rekayasa genetika ubi kayu dengan menggunakan bahan dari FEC ubi kayu menjanjikan untuk terus dikembangkan. FEC merupakan sel tunggal sehingga integrasi gen yang diinginkan dan kestabilan genetik dari tanaman transgenik yang dihasilkan ubi kayu dapat teruji potensinya. Tahapan transformasi dengan menggunakan mediasi *A. tumefaciens* merupakan metode yang efektif untuk mendapatkan ubi kayu transgenik. Beberapa faktor, seperti genotipe ubi kayu, kualitas material yang digunakan, dan konstruk gen yang dibuat, menentukan keberhasilan dari tanaman transgenik yang dihasilkan. Teknologi rekayasa genetika ubi kayu merupakan teknik yang menjanjikan untuk terus dikembangkan, tidak hanya untuk memperbaiki karakteristik pati ubi kayu, tetapi juga sifat agronomi lain, seperti ketahanan terhadap penyakit dan cekaman kekeringan yang sangat bermanfaat untuk mengatasi permasalahan secara global dan di Indonesia pada khususnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, N., Asai, H., Yago, H., Oitome, N. F., Itoh, R., Crofts, N., ... & Fujita, N. (2014). Relationships between starch synthase I and branching enzyme isozymes determined using double mutant rice lines. *BMC plant biology*, 14(1), 80.
- Aiemnaka, P., Wongkaew, A., Chanthaworn, J., Nagashima, S. K., Boonma, S., Authapun, J., ... & Sreewongchai, T. (2012). Molecular characterization of a spontaneous waxy starch mutation in cassava. *Crop science*, 52(5), 2121–2130.
- Anggraini, V., Sudarmonowati, E., Hartati, N. S., Suurs, L., Visser, R. G. F., & Genotypes, I. (2009). Preview of the Next Issue. *Starch/Stärke*, 61, 429.
- Baguma, Y. (2004). *Regulation of starch synthesis in cassava*. (Disertasi). Department of Plant Biology and Forest Genetic, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Diakses pada 5 April 2017 dari <https://pub.epsilon.slu.se/614/1/BYfino.pdf>.
- Beckles, D. M., & Thitisaksakul, M. (2010). Use of biotechnology to engineer starch in cereals. *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food*. DOI: 10.1081/E-EBAF-120051354. Diakses pada 5 April 2017 dari https://www.researchgate.net/publication/272182043_Use_of_Biotechnology_to_Engineer_Starch_in_Cereals.
- Benfey, P. N., Ren, L., & Chua, N. H. (1990). Tissue-specific expression from CaMV 35S enhancer subdomains in early stages of plant development. *The EMBO Journal*, 9(6), 1677–1684.



- Brust, H., Lehmann, T., D'Hulst, C., & Fettke, J. (2014). Analysis of the functional interaction of Arabidopsis starch synthase and branching enzyme isoforms reveals that the cooperative action of SSI and BEs results in glucans with polymodal chain length distribution similar to amylopectin. *PLoS One*, 9(7), e102364.
- Bull, S. E., Owiti, J. A., Niklaus, M., Beeching, J. R., Gruissem, W., & Vanderschuren, H. (2009). Agrobacterium-mediated transformation of friable embryogenic calli and regeneration of transgenic cassava. *Nature Protocols*, 4(12), 1845.
- Burrieza, H. P., López-Fernández, M. P., & Maldonado, S. (2014). Analogous reserve distribution and tissue characteristics in quinoa and grass seeds suggest convergent evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5, 546.
- Burton, R. A., Bewley, J. D., Smith, A. M., Bhattacharyya, M. K., Tatge, H., Ring, S., ... & Martin, C. (1995). Starch branching enzymes belonging to distinct enzyme families are differentially expressed during pea embryo development. *The Plant Journal*, 7(1), 3–15.
- Ceballos, H., Sánchez, T., Morante, N., Fregene, M., Dufour, D., Smith, A. M., ... & Mestres, C. (2007). Discovery of an amylose-free starch mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(18), 7469–7476.
- Ceballos, H., Sánchez, T., Denyer, K., Tofiño, A. P., Rosero, E. A., Dufour, D., ... & Fahy, B. (2008). Induction and identification of a small-granule, high-amylose mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7215–7222.
- Ceballos, H., Hershey, C., & Becerra-López-Lavalle, L. A. (2012). New approaches to cassava breeding. *Plant Breeding Reviews*, 36, 427–504.
- Chansri, R., Puttanlek, R., Rungsadthong, V., & Uttapap, D. (2005). Characteristics of clear noodles prepared from edible canna starches. *Journal of Food Science* 70(5), S337–S342. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09988.x>.
- Chetty, C. C., Rossin, C. B., Gruissem, W., Vanderschuren, H., & Rey, M. E. C. (2013). Empowering biotechnology in southern Africa: Establishment of a robust transformation platform for the production of transgenic industry-preferred cassava. *New Biotechnology*, 30(2), 136–143.
- de Vetten, N., Wolters, A. M., Raemakers, K., van der Meer, I., ter Stege, R., Heeres, E., ... & Visser, R. (2003). A transformation method for obtaining marker-free plants of a cross-pollinating and vegetatively propagated crop. *Nature Biotechnology*, 21(4), 439.
- Eliasson, A. C. (2004). *Starch in food*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Fathoni, A. (2017). Riset ubi kayu: Status dan prospek pemanfaatannya. Dipresentasikan pada Lokakarya Peran Riset dan Kebijakan untuk Penguatan Rantai Nilai Ekonomi Ubi Kayu Indonesia. Cibinong, 7 September 2017.
- Finch, C. A. (1986). Modified starches: Properties and uses. Wurzburg, O. B (ed). CRC Press Inc., Boca Rato, Florida. hlm. 277. *British Polymer Journal*, 21(1), 87–88.
- Herman, M. (2016). Empat belas tahun perkembangan peraturan keamanan hayati dan keamanan pangan produk rekayasa genetik dan implementasinya di Indonesia. *Jurnal Agro Biogen*, 6(2), 113–125.
- Horvathova, V., Janecek, S., & Sturdik, E. (2000). Amylolytic enzymes: Their specificities, origins and properties. *Biologia-Bratislava*, 55(6), 605–616.

- James, M. G., Denyer, K., & Myers, A. M. (2003). Starch synthesis in the cereal endosperm. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 215–222.
- Karlström, A. (2015). *Evaluation of the effects of the waxy starch mutation and environment on yield and starch functional properties of cassava*. (Master's thesis), Faculty of Landscape Architecture, Horticulture and Crop Production Science Department of Plant Breeding, Alnarp, Swedia. hlm. 1–38.
- Kasprzak, M. M., Lærke, H. N., Hofmann Larsen, F., Bach Knudsen, K. E., Pedersen, S., & Jørgensen, A. S. (2012). Effect of enzymatic treatment of different starch sources on the in vitro rate and extent of starch digestion. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(1), 929–942.
- Kavlani, N., Sharma, V., & Singh, L. (2012). Various techniques for the modification of starch and the applications of its derivatives. *Int. Res. J. Pharm.*, 3, 25–31.
- Kearsley, M. W. & Dziedzic, S. Z. (1995). *Handbook of starch hydrolysis product and their derivatives*. Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Koehorst-van Putten, H. J. J., Sudarmonowati, E., Herman, M., Pereira-Bertram, I. J., Wolters, A. M. A., Meima, H., ... & Visser, R. G. F. (2012). Field testing and exploitation of genetically modified cassava with low-amylose or amylose-free starch in Indonesia. *Transgenic Research*, 21(1), 39–50.
- Koswara, S. (2006). *Teknologi modifikasi pati*. Ebook pangan.com. Diakses pada 12 April 2017 dari <http://tekpan.unimus.ac.id/wp-content/uploads/2013/07/TEKNOLOGI-MODIFIKASI-PATI.pdf>.
- Kusnandar, F. (2010). *Teknologi modifikasi pati dan aplikasinya di industri pangan. A review*. Departemen Ilmu Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor, Bogor. Diakses pada 12 April 2018 dari https://lovedoc.org/philosophy-of-money.html?utm_source=teknologi-modifikasi-pati-dan-aplikasinya-di-industri-pangan.
- Liu, J., Zheng, Q., Ma, Q., Gadidasu, K. K., & Zhang, P. (2011). Cassava genetic transformation and its application in breeding. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(7), 552–569.
- Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A review. *Starch-Stärke*, 54(12), 559–592.
- Noerwijati, K. (2015). Upaya modifikasi pati ubi kayu melalui pemuliaan tanaman. *Buletin Palawija*, 13(1), 92–100.
- Ohdan, T., Francisco Jr, P. B., Sawada, T., Hirose, T., Terao, T., Satoh, H., & Nakamura, Y. (2005). Expression profiling of genes involved in starch synthesis in sink and source organs of rice. *Journal of Experimental Botany*, 56(422), 3229–3244.
- Quiroz-Figueroa, F. R., Rojas-Herrera, R., Galaz-Avalos, R. M., & Loyola-Vargas, V. M. (2006). Embryo production through somatic embryogenesis can be used to study cell differentiation in plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 86(3), 285.
- Raemakers, C. J. J. M., Sofiari, E., Jacobsen, E., & Visser, R. G. F. (1997). Regeneration and transformation in cassava. *Euphytica*, 96, 153–161.
- Raemakers, K., Schreuder, M., Suurs, L., Furrer-Verhorst, H., Vincken, J. P., de Vetten, N., ... & Visser, R. G. (2005). Improved cassava starch by antisense inhibition of granule-bound starch synthase I. *Molecular Breeding*, 16(2), 163–172.



- Rekayasa genetika singkong pacu Vitamin B6. (2016). Diakses pada 5 April 2017 dari <http://www.koran-jakarta.com/rekayasa-genetik-singkong-pacu-vitamin-b6/>.
- Rolland-Sabaté, A., Sánchez, T., Buléon, A., Colonna, P., Jaillais, B., Ceballos, H., & Dufour, D. (2012). Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylose contents in comparison with other commercial sources. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 161–174.
- Rongsirikul, O., Saithong, T., Kalapanulak, S., Meechai, A., Cheevadhanarak, S., Netrphan, S., & Suksangpanomrung, M. (2010). Reconstruction of starch biosynthesis pathway in cassava using comparative genomic approach. Dalam *Computational Systems-Biology and Bioinformatics* (hlm. 118–129). Berlin: Springer.
- Salehuzzaman, S. N. I. M., Jacobsen, E., & Visser, R. G. F. (1993). Isolation and characterization of a cDNA encoding granule-bound starch synthase in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and its antisense expression in potato. *Plant Molecular Biology*, 23(5), 947–962.
- Saputro, C. A. (2015). Singkong transgenik, alternatif pilihan tanaman di lahan kering: Penemunya adalah Prof. Dr. Enny Sudarmonowati dari LIPI. Diakses pada 12 April 2017 dari <http://www.jitunews.com/read/12199/singkong-transgenik-alternatif-pilihan-tanaman-di-lahan-kering>.
- Seung, D., Soyk, S., Coiro, M., Maier, B. A., Eicke, S., & Zeeman, S. C. (2015). Protein targeting to starch is required for localising granule-bound starch synthase to starch granules and for normal amylose synthesis in Arabidopsis. *PLoS Biology*, 13(2), e1002080.
- Strauch, M. A., Aronson, A. I., Brown, S. W., Scheier, H. J., & Sonenshein, A. L. (1998). Sequence of the *Bacillus subtilis* glutamine synthetase gene region. *Gene* 71(2), 257–265.
- Subroto, M. A., & Suprapedi. (2008). *Pengenalan HKI (hak kekayaan intelektual), Konsep dasar kekayaan intelektual untuk penumbuhan inovasi*. Jakarta: PT Indeks.
- Sudarmonowati, E., Hartati, N. S., & Amzal, A. (2015). Perbaikan sifat ubi kayu dan pengembangannya untuk ketahanan pangan dan nutrisi. *Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi*.
- Sufyan, M. (2015). 6 jenis buah aneh hasil rekayasa genetika. Diakses pada 5 April 2017 dari <http://citizen6.liputan6.com/read/2302942/6-jenis-buah-aneh-hasil-rekayasa-genetika>.
- Syamsir, E., Hariyadi, P., Fardiat, D., Andarwulan, N., & Kusnandar, F. (2011). Karakterisasi tapioka dari lima varietas ubi kayu (*Manihot utilisima* Crantz) asal Lampung. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 93–105.
- Taufik, M. (2013). *Memperbaiki sifat-sifat pati*. Diakses pada 12 April 2017 dari <http://www.mohtaufik.com/2013/10/memperbaiki-sifat-fisik-pati-dengan.html>.
- Taylor, N. J., Gaitán-Solís, E., Moll, T., Trauterman, B., Jones, T., Pranjal, A., ... & Fauquet, C. M. (2012). A High-throughput platform for the production and analysis of transgenic cassava (*Manihot esculenta*) plants. *Tropical Plant Biology*, 5(1), 127–139.
- Tong, C., Chen, Y., Tang, F., Xu, F., Huang, Y., Chen, H., & Bao, J. (2014). Genetic diversity of amylose content and RVA pasting parameters in 20 rice accessions grown in Hainan, China. *Food Chemistry*, 161, 239–245.
- Tonukari, N. J. (2004). Cassava and the future of starch. *Electronic Journal of Biotechnology*, 7(1), 5–8.



- Traynor, P. L., Adair, D., & Irwin, R. (2001). *A practical guide to containment: Greenhouse research with transgenic plants and microbes*. USA Information Systems for Biotechnology.
- Turyagyenda, L. F., Kizito, E. B., Ferguson, M., Baguma, Y., Agaba, M., Harvey, J. J., & Osiru, D. S. (2013). Physiological and molecular characterization of drought responses and identification of candidate tolerance genes in cassava. *AoB plants*, 5, plto07.
- Visser, R. G. F., Stolte, A., Jacobsen, E. (1991). Expression of a chimaeric granule-bound starch synthase-GUS gene in transgenic potato plants. *Plant Mol. Biol.*, 17, 691–699.
- Wang, L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., Wei, Y., & Tian, B. (2010). Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 24(2–3), 208–216.
- Wattebled, F., Buleon, A., Bouchet, B., Ral, J. P., Liénard, L., Delvallé, D., ... & D'hulst, C. (2002). Granule-bound starch synthase I. A major enzyme involved in the biogenesis of B-crystallites in starch granules. *Eur. J. Biochem*, 269(15), 3810–3820.
- Widodo, R., Panjaitan, T. W. S., & Yuwono, I. (2016). Karakterisasi bakso kering kaya protein dari *marine beef* dengan substitusi tepung suweg. *Heuristic, Jurnal Teknik Industri*, 12(02).
- Zeeman, S. C., Kossmann, J., & Smith, A. M. (2010). Starch: Its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 209–234.
- Zhang, P., Phansiri, S., & Puonti-Kaerlas, J. (2001). Improvement of cassava shoot organogenesis by the use of silver nitrate in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 67(1), 47–54.
- Zhao, S. S., Dufour, D., Sánchez, T., Ceballos, H., & Zhang, P. (2011). Development of waxy cassava with different biological and physico-chemical characteristics of starches for industrial applications. *Biotechnology and Bioengineering*, 108(8), 1925–1935.
- Zulaidah, A. (2012). Peningkatan nilai guna pati alami melalui proses modifikasi pati. *Dinamika Sains*, 10(22).

BAB KESEPULUH



Peningkatan Daya Simpan Ubi Ubi Kayu setelah Panen: Aplikasi Teknik Pencegahan Pembusukan secara Konvensional hingga Molekuler

Ahmad Fathoni, Ima Mulyama, Supatmi, N. Sri Hartati, dan Enny Sudarmonowati

A. PENTINGNYA MASA SIMPAN UMBI SETELAH PANEN

Ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) atau singkong merupakan tanaman multifungsi yang memiliki peranan penting di dunia; yang dimanfaatkan tidak hanya untuk bahan pangan dan pakan ternak, namun juga bahan baku berbagai jenis industri, antara lain industri bioetanol, tapioka, tekstil, dan pangan olahan seperti kudapan dan roti (Balagopalan, 2002; Beeching dkk., 2000; Buitrago, 1990; Uchechukwu-Agua, Caleb, & Opara, 2015). Namun, potensi pemanfaatan ubi kayu yang sangat luas tersebut masih terkendala pada daya simpan umbi. Umumnya, daya simpan umbi ubi kayu setelah panen relatif pendek dibandingkan umbi-umbian lainnya. Ubi ubi kayu mengalami pembusukan dalam waktu 2–3 hari setelah panen atau dikenal dengan istilah *postharvest physiological deterioration* (PPD) (Beeching dkk., 2000).

PPD membatasi masa simpan umbi setelah panen dan menyebabkan kerugian ekonomi yang cukup besar, baik bagi para petani, pedagang, maupun konsumen karena umbi menjadi tidak layak untuk dikonsumsi, tidak laku di jual atau harga jualnya turun, rasanya menjadi

pahit, dan kualitas pati juga lebih rendah (Beeching dkk., 2000; Booth, 1975; Qin dkk., 2017). Diperkirakan sekitar sepertiga (1/3) dari jumlah total produksi ubi kayu di dunia menjadi terbuang akibat pembusukan setelah panen atau PPD (Saravanan, Ravi, Stephen, Thajudhin, & George, 2016). Beberapa upaya dan penelitian untuk memperlambat proses pembusukan atau pun menghasilkan tanaman baru dengan sifat tahan terhadap PPD telah dilakukan, namun belum sepenuhnya berhasil. Hal ini dilakukan, baik secara konvensional maupun modern melalui teknik molekuler dengan modifikasi jalur biosintesis ubi kayu. Saat ini, PPD masih menjadi salah satu masalah utama dalam produksi dan pemanfaatan ubi kayu, baik sebagai komoditas pangan maupun bahan baku industri. Oleh karena itu, kegiatan atau penelitian untuk mengatasi masalah pembusukan umbi ubi kayu setelah panen seharusnya menjadi salah satu program prioritas di negara-negara penghasil ubi kayu, termasuk Indonesia.

Bagian ini berisi uraian tentang pembusukan umbi ubi kayu setelah panen (PPD), faktor-faktor yang memengaruhi proses pembusukan, dampak ekonomi PPD, upaya dalam mengatasi pembusukan umbi setelah panen, dan perkembangan riset PPD di Indonesia yang dikerjakan oleh Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI bekerja sama dengan instansi luar negeri, antara lain Universitas Bath, Inggris dan ETH Zurich, Swiss.

B. PEMBUSUKAN UMBI SETELAH PANEN (PPD)

PPD merupakan salah satu masalah utama dalam produksi dan pemanfaatan ubi kayu, baik sebagai komoditas bahan pangan maupun bahan baku industri. Pada umumnya, umbi segar hanya dapat disimpan dalam waktu yang relatif singkat, yaitu sekitar 2–3 hari dan setelah itu umbi yang sudah dipanen akan mengalami pembusukan sehingga tidak layak untuk dikonsumsi atau dijual (Beeching dkk., 2000). Proses pembusukan umbi ubi kayu setelah panen ini tidak dapat dihindari karena awal proses pembusukan umbi dipicu oleh pelukaan atau kerusakan umbi secara fisik yang terjadi pada saat panen di lahan atau selama proses penanganan dan pengolahan umbi setelah panen, seperti pengangkutan dari satu tempat ke tempat tujuan.

Gejala umum PPD pada ubi kayu dapat diamati dari perubahan warna daging umbi, yaitu bintik biru kehitaman pada umbi (Gambar 10.1). Perubahan warna tersebut disebabkan oleh senyawa kompleks biru hasil reaksi oksidasi senyawa fenolik, seperti scopoletin. Senyawa ini diproduksi secara alami oleh tanaman dalam kondisi



di bawah cekaman, misalnya pelukaan atau infeksi mikrob (Miller, Sirois, & Morita, 1975). PPD juga dikenal dengan istilah *vascular streaking* (VS) (Averre, 1967). Terdapat dua jenis pembusukan umbi ubi kayu setelah panen, yaitu pembusukan primer dan pembusukan sekunder. Pembusukan primer, juga disebut VS tipe pertama (VS1), merupakan proses pembusukan umbi sebagai respons terhadap pelukaan umbi dan ditunjukkan dengan warna biru kehitaman pada jaringan parenkim atau daging umbi. Pembusukan primer biasanya diikuti oleh pembusukan sekunder, disebut juga VS tipe kedua (VS2). Pembusukan ini disebabkan oleh mikrob, seperti jamur atau bakteri patogen yang menginfeksi umbi selama proses penyimpanan pascapanen (Gambar 10.2). Pembusukan sekunder biasanya mulai terjadi pada hari keempat pada proses penyimpanan dalam kondisi normal tanpa perlakuan khusus, seperti penyimpanan pada suhu dingin atau penggunaan bahan kimia untuk mengurangi kontaminasi mikrob. (Beeching dkk., 2000; Kawano & Rojanaridpiched, 1983). Pembusukan sekunder (VS2) tidak berkaitan dengan pembusukan primer (VS1) karena keduanya merupakan proses yang berbeda. Namun, dalam penggunaan istilah, PPD lebih dimaksudkan untuk pembusukan primer.



Ket.: a) Umbi ubi kayu segar genotipe Menti dan b) Umbi ubi kayu pada 4 hari setelah panen

Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.1 Pembusukan Umbi Ubi Kayu Setelah Panen (PPD)



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.2 Pembusukan Sekunder Umbi Ubi Kayu (VS2) oleh Bakteri dan atau Jamur pada 7 Hari Setelah Panen

C. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI PEMBUSUKAN UMBI SETELAH PANEN

PPD dipengaruhi oleh multifaktor yang membuatnya lebih sulit diatasi. Kerusakan pada umbi seperti umbi patah, baik pada bagian tengah umbi maupun bagian kedua ujung umbi yang terjadi pada saat panen, merupakan salah satu faktor krusial terjadinya pembusukan umbi ubi kayu pascapanen. PPD dan kerusakan umbi memiliki kaitan erat dalam proses awal terjadinya pembusukan (Booth, 1975). Proses pembusukan umbi dimulai dari bagian umbi yang rusak atau terluka (Morante dkk., 2010). Bagian tersebut merupakan bagian pertama dan banyak terpapar oleh udara dan juga kontaminan seperti jamur dan bakteri penyebab pembusukan. Beberapa faktor lain yang memengaruhi proses pembusukan umbi pascapanen, antara lain bentuk umbi, panjang umbi, keberadaan dangkel atau bonggol umbi, tekstur kulit umbi, kondisi tanah, dan metode panen (Booth, 1975; Diamante, 1986; Wheatley, 1980).

PPD juga dipengaruhi oleh faktor genetik dan lokasi penanaman ubi kayu. Hasil penelitian mengenai evaluasi PPD, baik pada ubi kayu yang berbeda genotipe maupun pada genotipe yang sama, menunjukkan variasi hasil yang cukup signifikan (Aristizábal, Sánchez, & Mejía-Lorío, 2007; Buschmann, Rodriguez, Tohme, & Beeching, 2000). Evaluasi PPD pada delapan genotipe ubi kayu di tiga lokasi penanaman yang berbeda di Kolombia mengindikasikan bahwa PPD dipengaruhi



oleh lokasi penanaman. Oleh karena itu, pemilihan genotipe unggul tahan PPD menjadi sangat penting meskipun daerah satu dengan lainnya dapat berbeda jenisnya. Dengan kata lain, genotipe tahan PPD bisa tergantung pada karakteristik tempat di mana ubi kayu ditanam (Kawano & Rojanaridpiched, 1983). Studi lain menunjukkan bahwa tingkat ploidi juga memengaruhi respons terhadap PPD, di mana tanaman diploid memiliki skor PPD lebih tinggi atau lebih rentan terhadap PPD daripada tanaman triploid and tetraploid (Moyib dkk., 2015).

Selain itu, komponen yang terkandung dalam umbi juga memengaruhi ketahanan umbi terhadap PPD, seperti kandungan beta karoten, kandungan massa kering (*dry matter content*), dan rasio kandungan gula/pati. Kandungan beta karoten dalam umbi dapat dilihat dari warna kuning umbi dan diketahui memiliki korelasi negatif serta berasosiasi kuat terhadap PPD (Morante dkk., 2010; Sánchez dkk., 2006). Beta-karoten memiliki sifat antioksidan yang dapat menghambat reaksi oksidasi penyebab pembusukan pada umbi. Karakteristik lain, seperti kandungan massa kering, memiliki korelasi positif terhadap PPD (Chavez dkk., 2005; Kawano & Rojanaridpiched, 1983; Sánchez dkk., 2006; Sánchez dkk., 2013; Tumuhimbise, Shanahan, Melis, & Kawuki, 2014). Seperti contohnya pada ubi kayu dengan kandungan massa kering sekitar 40–45% (M Ven77, M Col22, dan SM 627-5) memiliki skor PPD yang lebih tinggi daripada ubi kayu dengan kandungan massa kering lebih rendah sekitar 30–35% (M Per245 dan M Bra337). PPD juga berkorelasi negatif dengan rasio gula/pati dalam umbi (Sánchez dkk., 2013; van Oirschot, O'Brien, Dufour, El-Sharkawy, & Mesa, 2000).

D. PROSES FISILOGI, BIOKIMIA, DAN MOLEKULER SELAMA TERJADINYA PPD

PPD merupakan proses fisiologi dan biokimia yang kompleks; melibatkan produksi senyawa-senyawa oksidatif (*reactive oxygen species*, ROS); melibatkan metabolit sekunder yang tergolong dalam senyawa kumarin, seperti skopoletin, skopolin, eskuletin, dan eskulin; serta perubahan tingkat ekspresi gen selama proses PPD berlangsung (Bayoumi, Rowan, Beeching, & Blagbrough, 2010; Buschmann dkk., 2000a; Reilly, 2001; Reilly dkk., 2007; Uarotta & Maraschin, 2015).

1. Stres Oksidatif

Stres oksidatif merupakan kondisi terjadinya peningkatan konsentrasi senyawa radikal bebas secara signifikan di dalam sistem metabolisme tanaman, seperti hidrogen peroksida (H_2O_2), senyawa radikal hidroksil ($\cdot OH$), senyawa radikal superoksida



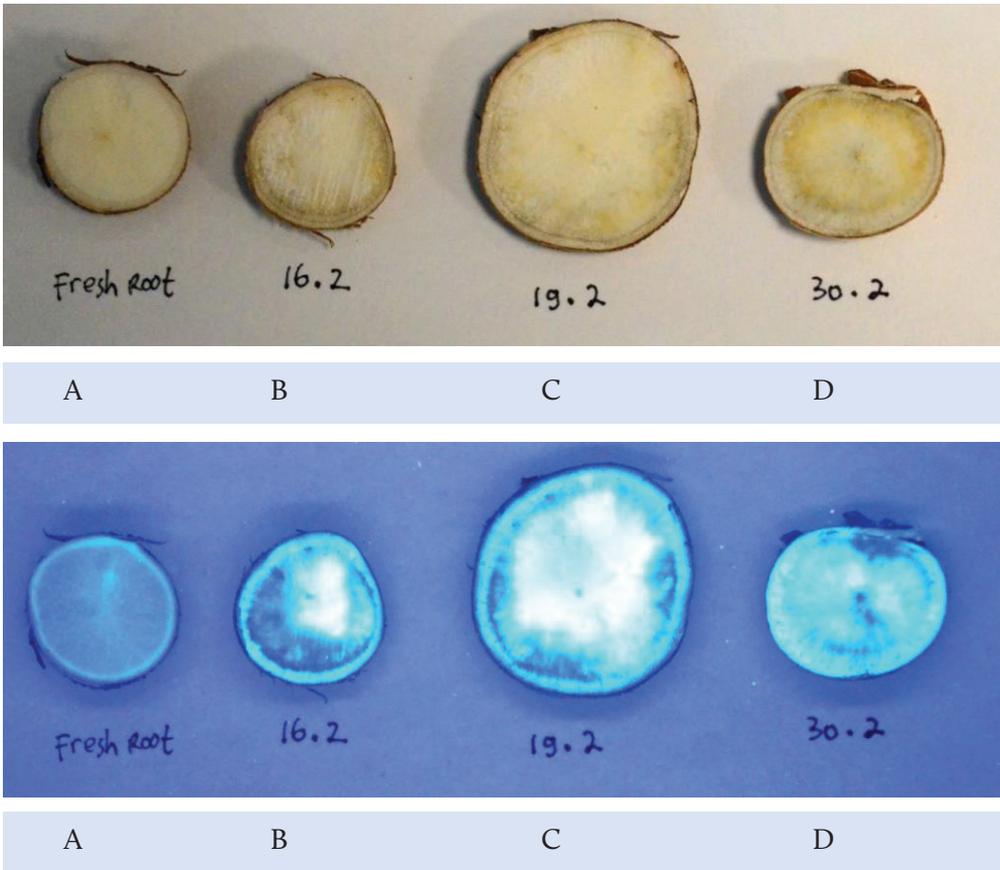
($\bullet\text{O}_2^-$), dan *singlet oxygen* ($^1\text{O}_2$). Hasil penelitian dari beberapa genotipe ubi kayu membuktikan bahwa PPD merupakan hasil reaksi oksidasi antara senyawa-senyawa oksidatif (ROS) dan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman guna merespons cekaman dari luar seperti pelukaan (Reilly, 2001; Salcedo & Siritunga, 2011).

Proses awal PPD melibatkan peningkatan level ROS secara signifikan di dalam umbi, diawali dengan terbentuknya radikal superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) pada 15 menit pertama setelah terjadinya pelukaan. Kemudian, diikuti oleh produksi beberapa senyawa oksidatif lainnya, seperti H_2O_2 pada 3–24 jam setelah pelukaan (Buschmann dkk., 2000a; Iyer, Mattinson, & Felman, 2010; Reilly, Gómez-Vásquez, Buschmann, Tohme, & Beeching, 2004). ROS yang diproduksi sebagai respons terhadap cekaman dari luar memiliki beberapa peranan dalam sistem pertahanan tanaman, seperti penguat dinding sel, penginduksi gen-gen terkait sistem kekebalan atau pertahanan tanaman, dan pemicu kerusakan sel tanaman melalui mekanisme perusakan DNA atau denaturasi protein oleh senyawa radikal hidroksil (Salcedo & Siritunga, 2011).

2. Produksi Metabolit Sekunder Selama Proses Pembusukan Umbi

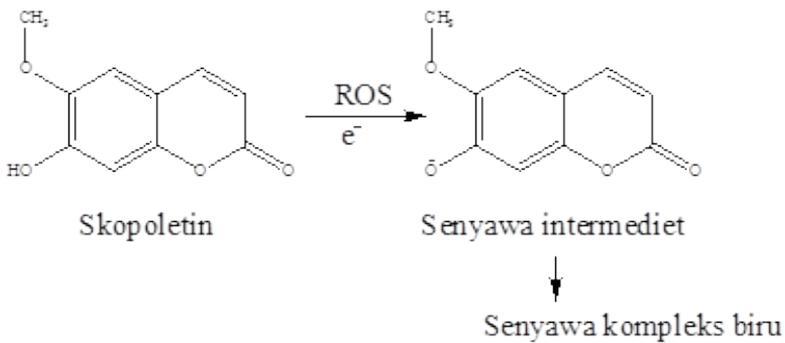
Selain produksi ROS pada awal proses PPD, terjadi akumulasi metabolit sekunder yang tergolong ke dalam senyawa kumarin, seperti skopoletin, skopolin, eskuletin, dan eskulin selama proses PPD berlangsung. Senyawa-senyawa ini memiliki kemampuan berpendar di bawah sinar ultraviolet (UV) (Gambar 10.3) sehingga dapat diamati selama proses PPD berlangsung (Bayoumi dkk., 2010; Buschmann dkk., 2000b).

Di antara senyawa-senyawa tersebut, skopoletin merupakan salah satu senyawa yang paling banyak diproduksi setelah terjadi pelukaan dan memiliki peran vital dalam proses PPD (Buschmann dkk., 2000b; Uritani, 1999). Kandungan skopoletin pada umbi segar sangat kecil dan bahkan tidak terdeteksi, namun kandungannya meningkat secara signifikan dan mencapai puncaknya dua hari setelah pelukaan (Buschmann dkk., 2000b). Hasil reaksi oksidasi skopoletin menghasilkan senyawa kompleks biru (Gambar 10.4) yang kemudian menyebabkan perubahan warna pada umbi dan diamati sebagai gejala umum PPD, yaitu bintik biru-kehitaman pada daging umbi (Miller dkk., 1975; Wheatley & Schwabe, 1985).



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.3 Akumulasi senyawa kumarin berpendar di bawah sinar UV (366 nm) pada sampel umbi segar (a) dan umbi pada hari kedua setelah induksi PPD (b-d).

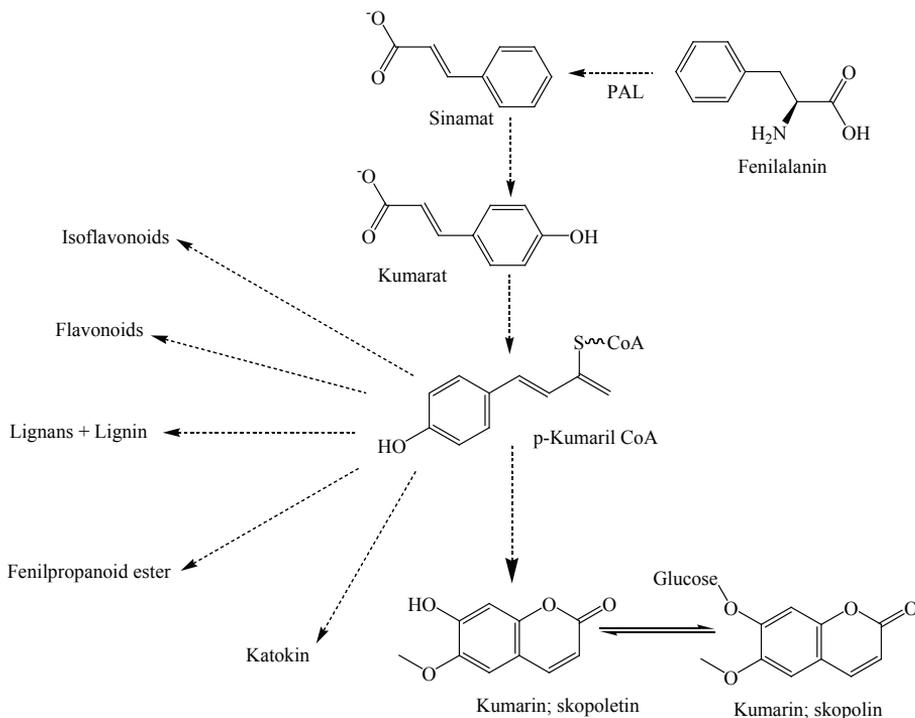


Sumber: Lab. Miller dkk. (1975)

Gambar 10.4 Reaksi oksidasi senyawa skopoletin menghasilkan senyawa kompleks berwarna biru.

3. Jalur Metabolisme Fenilpropanoid

Jalur metabolisme fenilpropanoid merupakan jalur biosintesis metabolit sekunder yang memiliki peran vital di dalam tanaman karena menghasilkan banyak jenis metabolit sekunder penting lainnya, meliputi senyawa antosianin, isoflavonoid, dan flavonoid yang bersifat antioksidan dan lignin yang berfungsi penting dalam susunan dinding sel tanaman. Skopoletin merupakan senyawa golongan kumarin yang dihasilkan dari jalur metabolisme fenilpropanoid pada tanaman, di mana asam amino fenilalanin diubah menjadi skopoletin melalui beberapa jalur atau senyawa intermediet (Gambar 10.5).



Sumber: Vogt (2010)

Gambar 10.5 Biosintesis Skopoletin dalam Jalur Metabolisme Fenilpropanoid pada Tanaman

Pada ubi kayu, jalur biosintesis senyawa skopoletin memiliki tiga (3) alternatif jalur biosintesis. Di dalam sel tanaman, skopoletin disimpan di vakuola dalam bentuk senyawa gula, yaitu skopolin yang akan diubah kembali menjadi skopoletin ketika tanaman dalam kondisi tercekam. Konsentrasi skopoletin pada umbi segar sangat rendah dan bahkan di bawah level yang dapat terdeteksi oleh alat analisis, seperti HPLC atau LCMS. Namun, konsentrasi skopoletin mengalami peningkatan



signifikan hingga dua hari setelah panen. Oleh karena itu, untuk merespons kondisi cekaman, seperti pelukaan dan infeksi mikrob, tanaman memproduksi skopoletin melalui dua mekanisme, yaitu produksi dari senyawa fenilalanin dan konversi senyawa skopolin menjadi skopoletin (Buschmann dkk., 2000b; Siwinska dkk., 2014).

4. Profil Ekspresi Gen Terkait PPD

Berdasarkan analisis transkriptomik dan proteomik, profil ekspresi gen dan protein terkait PPD juga mengalami perubahan selama berkembangnya proses PPD. Gen-gen yang diregulasi saat PPD tersebut telah berhasil diidentifikasi dengan menggunakan metode transkriptomik (Huang, Bachem, Jacobsen, & Visser, 2001; Reilly dkk., 2007) dan proteomik (Owiti dkk., 2011; Vanderschuren dkk., 2014). Hasil analisis data proteomik ternyata mendukung data transkriptomik dan menunjukkan bahwa 20% dari total gen terkait PPD diketahui berfungsi untuk mengurangi ROS (Reilly dkk., 2007). Hal ini ditandai dengan akumulasi pada beberapa enzim yang terlibat dalam detoksifikasi ROS, yaitu oksidoreduktase, glutathione reduktase, glutaredoksin, dan glutathione transferase (Owiti dkk., 2011; Vanderschuren dkk., 2014).

Selama PPD, enzim fenilalanina ammonia-liase (PAL) dan aktivitasnya secara konsisten meningkat (Beeching dkk., 2002; Owiti dkk., 2011; Rickard, 1985; Tanaka, Data, Hirose, Taniguchi, & Uritani, 1983; Tanaka dkk., 1984; Vanderschuren dkk., 2014) serta berperan dalam metabolisme fenilpropanoid untuk produksi macam-macam metabolit sekunder, termasuk skopoletin, skopolin, eskulentin, eskulin, (+)-*catechin* atau katekin, *galocatechin* atau galokatekin, dan flavanol (Buschmann dkk., 2000a, 2000b; Tanaka dkk., 1983; Uarrota dkk., 2014).

Gen-gen terkait enzim *cytochrome* p450, yaitu CYP79D1, CYP79D2, dan CYP71E (Jørgensen dkk., 2011; Reilly dkk., 2007) juga terakumulasi. Hal ini dapat menjelaskan adanya peningkatan kandungan linamarin atau total kandungan sianida pada umbi ubi kayu selama proses PPD (Kojima, Iwatsuki, Data, Villegas, & Uritani, 1983). Meskipun total kandungan sianida diketahui meningkat sejalan dengan perkembangan PPD, aktivitas enzim linamarase ternyata menurun atau menunjukkan hal yang berkebalikan dengan peningkatan jumlah proteinnya (Kojima dkk., 1983; Owiti dkk., 2011; Uarrota dkk., 2014; Uarrota dkk., 2015). Linamarase adalah enzim penghidrolisis linamarin untuk menghasilkan *acetone cyanohidrin*, prekursor sianida (Siritunga dkk., 2004). Menurunnya aktivitas enzim



dan meningkatnya jumlah protein linamarase mengindikasikan adanya regulasi pasca-translasi pada enzim tersebut.

Analisis transkriptomik dan proteomik juga menunjukkan adanya mekanisme pengaturan dan perbaikan dinding sel. Pengaktifan metabolisme fenilpropanoid dapat menginisiasi pembentukan lignin dan suberin. Meskipun demikian, perubahan enzim yang terlibat dalam sintesis lignin dan suberin terjadi pada fase akhir PPD atau ketika gejala PPD sudah tampak karena ekspresi enzim-enzim yang berperan penting dalam proses ini mengalami penurunan pada fase awal PPD (Vanderschuren dkk., 2014), sedangkan peroksidase pembentuk lignin terakumulasi setelahnya (Owiti dkk., 2011).

E. DAMPAK EKONOMI PPD

Pembusukan umbi setelah panen (PPD) memiliki dampak ekonomi yang cukup besar, tidak hanya bagi para petani ubi kayu, namun juga pedagang dan konsumen yang membeli umbi di pasar. Bagi para petani dan pedagang kecil, PPD mungkin tidak menjadi masalah karena panen umbi dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Namun, PPD menjadi masalah serius dan dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang cukup signifikan bagi para petani, pedagang, dan pelaku industri ubi kayu dalam skala besar. Umbi ubi kayu yang tidak dapat segera diproses atau harus dikirim ke luar daerah selama beberapa hari dapat menurunkan kualitas umbi akibat pembusukan.

Kerugian ekonomi yang diderita akibat PPD, mulai dari harga umbi yang turun hingga benar-benar tidak laku dijual dan besarnya jumlah kerugian yang dialami di setiap negara penghasil ubi kayu, juga bervariasi. Studi mengenai jumlah pasti kerugian akibat PPD sangat terbatas dan kebanyakan masih menggunakan perkiraan jumlah persentase umbi yang hilang atau kerugian secara ekonomi pascapanen. Total umbi yang terbuang akibat PPD diperkirakan mencapai sepertiga ($1/3$) total produksi ubi kayu di dunia (Saravanan dkk., 2016). Dengan produksi ubi kayu dunia yang diprediksi mencapai 288 juta ton pada 2016 (FAO, 2016) maka sekitar 96 juta ton ubi kayu berpotensi menjadi terbuang karena pembusukan setelah panen (PPD). Di Indonesia, negara penghasil ubi kayu terbesar ketiga setelah Nigeria dan Thailand, produksi ubi kayu pada 2016 diperkirakan mencapai 26 juta ton. Jika menggunakan estimasi sepertiga produksi terbuang karena PPD maka kerugian yang diderita mencapai 8 juta ton ubi kayu.



Beberapa studi mengenai dampak ekonomi pascapanen, termasuk pembusukan umbi, (PPD) telah dilakukan di beberapa negara, yaitu Ghana, Nigeria, Thailand, dan Vietnam. Ghana dan Nigeria merupakan negara yang menderita kerugian ekonomi paling besar dibandingkan negara-negara penghasil ubi kayu lain di dunia. Kerugian ekonomi per tahun di Ghana bisa mencapai 130 juta US dollar dan di Nigeria mencapai 20 juta US dollar. Sementara itu, di Asia, seperti Thailand dan Vietnam, sebagai negara pengeksport ubi kayu terbesar di dunia, kerugian ekonomi akibat pembusukan pascapanen jauh lebih rendah. Di Thailand, kerugian ekonomi per tahun diperkirakan sekitar 15 juta US dollar dan di Vietnam hanya sekitar 2 juta US dollar (Naziri dkk., 2014). Besarnya dampak ekonomi yang diakibatkan oleh PPD membuatnya penting untuk dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengatasi masalah PPD ini. Di Nigeria, penundaan pembusukan umbi selama 2 minggu dapat menghindarkan kerugian mencapai 2,9 miliar US dolar dalam kurun waktu 20 tahun (Rudi, Norton, Alwang, & Asumugha, 2010).

F. PENINGKATAN DAYA SIMPAN UMBI SETELAH PANEN

Upaya untuk mengatasi masalah PPD sudah banyak dilakukan oleh petani hingga peneliti, mulai dari teknik secara konvensional hingga penggunaan teknologi modern, seperti teknik rekayasa genetika.

1. Penundaan PPD dengan Teknik Konvensional

Beberapa metode untuk memperpanjang masa simpan ubi kayu telah diterapkan, baik pada sebelum maupun setelah masa panen, terutama untuk keperluan industri dan transportasi jarak jauh. Berikut ini beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk menunda pembusukan umbi ubi kayu setelah panen.

a. Menunda masa panen atau panen sesuai kebutuhan

Untuk menunda pembusukan, pemanenan ubi kayu yang telah mencapai umur panen dapat ditunda hingga saatnya diperlukan. Teknik ini lebih sesuai untuk petani berskala kecil, namun memiliki beberapa kekurangan, antara lain penggunaan lahan yang tidak maksimal dan penurunan kualitas ubi kayu karena ubi kayu yang terlalu lama disimpan dalam tanah akan mengalami penurunan kandungan dan kualitas pati serta menjadi lebih berserat sehingga perlu dimasak lebih lama (Salcedo & Siritunga, 2011; Wenham, 1995).



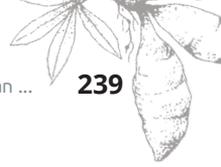
b. Pemangkasan

Pemangkasan tanaman ubi kayu sebelum panen juga diketahui dapat menunda pembusukan secara efektif, yaitu melalui peningkatan kandungan rasio gula/pati dalam umbi yang telah diketahui berkorelasi negatif dengan PPD (van Oirschot dkk., 2000; Wheatley & Schwabe, 1985). Metode pemangkasan ini dapat menurunkan PPD hingga 25%. Meskipun demikian, jarak antara waktu pemangkasan dan panen perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi tekstur dan rasa umbi sehingga metode ini belum diterapkan secara luas (van Oirschot dkk., 2000).

c. Penyimpanan umbi pada kondisi terkontrol

Usaha untuk menunda pembusukan ubi kayu dapat juga diterapkan pascapanen, yaitu saat umbi sudah terlepas dari tanaman induknya. Pendekatan ini termasuk metode penyimpanan umbi, inaktivasi enzim, penggunaan bahan kimia, dan menghindari pembusukan itu sendiri. Umbi ubi kayu dan juga umbi akar lainnya, seperti *yam*, mengalami transpirasi dan kehilangan kelembapan selama penyimpanan sehingga mengurangi kualitasnya (Uchekukwu-Agua dkk., 2015). Oleh karena itu, penyimpanan pada kondisi kelembapan tinggi serta keterbatasan jumlah oksigen dapat mengurangi kehilangan air dan cekaman oksidatif (Marriott, Been, & Perkins, 1978; Noon & Booth, 1977). Penyimpanan umbi pada kelembapan tinggi juga dapat membantu pembentukan periderm setelah pelukaan (Booth, 1975; Marriott dkk., 1978; Rickard, 1985). Penggunaan kantong plastik atau kotak penyimpanan, dan pembungkusan umbi dengan lilin (*waxing*) seperti yang banyak ditemui di supermarket juga dapat memelihara kelembapan tinggi dan mengurangi kontak dengan oksigen. Pendekatan ini sudah teruji di lapangan dan digunakan secara komersial (Fadeyibi, 2012).

Pendekatan lain untuk mengurangi PPD juga dapat dengan menyimpannya pada suhu rendah (0–4°C) (Beeching dkk., 1998; Ravi, Aked, & Balagopalan, 1996) dan penyimpanan pada suhu hangat (54–56°C) selama 10 menit yang dikombinasikan dengan *modified atmosphere packaging* (A). cedo & Acedo Jr., 2012). Meskipun demikian, pendekatan ini cukup mahal sehingga hanya sesuai untuk produk umbi kualitas tinggi (Ravi dkk., 1996), terutama untuk keperluan ekspor. Selain itu, penyimpanan umbi dalam keadaan utuh tanpa ada pelukaan dapat memperpanjang masa simpan umbi pascapanen.

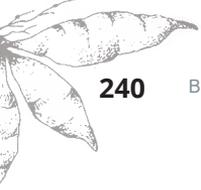


d. Perlakuan kimia

Perlakuan kimia terhadap umbi juga dapat memperpanjang daya simpannya (Ravi dkk., 1996). Aplikasi etanol (>20%), natrium sulfit (10%), natrium dithiokarbamat (10%), natrium klorida pekat, benomyl (500 ppm), dan dikloran (1000 ppm) dapat menunda terjadinya PPD untuk beberapa hari (Booth 1976; Noon & Booth, 1977). Namun, bahan-bahan kimia tersebut belum diteliti lebih jauh dan belum diujikan pada skala lapang untuk mengetahui ada tidaknya potensi toksisitas sehingga pendekatan ini belum diaplikasikan pada skala yang lebih luas. Perlakuan dengan molekul antioksidan juga dapat menjadi alternatif untuk menunda PPD, sebagaimana genotipe tanaman ubi kayu kaya beta karoten yang telah diketahui tahan terhadap PPD (Sánchez dkk., 2006). Penggunaan melatonin (500 ppm) pada umbi telah terbukti dapat mengurangi PPD pada penelitian skala lab. Data menunjukkan bahwa perlakuan melatonin berperan melalui modulasi enzim yang terlibat homeostasis ROS (Ma, T. Zhang, P. Zhang, & Wang, 2016) dan juga dapat berperan sebagai antioksidan (Reiter, Tan, & Burkhardt, 2002).

e. Pengolahan umbi secara langsung

Pemrosesan umbi segera setelah panen menjadi produk makanan tradisional atau bahan industri juga dapat mengurangi kerugian akibat PPD (Reilly dkk., 2004; Wenham, 1995). Walaupun pemrosesan ini dapat dengan mudah diaplikasikan pada skala lokal dengan infrastruktur yang sesuai, PPD tetap merupakan kendala ketika jarak dan waktu antara pemanenan dan pemrosesan tidak dapat dipersingkat (Reilly dkk., 2004). *The Dutch Agricultural Development & Trading Company* (DADTCO) belum lama ini memperkenalkan konsep baru untuk membawa kendaraan pemroses ubi kayu kepada petani dengan menggunakan *Autonomous Mobile Processing Unit* (AMPU) (Dadtco Philafrica B.V., 2018). Dengan teknologi ini, umbi dapat segera diproses di lapang menjadi tepung tapioka komersial. Namun, biaya investasi dan kualitas infrastruktur yang rendah, terutama di daerah perdesaan, membatasi penerapan teknologi ini pada pemrosesan ubi kayu.



2. Perbaikan Tanaman Tahan PPD Melalui Pemuliaan Tanaman secara Konvensional

Program pemuliaan tanaman (*plant breeding*) memiliki potensi dalam menyeleksi dan menghasilkan genotipe ubi kayu unggul tahan PPD. Namun, hal tersebut dapat tercapai jika memiliki keragaman genetik ubi kayu tahan PPD (Morante dkk., 2010). Beberapa genotipe ubi kayu dari Uganda, Afrika dengan tingkat PPD rendah diperoleh dari hasil seleksi plasma nutfah dan juga pemuliaan tanaman, meliputi TMS30572 dan SS4 (IITA), Nyaraboke (genotipe lokal), dan FS1-4 (genotipe yang merupakan hasil pemuliaan oleh CIAT) (Tumuhimbise dkk., 2014).

Namun, pemuliaan tanaman ubi kayu secara konvensional untuk memperoleh jenis ubi kayu tahan PPD memiliki tingkat kesuksesan yang rendah. Hal ini dikarenakan beberapa kendala, yaitu rendahnya keragaman genetik ubi kayu terhadap PPD, tingginya tingkat heterozigositas ubi kayu, kemampuan berbunga yang sangat rendah, banyaknya reaksi/gen-gen yang terlibat dalam proses PPD, dan metode standar pengukuran PPD yang masih menghasilkan standar deviasi yang tinggi (Morante dkk., 2010; Saravanan dkk., 2016). Beberapa faktor tersebut menyebabkan metode pemuliaan tanaman secara konvensional lebih sulit dan memerlukan waktu yang sangat lama. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang lebih baik untuk memperoleh genotipe-genotipe ubi kayu dengan sifat yang diinginkan, misalnya melalui penggunaan teknologi rekayasa genetika.

3. Perbaikan Tanaman Tahan PPD Melalui Iradiasi Sinar Gama

Salah satu strategi yang dapat digunakan untuk menyeleksi dan menghasilkan genotipe ubi kayu unggul tahan PPD adalah dengan teknologi iradiasi. Iradiasi dengan menggunakan sinar gama X-ray merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menginduksi mutasi tanaman dengan sifat yang diinginkan. Induksi mutasi dengan iradiasi sinar gama ini bersifat acak, yang berarti gen-gen yang mengalami mutasi karena efek radiasi bisa terjadi di bagian mana saja dari tanaman (Ahloowalia & Maluszynski, 2001). Oleh karena itu, seleksi kestabilan sifat dari tanaman tersebut dilakukan sampai beberapa generasi agar didapatkan sifat tanaman mutan yang bersifat stabil. Pada ubi kayu, seleksi tahan PPD dengan iradiasi sinar gama telah dilakukan, di antaranya iradiasi biji dari 5 genotipe ubi kayu yang berbeda dengan dosis 200 Gy (Gray). Iradiasi ini menghasilkan beberapa nomor kandidat mutan tahan PPD, yaitu 2G15-1 dan 5G108-8 (Morante dkk., 2010). Kandidat mutan tersebut bersifat stabil, setelah induk asal biji (M1) disilang sendiri (*self-pollinated*) untuk menghilangkan sifat kimera (sifat yang muncul sesaat/resesif). Biji asal dari generasi



kedua tersebut baru diperbanyak, ditanam di lapang, dan dipanen umbinya. Skrining ketahanan terhadap PPD umumnya dilakukan pada generasi kedua.

Selain biji yang diradiasi, perbanyak mutan ubi kayu bisa dilakukan dengan meradiasi stek sebagai alat perbanyak vegetatif dan secara kultur pucuk *in vitro*. Di Indonesia, pemanfaatan iradiasi untuk meningkatkan dan atau mendapatkan ubi kayu unggul telah banyak dilakukan. Di antaranya adalah induksi iradiasi ubi kayu untuk umur genjah (Balitkabi, 2011), iradiasi ubi kayu untuk mendapatkan potensi daya hasil tinggi (Maharani, Khumaida, Syukur, & Ardie, 2015), dan iradiasi untuk perbaikan morfologi dan kandungan amilosa dan amilopektin (Supatmi dan Sudarmonowati, 2012). Namun, induksi iradiasi ubi kayu untuk ketahanan terhadap PPD belum banyak dilakukan di Indonesia.

Penelitian mengenai ketahanan ubi kayu terhadap PPD dengan pendekatan iradiasi sinar gama telah diinisiasi oleh Puslit Bioteknologi LIPI melalui proyek kerja sama dengan International Atomic Energy Agency (IAEA) dan juga beberapa institusi di Indonesia, yaitu Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi). Tiga sumber bahan material yang berbeda digunakan dalam iradiasi ubi kayu untuk ketahanan terhadap PPD, seperti biji, stek, dan kultur pucuk *in vitro*. Metode analisis PPD dilakukan setelah umbi dipanen, dengan menggunakan metode analisis pembusukan berdasarkan metode *International Center for Tropical Agriculture* (CIAT). Beberapa iradiasi ubi kayu dari sumber asal stek yang telah dilakukan oleh Puslit Bioteknologi LIPI menghasilkan beberapa klon yang menunjukkan ketahanan terhadap PPD, di antaranya Adira-4 dengan dosis iradiasi 30 krad yang menunjukkan penundaan pembusukan umbi selama 9 hari (Gambar 10.6).

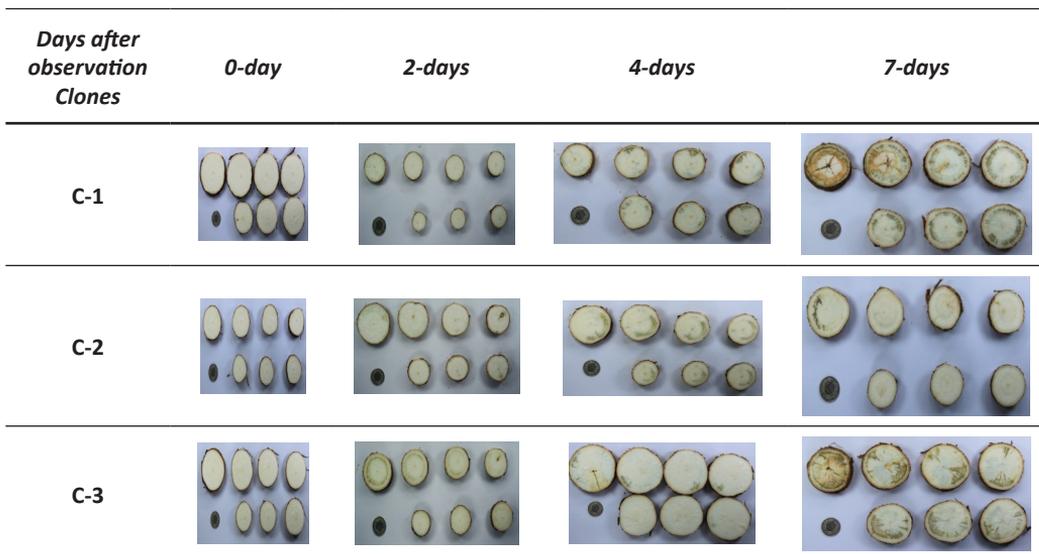


Ket.: a) klon mutan yang menunjukkan toleran terhadap PPD; b) kontrol yang menunjukkan rentan terhadap PPD

Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.6 Penampakan umbi ubi kayu seleksi ketahanan terhadap PPD selama 9 hari berasal dari iradiasi stek Adira-4 dengan dosis 30 krad.

Selain itu, iradiasi ubi kayu untuk ketahanan terhadap PPD dengan menggunakan sumber asal kultur *in vitro* juga telah dilakukan. Seleksi induksi mutasi dengan menggunakan sumber asal kultur *in vitro*, secara teknik memerlukan dua kali tahapan, yaitu (1) tahap seleksi radiosensitivitas dan morfologi ubi kayu dengan perbanyakkan di ruang kultur hingga beberapa generasi dan (2) seleksi klon mutan yang berpotensi tahan terhadap PPD di lapang. Hasil seleksi umbi beberapa klon Gebang asal kultur *in vitro* yang diradiasi dengan dosis 0,2 krad menunjukkan bahwa beberapa klon C2 Gebang 0,2 krad tahan terhadap PPD selama 7 hari (Gambar 10.7). Seleksi klon Gebang 0,2 krad ini dilakukan sampai generasi keempat di lapang dan menunjukkan bahwa klon C2 Gebang 0,2 krad memiliki kestabilan penampakan umbi yang tahan terhadap PPD selama 7 hari.



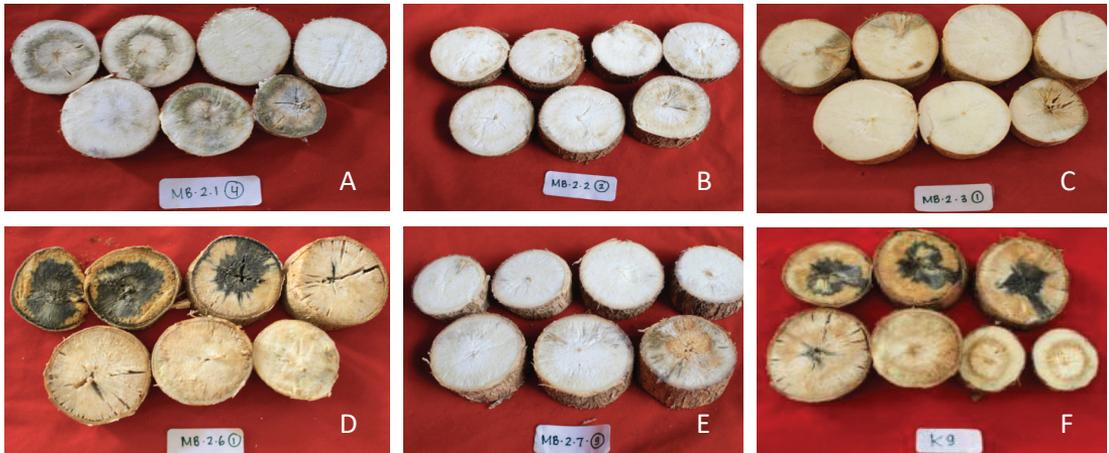
Ket.: C1: Klon nomor 1; C2: Klon nomor 2; Klon nomor 3. Potongan umbi dari klon C2 menunjukkan area perubahan warna biru tua yang sedikit yang menunjukkan ketahanan terhadap PPD

Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.7 Penampakan umbi ubi kayu seleksi ketahanan terhadap PPD selama 7 hari berasal dari iradiasi kultur pucuk Gebang dengan dosis 0,2 krad.



Selain stek dan kultur *in vitro*, iradiasi ubi kayu untuk ketahanan terhadap PPD juga dilakukan dengan menggunakan biji. Genotipe yang digunakan adalah MLG-1028. Hasil iradiasi biji MLG-1028 dengan dosis 20 krad kemudian diperbanyak di lapang selama dua generasi dengan menggunakan stek. Hasil menunjukkan bahwa beberapa klon MLG-1028 menunjukkan ketahanan terhadap PPD selama 11 hari, di antaranya adalah klon MB2 (Gambar 10.8).



Ket.: a) Klon nomor 1 (MB 1); b) Klon nomor 2 (MB 2); c) Klon nomor 3 (MB 3); d) Klon nomor 6 (MB 6); e) Klon nomor 7 (MB 7); f) Kontrol.

Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.8 Penampakan umbi ubi kayu generasi kedua untuk seleksi ketahanan terhadap PPD selama 11 hari berasal dari iradiasi biji MLG 10248 dengan dosis 20 krad.

Dari beberapa hasil iradiasi ubi kayu yang telah dilakukan menunjukkan bahwa perbaikan tanaman ubi kayu yang tahan PPD dapat dilakukan dengan metode iradiasi sinar gama. Selain itu, metode ini mampu menghasilkan klon-klon ubi kayu tahan PPD yang relatif lebih aman dan dalam jumlah yang banyak. Meskipun beberapa tahapan, yaitu evaluasi dan uji stabilitas dari beberapa kandidat tahan PPD, perlu dilakukan sampai beberapa generasi dalam upaya untuk menghindari sifat kimera (kemunculan sifat sementara/resesif) agar didapatkan sifat yang relatif lebih stabil.



4. Perbaikan Tanaman Tahan PPD Melalui Rekayasa Genetika

Saat ini, teknologi rekayasa genetika semakin banyak digunakan dalam dunia penelitian untuk mendapatkan hasil yang lebih cepat dan tepat. Rekayasa genetika pada ubi kayu telah dilakukan guna memperoleh tanaman baru dengan sifat yang diinginkan, seperti peningkatan hasil panen, peningkatan kandungan pati, peningkatan kandungan protein dalam umbi, dan penundaan pembusukan umbi setelah panen (PPD). Dibandingkan metode pemuliaan tanaman secara konvensional, teknologi rekayasa genetika telah terbukti lebih efektif dan efisien. Rekayasa genetika dengan memanipulasi gen dapat dilakukan melalui penyisipan gen asing dari organisme lain ke organisme target atau pembungkaman gen tertentu sesuai sifat yang diinginkan di dalam organisme target.

Upaya penggunaan teknologi rekayasa genetika pada ubi kayu mulai dilakukan sekitar 30 tahun yang lalu setelah ditemukan teknologi regenerasi ubi kayu melalui somatik embriogenesis dan propagasi klonal. Transformasi genetik pada ubi kayu menggunakan material kalus embriogenik, yang disebut *Friable Embryogenic Callus* (FEC), dan bakteri *Agrobacterium tumefaciens* sebagai agen pentransfer konstruk gen target dipublikasikan pertama kali pada tahun 1996 (Li, Sautter, Potrykus, & Puonti-Kaerlas, 1996; Schöpke dkk., 1996). Sejak saat itu, teknologi transformasi gen guna menghasilkan tanaman transgenik dengan sifat tertentu sesuai yang diinginkan menjadi strategi yang menjanjikan untuk perbaikan sifat tanaman, dibandingkan metode pemuliaan tanaman secara konvensional (Chavarriaga-Aguirre dkk., 2016). Tersedianya *database* genom ubi kayu saat ini memungkinkan bagi para peneliti untuk mengidentifikasi gen tertentu dan mempelajari mekanisme atau fungsinya dalam jalur biosintesis tanaman, termasuk gen-gen terkait proses pembusukan umbi pascapanen (Bredeson dkk., 2016; Prochnik dkk., 2012; Wang dkk., 2014).

Terkait dengan upaya penundaan PPD pada ubi kayu, beberapa penelitian yang telah dilakukan selama ini berfokus pada manipulasi gen yang bertanggung jawab pada produksi ROS atau senyawa radikal bebas (Vanderschuren dkk., 2014; Xu, Duan, Yang, Beeching, & Zhang, 2013; Zidenga, Leyva-Guerrero, Moon, Siritunga, & Sayre, 2012) dan gen yang terlibat dalam produksi skopoletin (Liu, Zainuddin, Vanderschuren, Doughty, & Beeching, 2017). Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, PPD merupakan hasil proses oksidatif oleh ROS dan berkorelasi positif dengan produksi skopoletin dalam umbi yang mengalami proses PPD. Oleh karena itu, hipotesis yang digunakan adalah dengan menghambat produksi ROS atau dengan



menghambat produksi skopoletin akan memperlambat proses pembusukan umbi pascapanen. Overekspresi gen-gen untuk enzim antioksidan, seperti mitokondrial alternatif oksidase (AOX) dan superoksida dismutase (MeCu/ZnSOD) telah teruji mampu mereduksi level ROS dalam umbi dan mampu menunda proses pembusukan (PPD) hingga pada skala lapang (Xu dkk., 2013; Zidenga dkk., 2012). Overekspresi gen untuk enzim antioksidan glutathione peroksidase (GPX) dan pembungkaman gen Feruloyl CoA 6'-hidroksilase (MeF6'H) yang terlibat dalam produksi skopoletin juga telah terbukti mampu menunda proses PPD meskipun baru diujikan pada skala laboratorium atau rumah kaca (Liu dkk., 2017; Vanderschuren dkk., 2014).

Dalam upaya untuk mempelajari dan mengatasi masalah PPD, Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI telah menjalin beberapa kerja sama luar negeri, di antaranya dengan Universitas Bath, Inggris dan ETH Zurich, Swiss. Penelitian yang dilakukan di Universitas Bath (2013–2017) difokuskan pada modifikasi jalur biosintesis skopoletin pada ubi kayu yang memiliki peranan penting dalam proses pembusukan umbi pascapanen. Beberapa galur ubi kayu transgenik telah dihasilkan dan diuji di rumah kaca (Gambar 10.9). Hasil uji di rumah kaca tanaman ubi kayu transgenik menunjukkan bahwa beberapa galur ubi kayu transgenik memiliki sifat tahan PPD lebih baik, dengan skor PPD lebih rendah dibandingkan kontrol dan sangat berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut untuk uji lapang. Analisis kandungan skopoletin menunjukkan bahwa kandungan skopoletin pada tanaman transgenik lebih rendah secara signifikan dibandingkan tanaman kontrol. Hal ini membuktikan bahwa skopoletin memiliki peran penting dalam proses pembusukan umbi pascapanen. Hasil penelitian menggunakan teknologi transgenik dengan memodifikasi jalur biosintesis skopoletin ini baru pada tahap pengujian di rumah kaca sehingga diperlukan tahap pengujian lebih lanjut, yaitu uji lapang untuk mengonfirmasi hasil studi di rumah kaca.



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.9 Pengujian Tanaman Ubi Kayu Transgenik di Rumah Kaca di Universitas Bath, Inggris Tahun 2016–2017

Puslit Bioteknologi LIPI juga mengadakan kerja sama penelitian dengan ETH Zurich pada 2011–2015 untuk mengevaluasi 28 genotipe tanaman ubi kayu yang berasal dari koleksi LIPI. Evaluasi ini bertujuan untuk melakukan seleksi tanaman ubi kayu yang paling tahan dan paling rentan PPD. Dari dua genotipe tanaman ubi kayu terpilih, analisis transkriptomik dengan teknologi RNAseq telah dilakukan untuk mengetahui gen-gen dan jalur biosintesis yang berperan, baik dalam ketahanan maupun kerentanan umbi terhadap PPD. Kerja sama lain yang dilakukan dengan ETH Zurich melalui *Seed Money Project Grant* pada 2015–2016, yaitu aplikasi bahan kimia yang telah teridentifikasi dapat menunda PPD pada skala lapang. Keluaran yang dihasilkan dari kerja sama LIPI-ETHZ ini telah didiseminasikan kepada petani, peneliti, dan praktisi ubi kayu di Indonesia melalui kegiatan *focus group discussion* (FGD) yang diselenggarakan di Puslit Bioteknologi LIPI. Penundaan pembusukan



umbi ubi kayu dengan cara pemangkasan, penyimpanan dalam kantong plastik, dan perlakuan kimia juga diperkenalkan kepada petani ubi kayu melalui kegiatan lokakarya dalam rangkaian diseminasi ini (Gambar 10.10).



Sumber: Fathoni (2017)

Gambar 10.10 Lokakarya penundaan pembusukan umbi ubi kayu diselenggarakan oleh Puslit Bioteknologi LIPI bekerja sama dengan ETH Zurich pada 2015–2016.



G. KESIMPULAN

Pembusukan umbi setelah panen (PPD) merupakan salah satu masalah utama dalam produksi dan pemanfaatan ubi kayu. Masalah ini memiliki dampak ekonomi yang cukup besar. Di Indonesia, ulasan mengenai PPD masih terbatas sehingga diharapkan uraian materi dalam bab ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembaca tentang pembusukan umbi ubi kayu pascapanen dan upaya yang dapat dilakukan guna mengatasi masalah tersebut. Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengatasi dan menunda pembusukan umbi, mulai dari teknik konvensional hingga modern dengan teknik rekayasa genetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Acedo, J., & Acedo Jr, A. (2012). Controlling postharvest physiological deterioration and surface browning in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots with hot water treatment. *Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality*, 989, 357–361.
- Ahloowalia, B. S., & Maluszynski, M. (2001). Induced mutations—A new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, 118(2), 167–173.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía-Lorío, D. J. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Averre, C. (1967). Vascular streaking of stored cassava roots. *Proceedings of the 1st Symposium of the International Society for Tropical Root Crops*, 31–35.
- Balagopalan, C. (2002). Cassava utilization in food, feed and industry. *Cassava: Biology, production and utilization*, 301–318.
- Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi). 2011. Ubi kayu. Diakses pada 17 April 2018 dari balitkabi.litbang.pertanian.go.id/wpcontent/uploads/.../RH_2011_06_ubikayu-1.pdf.
- Bayoumi, S. A. L., Rowan, M. G., Beeching, J. R., & Blagbrough, I. S. (2010). Constituents and secondary metabolite natural products in fresh and deteriorated cassava roots. *Phytochemistry*, 71(5–6), 598–604.
- Beeching, J. R., Han, Y., Gomez-Vásquez, R., Day, R. C., & Cooper, R. M. (1998). Wound and defense responses in cassava as related to postharvest physiological deterioration. *Phytochemical Signals and Plant Microbe Interactions*, 32, 231–248. Boston: Springer.
- Beeching, J. R., Reilly, K., Gómez-Vásquez, R., Li, H., Han, Y., Rodriguez, M. X., ... & Tohme, J. (2002) Post-harvest physiological deterioration of cassava. *Cassava Physiology & Breeding*, 60–66.
- Booth, R. H. (1975). Cassava storage: Post-harvest deterioration and storage of fresh cassava roots (No. Co29. 027). CIAT.
- Booth, R. H. (1976). Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta*). I. Post-Harvest Deterioration and its Control. *Experimental Agriculture*, 12(02), 103–111.



- Bredeson, J. V., Lyons, J. B., Prochnik, S. E., Wu, G. A., Ha, C. M., Edsinger-Gonzales, E., ... Nauluvula, P. (2016). Sequencing wild and cultivated cassava and related species reveals extensive interspecific hybridization and genetic diversity. *Nature Biotechnology*, 34(5), 562–570.
- Buitrago, J. A. (1990). La yuca en la alimentacion animal (No. 85). Cali, Colombia, CIAT.
- Buschmann, H., Reilly, K., Rodriguez, M. X., Tohme, J., & Beeching, J. R. (2000a). Hydrogen peroxide and flavan-3-ols in storage roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) during postharvest deterioration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5522–5529.
- Buschmann, H., Rodriguez, M. X., Tohme, J. & Beeching, J. R. (2000b). Accumulation of hydroxycoumarins during post-harvest deterioration of tuberous roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Annals of Botany*, 86, 1153–1160.
- Chavarriga-Aguirre, P., Brand, A., Medina, A., Prías, M., Escobar, R., Martinez, J., ... & Tohme, J. (2016). The potential of using biotechnology to improve cassava: A review. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 52(5), 461–478.
- Chávez, A. L., Sánchez, T., Jaramillo, G., Bedoya, J. M., Echeverry, J., Bolaños, E. A., ... & Iglesias, C. A. (2005). Variation of quality traits in cassava roots evaluated in landraces and improved clones. *Euphytica*, 143(1–2), 125–133.
- Diamante, J. (1986). Post-harvest physiological disorders in root crops. *Radix*, 8, 4–6.
- Dutch Agriculture Development & Trading Company BV (Dadtco Philafrica B.V). (2018). DADTCO-AMPU autonomous mobile processing unit. Diakses pada 2 November 2018 dari <https://www.dadtco.nl/technology>.
- Fadeyibi, A. (2012). Storage methods and some uses of cassava in Nigeria. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5, 12–18.
- FAO. (2016). *Food outlook biannual report on global food Mmarkets*. ISSN 0251-1959. Diakses pada 16 Januari 2017 dari <http://www.fao.org/3/a-i6198e.pdf>.
- Fathoni, A. (2017). Riset ubi kayu: Status dan prospek pemanfaatannya. Dipresentasikan pada Lokakarya Peran Riset dan Kebijakan untuk Penguatan Rantai Nilai Ekonomi Ubi Kayu Indonesia. Cibinong, 7 September 2017.
- Huang, J., Bachem, C., Jacobsen, E., & Visser, R. (2001). Molecular analysis of differentially expressed genes during postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tuberous roots. *Euphytica*, 120(1), 85–93.
- Iyer, S., Mattinson, D. S., & Felman, J. K. (2010). Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. *Tropical Plant Biology*, 3(3), 151–165.
- Jørgensen, K., Morant, A. V., Morant, M., Jensen, N. B., Olsen, C. E., Kannangara, R., ... & Bak, S. (2011). Biosynthesis of the cyanogenic glucosides linamarin and lotaustralin in cassava: Isolation, biochemical characterization, and expression pattern of CYP71E7, the oxime-metabolizing cytochrome P450 enzyme. *Plant Physiology*, 155(1), 282–292.
- Kawano, K., & Rojanaridpiched, C. (1983). Genetic study on postharvest root deterioration in cassava. *Kasetsart J.*, 17, 14–26.
- Kojima, M., Iwatsuki, N., Data, E. S., Villegas, C. D. V., & Uritani, I. (1983). Changes of cyanide content and linamarase activity in wounded cassava roots. *Plant Physiology*, 72(1), 186–189.

- Li, H. Q., Sautter, C., Potrykus, I., & Puonti-Kaerlas, J. (1996). Genetic transformation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Nature biotechnology*, 14(6), 736–740.
- Liu, S., Zainuddin, I. M., Vanderschuren, H., Doughty, J., & Beeching, J. R. (2017). RNAi inhibition of feruloyl CoA 6'-hydroxylase reduces scopoletin biosynthesis and post-harvest physiological deterioration in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) storage roots. *Plant Molecular Biology*, 94(1–2), 185–195.
- Maharani, S., Khumaida, N., Syukur, M., & Ardie, S. W. (2015). Radiosensitivitas dan keragaman ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) hasil iradiasi sinar gama. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 43(2), 111–117.
- Ma, Q., Zhang, T., Zhang, P., & Wang, Z. Y. (2016). Melatonin attenuates postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. *Journal of Pineal Research*, 60(4), 424–434.
- Marriott, J., Been, B. O., & Perkins, C. (1978). The aetiology of vascular discoloration in cassava roots after harvesting: Association with water loss from wounds. *Physiologia Plantarum*, 44(1), 38–42.
- Miller, R. W., Sirois, J.-C., & Morita, H. (1975). The reaction of coumarins with horseradish peroxidase. *Plant Physiology*, 55(1), 35–41.
- Morante, N., Sánchez, T., Ceballos, H., Calle, F., Pérez, J. C., Egesi, C., ... & Fregene, M. (2010). Tolerance to postharvest physiological deterioration in cassava roots. *Crop Science*, 50(4), 1333–1338.
- Moyib, K. O., Mkumbira, J., Odunola, O. A., Dixon, A. G., Akoroda, M. O., & Kulakow, P. (2015). Genetic variation of postharvest physiological deterioration susceptibility in a cassava germplasm. *Crop Science*, 55(6), 2701–2711.
- Naziri, D., Quaye, W., Siwoku, B., Wanlapatit, S., Phu, T. V., & Bennett, B. (2014). The diversity of postharvest losses in cassava value chains in selected developing countries. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 115(2), 111–123.
- Noon, R. A., & Booth, R. H. (1977). Nature of post-harvest deterioration of cassava roots. *Transactions of the British Mycological Society*, 69(2), 287–290.
- Owiti, J., Grossmann, J., Gehrig, P., Dessimoz, C., Laloi, C., Hansen, M. B., ... & Vanderschuren, H. (2011). iTRAQ-based analysis of changes in the cassava root proteome reveals pathways associated with post-harvest physiological deterioration. *The Plant Journal*, 67(1), 145–56.
- Prochnik, S., Marri, P. R., Desany, B., Rabinowicz, P. D., Kodira, C., Mohiuddin, M., ... & Rokhsar, D. (2012). The cassava genome: Current progress, future directions. *Tropical Plant Biology*, 5(1), 88–94.
- Qin, Y., Djabou, A. S. M., An, F., Li, K., Li, Z., Yang, L., ... & Chen, S. (2017). Proteomic analysis of injured storage roots in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under postharvest physiological deterioration. *PloS one*, 12(3), e0174238.
- Ravi, V., Aked, J., & Balagopalan, C. (1996). Review on tropical root and tuber crops I. Storage methods and quality changes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(7), 661–709.
- Reilly, K. (2001). *Oxidative stress related genes in cassava post-harvest physiological deterioration*. (Doctoral thesis), University of Bath, United Kingdom.



- Reilly, K., Gómez-Vásquez, R., Buschmann, H., Tohme, J., & Beeching, J. R. (2004). Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. *Plant Molecular Biology*, 56, 625–641.
- Reilly, K., Bernal, D., Cortés, D. F., Gómez-Vásquez, R., Tohme, J., & Beeching, J. R. (2007). Towards identifying the full set of genes expressed during cassava post-harvest physiological deterioration. *Plant Molecular Biology*, 64(1–2), 187–203.
- Reiter, R. J., Tan, D. X., & Burkhardt, S. (2002). Reactive oxygen and nitrogen species and cellular and organismal decline: Amelioration with melatonin. *Mechanisms of Ageing and Development*, 123(8), 1007–1019.
- Rickard, J. E. (1985). Physiological deterioration of cassava roots. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36(3), 167–176.
- Rudi, N., Norton, G. W., Alwang, J., & Asumugha, G. (2010). Economic impact analysis of marker-assisted breeding for resistance to pests and postharvest deterioration in cassava. *African Journal of Agriculture and Resource Economics*, 4, 110–122.
- Salcedo, A., & Siritunga, D. (2011). Insights into the physiological, biochemical and molecular basis of postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta*) roots. *American Journal of Experimental Agriculture*, 1(4), 414–431.
- Sánchez, T., Chavez, A. L., Ceballos, H., Rodriguez-Amaya, D. B., Nestel, P., & Ishitani, M. (2006). Reduction or delay of post-harvest physiological deterioration in cassava roots with higher carotenoid content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 634–639.
- Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, J. L., Pizarro, M., Aragón, I. J., Domínguez, M., & Ceballos, H. (2013). Changes in extended shelf life of cassava roots during storage in ambient conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 520–528.
- Saravanan, R., Ravi, V., Stephen, R., Thajudhin, S., & George, J. (2016). Post-harvest physiological deterioration of cassava (*Manihot esculenta*)—A review. https://www.researchgate.net/publication/310621482_post-harvest_Physiological_Deterioration_of_Cassava_Manihot_esculenta_a_A_review.
- Schöpke, C., Taylor, N., Cárcamo, R., Marmey, P., Henshaw, G. G., Beachy, R. N., & Fauquet, C. (1996). Regeneration of transgenic cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz) from microbombarded embryogenic suspension cultures. *Nature Biotechnology*, 14(6), 731–735.
- Siritunga, D., Arias-garzon, D., White, W., & Sayre, R. T. (2004). Over-expression of hydroxynitrile lyase in transgenic cassava roots accelerates cyanogenesis and food detoxification. *Plant Biotechnology Journal* 2, 37–43.
- Siwinska, J., Kadzinski, L., Banasiuk, R., Gwizdek-Wisniewska, A., Olry, A., Banecki, B., ... Ilnatowicz, A. (2014). Identification of QTLs affecting scopolin and scopoletin biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *Bmc Plant Biology*, 14(91), 280.
- Supatmi, E., & Sudarmonowati. (2012). Improved regeneration, acclimatization and shoot cutting production of “Gebang” cassava derived from irradiated in vitro shoots. *Annales Bogorienses*, 16(2), 7–12.
- Tanaka, Y., Data, E. S., Hirose, S., Taniguchi, T., & Uritani, I. (1983). Biochemical changes in secondary metabolites in wounded and deteriorated cassava roots. *Agricultural and Biological Chemistry*, 47(4), 693–700.

- Tanaka, Y., Data, E. S., Lape, V. G., Villegas, C. D., Gorgonio, M., Hirose, S., & Uritani, I. (1984). Effect of pruning treatment on physiological deterioration in cassava roots. *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(3), 739–743.
- Tumuhimbise, R., Shanahan, P., Melis, R., & Kawuki, R. (2014). Genetic variation and association among factors influencing storage root bulking in cassava. *The Journal of Agricultural Science*, 153(7), 1267–1280.
- Uarrotta, V. G., Moresco, R., Coelho, B., da Costa Nunes, E., Peruch, L. A. M., de Oliveira Neubert, E., ... & Maraschin, M. (2014). Metabolomics combined with chemometric tools (PCA, HCA, PLS-DA and SVM) for screening cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots during postharvest physiological deterioration. *Food Chemistry*, 161, 67–78.
- Uarrotta, V. G., & Maraschin, M. (2015). Metabolomic, enzymatic, and histochemical analyzes of cassava roots during postharvest physiological deterioration. *BMC Research Notes*, 8(1), 648.
- Uchekukwu-Agua, A. D., Caleb, O. J., & Opara, U. L. (2015). Postharvest handling and storage of fresh cassava root and products: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 8(4), 729–748.
- Uritani, I. (1999). Biochemistry on postharvest metabolism and deterioration of some tropical tuberous crops. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 40, 177–183.
- van Oirschot, Q. E. A., O'Brien, G. M., Dufour, D., El-Sharkawy, M. A., & Mesa, E. (2000). The effect of pre-harvest pruning of cassava upon root deterioration and quality characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(13), 1866–1873.
- Vanderschuren, H., Nyaboga, E., Poon, J. S., Baerenfaller, K., Grossmann, J., Hirsch-Hoffmann, M., ... Gruissem, W. (2014). Large-scale proteomics of the cassava storage root and identification of a target gene to reduce postharvest deterioration. *The Plant Cell*, 26(5), 1913–1924.
- Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular plant*, 3(1), 2–20.
- Wang, W., Feng, B., Xiao, J., Xia, Z., Zhou, X., Li, P., ... & Luo, M. C. (2014). Cassava genome from a wild ancestor to cultivated varieties. *Nature Communications*, 5, 5110. DOI:10.1038/ncomms6110
- Wenham, J. E. (1995). *Post-harvest deterioration of cassava: A biotechnology perspective* (Vol. 130). Food & Agriculture Org.
- Wheatley, C. C., & Schwabe, W. W. (1985). Scopoletin involvement in post-harvest physiological deterioration of cassava root (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Experimental Botany*, 36(5), 783–791.
- Wheatley, C. C. (1980). Studies related with the nature of post-harvest physiological deterioration in cassava roots. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 33 p.. (Serie seminarios internos SE-16-80). Diakses pada 17 April 2018 dari <https://hdl.handle.net/10568/71441>.
- Xu, J., Duan, X., Yang, J., Beeching, J., & Zhang, P. (2013). Enhanced reactive oxygen species scavenging by overproduction of superoxide dismutase and catalase delays postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. *Plant Physiology*, 161, 112.
- Zidenga, T., Leyva-Guerrero, E., Moon, H., Siritunga, D. & Sayre, R. (2012). Extending cassava root shelf life via reduction of reactive oxygen species production. *Plant Physiology*, 159, 1396-1407.

BAB KESEBELAS



Inovasi Pengolahan Tepung Ubi Kayu untuk Peningkatan Kualitas Nutrisi

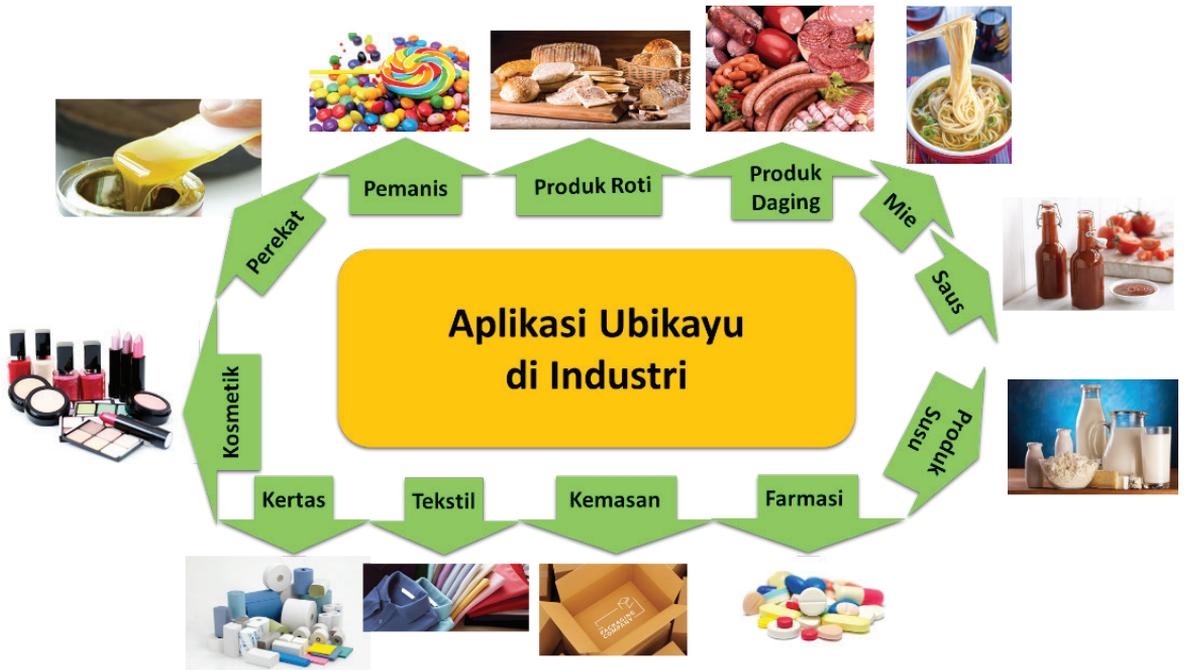
Wahyuni, Hartati, Siti Kurniawati, dan Ahmad Fathoni

A. TREN APLIKASI UBI KAYU DI INDUSTRI

Kualitas umbi ubi kayu pascapanen tidak dapat bertahan lama dan mudah rusak setelah penyimpanan sehingga untuk menghindari kehilangan pascapanen, baik secara jumlah maupun kualitas, umbi harus segera diolah atau dijual ke pasar dalam waktu 1–3 hari setelah panen (Ceballos dkk., 2017). Pengolahan ubi kayu pascapanen dapat dilakukan dengan memproses umbi menjadi bahan setengah jadi untuk bahan baku industri pangan dan nonpangan. Selain itu, untuk mengurangi kehilangan pascapanen, pengolahan menjadi bahan setengah jadi dapat menaikkan nilai ekonomi atau nilai jual ubi kayu.

Bahan setengah jadi dari ubi kayu banyak dibutuhkan di industri makanan dan nonmakanan sebagai bahan pengental, pengikat, perekat, dan penguat serat benang pada industri tekstil (Gambar 11.1). Selain itu, pati ubi kayu dapat diolah menjadi gula, seperti glukosa, sorbitol, dan dekstrin yang diperlukan dalam industri makanan. Ubi kayu juga merupakan bahan baku pembuatan bioetanol melalui proses fermentasi. Komposisi pati ubi kayu berbeda dengan pati pada jagung, kentang, dan gandum, dalam hal komposisi amilosa dan amilopektin. Perbedaan komposisi inilah yang menyebabkan karakteristik tepung yang berbeda sehingga ubi kayu menjadi sangat penting dalam industri. Salah satu kriteria lain pemanfaatan ubi kayu untuk bahan pangan adalah kadar sianida di bawah 40 mg/kg umbi segar (Gonzales &

Johnson, 2009). Sianida akan mengubah rasa umbi dan beracun sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan sebagai bahan pangan.



Sumber: Sriroth (2010)

Gambar 11.1 Aplikasi Pati Ubi Kayu di Industri

Pengolahan ubi kayu menjadi berbagai produk makanan secara langsung dilakukan dengan merebus, menggoreng, dan memfermentasi menjadi berbagai jenis produk olahan, seperti ubi kayu rebus, keripik, dan tape. Pengolahan ini dapat dilakukan dengan peralatan sederhana dan tradisional sehingga dapat dilakukan dari skala rumah tangga sampai skala industri menengah. Jenis ubi kayu yang digunakan sebagai bahan makanan langsung adalah ubi kayu dengan rasa yang enak, pulen dengan tekstur remah, dan kandungan sianida yang rendah, contohnya Menti, Apuy, dan Roti (Hartati, Aryaningrum, Wahyuni, Hartati, & Sudarmonowati. 2015).

Salah satu cara mengolah ubi kayu menjadi bahan setengah jadi adalah dengan mengolahnya menjadi gaplek. Gaplek dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan, bahan baku industri tepung, pakan ternak, dan bahan baku etanol. Pembuatan gaplek dilakukan dengan membelah ubi kayu menjadi beberapa bagian dan mengeringkannya dengan sinar matahari atau alat pengering. Pada umumnya, pengeringan



gaplek dilakukan secara tradisional, yaitu mengandalkan sinar matahari sehingga proses pengeringan memakan waktu yang lama dan menyebabkan tumbuhnya jamur. Jamur pada gaplek akan menghasilkan racun dan menurunkan higienitas serta kualitas warna tepung yang akan dihasilkan.

Pengolahan ubi kayu menjadi pati atau tepung tapioka juga banyak dilakukan, baik secara tradisional maupun industri. Tepung tapioka dibuat dengan memarut ubi kayu segar yang telah dikupas dan dicuci, kemudian mengendapkan air perasannya sampai terbentuk endapan putih dan mengeringkan menjadi tepung. Pengolahan tapioka membutuhkan jumlah air yang sangat banyak, yaitu untuk mengolah 1 ton ubi kayu segar diperlukan air sebanyak 14.000–18.000 liter (Koswara, 2009). Hal ini menyebabkan biaya produksi yang cukup besar sehingga harga tapioka sedikit lebih mahal dibandingkan terigu.

Pengolahan produk ubi kayu setengah jadi, saat ini, belum memperhatikan jumlah dan jenis nutrisi yang terkandung pada produk tersebut. Hal ini dikarenakan pemanfaatan bahan setengah jadi, seperti pati paling banyak adalah sebagai bahan aditif industri atau digunakan untuk pembuatan produk turunannya. Namun, tepung ubi kayu dapat digunakan sebagai pendamping terigu dalam proses pembuatan produk makanan, seperti kue kering atau aneka gorengan. Dalam hal ini, kandungan nutrisi akan menambah nilai gizi dari produk pangan olahan. Pengembangan tepung ubi kayu kaya nutrisi adalah suatu peluang dalam industri penepungan. Namun, untuk mempertahankan kadar nutrisi dalam produk tepung atau pati diperlukan inovasi dalam teknologi proses agar kadar nutrisi stabil. Inovasi teknologi ini telah dilakukan di Puslit Bioteknologi LIPI melalui kerja sama dengan Pusat Inovasi LIPI, Balai Penelitian Teknologi Tepat Guna Subang, dan industri pengolah tapioka dan tepung ubi kayu termodifikasi (*mocaf; modified cassava flour*).

B. INOVASI TEKNOLOGI PENGOLAHAN UBI KAYU

1. Tepung Ubi Kayu Kaya Beta Karoten

Tepung ubi kayu kaya beta karoten merupakan inovasi teknologi proses ubi kayu untuk menghasilkan tepung ubi kayu dengan kandungan nutrisi alami yang baik. Tepung ubi kayu kaya beta karoten belum umum dijumpai di pasaran sehingga prospeknya cukup besar untuk dikembangkan. Tepung ubi kayu yang umum ditemukan di pasar adalah tepung gaplek yang banyak dimanfaatkan untuk pakan ternak atau bahan baku pembuatan tapioka.



Pembuatan tepung ubi kayu kaya beta karoten memerlukan jenis ubi kayu dengan kandungan beta karoten dan teknik untuk mengurangi kehilangan beta karoten pada saat proses penepungan. Tepung kaya beta karoten digunakan sebagai tambahan nilai gizi dari produk olahan dan mengurangi fortifikasi gizi dari bahan sintesis.

Perbedaan tepung ubi kayu biasa dengan tepung ubi kayu kaya beta karoten terletak pada kandungan nutrisi, sumber bahan baku, dan proses pembuatannya. Berbeda dengan tepung ubi kayu biasa yang umumnya memiliki kandungan nutrisi rendah, tepung ubi kayu beta karoten memiliki kandungan nutrisi beta karoten yang lebih tinggi. Semua jenis varietas ubi kayu dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan tepung ubi kayu biasa atau tepung gaplek, tetapi untuk produksi tepung ubi kayu kaya beta karoten dibutuhkan beberapa kriteria tambahan, di antaranya varietas atau genotipe ubi kayu yang digunakan memiliki sifat berikut ini.

- a. Umbi dengan kadar beta karoten tinggi, yaitu ubi kayu yang berumbi kuning
- b. Memiliki kandungan kadar sianida (HCN) yang rendah
- c. Umur tanaman sekitar 8–12 bulan, sehingga rendemen patinya cukup tinggi
- d. Umbi dengan kadar pati tinggi dengan rendemen pati 1:3 dari berat basah, artinya untuk pembuatan 1 kg tepung diperlukan sebanyak 3 kg umbi basah kupas.

Ubi kayu yang dipilih sebaiknya juga dari jenis yang berserat rendah dan berkadar air rendah. Ubi kayu berserat rendah umumnya memiliki umbi yang lebih besar dan kandungan rendemen pati yang lebih tinggi. Ubi kuning berkadar air tinggi lebih rentan kehilangan kandungan beta karoten selama proses pembuatan tepung.

Umur ubi kayu untuk mendapatkan rendemen pati yang maksimal adalah sekitar 8–12 bulan. Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI memiliki koleksi ubi kayu unggul berumbi kuning yang ideal digunakan sebagai bahan baku pembuatan tepung ubi kayu kaya nutrisi, di antaranya Mentega 1, Mentega 2, Adira-1, Carvita 25 (dari perbaikan genetik melalui teknik radiasi), Ubi Kuning, Adira-4, dan Roti (Gambar 2). Ubi kayu tersebut telah dikarakterisasi dan dievaluasi morfologi berdasarkan karakter agronomi dan nutrisinya, seperti warna umbi, daya hasil, rendemen pati serta kadar beta karoten dan protein.



Sumber: Lab. GMMJBT (2014)

Gambar 11.2 Umbi Berwarna Putih dan Kuning dari Beberapa Jenis Ubi kayu

2. Tepung Ubi Kayu Modifikasi

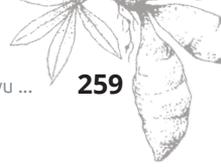
Tepung *modified cassava flour* (mocaf) adalah tepung ubi kayu yang telah mengalami modifikasi melalui proses fermentasi pada saat proses pengolahannya. Proses fermentasi ini menjadikan karakter tepung lebih baik dari pada tepung ubi kayu biasa. Tepung mocaf dibuat dengan cara yang hampir sama dengan pembuatan tepung ubi kayu biasa, namun dengan proses tambahan fermentasi sawut sebelum pengeringan. Tepung ubi kayu terfermentasi baru mulai dikenal di Indonesia beberapa tahun terakhir, terutama untuk memenuhi kebutuhan bahan pangan sehat atau bebas gluten untuk kebutuhan pangan khusus bagi penyandang autisme dan *autoimmune disorder* (*celiac disease*). Tepung ubi kayu biasa dan mocaf memiliki beberapa persamaan, di antaranya kandungan serat yang tinggi, bebas gluten, dan sama-sama memiliki indeks glikemik yang rendah. Proses fermentasi memengaruhi karakter mocaf dan perbaikan karakter dari tepung ubi kayu biasa berpengaruh pada aplikasi yang lebih luas. Penggunaan tepung ubi kayu biasa pada beberapa produk pangan, terutama roti, kurang disukai karena mengurangi kualitas produk pangan yang dihasilkan, yaitu tekstur dan rasa. Penggunaan tepung ubi kayu biasa menyebabkan adonan bahan pangan yang dihasilkan kurang mengembang, kurang elastisitas, kurang lembut, dan bau tepung ubi kayu masih dominan (Eduardo,



Svanberg, Oliveira, & Ahrné, 2013). Hal ini menyebabkan tepung ubi kayu lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan atau substitusi pada komposit tepung berbasis terigu (Eriksson, Koch, Tortoe, Akonor, & Oduro-Yeboah, 2014). Proses fermentasi memperbaiki karakter fisikokimia tepung ubi kayu sehingga teksturnya lebih mengembang dan lebih mirip terigu, lebih lembut, lebih elastis, dan bau dominan ubi kayu menjadi berkurang. Fermentasi juga meningkatkan viskositas dan kemampuan gelatinisasi pasta ubi kayu serta lebih mudah larut. Hal ini menyebabkan mocaf dapat diaplikasikan lebih luas untuk mengganti pemakaian terigu (Misgiyarta, Suismono, & Suyanti, 2009).

Tepung ubi kayu terfermentasi telah lama digunakan sebagai bahan pangan oleh masyarakat di Afrika. Kemungkinan besar, pembuatan tepung ubi kayu terfermentasi yang kita kenal diadaptasi dari pengolahan tepung ubi kayu di Afrika. Di Afrika, makanan dari tepung ubi kayu terfermentasi dikenal dengan nama lokal yang bervariasi, seperti fufu, lafun, dan gari (Flibert, Abel, & Aly, 2016). Proses fermentasi pada pembuatan tepung ubi kayu di Afrika dilakukan dengan menggunakan bakteri alami yang terdapat pada sumber air atau menggunakan starter mikroba dengan sistem fermentasi aerob atau nonaerob. Fufu dibuat dari umbi ubi kayu yang difermentasi secara anaerob sampai berjamur lalu diproses menjadi tepung (Olapade, Babalola, & Aworh, 2014; Flibert dkk., 2016). Lafun dibuat dari ubi kayu yang difermentasi di air selama 3 hari sampai ubi kayu menjadi lunak lalu dikeringkan dan dibuat tepung (Adebayo-Oyetero, Oyewole, Obadina, & Omemu, 2013; Flibert dkk., 2016). Sementara itu, gari dibuat dari *chips* ubi kayu yang difermentasi, lalu dipanggang sehingga sebagian pati mengalami gelatinisasi, baru dibuat tepung (Flibert dkk., 2016). Numfor, Walter, dan Schwartz (1998) menyebutkan bahwa proses fermentasi dapat memperbaiki granul pati, mengurangi daya mengembang, dan menurunkan pelepasan amilosa karena proses perlakuan panas.

Fermentasi juga memengaruhi cita rasa produk pangan, memberikan tekstur tertentu, dan dapat meningkatkan kandungan nutrisi produk (Murdani, 2015). Proses fermentasi ubi kayu di Afrika dilakukan untuk mengurangi kandungan senyawa glikosida sianogen, linamarin, dan lotaustralin ubi kayu (Hahn, 2017). Beberapa mikroba yang telah diidentifikasi terlibat pada fermentasi ubi kayu untuk pembuatan pangan tradisional di Afrika, di antaranya empat jenis ragi atau *yeast* (*Pichia onychis*, *Candida tropicalis*, *Geotrichum candida*, dan *Rhodotorula* sp.), dua jenis jamur (*Aspergillus niger* dan *Penicillium* sp.), dan dua jenis bakteri



(*Leuconostoc* sp. dan *Corynebacterium* sp.) untuk produksi lafun. Pada pembuatan gari, *Corynebacteria manihot* akan memproduksi asam organik dari jenis asam laktat dan asam formiat. Kondisi asam akan menumbuhkan jamur *G. candida* yang akan memengaruhi rasa dan aroma gari. Mocaf yang diproduksi beberapa daerah di Indonesia menggunakan bakteri alami atau pun starter mikrob. Variasi penggunaan starter menyebabkan perbedaan hasil dan kualitas pada mocaf yang dihasilkan. Kelemahan fermentasi alami adalah karena mocaf yang dihasilkan kurang mengembang dan masih menyisakan aroma ubi kayu yang kuat. Beberapa jenis starter yang dapat digunakan untuk fermentasi mocaf dan memberi hasil yang cukup baik adalah ragi tape (*Saccharomyces cerevisiae*) dan bakteri asam laktat (Murdani, 2015). Berapa jenis bakteri asam laktat yang digunakan untuk produksi mocaf adalah *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus vulgaricus*, dan *Streptococcus* sp. (Puspitojati & Santoso, 2014; Tandrianto, Mintoko, & Gunawan, 2014). Bakteri asam laktat akan memproduksi asam laktat dalam sistem metabolismenya. Starter komersial yang diproduksi khusus untuk pembuatan mocaf adalah starter BIMO CF, produk yang telah dipatenkan oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Kementerian Pertanian (Misgiyarta dkk., 2009). Starter BIMO-CF merupakan konsorsium mikrob dari jenis bakteri asam laktat dan ragi. Mikrob ini memproduksi beberapa jenis enzim, seperti enzim-enzim yang memiliki aktivitas selulolitik dan pektinolitik untuk memecah dinding sel ubi kayu dan enzim alfa amilase untuk memecah amilosa dan amilopektin. Bakteri asam laktat akan menggunakan glukosa sebagai substrat untuk memproduksi asam laktat. Ragi tape juga telah diujicobakan dalam fermentasi pembuatan mocaf dan performa ragi tersebut setara dengan BIMO-CF dengan membandingkan aspek daya mengembang, derajat putih, dan pengurangan aroma ubi kayu (Murdani, 2015). Oleh karena itu, penggunaan ragi tape dapat dijadikan alternatif BIMO-CF. Hal ini tentu saja akan memberi kemudahan kepada produsen mocaf yang kesulitan mendapatkan starter komersial.

3. Tepung Mocaf Kaya Beta Karoten

Perbedaan tepung mocaf dan tepung mocaf kaya beta karoten terletak pada kandungan nutrisinya. Tepung mocaf kaya beta karoten adalah tepung mocaf yang dibuat dengan cara yang sama dengan pembuatan tepung mocaf biasa dengan penambahan inovasi pada proses perlindungan beta karoten pada akhir proses fermentasi. Mocaf kaya beta karoten memiliki kandungan beta karoten yang lebih tinggi karena penggunaan bahan baku spesifik ubi kayu tinggi beta karoten dan

aplikasi sistem proteksi beta karoten menggunakan natrium metabisulfit setelah proses fermentasi (Gambar 3). Semua jenis ubi kayu dapat digunakan untuk pembuatan mocaf biasa, tetapi untuk mocaf kaya beta karoten dibutuhkan ubi kayu berumbi kuning, seperti yang digunakan sebagai bahan pembuatan tepung ubi kayu kaya beta karoten (Gambar 11.2). Mocaf kaya beta karoten LIPI menggunakan bahan baku varietas Adira-1 dan genotipe Mentega 2, sedangkan untuk mocaf biasa digunakan genotipe Menti dan Adira-4. Adira-1 lebih direkomendasikan sebagai bahan baku mocaf kaya beta karoten karena selain kandungan beta karoten yang tinggi, Adira-1 juga memiliki kandungan pati yang tinggi sehingga lebih menguntungkan secara ekonomi (Hartati dkk., 2017).



Sumber: Lab. GMMJBT (2015)

Gambar 11.3 Alur Pembuatan Mocaf Kaya Beta karoten

Dalam pembuatan mocaf, penanganan terhadap bahan baku menjadi hal yang utama untuk menghasilkan kualitas tepung yang baik. Bahan baku ubi kayu yang digunakan untuk pembuatan mocaf harus segar atau paling lama berumur dua hari setelah panen agar kualitas tepung yang dihasilkan tetap baik. Jika ubi kayu tidak segera diproses menjadi mocaf, ubi kayu yang telah dikupas harus segera



direndam dengan air bersih agar warna umbi tidak berubah menjadi cokelat atau hitam. Agar rendemen pati yang diperoleh maksimal, sewaktu proses pengupasan diusahakan tidak banyak bagian daging umbi yang terbuang. Umbi kupas diiris tipis-tipis menggunakan alat pemotong secara manual atau dengan mesin pengiris dengan ketebalan *chip* sekitar 2–4 mm. Ketebalan *chips* 2 mm merupakan ketebalan yang paling baik untuk memaksimalkan proses fermentasi, peningkatan konten protein karena starter mikrob bisa bekerja lebih maksimal pada seluruh bagian sawut (Darmawan, Andreas, Jos, & Sumardiono, 2013; Hartati dkk., 2017), dan membantu mempercepat pengeringan.

Standar pengujian kualitas mutu tepung mocaf telah dirumuskan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7622-2011. Parameter mutu tepung mocaf yang diuji terdiri atas keadaan fisik tepung, kandungan benda asing di dalam tepung, ada tidaknya serangga di dalam tepung, kehalusan tepung, kadar air, abu, serat kasar, derajat putih, belerang dioksida, derajat asam, kadar HCN, cemaran logam, cemaran arsen, dan cemaran mikrob (Tabel 11.1; BSN, 2011). Parameter yang terdapat dalam SNI ini perlu dimodifikasi untuk pengujian standar mutu tepung mocaf kaya beta karoten, seperti derajat putih. Hal ini dikarenakan warna beta karoten yang kekuningan akan memengaruhi warna tepung. Oleh karena itu, diperlukan usulan SNI khusus untuk menjelaskan karakteristik spesifik tepung mocaf.

Tabel 11.1 Syarat Mutu Tepung Mocaf Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 7622-2011

No	Parameter Uji	Syarat mutu
1	Keadaan	
1.1	Bentuk	Serbuk halus
1.2	Bau	Normal
1.3	Warna	Putih
2	Benda asing	Tidak ada
3	Serangga dalam semua bentuk stadia dan potongan-potongannya yang tampak	Tidak ada
4	Kehalusan	
4.1	Lolos ayakan 100 mesh (b/b)	Min 90%
4.2	Lolos ayakan 80 mesh (b/b)	100%
5	Kadar air (b/b)	Maks. 13 %
6	Abu (b/b)	Maks. 1,5 %
7	Serat Kasar (b/b)	Maks. 2%
8	Derajat putih (MgO = 100)	Min 87
9	Belerang dioksida (SO ₂)	Negatif
10	Derajat asam	Maks. 4,0 mL NaOH 1 N/100 g
11	HCN	Maks. 10 mg/kg
12	Cemaran logam	

No	Parameter Uji	Syarat mutu
12.1	Kadmium (Cd)	Maks. 0,2 mg/kg
12.2	Timbal (Pb)	Maks. 0,3 mg/kg
12.3	Timah (Sn)	Maks. 40,0 mg/kg
12.4	Merkuri (Hg)	Maks. 0,05 mg/kg
13	Cemaran arsen (As)	Maks. 0,5 mg/kg
14	Cemaran mikroba	
14.1	Angka lempeng total (35 °C, 48 jam)	Maks. 1×10^6
14.2	<i>Escherichia coli</i>	Maks. 10 APM/g
14.3	<i>Bacillus cereus</i>	$< 1 \times 10^4$
14.4	Kapang	Maks. 1×10^4

Sumber: BSN (2011)

C. FAKTOR YANG MEMENGARUHI PRODUKSI MOCAF KAYA BETA KAROTEN

Beberapa faktor penting yang memengaruhi keberhasilan dan kualitas mocaf kaya beta karoten adalah sebagai berikut.

1. Proteksi Beta Karoten Selama Proses Pembuatan Tepung

Proteksi atau perlindungan terhadap senyawa beta karoten pada umbi ubi kayu sangat penting untuk memastikan kandungan senyawa tersebut tidak hilang atau mengalami penurunan pada saat proses penepungan. Senyawa beta karoten dapat terdegradasi karena terpapar dengan oksigen sehingga akan terjadi autooksidasi, yaitu pemecahan rantai karbon beta karoten menjadi senyawa turunan, terpapar oleh cahaya, senyawa asam, dan logam (Boon, McClements, Weiss, & Decker, 2010). Beberapa tahapan pada proses pembuatan mocaf berpotensi menyebabkan kehilangan beta karoten, seperti proses perendaman yang berulang, fermentasi serta pengeringan *chips* ubi kayu. Hal ini tidak diinginkan karena menghilangkan nutrisi unggul mocaf kaya beta karoten. Inovasi melalui perlakuan perendaman dengan natrium metabisulfit memberikan perlindungan maksimal terhadap kehilangan beta karoten pada *chips* ubi kayu. Larutan natrium metabisulfit ditambahkan segera ke dalam rendaman sawut setelah proses fermentasi selama 12 jam tanpa melewati proses penirisan terlebih dahulu. Kemudian sawut diaduk agar larutan natrium metabisulfit tercampur rata pada permukaan sawut.

Natrium metabisulfit bekerja dengan cara melapisi permukaan sawut/*chips* ubi kayu sehingga beta karoten tidak hilang selama perendaman atau pun proses fermentasi (Fathoni, Hartati, & Mayasti, 2016; Hartati dkk., 2017). Konsentrasi natrium metabisulfit yang digunakan bervariasi dari 0,15 sampai 0,3%. Konsentrasi

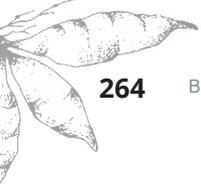


0,3% memberikan proteksi maksimal yang mampu memberikan perlindungan beta karoten sebesar 68%, tetapi pada produk akhir mocaf ditemukan residu bisulfit di atas ambang batas yang masih memenuhi rekomendasi Kementerian Kesehatan untuk keamanan pangan. Konsentrasi yang memberikan perlindungan sekaligus aman untuk pangan adalah 0,15%. Metode ini dikembangkan oleh Puslit Bioteknologi LIPI sebagai produk inovasi mocaf kaya beta karoten. Aplikasi natrium metabisulfit tidak hanya memberikan perlindungan terhadap kehilangan beta karoten, tetapi juga menyebabkan tepung mocaf kaya beta karoten menjadi lebih renyah daripada tepung mocaf biasa, terutama jika diaplikasikan untuk pembuatan keripik dan gorengan (Herwanto, 20 Juni 2017).

2. Pemilihan Starter Mikrob dapat Meningkatkan Protein pada Mocaf

Aplikasi starter mikrob memengaruhi kualitas mocaf yang dihasilkan dan pemilihan jenis starter yang digunakan sangat penting karena akan memengaruhi kandungan protein pada mocaf melalui produksi *single cell protein* (SCP) selama fermentasi. Bakteri asam laktat (BAL) menghasilkan beberapa jenis enzim, di antaranya enzim selulolitik dan pektinolitik yang dapat menghancurkan dinding sel ubi kayu sehingga terjadi pelepasan granula pati dari sel ubi kayu. BAL juga menghasilkan enzim-enzim yang menghidrolisis pati menjadi gula dan selanjutnya mengubahnya menjadi asam-asam organik, termasuk asam laktat. Asam laktat yang dihasilkan akan terimbibisi ke dalam tepung sehingga menghasilkan aroma dan cita rasa yang dapat mengurangi atau menutupi aroma serta cita rasa ubi kayu yang cenderung tidak menyenangkan konsumen (Subagio, 2007).

Pemilihan starter bakteri akan memengaruhi peningkatan protein tepung Mocaf. Kandungan protein umbi kayu segar secara umum adalah 1,12% dari berat umbi segar dan berkisar 1% dari berat tepung ubi kayu (Departemen Perindustrian, 1990). Fermentasi dengan BAL akan meningkatkan kandungan protein tepung Mocaf pada pH 3,5–5,5 (Murdani, 2015). Bakteri asam laktat mengalami fase pertumbuhan logaritmik pada proses fermentasi setelah 12–24 jam sehingga pada periode tersebut bakteri mampu menghasilkan SCP yang lebih tinggi. Beberapa laporan menyebutkan bahwa jenis starter memengaruhi peningkatan kadar protein di dalam tepung. BAL *L. plantarum* mampu meningkatkan kandungan protein hingga mendekati 2,8% setelah fermentasi selama 12 jam dan sampai 3,39% setelah 72 jam (Tandrianto, Mintoko, & Gunawan, 2014). Fermentasi dengan *L. casei* mampu meningkatkan protein 3,68% setelah fermentasi selama 72 jam, dengan *L. vulgaricus* hingga 7,56% setelah fermentasi 24 jam, dengan *Streptococcus thermophilus* 7,58%



setelah fermentasi 24 jam dan penggunaan campuran mikroba *L. vulgaricus* dan *S. thermophilus* hingga 7,48% setelah 24 jam (Puspitojati & Santoso, 2014). Fermentasi menggunakan starter *Lactobacillus* juga menyebabkan penurunan kadar HCN hingga 0 ppm pada produk mocaf (Amanu & Susanto, 2014).

3. Proses Pengeringan Sawut Ubi Kayu

Proses pengeringan sawut ubi kayu merupakan tahap yang sangat penting pada produksi tepung mocaf beta karoten tinggi. Beta karoten sangat rentan terhadap panas karena panas yang terlalu tinggi akan merusak beta karoten sehingga menyebabkan kehilangan yang cukup besar selama proses pengeringan. Suhu yang ideal untuk proses pengeringan tepung mocaf kaya beta karoten adalah 40–50°C. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pengering yang dilengkapi pengatur suhu atau pun dengan menjemur di bawah sinar matahari. Akan tetapi, penjemuran di bawah sinar matahari memiliki kelemahan karena tidak dapat mengontrol suhu pengeringan. Metode pengeringan lain yang mungkin efektif untuk pengeringan sawut adalah dengan menggunakan pengeringan beku (*freeze dry*), namun metode ini akan berimbas pada peningkatan biaya produksi tepung mocaf. Pengeringan sawut dengan mesin pengering dilakukan sampai kadar air maksimal 12% dengan temperatur konstan pada suhu maksimal 50°C. Kadar air yang terlalu tinggi akan memengaruhi daya simpan tepung. Jika daya simpan tepung yang diinginkan lebih lama, sawut dapat dikeringkan sampai kandungan kadar air 6–10%. Pengeringan alami sebaiknya dilakukan tidak lebih dari empat hari karena pengeringan yang lama menyebabkan tepung rentan terhadap serangan jamur. Untuk mencegah kehilangan beta karoten selama proses pengeringan, tepung Mocaf berbeta karoten tinggi sebaiknya dikeringkan dengan mesin pengering yang memiliki kontrol suhu. Sawut yang sudah kering kemudian disimpan dalam kantong/plastik bersih dan ditempatkan pada tempat yang kering dan tidak lembap.

D. PROSPEK BISNIS MOCAF DAN TEPUNG UBI KAYU KAYA BETA KAROTEN

Karakter mocaf yang lebih mirip terigu, dengan daya mengembang lebih baik atau setara tepung terigu kelas protein menengah, ditambah karakter unik tepung ubi kayu yang bebas gluten dan memiliki indeks glikemik rendah membuka peluang bisnis yang cukup menjanjikan. Inovasi produk ubi kayu dalam bentuk tepung mocaf kaya beta karoten akan bermanfaat bagi banyak pihak, di antaranya kepada konsumen rumah tangga dan industri-industri makanan yang bergantung pada



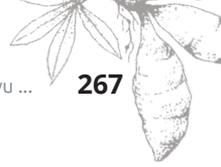
bahan dasar tepung terigu, terutama jika dilihat dari aspek kesehatan dan daya substitusi. Mocaf dapat mengganti pemakaian terigu pada beberapa produk olahan sampai 100%. Hal ini meningkatkan prospek aplikasinya untuk industri pangan, terutama untuk mengganti bahan baku produk pangan berbasis terigu yang 100% materialnya berasal dari impor. Konsumsi terigu di Indonesia sebagian besar digunakan dalam industri roti dan mi, dengan komposisi 25% untuk produksi roti, 20% untuk mi instan, 30% mi basah, dan 25% untuk penggunaan lain (Aptindo, 2010). Jika tepung mocaf dapat menyubstitusi pemakaian tepung terigu, biaya konsumsi tepung terigu dapat ditekan 20 sampai 30%. Produksi mocaf dapat memberdayakan petani ubi kayu lokal dan meningkatkan prospek ubi kayu sebagai bahan baku makanan sehat. Ketersediaan bahan baku ubi kayu di Indonesia yang mencukupi dengan harga yang relatif murah diharapkan dapat menjadi pesaing produk tepung terigu dengan harga jual tepung yang lebih murah. Harga jual yang lebih murah dapat menjadi daya tarik yang besar bagi industri-industri makanan yang berbahan baku tepung sehingga tepung mocaf memberi potensi bisnis yang bagus.

Selain itu, kandungan beta karoten dan protein yang tinggi meningkatkan nilai tambah produk makanan berbahan baku mocaf karena adanya peningkatan nutrisi dari tepung mocaf dengan memanfaatkan varietas ubi kayu kaya nutrisi. Kandungan beta karoten di dalam mocaf berfungsi sebagai pro-vitamin A, yaitu prekursor vitamin A. Vitamin A adalah nutrisi esensial untuk menjalankan fungsi biologis tubuh manusia, seperti penglihatan, reproduksi, dan sistem kekebalan (Cardoso dkk., 2017; Paiva & Russel 1999).

Inovasi juga akan berimbas kepada petani ubi kayu di sekitar pabrik tepung, baik mocaf biasa maupun mocaf kaya beta karoten yang mendukung penyediaan bahan baku ubi kayu dengan memanfaatkan varietas ubi kayu kaya beta karoten, seperti Mentega dan Adira-1. Petani yang mendukung penyediaan bahan baku ubi kayu, baik dalam bentuk mentah maupun dalam bentuk sawut yang telah difermentasi, akan meningkat kesejahteraannya. Saat ini nilai impor Indonesia terhadap ubi kayu cukup besar dan mencapai 987,5 ton atau senilai US\$ 191.093 pada Maret 2016 (Agustinus, 2016). Permintaan ubi kayu terbesar berasal dari industri kertas, tekstil, kayu lapis, makanan, dan farmasi dalam bentuk pati. Selain pati, tepung ubi kayu termodifikasi (mocaf) juga memiliki pasar tersendiri, yaitu sebagai bahan pangan untuk konsumsi khusus, seperti diet gula dan gluten serta produk olahan pangan.

Perbaikan karakteristik tepung mocaf sehingga mendekati tepung terigu menyebabkan tepung mocaf dapat diaplikasikan hampir pada semua jenis kue, baik sebagai bahan campuran maupun pengganti secara keseluruhannya (Gambar 11.4). Produk yang dihasilkan dengan menggunakan tepung Mocaf mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan produk yang menggunakan tepung terigu berprotein sedang. Tepung mocaf dapat menggantikan peran terigu secara keseluruhan untuk pembuatan produk pangan, seperti keik, wafel, donat, bakpao atau pun dari jenis kue kering dan biskuit. Untuk kue basah, mocaf dapat diaplikasikan pada produk yang bahan bakunya terbuat dari tepung beras atau tepung terigu dengan ditambah tapioka. Tepung mocaf juga dapat digunakan untuk substitusi terigu pada pembuatan produk mi dan bahun hingga 20%. Mocaf memiliki kualitas dan elastisitas yang sama dengan produk yang menggunakan 100% terigu (Zulaidah, 2011). Mi yang dibuat dari 100% tepung mocaf memiliki tekstur yang lebih lembut. Selain itu, di antara konsumen ada yang lebih menyukai mi bertekstur lembut, tetapi mi dengan kandungan mocaf 100% umumnya kurang kenyal dan mudah patah. Makanan yang terbuat dari tepung mocaf juga mempunyai ketahanan terhadap dehidrasi yang tinggi sehingga tahan disimpan selama 3-4 hari tanpa perubahan tekstur yang berarti. Khusus untuk pembuatan roti, tepung mocaf masih memerlukan campuran tepung terigu dalam pemakaiannya karena untuk pembuatan roti diperlukan tepung dengan tingkat elastisitas yang tinggi. Elastisitas mocaf dapat ditingkatkan melalui pemilihan starter mikroba yang dapat meningkatkan kandungan protein dan pemilihan genotipe/varietas ubi kayu tinggi protein sebagai bahan baku pembuatan mocaf kaya protein. Sebagai alternatif perbaikan elastisitas mocaf juga dapat ditambahkan bahan baku dari jenis kacang-kacangan berprotein tinggi.





Sumber: Lab. GMMJBT (2016)

Gambar 11.4 Tepung Mocaf Puslit Bioteknologi LIPI dan Produk Pangan Olahannya

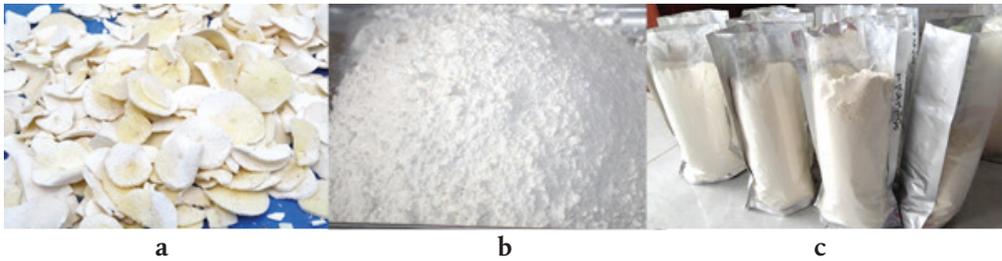
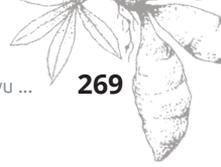
E. PENGOLAHAN MOCAF ENBAL DI MALUKU TENGGARA

Enbal merupakan ubi kayu yang memiliki kandungan asam sianida (HCN) tinggi sehingga untuk dapat dikonsumsi harus melalui proses pengolahan. Ubi kayu dengan kandungan sianida tinggi jika terlambat penanganan pada proses pengolahannya, cenderung menghasilkan aroma yang asam. Pengolahan enbal menjadi tepung telah dilakukan, namun masih perlu peningkatan dan modifikasi pada proses. Proses pembuatan tepung enbal secara tradisional dimulai dengan



pengupasan dan pencucian umbi. Maluku Tenggara (Malra) merupakan daerah kering dan sulit sumber air sehingga pencucian kerap menggunakan air hujan atau air tampungan. Setelah dicuci, umbi enbal dipotong menjadi bentuk sawut dan direndam. Pada proses perendaman ini maka terjadi proses fermentasi oleh mikrob. Sawut hasil perendaman kemudian dikeringkan atau dijemur di bawah sinar matahari langsung. Penjemuran ini sangat memengaruhi kualitas sawut. Tepung enbal yang dihasilkan dari proses tersebut mempunyai kualitas fisik yang kurang baik. Kualitas tepung sangat dipengaruhi saat proses perendaman atau fermentasi dan pengeringan. Fermentasi tidak menggunakan mikrob yang diketahui secara pasti jenis atau *strainnya*, tetapi hanya mengandalkan konsorsium alami yang terdapat pada air yang digunakan untuk merendam. Oleh karena itu, pada proses fermentasi ini akan dihasilkan kualitas tepung yang tidak stabil, baik dari segi warna, aroma, maupun cita rasa.

Pengenalan teknik pengolahan enbal menjadi tepung mocaf telah dilakukan oleh Dinas Ketahanan Pangan Pemda Maluku Tenggara sejak tahun 2010 (Jasmadi, 2015, komunikasi pribadi). Teknik pengolahan enbal menjadi Mocaf serupa dengan pembuatan Mocaf dari ubi kayu biasa. Bahan baku umbi enbal dengan kandungan HCN tinggi dipilih dari tanaman yang berumur 9–10 bulan. Umbi dikupas dan dicuci bersih kemudian dibuat menjadi sawut dengan ketebalan sekitar 1 mm (Gambar 11.5a). Sawut dengan ketebalan yang seragam sangat penting karena sangat berpengaruh untuk proses selanjutnya, yaitu perendaman fermentasi menggunakan mikrob. Bentuk sawut dengan permukaan yang luas dan ketebalan yang kecil sangat berpengaruh pada proses fermentasi terkait luasan kontak sawut dengan starter dan kinerja starter. Sawut enbal direndam menggunakan starter mocaf dengan takaran starter yang telah ditentukan per berat sawut dan jumlah air yang digunakan. Setelah dilakukan proses fermentasi selama beberapa jam, air rendaman sisa fermentasi dibuang dan dicuci-bilas. Pencucian bilas ada yang dilakukan 1 dan 2 kali, sesuai perlakuan. Sawut yang telah bersih kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C. Sawut kering kemudian siap untuk digiling menjadi bentuk tepung dan dikemas (Gambar 11.5b dan c).



Ket.: a) Sawut enbal dengan ketebalan 1 mm, b) Tepung mocaf asal ubi kayu enbal, dan c) pengemasan mocaf.

Sumber: Lab. GMMJBT (2016)

Gambar 11.5 Pengolahan Enbal Menjadi Mocaf

Penghilangan kadar HCN dari umbi enbal pada pengolahan mocaf dilakukan dengan uji coba beberapa pencucian dan perendaman sawut, yaitu sebagai berikut.

1. pencucian sawut sebanyak 1 kali
2. pencucian sawut sebanyak 2 kali
3. pencucian sawut 1 kali dan perendaman Natrium metabisulfit
4. pencucian sawut 2 kali dan perendaman Natrium metabisulfit

Kandungan HCN pada sawut setelah pencucian menunjukkan penurunan dan lebih besar lagi penurunannya setelah dicuci dua kali (Tabel 11.2).

Tabel 11.2 Komposisi Senyawa Biokimia Sawut Ubi Kayu Genotipe Enbal

Senyawa Biokimia	Pencucian 1 kali	Pencucian 2 kali	Pencucian 1 kali dan perendaman Natrium metabisulfit	Pencucian 2 kali dan perendaman Natrium metabisulfit
HCN (ppm)	5,59	3,97	8,59	5,08
Fe (ppm)	6,70	7,51	5,71	8,06
Zn (ppm)	4,95	3,82	6,58	6,99
Pati (%)	74,99	76,99	Tidak dianalisis	Tidak dianalisis
Protein (%)	0	0	0	0

Sumber: Fathoni (2017)

Tepung mocaf yang terbuat dari enbal ini telah diuji coba sebagai bahan dasar pembuatan kue, yaitu kue kering dan keik/bolu dengan takaran 100% tanpa ada penambahan tepung jenis lain. Hasilnya memberikan cita rasa dan kualitas yang tidak kalah dengan produk pangan olahan dari terigu. Pengembangan pengolahan mocaf dari umbi enbal dilakukan oleh Tim Peneliti Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia pada program *Agro-Marine Techno park* pada tahun 2015. Program *Techno park* ini menyertakan masyarakat lokal Malra dalam bentuk pelatihan pengolahan mocaf dan pembuatan produk pangan olahan mocaf, seperti pada Gambar 11.6. Selanjutnya, diharapkan masyarakat setempat dapat menerapkan dan menginisiasi UKM daerah serta meningkatkan pendapatan daerah setempat.



Sumber: Lab. GMMJBT (2016)

Gambar 11.6 Produk Olahan Mocaf dari Enbal



F. KESIMPULAN

Penanganan pascapanenan ubi kayu diperlukan untuk mengurangi kerusakan dan juga meningkatkan nilai ekonomi komoditas ubi kayu di pasar. Perbedaan nilai ekonomi yang signifikan antara ubi kayu mentah dan bahan setengah jadi dapat menguntungkan petani dan masyarakat yang bertanam ubi kayu, terutama petani tradisional. Peluang pasar untuk bahan setengah jadi ubi kayu sangat dibutuhkan oleh industri dan salah satunya adalah industri makanan olahan. Pengolahan ubi kayu menjadi tepung untuk industri makanan sudah berkembang pesat dan sudah banyak dikembangkan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pengolahan tepung ubi kayu untuk menciptakan pasar baru. Inovasi pengolahan tepung ubi kayu dilakukan oleh Puslit Bioteknologi dengan meningkatkan kualitas nutrisi beta karoten pada tepung Mocaf melalui pemanfaatan biodiversitas ubi kayu kaya beta karoten dan teknologi penepungan untuk mempertahankan nutrisi tersebut. Pemanfaatan Mocaf ini pada produk makanan olahan, seperti kue kering dan keik, dapat mengurangi pemakaian terigu sampai 100%. Inovasi teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan peluang pengembangan dan pemanfaatan ubi kayu sebagai bahan baku makanan sehat serta mendukung program pemerintah Indonesia untuk diversifikasi pangan karbohidrat nonberas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebayo-Oyetero, A. O., Oyewole, O. B., Obadina, A. O., & Omemu, M. A. (2013). Microbiological safety assessment of fermented cassava flour "lafun" available in Ogun and Oyo states of Nigeria. *International Journal of Food Science*, 2013, 1–5.
- Agustinus, M. (Kamis, 21 April 2016). RI masih impor singkong dari Vietnam, Ini respons Kementan. *detikFinance*. Diakses pada 21 April 2016 dari <https://finance.detik.com/ekonomi-bisnis/3193039/ri-masih-impor-singkong-dari-vietnam-ini-respons-kementan>.
- Amanu, F. N., & Susanto, W. H. (2014). Pembuatan tepung mocaf di Madura (Kajian varietas dan lokasi penanaman) terhadap mutu dan rendemen. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 2(3), 161–169.
- Aptindo. (2010). Produksi gandum dunia menipis. Diakses pada 14 Mei 2015 dari <http://www.batavia.co.id>.
- Boon, C. S., McClements, D. J., Weiss, J., & Decker, E. A. (2010). Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(6), 515–532.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2011). Standar Nasional Indonesia: Tepung mokaf. SNI 7622:2011. BSN, Jakarta, 43 halaman.

- 
- Cardoso, L. A. C., Karp, S. G., Vendruscolo, F., Kanno, K. Y. F., Zoz, L. I. C., & Carvalho, J. C. (2017). Biotechnological production of carotenoids and their applications in food and pharmaceutical products. Dalam D. J. Cvetkovic & G. S. Nikolic (Eds.), *Carotenoids* (hlm. Ch. 08). Rijeka: InTech.
- Ceballos, H., Davrieux, F., Talsma, E. F., Belalcazar, J., Chavarriaga, P., & Andersson, M. S. (2017). Carotenoids in Cassava Roots. Dalam D. J. Cvetkovic & G. S. Nikolic (Eds.), *Carotenoids* (hlm. Ch. 12). Rijeka: InTech.
- Departemen Perindustrian. (1990). Intisari proses pembuatan, peralatan, dan pemanfaatan tepung kasava, tepung sagu, dan tepung jagung. *Brosur Pameran Pangan*. Jakarta: Departemen Perindustrian RI.
- Darmawan, M. R., Andreas, P., Jos, B., & Sumardiono, S. (2013). Modifikasi ubi kayu dengan proses fermentasi menggunakan starter *Lactobacillus casei* untuk produk pangan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(4), 137–145.
- Eduardo, M., Svanberg, U., Oliveira, J., & Ahrné, L. (2013). Effect of cassava flour characteristics on properties of cassava-wheat-maize composite bread types. *International Journal of Food Science*, 2013, 1–5
- Eriksson, E., Koch, K., Tortoe, C., Akonor, P. T., & Oduro-Yeboah, C. (2014). Evaluation of the physical and sensory characteristics of bread produced from three varieties of cassava and wheat composite flours. *Food and Public Health*, 4(5), 214–222.
- Fathoni, A., Hartati, N. S., & Mayasti, N. K. I. (2016). Minimalisasi penurunan kadar beta-karoten dan protein dalam proses produksi tepung ubi kayu. *Jurnal Pangan*, 25(2), 113–124.
- Fathoni, A. (2017). Riset ubi kayu: Status dan prospek pemanfaatannya. Dipresentasikan pada Lokakarya Peran Riset dan Kebijakan untuk Penguatan Rantai Nilai Ekonomi Ubi Kayu Indonesia. Cibinong, 7 September 2017.
- Flibert, G., Abel, T., & Aly, S. (2016). African cassava traditional fermented food: The micro-organism's contribution to their nutritional and safety values-A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(10), 664–687.
- Gonzalez, C., & Johnson, N. (2009). Consumer preferences for table cassava characteristics in Pernambuco, Brazil. *Revista de Economia e Agronegócio*, 7(3), 363–383.
- Hahn, S. K. (2017). An overview of traditional processing and utilization of cassava in Africa. Diakses pada 20 Februari 2017 dari <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5458e/x5458e05.htm>.
- Hartati, Aryaningrum, P. D., Wahyuni, Hartati, N. S., & Sudarmonowati, E. (2015). Karakterisasi morfologi dan uji organoleptik 11 genotipe ubi kayu terseleksi untuk pangan. *Prosiding Hasil Penelitian Unggulan Bidang Pangan Nabati*, 391, Bogor, 25 September 2014.
- Hartati & Hartati, N. S. (2017). Quality improvement of high-betacarotene mocaf through enzymatic, chemical and physical modification. *Proceeding International Symposium on Bioeconomics of Natural Resources Utilization*, 100, Bogor, 12–14 September 2017.
- Koswara, S. (2009). *Teknologi pengolahan singkong (teori dan praktek)*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB: Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan. 24 hlm.



- Misgiyarta, Suismono, & Suyanti. (2009). Tepung kasava bimo kian prospektif. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 31(4), 1–4. Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian.
- Murdani. (2015). Analisis berbagai macam starter pada fermentasi MOCAF. Diakses pada 25 Maret 2018 dari <http://bbppketindan.bppsdp.pertanian.go.id/blog/analisis-berbagai-macam-starter-pada-fermentasi-MOCAF>.
- Numfor, F. A., Walter, W. M., & Schwartz, S. J. (1998). Emulsifiers affect the texture of pastes made from fermented and non-fermented cassava flours. *International Journal of Food Science & Technology*, 33(5), 455–460.
- Olapade, A. A., Babalola, Y. O., & Aworh, O. C. (2014). Quality attributes of fufu (fermented cassava) flour supplemented with bambara flour. *International Food Research Journal*, 21(5), 2025–2032.
- Paiva, S. A. R., & Russell, R. M. (1999). beta Carotene and other carotenoids as antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 18(5), 426–433.
- Puspitojati, E., & Santoso, H. (2014). Pengaruh penggunaan bakteri asam laktat selama fermentasi pada kualitas *modified cassava flour* (MOCAF). Kementerian Pertanian, Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian Magelang Jurusan Penyuluhan Pertanian di Yogyakarta.
- Sriroth, K. (2010). Overview of potential cassava as a food crop and as a feed stock for biofuels. Diakses pada 26 Maret 2018 dari https://www.slideshare.net/ifad/13-session-by-klanarong-cassava-as-a-biofuelbioenergy-crop-ghana?qid=700822cc-226f-482f-baa781d4575cd04e&v=&b=&from_search=18.
- Subagio, A., Windrati, W. S., & Witono, Y. (2009). Industrialization of Modified Cassava Flour (MOCAL/MOCAF) through cluster industrial concept: From opportunity identification to market development. *International Conference Proceeding Investing in Food Quality, Safety & Nutrition: Lessons Learned from Current Food Crisis*. 379, Jakarta, 27–28 Oktober 2008.
- Tandrianto, J., Mintoko, D. K., & Gunawan, S. (2014). Pengaruh fermentasi pada pembuatan MOCAF (*modified cassava flour*) dengan menggunakan *Lactobacillus plantarum* terhadap kandungan protein. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 143–145.
- Zulaidah A. (2011). *Modifikasi ubi kayu secara biologi menggunakan starter Bimo-CF menjadi tepung termodifikasi pengganti gandum*. (Tesis Master), Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang).



61194

61194

61194

BAB KEDUABELAS



Penguatan Peran Riset untuk Meningkatkan Nilai Rantai Ekonomi Ubi Kayu

Enny Sudarmonowati, N. Sri Hartati, Ahmad Fathoni, dan Hartati

Potensi pemanfaatan ubi kayu sangat besar tidak hanya untuk produk pangan, tetapi juga untuk pakan dan bahan baku bermacam-macam industri, seperti energi (bioetanol), pangan fungsional, dan farmasi. Saat ini tingkat kebutuhan ubi kayu di Indonesia terus meningkat, baik sebagai bahan pangan maupun bahan baku berbagai industri. Namun, produksi ubi kayu di Indonesia belum sepenuhnya dapat memenuhi kebutuhan tersebut dan hingga kini Indonesia masih tercatat sebagai negara pengimpor ubi kayu terbesar. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya untuk meningkatkan produktivitas ubi kayu dan penguatan daya saing ubi kayu, baik di pasar dalam negeri maupun internasional.

Ketersediaan galur baru ubi kayu unggul dengan karakteristik produksi tinggi (kadar pati dan daya hasil), nutrisi unggul, dan mampu beradaptasi pada kondisi cekaman beragam sangat penting dilakukan untuk meningkatkan produktivitas pertanian ubi kayu. Puslit Bioteknologi LIPI memiliki koleksi ubi kayu sekitar 117 genotipe, beberapa di antaranya telah diseleksi dan dikarakterisasi, baik secara fenotipik maupun genotipeik. Selanjutnya, dilakukan perakitan bibit unggul melalui rekayasa *in vitro* dan rekayasa genetika serta propagasi, baik melalui teknik *in vitro* maupun di lapang.

Besarnya kegunaan ubi kayu disertai tingginya produksi ubi kayu di Indonesia seharusnya menjadikan pertanian ubi kayu sebagai usaha yang menjanjikan bagi setiap pihak yang terlibat dalam rantai



nilai ekonomi komoditas ini. Namun, dengan kurangnya inovasi teknologi, luas lahan yang semakin sempit serta daya saing yang rendah terhadap produk impor, petani ubi kayu pada kenyataannya menghadapi banyak kendala dalam pemrosesan ubi kayu dan tata niaganya. Selain riset yang mampu mengakomodasi kebutuhan atau pun problem aktual pada level industri dan kelompok praktisi lainnya, faktor lain yang juga berpengaruh terhadap tata niaga ubi kayu adalah kebijakan. Riset yang sejalan dengan kebijakan pemerintah atau pun kebijakan yang mendukung tumbuhnya inovasi baru diharapkan mampu menguatkan peran riset lebih besar dalam mempercepat gerakan rantai nilai ekonomi ubi kayu.

Ubi kayu merupakan komoditas yang sangat populer dan memiliki prospek yang menjanjikan untuk bahan pangan dan industri. Riset dan pengembangan terkait komoditas ubi kayu dari hulu hingga hilir telah banyak dilakukan oleh beberapa institusi dan komunitas praktisi. Hal ini juga telah memperoleh hasil, di antaranya berupa bibit unggul, teknologi budi daya, dan pengolahan pascapanen. Besarnya perhatian peneliti, industri, dan juga pemerintah terhadap ubi kayu seharusnya membangkitkan minat pertanian akan komoditas ubi kayu ini. Akan tetapi, kondisi pada tingkat komersial/pasar yang ada saat ini tidak cukup kondusif, tingginya impor ubi kayu menjadi salah satu kendala selain semakin menurunnya luas lahan pertanian, menurunnya minat petani, dan berubahnya pola tanam petani. Untuk mengatasi kondisi ini diperlukan strategi yang komprehensif dan terintegrasi oleh berbagai pihak yang terkait di dalam rantai ekonomi ubi kayu. Untuk mencapai tujuan agar komoditas ubi kayu berperan semakin kuat dalam ekonomi Indonesia, diperlukan sasaran dan strategi pengembangan setidaknya dalam kurun waktu sepuluh tahun ke depan. Kerangka pengembangan ubi kayu berupa sasaran dan strategi umum yang dapat diterapkan untuk periode 2018–2028 adalah sebagaimana ditampilkan pada Tabel 12.1.

Peningkatan peran riset dan kebijakan untuk penguatan rantai nilai ekonomi ubi kayu dapat dilakukan melalui pendekatan holistik dan sinergi beberapa aspek, yaitu riset, budi daya, industri, dan kebijakan serta perlu pendekatan lintas sektoral beberapa kementerian dan lembaga. Dari sisi kebijakan, diperlukan beberapa kebijakan strategis dari pemerintah yang mampu mengakselerasi riset dan pengembangan ubi kayu di Indonesia, antara lain kebijakan pemerintah yang mengakomodasi ubi kayu sebagai salah satu komoditas prioritas nasional selain padi, jagung, dan kedelai serta kebijakan pemerintah yang dapat menjaga kestabilan harga ubi kayu atau mengatur aktivitas ekspor impor ubi kayu di Indonesia.



Tabel 12.1 Sasaran dan Strategi Umum Pengembangan Ubi Kayu

Sasaran	
<p>a. Periode I (2018–2022)</p> <p>b. Tersedianya data informasi terbaru mengenai potensi lahan dan produksi ubi kayu di Indonesia.</p> <p>c. Terbangunnya pusat koleksi ubi kayu Indonesia.</p> <p>d. Dilakukannya karakterisasi dan klasifikasi potensi (pangan, pakan, tapioka, bioetanol, dan lain-lain) ubi kayu di Indonesia.</p> <p>e. Tersedianya bibit unggul ubi kayu berbasis pangan (beta karoten dan protein) serta industri lainnya, seperti industri tapioka, bioetanol, kertas bahkan industri farmasi.</p> <p>f. Tersedianya teknologi budi daya ubi kayu yang mampu meningkatkan produktivitas ubi kayu.</p> <p>g. Terjalannya koordinasi dan keterpaduan pelaksanaan peningkatan produksi melalui pengembangan ubi kayu, baik di tingkat provinsi maupun kabupaten.</p> <p>h. Terjalannya koordinasi antara pemerintah, petani, dan pasar mengenai jaminan harga ubi kayu.</p> <p>i. Terciptanya kondisi pasar yang kondusif.</p>	<p>a. Periode II (2022–2028)</p> <p>b. Terbangunnya pusat koleksi terbesar ubi kayu dari seluruh wilayah Indonesia.</p> <p>c. Terpetakannya dengan baik ubi kayu di Indonesia, baik yang berpotensi untuk pangan, pakan, bahan baku industri olahan, maupun bahan dasar lanjutan untuk industri kertas, bahkan farmasi.</p> <p>d. Meningkatnya koordinasi dan keterpaduan pelaksanaan peningkatan produksi melalui pengembangan ubi kayu, baik di tingkat provinsi maupun kabupaten.</p> <p>e. Terbangunnya pusat-pusat pelatihan terpadu dan kemitraan bagi para petani ubi kayu untuk meningkatkan kualitas SDM dan peluang pasar.</p> <p>f. Meningkatnya produktivitas ubi kayu, baik di areal sentra produksi maupun di areal pengembangan.</p> <p>g. Terciptanya kondisi pasar yang kondusif.</p> <p>h. Meningkatnya kesejahteraan petani ubi kayu.</p>



Strategi Pengembangan Ubi Kayu

- a. Peningkatan areal tanam ubi kayu di daerah (potensi) pengembangan, seperti NTT, Sulawesi, Kalimantan, dan Maluku.
 - b. Peningkatan produktivitas ubi kayu pada 4 daerah sentra produksi ubi kayu terbesar di Indonesia, yaitu Lampung, Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat.
 - c. Peningkatan teknologi budi daya ubi kayu, baik melalui pengembangan bibit unggul hasil seleksi maupun dengan penerapan teknologi pupuk organik atau pupuk hayati.
 - d. Perakitan ubi kayu unggul yang sesuai dengan kebutuhan pasar, baik melalui seleksi alami, pemuliaan tanaman secara konvensional, induksi mutasi maupun melalui rekayasa genetika.
 - e. Peningkatan kompetensi sumber daya manusia (SDM) yang dapat mengadopsi teknologi budi daya ubi kayu.
 - f. Diversifikasi usaha tani melalui sistem tumpang sari.
 - g. Peningkatan koordinasi dan kerja sama instansi terkait dalam penetapan kebijakan.
-

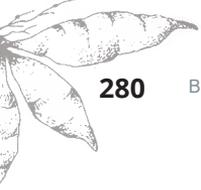
Riset ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI telah dilakukan selama hampir dua puluh tahun yang diawali sejak tahun 90-an bekerja sama dengan *stakeholder* terkait. Beberapa aspek penting terkait pengembangan ubi kayu di antaranya bibit unggul dengan produktivitas tinggi dan tahan simpan, inovasi peningkatan nilai tambah dan pengolahan pascapanen agar pemanfaatannya lebih luas, dan pembangunan kluster untuk industri terpadu. Dengan demikian, sinergi antara lembaga riset dan industri harus ditingkatkan untuk aplikasi hasil riset yang telah dicapai oleh berbagai institusi. Informasi hasil-hasil riset yang sebagian besar telah kami publikasikan, baik di jurnal ilmiah maupun berbagai pertemuan ilmiah, baik nasional maupun internasional diharapkan dapat bermanfaat dan berdampak untuk kesejahteraan petani ubi kayu Indonesia.

LAMPIRAN



Sepuluh Varietas Ubi Kayu yang Telah Diluncurkan oleh Kementerian Pertanian Indonesia dan Karakteristiknya

Varietas	Karakteristik
Adira-1	Dilepas tahun 1978; umur 7–10 bulan; bentuk daun menjari agak lonjong; warna pucuk daun cokelat; warna tangkai daun merah bagian atas dan merah muda bagian bawah; warna batang muda hijau muda; warna batang tua cokelat; warna kulit umbi cokelat bagian luar dan kuning bagian dalam; warna daging umbi kuning; kualitas rebus baik; rasa enak; kadar tepung/pati 45%; kadar protein 0,5% (basah); kadar HCN 27,5 mg; hasil rata-rata 22 t/ha umbi basah; agak tahan tungau merah (<i>Tetranychus bimaculatus</i>); tahan bakteri hawar daun (<i>cassava bacterial blight</i> , CBB), tahan layu (<i>Pseudomonas solanacearum</i> , <i>Xanthomonas manihotis</i>).
Adira-2	Dilepas tahun 1978; umur 8–12 bulan; bentuk daun menjari agak lonjong dan gemuk; warna pucuk daun ungu; warna tangkai daun merah muda bagian atas dan hijau muda bagian bawah; warna batang muda hijau muda; warna batang tua putih cokelat; warna kulit umbi putih cokelat bagian luar dan ungu muda bagian dalam; warna daging umbi putih; kualitas rebus baik; rasa agak pahit; kadar tepung/pati 41%; kadar protein 0,7% (basah); kadar HCN 124 mg/kg; hasil rata-rata 22 t/ha umbi basah; cukup tahan tungau merah (<i>Tetranychus bimaculatus</i>); tahan penyakit layu (<i>Pseudomonas solanacearum</i>).



Varietas	Karakteristik
Darul Hidayah	<p>Dilepas tahun 1998; Umur 8–12 bulan; bentuk daun menjari agak ramping; warna daun pucuk hijau agak kekuningan; warna tungkai daun tua merah; warna batang muda hijau; warna batang tua putih; kulit ari batang tipis mudah mengelupas (tidak tahan disimpan lama); warna kulit umbi bagian luar putih kecokelatan, bagian dalam merah jambu; warna daging umbi putih; tekstur daging umbi padat; bentuk umbi memanjang; kualitas rebus baik; rasa kenyal seperti ketan; kadar pati 25,00–31,52%; kadar HCN rendah (<40); potensi hasil 102,10 t/ha umbi segar; hama penyakit agak peka terhadap serangan hama tungau merah (<i>Tetranychus</i> sp.) dan penyakit busuk jamur.</p>
Adira-4	<p>Dilepas tahun 1987; umur 8 bulan; bentuk daun biasa agak lonjong; warna pucuk daun hijau; warna tangkai daun merah kehijauan (muda hijau kemerahan) bagian atas dan hijau kemerahan (hijau muda) bagian bawah; warna batang muda hijau muda; warna batang tua abu-abu; warna kulit umbi coklat bagian luar dan ros bagian dalam; warna daging umbi putih; kualitas rebus bagus, tetapi agak pahit; rasa agak pahit; kadar tepung/pati 25–30%; kadar protein 0,8% (basah); kadar HCN 68 mg/100 g; hasil 25–40 t/ha umbi basah; cukup tahan tungau merah (<i>Tetranychus bimaculatus</i>); tahan bakteri hawar daun CBB, tahan layu (<i>Pseudomonas solanacearum</i>, <i>Xanthomonas manihotis</i>).</p>
Malang-1	<p>Dilepas tahun 1992; umur 9–10 bulan; bentuk daun menjari agak gemuk; warna pucuk daun hijau keunguan; warna tangkai daun tua bagian atas dan bagian bawah hijau kekuning-kuningan dengan bercak merah ungu di bagian pangkal; warna batang muda hijau muda; warna batang tua hijau keabu-abuan; warna kulit umbi putih kecokelatan bagian luar dan bagian dalam; warna daging umbi putih kekuningan; kualitas rebus baik; rasa agak pahit; kadar tepung/pati 32–36%; kadar protein 0,5% (basah); kadar HCN <40 mg/kg (metode asam pikrat); hasil rata-rata 36,5 t/ha umbi basah (24,3–48,7 t/ha); toleran tungau merah (<i>Tetranychus bimaculatus</i>); toleran bercak daun (<i>Cercospora</i> sp.).</p>



Varietas	Karakteristik
Malang-2	Dilepas tahun 1992; umur 8-10 bulan; bentuk daun menjari dengan cuping sempit; warna pucuk daun hijau muda kekuningan; warna tangkai daun tua bagian atas dan bagian bawah hijau muda kekuning-kuningan; warna batang muda hijau muda; warna batang tua cokelat kemerahan; warna kulit umbi cokelat kemerahan bagian luar dan putih kecokelatan bagian dalam; warna daging umbi kuning muda; kualitas rebus baik; rasa enak (manis); kadar tepung/pati 32-36%; kadar protein 0,5% (basah); kadar HCN <40 mg/kg (metode asam pikrat); hasil rata-rata 31,5 t/ha umbi basah (20-42 t/ha); agak peka tungau merah (<i>Tetranychus bimaculatus</i>); toleran bercak daun (<i>Cercospora</i> sp.) dan hawar daun CBB.
Malang-4	Tidak bercabang; agak tahan terhadap hama tungau merah; umur 9 bulan; hasil 39,7 t/ha; warna kulit luar umbi cokelat; warna kulit dalam umbi putih; daging umbi putih, rasa pahit (kadar HCN >100 ppm); kadar tepung/pati 25-32%.
Malang-6	Bercabang tinggi, agak tahan terhadap hama tungau merah (<i>Tetranychus bimaculatus</i>); umur 9 bulan; hasil 36,5 t/ha; warna kulit umbi putih; warna kulit dalam umbi kekuning-kuningan; daging umbi putih; rasa pahit (kadar HCN >100 ppm); kadar pati 25-32%.
UJ-3	Tegak; tidak bercabang; tahan terhadap CBB; umur 8-10 bulan; hasil 35-40 t/ha; warna kulit umbi krem keputihan; warna kulit dalam umbi putih kemerahan; rasa pahit (kadar HCN >100 ppm); kadar tepung/pati 25-30%.
UJ-5	Tidak bercabang; tahan terhadap CBB; umur 9 bulan; hasil 38 t/ha; warna kulit umbi putih; warna kulit dalam umbi keunguan; rasa pahit (kadar HCN >100 ppm); kadar pati 19-30%.

Sumber: Wargiono, Hasanuddin, dan Suyamto (2006); Balitkabi (2004); Balitkabi (2005).



DAFTAR ISTILAH

Aklimatisasi	upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari suatu organisme terhadap suatu lingkungan baru yang akan dimasukinya.
Amilopektin	polisakarida yang tersusun dari monomer alfa glukosa.
Amilosa	polisakarida, polimer yang tersusun dari glukosa sebagai monomernya. Tiap-tiap monomer terhubung dengan ikatan 1,6-glikosidik.
Biodiversitas	keanekaragaman organisme yang menunjukkan keseluruhan variasi gen, jenis, dan ekosistem pada suatu daerah
Biosintesis	suatu proses yang terjadi dalam organisme hidup, dengan substrat proses biosintesis biasanya terdiri atas beberapa tahap, yang produk dari satu tahap akan menjadi substrat bagi tahap berikutnya
Cekaman kekeringan	cekaman yang disebabkan oleh kekurangan suplai air di daerah perakaran dan permintaan air yang berlebihan oleh daun dalam kondisi laju evapotranspirasi melebihi laju absorpsi air oleh akar tanaman.
Dosis letal	Pemancaran dan kerambatan gelombang yang membawa tenaga melalui ruang atau zantara, misalnya pemancaran dan perambatan gelombang elektromagnetik, gelombang bunyi, gelombang lenting, dan penyinaran.
Eksplan	bagian tanaman yang dipergunakan sebagai bahan awal untuk perbanyak tanaman.
Embriogenesis somatik	proses saat sel somatik (baik haploid maupun diploid) berkembang membentuk tumbuhan baru melalui tahap perkembangan embrio yang spesifik tanpa melalui fusi gamet.
EMS	Ethyl methanesulfonate; sejenis mutagen kimia
Enbal	ubi kayu dalam bahasa Maluku Tenggara; produk makanan tradisional dari ubi kayu bersianida tinggi yang diparut dan dipres, lalu dikeringkan.



FEC	kalus remah yang mempunyai potensi untuk beregenerasi
Fortifikasi	proses penambahan mikronutrien (vitamin dan unsur renik esensial) pada makanan.
Gelatinisasi	fenomena pembentukan gel yang diawali dengan pembengkakan granula pati akibat penyerapan air.
Gray (Gy)	Unit yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi adalah Gray (Gy)
<i>in vitro</i>	kultur suatu sel, jaringan, atau bagian organ tertentu di dalam laboratorium.
Indeks glikemik	angka yang menunjukkan potensi peningkatan gula darah dari karbohidrat yang tersedia pada suatu pangan atau secara sederhana dapat dikatakan sebagai tingkatan atau ranking pangan menurut efeknya terhadap kadar glukosa darah.
Kalus	sekumpulan sel amorphous (tidak berbentuk atau belum terdiferensiasi) yang terbentuk dari sel-sel yang membelah terus menerus secara <i>in vitro</i> atau di dalam tabung.
Kalus embriogenik	Kumpulan sel-sel yang belum berdiferensiasi
Karotenoid	pigmen organik dalam kloroplas dan kromoplas tumbuhan dan kelompok organisme lainnya, seperti alga, sejumlah bakteri fotosintetik atau pun tidak, dan beberapa fungi (non-fotosintetik)
Konservasi <i>ex situ</i>	metode mengonservasi spesies di luar distribusi alami dari populasi tetuanya.
Kriopreservasi	teknik penyimpanan sel hewan, tumbuhan, atau pun materi genetika lain (termasuk semen) dalam keadaan beku.
Kultur Jaringan	metode untuk mengisolasi bagian dari tanaman, seperti sekelompok sel atau jaringan yang ditumbuhkan dengan kondisi aseptik.
Kultur kalus	sekumpulan sel amorphous (tidak berbentuk atau belum terdiferensiasi) yang terbentuk dari sel-sel yang membelah terus menerus secara <i>in vitro</i> atau di dalam tabung. Kalus dapat diperoleh dari bagian tanaman, seperti akar, batang, dan daun.
Kultur suspensi	kultur yang menggunakan media cair dengan pengocokan terus menerus menggunakan <i>shaker</i> dan menggunakan sel sebagai bahan eksplannya, biasanya eksplan yang digunakan berupa kalus atau jaringan meristem.
LAF	<i>Laminar Air Flow</i> , meja kerja steril untuk melakukan kegiatan inokulasi/ penanaman.



Linamarase	enzim penghidrolisis linamarin untuk menghasilkan acetone cyanohidrin, dan prekursor sianida.
Marker	proses seleksi tidak langsung pada sifat tanaman yang ingin diseleksi dan juga merupakan alat untuk menduga dan membantu seleksi fenotipe sifat yang menjadi target pemuliaan dengan menggunakan penanda yang terkait dengan sifat tersebut
Melatonin	hormon yang diproduksi di kelenjar pineal, sebuah kelenjar kecil di otak, yang membantu mengatur siklus tidur dan bangun.
Mikro Grafting	teknik sambung mikro <i>in vitro</i>
Mikropropagasi	perbanyakan dari galur tanaman yang terpilih melalui teknik kultur jaringan.
Mocaf	tepung berbahan baku singkong atau ubi kayu yang dimodifikasi dengan teknik fermentasi menggunakan <i>starter</i> mikrob.
Morfologi	ilmu yang mengkaji berbagai organ tumbuhan, baik bagian-bagian, bentuk maupun fungsinya.
Multiplikasi	tindakan atau proses memperbanyak.
Mutagen	sesuatu yang menjadi penyebab (misalnya zat kimia, cahaya, gas, virus) terjadinya mutasi.
Mutasi	perubahan yang terjadi secara mendadak dalam kromosom.
Pati alami	pati yang belum mengalami perubahan sifat fisik dan kimia atau diolah secara kimia-fisika.
Pati modifikasi	pati yang diberi perlakuan tertentu dengan tujuan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik untuk memperbaiki sifat sebelumnya atau untuk mengubah beberapa sifat lainnya.
Pati	polisakarida yang mengandung amilosa dan amilopektin
Planlet	hasil perkembangan kalus yang telah nampak, seperti tanaman aslinya, memiliki daun, batang, dan akar yang jelas.
Ploidi	istilah dalam biologi yang merujuk pada satuan banyaknya genom (himpunan kromosom) dasar yang dimiliki oleh sel makhluk hidup. Penyebutan biasanya menyertai awalan yang menunjukkan jumlah, seperti “monoploid” (satu set) dan “diploid” (dua set).
Potensial air	ukuran energi bebas air yang dipengaruhi oleh zat terlarut, tekanan, dan partikel matriks



PPD	kependekan dari <i>Post-harvest Physiological Deterioration</i> , yaitu pembusukan fisiologis pada umbi ubi kayu, biasanya terjadi dalam 2–3 hari setelah panen. PPD dikenal juga sebagai pembusukan primer.
Propagasi	perbanyakan
Proteomik	merupakan kajian secara molekuler terhadap keseluruhan protein yang dihasilkan dari ekspresi gen di dalam sel, terutama mengenai struktur dan fungsinya.
Radiasi	Pemancaran dan kerambatan gelombang yang membawa tenaga melalui ruang atau zantara, misalnya pemancaran dan perambatan gelombang elektromagnetik, gelombang bunyi, gelombang lenting, dan penyinaran
Rekayasa genetika	suatu bioteknologi yang dapat meliputi manipulasi gen, kloning gen, DNA rekombinan, teknologi modifikasi genetik, dan genetika modern dengan menggunakan berbagai macam prosedur.
ROS	kependekan dari spesies oksigen reaktif (bahasa Inggris: <i>reactive oxygen species</i>), yaitu senyawa organik yang memiliki gugus fungsional dengan atom oksigen yang bermuatan elektron lebih.
Spesies	individu yang mempunyai persamaan secara morfologis, anatomis, fisiologis, dan mampu saling kawin dengan sesamanya (interhibridisasi) serta menghasilkan keturunan yang fertil (subur) untuk melanjutkan generasinya.
<i>Starter</i>	media berisi mikroba tertentu dan digunakan untuk memacu tumbuhnya mikroba.
Sterilisasi	pemusnahan atau eliminasi semua mikroorganisme, termasuk spora bakteri, yang sangat resistan.
Stres oksidatif	suatu kondisi yang terjadi karena adanya ketidakseimbangan antara produksi radikal bebas dan sistem pertahanan antioksidan.
Superoksida	senyawa yang memiliki anion superoksida dengan rumus kimia O_2^- .
Tekanan osmosis	tekanan yang diperlukan untuk menghentikan osmosis, yaitu gerakan molekul pelarut melewati membran semipermeabel ke larutan yang lebih pekat.
Tepung komposit	tepung yang dibuat dari dua atau lebih bahan pangan yang dicampur menjadi satu dengan ukuran mesh yang sama.

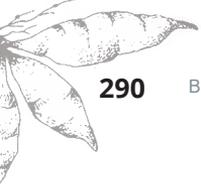


Totipotensi sel	kemampuan suatu sel untuk dapat memperbanyak diri dalam keseluruhan (total) kemungkinan perkembangan yang dimungkinkan.
Transkriptomik	bagian dari biologi molekuler yang mengkaji tentang produk transkripsi secara keseluruhan (transkriptom).
Transpirasi air	proses pengeluaran air dari tanaman dengan bantuan bukaan kecil yang dikenal sebagai stomata.
Vitamin A	vitamin larut dalam lemak yang berperan penting dalam pembentukan sistem penglihatan yang baik, yang terdiri dari beberapa senyawa, di antaranya retinol, retinil, plamitat, dan retinil asetat.



DAFTAR SINGKATAN

ABA	: <i>abscisic acid</i>
AGPase	: <i>ADP-glucose pyrophosphorylase</i>
AIA	: <i>asam indol asetat</i>
AFLP	: <i>amplified fragment length polymorphism</i>
AMOVA	: <i>analysis of molecular variation</i>
AMPU	: <i>autonomous mobile processing unit</i>
AVEBE	: <i>aardappelmeel verkoop bureau</i>
AQP	: <i>aquaporin</i>
Balitkabi	: <i>Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang Dan Umbi</i>
BA	: <i>benzil adenin</i>
BC	: <i>Back cross</i>
BAP	: <i>benzil amino purin</i>
BATAN	: <i>Badan Tenaga Nuklir Nasional</i>
BB Biogen	: <i>Balai Besar Bioteknologi Tanaman Dan Sumber Daya Genetik</i>
BC Plus	: <i>biocassava plus</i>
BPS	: <i>Badan Pusat Statistik</i>
CBN	: <i>cassava biotechnology network</i>
CBS	: <i>central bureau of statistics</i>
CBSD	: <i>cassava brown streak disease</i>
CIAT	: <i>International Center for Tropical Agriculture</i>
CIM	: <i>callus induction medium</i>
cM	: <i>centi Morgan</i>
CMD	: <i>cassava mosaic disease</i>
CMV	: <i>cassava mosaic virus</i>
CGIAR	: <i>Consultative Group on International Agricultural Research</i>
CSC	: <i>Cibinong Science Centre</i>
CTCRI	: <i>Central Tuber Crops Research Institute</i>
DAPC	: <i>discriminant analysis of principal components</i>
DNA	: <i>deoxyribonucleic acid</i>
EES	: <i>embrio somatik sekunder</i>



EMBRAPA	: Brazilian Agricultural Research Cooperation
ESP	: embrio somatik primer
FAO	: Food and Agriculture Organization
GBSS	: <i>granule bound starch synthase</i>
GBS	: <i>genotyping by sequencing</i>
GD	: Gresshoff dan Doy
GSH	: <i>glutathione sulphydryl</i>
GMO	: <i>genetically modified organism</i>
FEC	: <i>friable embryogenic callus</i>
FUT	: fasilitas uji terbatas
HCN	: <i>hydrogen cyanide</i>
IAEA	: International Atomic Energy Agency
IBA	: <i>indole butyric acid</i>
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
IAA	: <i>indole acetic acid</i>
IAN	: Instituto Agronomico Nacional
IITA	: International Institute of Tropical Agriculture
ISSR	: <i>inter simple sequence repeats</i>
IRPs	: <i>immunity-related proteins</i>
IKM	: industri kecil menengah
Lab. GMMJBT	: laboratorium genetika molekuler dan modifikasi jalur biosintesis tanaman
LAF	: <i>Laminar Air Flow</i>
LD	: <i>letal dose</i>
LIPI	: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
LUT	: lapangan uji terbatas
MAB	: <i>marker assisted breeding</i>
MARS	: <i>marker-assisted recurrent selection</i>
MAS	: <i>marker assisted selection</i>
MS	: Murashige dan Skoog
MST	: minggu sesudah tanam
Mocaf	: <i>modified cassava flour</i>
NAA	: <i>naphthalene acetic acid</i>
NGS	: <i>next-generation sequencing</i>
NOS	: <i>nopaline synthase</i>
NRCRI	: National Root Crops Research Institute
PAJALE	: padi, jagung, dan kedelai
PAIR	: Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi
PDS	: <i>phytoene desaturase</i>



PGRC	: Plant Genetic Resources Centre
P ₃ TIR	: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi
POH	: pupuk organik hayati
PPD	: <i>postharvest physiological deterioration</i>
PVT	: perlindungan varietas tanaman
PSE	: <i>primary somatic embryo</i>
PSY	: <i>phytoene synthase</i>
PTPN	: PT Perkebunan Nusantara
QTL	: <i>quantitative trait loci</i>
RAPD	: <i>random amplification of polymorphic DNA</i>
RIRN	: Rencana Induk Riset Nasional
ROS	: <i>reactive oxygen species</i>
RNA	: <i>ribonucleic acid</i>
RNAi	: <i>ribonucleic acid interference</i>
SBE	: <i>starch branching enzymes</i>
SOD	: <i>superoxide dismutase</i>
SS	: <i>starch synthase</i>
SSE	: <i>secondary somatic embryo</i>
SNP	: <i>single nucleotide polymorphism</i>
TDZ	: Thidiazuron
TILLING	: <i>targeting induced local lesions in genomes</i>
UKM	: usaha kecil menengah
VS	: <i>vascular streaking</i>
WHO	: World Health Organization
ZPT	: zat pengatur tumbuh



INDEKS



2,4-D, 99, 107, 108, 123, 138

ADP-glucose, 209, 210

AFLP 23, 169, 170, 171, 173, 174, 176, 179

Agrobacterium, 25, 65, 112, 141, 142, 143, 217, 223, 244

aklimatisasi, 101, 104, 105, 117, 124, 134, 143, 219

aksesi, 22, 74, 75, 221

alfa karoten, 183, 184

amilopektin, xix, 7, 96, 109, 174, 200, 202, 203, 204, 210, 211, 222, 241, 253, 259, 285

amilosa, xix, 7, 14, 15, 22, 23, 96, 136, 163, 165, 171, 174, 177, 200, 202, 203, 204, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 220, 222, 241, 253, 258, 259, 285, 300

antioksidan, 157, 174, 184, 231, 234, 239, 245, 286

apikal, 97, 108, 122

Arabidopsis, 144, 145, 179, 192, 196, 197, 211, 223, 251

aseptik, 95, 102, 104, 108, 112, 117, 284

auksin, 107, 108, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 214

autotrof, 95, 134

Bakteri asam laktat, 259, 263

benomyl, 239

beta karoten, xix, 4, 6, 7, 15, 21, 23, 71, 72, 91, 136, 141, 165, 169, 174, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 209, 255, 256, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 271, 302

Bibit, v, xix, 1, 4, 117, 139, 181

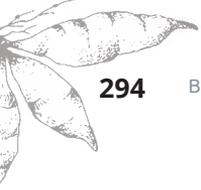
Biodiversitas, iv, v, 1, 4, 146, 283

biosintesis pati, 174, 175, 209, 210, 211

bipolar, 118, 119

cassava mozaik disease, 206

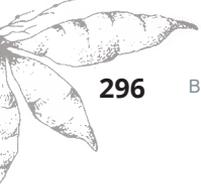
chips ubi kayu, 258, 262



- dekstrin, 253
dekstrosa, 2
diferensiasi, 108, 122, 123, 124
dikloran, 239
dikotil, 108, 125, 127
Dikotiledon, 9
diploid, 101, 118, 120, 153, 231, 283, 285
down regulasi, 7, 211
- ekspresi gen, 174, 187, 189, 191, 192, 231, 235, 286
elastisitas, 257, 266
Embriogenesis, v, 6, 117, 118, 120, 124, 125, 126, 127, 135, 139, 142, 283
Embriogenesis somatik, 6, 118, 120, 283
embrio somatik, 6, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 136, 138, 139, 141, 143, 148, 213
embrio somatik sekunder, 119, 123, 129, 135
embrio zigotik, 125
Enbal, 77, 87, 88, 89, 90, 91, 267, 269, 270, 283
enzimatis, 157, 212
Enzimatis, 78
evapotranspirasi, 134, 283
ex vitro, 104, 134
- fasilitas uji terbatas, 219, 220
FEC, 7, 25, 65, 123, 124, 126, 128, 129, 130, 131, 136, 138, 140, 141, 143, 188, 213, 214, 215, 217, 218, 222, 244, 284
fenilpropanoid, 234, 235, 236
fenotipe, 139, 211, 285
fenotipik, 136, 159, 211, 275
fermentasi, 2, 17, 18, 26, 85, 89, 253, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 268, 272, 273, 285
FGD, 246
fisiologi, 7, 122, 155, 156, 157, 172, 186, 187, 231
fortifikasi, 17, 184, 256
Fotoautotropik, 133
- Friable Embryogenic Callus*, 138, 244
fruktosa, 106
fufu, 258, 273
fusi protoplas, 118
- gama karoten, 184
GBSS, 7, 210
gelatinisasi, 201, 202, 203, 212, 258
genetically modified, 26, 224
genetik, xviii, xix, 3, 5, 6, 7, 10, 14, 15, 20, 21, 24, 95, 100, 103, 112, 117, 118, 119, 127, 128, 130, 138, 139, 140, 141, 143, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 159, 165, 169, 170, 171, 173, 174, 176, 177, 182, 187, 195, 200, 204, 206, 209, 212, 222, 223, 225, 230, 240, 244, 248, 256, 286
genotipe, 9, 14, 23, 69, 71, 96, 98, 99, 106, 109, 110, 112, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 127, 128, 129, 131, 136, 138, 139, 140, 143, 146, 150, 159, 160, 162, 163, 165, 176, 182, 186, 187, 188, 193, 194, 206, 212, 222, 229, 230, 231, 232, 239, 240, 246, 256, 260, 266, 272, 275
genotipe lokal, 71, 136, 143, 146, 240
giberelin, 107
glukosa, 2, 18, 19, 106, 203, 209, 210, 211, 253, 259, 283, 284
granula, 202, 204, 209, 211, 212, 263, 284
granule bound starch, 7, 210
- haploid, 100, 101, 118, 120, 153, 175, 283
HCN, 8, 14, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 256, 261, 264, 267, 268, 269, 279, 280, 281
heterotrof, 134
Hibridisasi seksual, 101
- IAA, 108, 123, 126
indeks glikemik, 19
induksi, 6, 23, 101, 114, 119, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 130, 135, 136, 140, 141, 143, 144, 150, 151, 152,



- 154, 155, 157, 161, 162, 169, 172,
173, 175, 176, 214, 215, 233, 241,
242, 278
- induksi tunas adventif, 130
- inisiiasi eksplan, 117
- inkubasi, 128
- in vitro*, xix, 5, 6, 15, 22, 27, 95, 96, 97, 99,
102, 103, 104, 106, 107, 108, 109,
110, 111, 112, 113, 114, 115, 117,
118, 119, 120, 122, 123, 130, 132,
134, 135, 139, 140, 144, 145, 146,
148, 156, 160, 162, 165, 166, 176,
177, 179, 180, 214, 219, 224, 226,
241, 242, 243, 251, 275, 284, 285
- jaringan, xix, 6, 24, 78, 79, 93, 95, 96, 97,
99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107,
108, 109, 111, 112, 113, 114, 115,
116, 117, 118, 120, 122, 123, 124,
128, 130, 132, 134, 139, 140, 141,
144, 145, 147, 148, 149, 151, 152,
154, 155, 162, 172, 174, 176, 189,
191, 192, 229, 284, 285, 304
- kalus, 96, 97, 99, 100, 106, 114, 116, 118,
119, 120, 122, 123, 124, 126, 127,
128, 129, 130, 141, 144, 145, 146,
148, 156, 172, 213, 214, 215, 244,
284, 285
- Kalus Embriogenik, 100, 126
- kinetin, 123
- klon, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 97, 119, 130,
139, 168, 202, 204, 209, 241, 242, 243
- koleksi, xix, xx, 3, 5, 15, 21, 22, 23, 71, 74,
96, 99, 109, 121, 123, 136, 162, 176,
186, 246, 256, 275, 277, 302
- koleksi *in vitro*, 5, 22
- komposit, 17, 258, 286
- konservasi, 5, 20, 95, 111, 299
- Konservasi *ex situ*, 284
- konvensional, 3, 4, 7, 10, 13, 14, 15, 21, 23,
24, 106, 117, 131, 132, 149, 150, 162,
174, 175, 182, 205, 212, 222, 228,
237, 240, 244, 248, 278
- korteks, 72, 73, 74, 88, 140, 220
- kultivar, 112, 140, 161, 162, 175, 177, 187,
195, 213
- Kultur anther/haploid, 100
- kultur embriogenik, 128, 130, 143
- kultur jaringan, xix, 93, 95, 96, 99, 100, 101,
102, 104, 105, 106, 107, 108, 111,
112, 113, 114, 115, 116, 117, 118,
120, 123, 124, 130, 134, 139, 144,
145, 147, 148, 149, 154, 162, 172,
174, 176, 285, 304
- Kultur jaringan tanaman, 112, 116
- kultur kalus, 97, 99, 100, 119, 122, 130, 156,
172
- kultur meristem, 97
- kultur protoplasma, 97
- kultur suspensi, 100, 119, 128, 130, 160, 172
- kumarin, 231, 232, 233, 234
- LAF, 102, 103, 284
- lapangan uji terbatas, 7, 219
- leaf lobe*, 121, 129, 140, 214
- Linamarase, 235, 285
- LUT, 7, 23, 219, 220
- Malra, 87, 88, 268, 270
- Manihot esculenta*, xvii, 1, 9, 25, 27, 65, 73,
92, 94, 116, 142, 145, 146, 147, 178,
179, 181, 183, 193, 194, 195, 197,
223, 225, 227, 248, 249, 250, 251, 252
- marker*, 5, 26, 171, 173, 215, 223, 251, 302
- marker assisted breeding*, 5
- maturasi, 125, 128
- media, 2, 97, 99, 101, 103, 104, 105, 106,
110, 117, 118, 120, 121, 122, 123,
124, 126, 127, 128, 129, 130, 131,
132, 134, 138, 141, 143, 146, 172,
179, 214, 215, 217, 218, 284, 286
- media, GD 124, 128
- Melatonin, 250, 285
- meristem, 97, 108, 119, 121, 130, 138, 214,
284
- metabisulfit, 260, 262, 263, 269
- mikrografting, 6, 111
- mikropropagasi, 108, 114, 117, 156
- mocaf, 2, 4, 7, 8, 16, 18, 23, 25, 89, 93, 302,
303



- modifikasi, xix, 7, 24, 85, 112, 136, 182, 184, 200, 204, 208, 209, 212, 224, 226, 228, 245, 257, 267, 285, 286, 300, 303
- monohaploid, 101
- morfogenesis, 122
- morfologi, 74, 91, 120, 140, 153, 159, 161, 162, 165, 166, 169, 176, 180, 186, 211, 220, 241, 242, 256, 272, 302
- Multiplikasi, 103, 104, 285
- NAA, 107, 108, 123, 126
- natrium dithiokarbamat, 239
- nodular, 127
- organ, 95, 111, 112, 113, 117, 130, 146, 150, 192, 195, 284, 285
- organogenesis, 25, 114, 118, 130, 145, 147, 148, 172, 226
- Overekspresi, 191, 245
- parenkim, 73, 111, 229
- pasteurisasi, 200
- pati, xviii, 6, 7, 8, 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 27, 69, 70, 71, 86, 91, 109, 120, 140, 161, 162, 163, 174, 175, 177, 181, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 220, 222, 224, 225, 226, 228, 231, 237, 238, 244, 253, 255, 256, 258, 260, 261, 263, 265, 275, 279, 280, 281, 284, 285
- Pati alami, 200, 201, 285
- Pati modifikasi, 200, 285
- pektinolitik, 259, 263
- pembusukan primer, 229, 286
- pemuliaan, xix, 5, 10, 21, 22, 112, 119, 139, 140, 141, 149, 150, 151, 152, 154, 179, 182, 200, 204, 205, 211, 212, 224, 240, 244, 278, 285
- pemuliaan tanaman, 5, 22, 112, 139, 140, 149, 150, 151, 152, 154, 179, 205, 212, 224, 240, 244, 278
- Pendaftaran Varietas Tanaman, 137
- perbanyakan propagul, 103
- perkecambahan, 124, 125, 141, 143
- petiol, 136, 138, 166, 220
- phosphinothricin, 215, 217
- phytoenesynthase*, 209
- Pikloram, 123, 138, 214, 215, 217
- Planlet, 104, 105, 130, 134, 139, 218, 285
- plasma nutfah, 5, 15, 20, 22, 24, 111, 112, 119, 139, 140, 141, 162, 240, 302
- plasmid, 113, 114, 216, 217, 218
- PPD, 7, 208, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 248, 286, 303
- primer, 119, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 135, 170, 171, 191, 193, 214, 215, 216, 217, 218, 229, 286
- proliferasi kalus, 119, 122
- proliferasi tunas aksilar, 130
- Propagasi, v, 6, 95, 97, 101, 106, 108, 111, 286
- propagula, 118
- Proteomik, 286
- PVT, 15, 23, 136, 137, 205
- RAPD, 23, 25, 169, 170, 171, 173, 174, 176, 178, 179
- regenerasi, 108, 112, 114, 116, 118, 119, 120, 123, 128, 130, 131, 132, 134, 135, 140, 141, 143, 148, 156, 172, 176, 218, 244
- rehidrasi, 203
- retrogradasi, 200, 212
- ROS, 157, 158, 180, 231, 232, 235, 239, 244, 245, 286
- SBE, 211
- SCP, 263
- screenhouse*, 105, 220
- sel, 6, 77, 89, 95, 97, 98, 99, 100, 104, 106, 107, 108, 111, 112, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 124, 130, 135, 139, 140, 141, 151, 152, 155, 157, 158, 160, 172, 173, 186, 189, 191, 192, 209, 213, 222, 232, 234, 236, 259, 263, 283, 284, 285, 286, 287



- selulolitik, 259, 263
sineresis, 201
sitokinin, 101, 104, 107, 108, 122, 125, 130
sitoplasma, 120, 140, 210
skopoletin, 231, 232, 233, 234, 235, 244,
245
SNP, 173
sorbitol, 2, 253
Spesies Tanaman, 142
starch branching enzyme, 209
starch debranching enzyme, 209
starch synthase, 7, 209, 210, 211, 222, 223,
224, 225, 226
Starter, 259, 263, 286
sterilisasi, 101, 102, 103, 106, 107, 155, 200
stress oksidatif, 174
subkultur, 97, 117, 123, 127, 128, 129, 160
superoksida, 231, 232, 245, 286
synthase, 6, 7, 185, 197, 209, 210, 211, 215,
222, 223, 224, 225, 226
- torpedo, 124, 125, 127
Totipotensi, 100, 118, 287
transformasi, 7, 98, 119, 127, 128, 130, 131,
136, 138, 139, 141, 174, 195, 213,
217, 219, 222, 244
transgenik, 7, 112, 141, 190, 204, 205, 206,
207, 209, 212, 213, 215, 219, 220,
222, 225, 244, 245
Transkriptomik, 287
tunas adventif, 101, 104, 119, 130
- unipolar, 119
- vakuola, 78, 120, 234
variasi somaklonal, 117, 118, 126, 131, 139,
140, 148
Varietas Tanaman, 15, 74, 92, 137, 205
vegetatif, 97, 108, 119, 130, 139, 144, 160,
172, 241
vektor, 216, 217, 218
viskositas, 200, 201, 204, 258
waxy gen, 211
zat aditif, 200
zat pengatur tumbuh, xix, 106, 107, 113,
120, 122, 125, 126, 132, 140, 143,
148, 179
ZPT endogen, 122, 123
ZPT sintetik, 122

BIOGRAFI PENULIS



Eddy Sudarmonowati

adalah peneliti pada Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program studi Agronomi Institut Pertanian Bogor di tahun 1985 dan memperoleh gelar Ph.D. di bidang *plant biology* dari University of Bath di tahun 1990. Genetika molekuler dan rekayasa genetika untuk perbaikan sifat dan konservasi merupakan bidang kajian utama yang ditekuninya. Penulis aktif melakukan

penelitian mengenai ubi kayu sejak menempuh studi di program doktor di University of Bath hingga saat ini. Berbagai aktivitas penelitian di bidang tanaman dan banyak di antaranya berkaitan dengan ubi kayu telah dipimpinya dengan berbagai sumber dana, baik dari dalam maupun luar negeri. Aktivitas akademisnya yang lain adalah sebagai mitra bestari pada beberapa jurnal serta narasumber pada berbagai pertemuan ilmiah. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: s_enny@yahoo.com.



N. Sri Hartati

adalah peneliti pada Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Biologi molekuler dan rekayasa genetika tanaman merupakan bidang kajian yang ditekuninya. Sejak awal bergabung sebagai peneliti pada tahun 1993 dan telah melakukan penelitian di bidang genetika molekuler tanaman. Selain itu, penelitian mengenai ubi kayu dengan pendekatan molekuler telah ditekuni sejak tahun 2002.

Aktivitas akademisnya yang lain adalah sebagai editor jurnal ilmiah di lingkungan Puslit Bioteknologi dan mitra bestari pada beberapa jurnal. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program studi Kimia Institut Teknologi Sepuluh November pada tahun 1992. Pendidikan Pascasarjana pada program Studi Bioteknologi Institut Pertanian Bogor diselesaikannya pada tahun 2002 dan gelar doktor pada program studi Biologi diraih pada tahun 2011 dari universitas yang sama. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: hartatir2@yahoo.com.



Supatmi

adalah lulusan Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta pada tahun 2007 dengan bidang kajian Biologi. Pada tahun 2010, penulis bergabung di LIPI Bioteknologi dan masuk ke dalam kelompok penelitian biologi molekuler dan modifikasi jalur biosintesis tanaman dengan fokus pada bioteknologi tanaman, di antaranya ubi kayu, cendana, dan cabai. Pada tahun 2011, penulis mendapat kesempatan untuk mengikuti *Biotech Training* di Bangkok, Thailand,

selama 3 bulan. Penulis kemudian melanjutkan studi program S2 di University of Queensland, Australia (2014–2015) dengan program studi *Advanced Biotechnology*. Saat ini, penulis menjabat sebagai Peneliti Muda golongan III-C dan terlibat dalam penelitian biologi molekuler untuk karakterisasi fragmen gen penyandi amilosa tinggi pada ubi kayu potensi amilosa tinggi serta gen-gen yang terlibat dalam proses penundaan pembusukan pada buah cabai. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: patmi_bio@yahoo.com.



Siti Kurniawati

bergabung di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI sejak tahun 2000 pada kerja sama riset bidang mikrobiologi, khususnya mikrob endofit. Kemudian penulis bergabung sebagai peneliti pada Laboratorium Genetika Molekuler dan Modifikasi Jalur Biosintesis Tanaman Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI pada tahun 2009. Gelar Master diraih dari Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman di Institut Pertanian Bogor tahun 2013. Penulis sangat tertarik pada bidang penelitian genetika

molekuler pada tanaman, khususnya berkaitan dengan *climate change*. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: kurniawatie@gmail.com.



Wahyuni

lahir pada tanggal 23 Juni 1978 di Jakarta. Pada tahun 2001, penulis mendapatkan gelar Sarjana Sains dari Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Indonesia. Penulis melanjutkan studi S2 pada tahun 2001 dan berhasil meraih gelar Magister Biomedik di Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia Ilmu Biomedik pada tahun 2004. Pada tahun 2005, penulis mulai bekerja sebagai staf peneliti di Puslit Bioteknologi LIPI. Pada

tahun 2005, penulis mendapatkan penghargaan penelitian dari L'ORÉAL-UNESCO for Women in Science National 2005. Pada tahun 2007, penulis mendapatkan beasiswa untuk melanjutkan studi S3 di Wageningen University and Research, the Netherlands dari KNAW, the Netherlands, dan memulai kegiatan penelitian S3 pada Maret 2008. Selama studi S3, penulis menghasilkan empat karya tulis ilmiah yang diterbitkan di jurnal-jurnal internasional. Keempat karya tulis ilmiah ini mendapat penghargaan dari Penghargaan Publikasi Ilmiah Internasional LPDP, Kementerian Keuangan, RI pada tahun 2016. Dalam kegiatan penelitian, penulis memiliki kompetensi sebagai peneliti di bidang genetika molekuler dan metabolo-

mik tanaman. Saat ini, penulis melakukan penelitian ubi kayu dan cabai tahan daya simpan sejak menyelesaikan studi S₃ pada tahun 2014. Kegiatan penelitian cabai tahan daya simpan didukung dengan pendanaan dari Insinas-Ristek Dikti periode 2015–2017, sebagai koordinator penelitian. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: **Wahyu004@gmail.com**.



Hartati

merupakan seorang peneliti di Puslit Bioteknologi LIPI. Penulis menyelesaikan program S₁ Kimia dari Universitas Sumatera Utara pada tahun 2001 dan program S₂ Biokimia dari Institut Pertanian Bogor pada tahun?. Penulis bergabung di Puslit Bioteknologi LIPI mulai tahun 2001 dan berkontribusi dalam penelitian yang terkait dengan tanaman ubi kayu, sengon, dan Solanaceae. Bidang keahlian penulis terkait dengan bioteknologi tanaman. Penulis bertanggung jawab atas koleksi dan pengembangan plasma nutfah ubi kayu di Puslit Bioteknologi LIPI. Untuk itu, penulis melakukan aktivitas penelitian terkait dengan karakterisasi berbasis data morfologi dan molekuler, dan tengah mengembangkan identifikasi plasma nutfah berbasis sistem marker. Penulis juga banyak melakukan penelitian terkait pengembangan pascapanen ubi kayu., terutama terkait pengembangan mocaf kaya beta karoten. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: **tatiktikta@yahoo.com**.



Ahmad Fathoni

lahir di Boyolali pada tanggal 17 Juli 1983. Saat ini, penulis adalah Peneliti Ahli Muda pada bidang Bioteknologi Tanaman di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI. Penulis menyelesaikan studi S₁ bidang Kimia (S.Si.) pada tahun 2005 di Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang. Pada tahun 2010, memperoleh gelar Master (S₂) bidang Bioteknologi (M.Eng.) dari



Department of Biotechnology, Pukyong National University, Busan, Korea Selatan melalui beasiswa dari The Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Pada tahun 2013, memperoleh beasiswa Riset-Pro dari Kemenristekdikti untuk melanjutkan studi Doktor (S3) bidang Biologi Molekuler Tanaman di *Department of Biology and Biochemistry*, University of Bath, Inggris dengan fokus riset identifikasi gen dan modifikasi jalur biosintesis pada ubi kayu terkait sifat daya simpan umbi setelah panen. Memperoleh gelar Doktor (Ph.D.) pada tahun 2017 dengan judul tesis *The Role of Interconversion of Scopoletin and Scopolin in Cassava Postharvest Physiological Deterioration* (PPD). Selain itu, penulis juga melakukan penelitian dan pengembangan produk ubi kayu mocaf (*modified cassava flour*) sejak tahun 2012. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: **ahmad.fathonir737@gmail.com** atau **ahmad.fathonir@lipi.go.id**.

Ima Mulyama Zainuddin



dilahirkan di Sukabumi, 30 Mei 1982. Saat ini selain berperan sebagai pembantu peneliti di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, penulis juga dikenal aktif sebagai Sekretaris Jenderal Masyarakat Singkong Indonesia (MSI). Setelah memperoleh gelar Sarjana (S1) bidang Biologi di Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH) ITB pada tahun 2004, peneliti bekerja sebagai asisten peneliti pada bidang Genetika dan Molekuler Tumbuhan di SITH ITB hingga tahun 2006. Pada tahun 2008, peneliti mendapatkan beasiswa dan memperoleh gelar Master (S2) bidang Bioteknologi di SITH ITB. Untuk mendapatkan gelar Doktor (S3) di bidang Bioteknologi Tumbuhan ETH Zurich (ETHZ), Swiss, penulis melakukan penelitiannya di LIPI pada tahun 2011–2012. Penulis memperoleh gelar tersebut pada awal tahun 2016. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: **ima.mulyama@gmail.com**



Hani Fitriani

adalah peneliti pada bidang kultur jaringan, Pusat Penelitian Bioteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Penulis mendapatkan gelar sarjana agrometeorologi dari Jurusan Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Institut Pertanian Bogor, pada tahun 2002. Penulis bergabung di LIPI pada tahun 2008 dan melakukan penelitian terkait dengan kultur jaringan. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: hfitriani76@yahoo.com.



Nurhamidar Rahman

adalah peneliti pada bidang kultur jaringan, Pusat Penelitian Bioteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Penulis mendapat gelar sarjana pertanian dari jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Agronomi, Universitas Muhammadiyah Jakarta 1998. Penulis bergabung di LIPI pada tahun 2007. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: nurhamidarr@yahoo.com



PRODUK PANGAN BERBASIS TEMPE DAN APLIKASINYA

Dini Ariani & Mukhammad Angwar

Tempe sebagai bahan pangan bernutrisi tinggi dengan harga terjangkau menjadi salah satu makanan favorit masyarakat Indonesia. Namun, keterbatasan daya simpan yang dimiliki tempe menjadi salah satu permasalahan dalam pengolahan tempe.

Buku ini hadir sebagai solusi untuk menjawab permasalahan tersebut. Salah satu alternatif pengolahan tempe adalah dengan mengolah tempe menjadi tepung BMC tempe yang berdaya simpan lama tanpa mengurangi nilai gizi yang terkandung di dalamnya. Berbagai informasi menarik terkait pengolahan tempe menjadi kudapan yang sehat, bernilai gizi tinggi, dan mudah penyajiannya juga ditemukan dalam buku ini.

Tepung BMC berbasis tempe juga telah dikembangkan dalam beberapa produk makanan fungsional, seperti makanan enteral berbasis tempe yang juga dapat digunakan sebagai makanan lewat pipa (MLP), biskuit fortifikasi Fe untuk pencegahan anemia, dan biskuit kaya serat berbasis tempe yang aman dikonsumsi penderita DM.

Buku ini diharapkan dapat bermanfaat untuk masyarakat, khususnya sebagai referensi yang berkaitan dengan program pemberian makanan tambahan sekaligus pangan fungsional. Semoga buku ini dapat membantu mengatasi beberapa permasalahan di bidang pangan dan gizi di Indonesia.

Copyeditor : Risma Wahyu Hartiningsih & Rahmi Lestari Helmi
Layouter : Rusli Fazi & Dhevi EIR Mahelingga
Cover designer : Rusli Fazi
Registrasi : ISBN 978-979-799-998-8
Halaman : xvi + 65 hlm.
Dimensi : A5 (14,8 x 21 cm)
©2018 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)



<https://lipipress.lipi.go.id/detail-post/produk-pangan-berbasis-tempe-dan-aplikasinya>

Beli Buku ini!



Beli Buku: <https://www.bukupedia.com/id/book/id-133114/produk-pangan-berbasis-tempe-dan-aplikasinya.html>

Bagaimana menghubungi kami?



BIODIVERSITAS, PERAKITAN KLON UNGGUL DAN PEMANFAATAN *BIORESOURCES* UBI KAYU

UNTUK Mendukung KETAHANAN PANGAN

Siapa yang tak kenal dengan ubi kayu? Makanan dengan sumber karbohidrat paling tinggi di antara jenis makanan lain, seperti beras, jagung, dan gandum itu sangat populer di Indonesia. Tak heran, pemanfaatan dan budi daya ubi kayu sangat gencar dilakukan oleh masyarakat kita.

Namun, siapa sangka dibalik popularitasnya, ubi kayu masih memiliki persoalan dalam hal produktivitas dan pemanfaatan pascapanen, antara lain belum populernya varietas unggul ubi kayu di kalangan petani, ketersediaan dan kemudahan akses bibit unggul oleh petani, permasalahan perubahan iklim seperti cekaman kekeringan, terbatasnya daya simpan umbi pascapanen, dan belum optimalnya pemanfaatan inovasi teknologi pascapanen oleh masyarakat.

Semua persoalan tersebut harus segera ditangani mengingat diversifikasi pangan (ubi kayu) pada akhirnya berbicara tentang kandungan gizi sumber pangan yang akan berdampak pada hasil olahan pangan. Apalagi saat ini kita terus bergerak menuju kemandirian dan aksesibilitas pangan.

Jadi, jika Anda ingin mengetahui apa saja riset-riset tentang ubi kayu yang telah dilakukan oleh LIPI bersama kementerian dan lembaga lain di Indonesia selama 10 tahun terakhir guna menangani persoalan tersebut, silakan lanjut membuka halaman pertama buku ini. Semoga wawasan kita tentang upaya kedaulatan pangan semakin tercerahkan dengan hadirnya buku ini.

Selamat Membaca!



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Jln. R.P. Soeroso No. 39, Menteng,
Jakarta 10350
Telp. (+62 21) 314 0228, 314 6942
Faks.: (+62 21) 314 4591
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id

ISBN 978-602-496-026-1



9 786024 960261