



Didik Indradewa

PENGAMATAN PENELITIAN AGRONOMI

**DENGAN PERALATAN
TERBATAS**

Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas



Buku ini tidak diperjualbelikan

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial Share Alike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Didik Indradewa

Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan

© 2026 Didik Indradewa

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas / Didik Indradewa –Jakarta:
Penerbit BRIN, 2026

xxiv + 200 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN 978-634-7933-13-3 (*e-book*)

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1. Agronomi | 2. Pengamatan penelitian |
| 3. Fisiologi tanaman | 4. Peralatan terbatas |

630.72

Editor Akuisisi	: Risma Wahyu Hartiningsih
Copy editor	: Laila Febrina
Proofreader	: Laila Febrina, Utami Dwi Astuti
Penata isi	: M. Isnaini
Desainer sampul	: M. Isnaini
Edisi pertama	: Oktober 2026



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie,
Jl. M.H. Thamrin No. 8, Kb. Sirih,
Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

Daftar Isi

DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
PENGANTAR PENERBIT	xix
KATA PENGANTAR	xvii
PRAKATA	xxi
BAB I KETERBATASAN ALAT	1
BAB II LINGKUNGAN	7
A. Cuaca	8
B. Tanah	22
BAB III SIFAT FISIOLOGIS TANAMAN	33
A. Klorofil	33
B. Stomata	43
C. Fotosintesis	47
D. Kadar Air Nisbi (KAN)	50
E. Transpirasi	53
F. Efisiensi Penggunaan Air	58
G. Metode Jumlah Panas	60
H. Indeks Toleransi Cekaman	62
BAB IV PERTUMBUHAN TANAMAN	67
A. Tinggi Tanaman	67
B. Diameter Batang	69
C. Jumlah Daun	70
D. Akar	71

BAB V	ANALISIS PERTUMBUHAN	101
A.	Luas Daun	102
B.	Indeks Luas Daun	107
C.	Durasi Luas Daun	110
D.	Distribusi dan Sekapan Cahaya	111
E.	Nisbah Luas Daun	116
F.	Bobot Daun Khas dan Luas Daun Khas	116
G.	Laju Asimilasi Bersih	117
H.	Laju Pertumbuhan Nisbi	119
I.	Laju Pertumbuhan Tanaman	119
J.	Bobot Kering Tanaman	119
K.	Indeks Panen	131
L.	Distribusi Fotosintat	131
M.	Durasi Fase Generatif dan Laju Pengisian Biji	133
N.	Hubungan antar Variabel Analisis Pertumbuhan ...	135
BAB VI	HASIL, KOMPONEN HASIL, DAN KUALITAS HASIL	141
A.	Hasil Tanaman	141
B.	Komponen Hasil	142
C.	Kualitas Hasil	145
BAB VII	ALTERNATIF PENGAMATAN AGRONOMI DENGAN PERALATAN TERBATAS	167
	DAFTAR PUSTAKA	171
	DAFTAR SINGKATAN DAN AKRONIM	181
	GLOSARIUM	185
	INDEKS	193
	BIODATA PENULIS	197

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Hubungan Intensitas Cahaya Terukur Menggunakan Aplikasi Telepon Pintar dengan Intensitas Cahaya Menggunakan <i>Lux Meter</i>	15
Gambar 2.2	Hubungan Suhu Udara Terukur Menggunakan Aplikasi Telepon Pintar dengan Suhu Udara Menggunakan Termohigrometer	15
Gambar 2.3	Hubungan Kelembapan Udara Relatif Terukur Menggunakan Aplikasi Telepon Pintar dengan Kelembapan Udara Relatif Menggunakan Termohigrometer	16
Gambar 2.4	Rata-Rata Kecepatan Angin Harian antara Tanggal 21–29 April 2021 di Banyuwangi, Jawa Timur	17
Gambar 2.5	Alat-Alat untuk Ombrometer Sederhana	21
Gambar 2.6	Curah Hujan pada Bulan Oktober sampai Desember 2020 di Tiga Tinggi Tempat di Dataran Tinggi Dieng.	21
Gambar 2.7.	Hubungan Selang Waktu Penyiraman dengan Kadar Lengas Tanah Regosol	24
Gambar 3.1	Hubungan Nilai G dengan Kadar N Daun Teh	39
Gambar 3.2	Hubungan Nilai G dengan Kadar Klorofil a Daun Teh	39
Gambar 3.3	Hubungan Nilai G dengan Kadar Klorofil b Daun Teh	40
Gambar 3.4	Hubungan Nilai G dengan Kadar Klorofil Total Daun Teh	41
Gambar 3.5	Penampang Stomata	44
Gambar 3.6	Kurva Standar Hubungan Konsentrasi CO ₂ dengan Transmisi Cahaya pada Panjang Gelombang 615 nm ..	49
Gambar 4.1	Cara Pengukuran Tinggi Pohon	68
Gambar 4.2	Jangka Sorong	69
Gambar 4.3	Skema Gambar Bor Tanah atau Bor Akar Berpenggerak Mesin	72

Gambar 4.4	Bor	72
Gambar 4.5	Papan Berpaku	74
Gambar 4.6	Panjang Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	77
Gambar 4.7	Hubungan Panjang Akar yang Diukur Menggunakan Metode Perpotongan Garis dengan Menggunakan Area Meter	79
Gambar 4.8	Luas Permukaan Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	80
Gambar 4.9	Diameter Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	81
Gambar 4.10	Bobot Kering Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	82
Gambar 4.11	Rerata Kerapatan Bobot Kering Akar Tanaman Padi Ratus dengan Berbagai Tinggi Pemotongan Tunggul	82
Gambar 4.12	Distribusi Panjang Akar pada Tanaman Padi Gogo ..	84
Gambar 4.13	Nilai Dimensi Fraktal Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	86
Gambar 4.14	Timbangan untuk Pengukuran Gaya Cabut Akar	89
Gambar 4.15	Gaya Cabut Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	89
Gambar 4.16	Nisbah Akar Tajuk Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah ..	91
Gambar 4.17	Sudut Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lemas Tanah	92
Gambar 4.18	Akar Tanaman Padi yang Tumbuh di Bagian Bawah dan Atas Keranjang	93
Gambar 5.1	Hubungan Laju Asimilasi Bersih dengan Laju Fotosintesis Tanaman Padi Gogo	118
Gambar 5.2	Hubungan Indeks Luas Daun dengan Sekapan Cahaya pada Tanaman-Tanaman Kedelai	136
Gambar 5.3	Hubungan Indeks Luas Daun dengan Laju Pertumbuhan Tanaman Kedelai	136
Gambar 5.4	Hubungan Indeks Luas Daun dengan Laju Asimilasi Bersih Tanaman Kedelai	137
Gambar 5.5	Hubungan antar Variabel Pengamatan Analisis Pertumbuhan	139

Gambar 5.6	Hubungan Bobot Kering Tanaman dengan Hasil Biji Kedelai	140
Gambar 5.7	Hubungan Indeks Panen dengan Hasil Biji Tanaman Kedelai	140
Gambar 6.1	Aplikasi <i>Color Analyzer Iro Shirabe</i> untuk Telepon Genggam	146
Gambar 6.2	Regresi <i>Chroma Meter</i> × <i>Color Analyzer</i> iPhone	147
Gambar 6.3	Regresi <i>Chroma Meter</i> × <i>Color Analyzer</i> Android	147
Gambar 6.4	<i>Penetrometer</i> Swayasa	158
Gambar 6.5	Hubungan Nilai Kekerasan Buah Tomat Diukur dengan <i>Penetrometer</i> Swayasa Dibandingkan dengan <i>Penetrometer</i> Standar	159
Gambar 6.6	Alat Swayasa Pengukur Beban Patah	165
Gambar 6.7	Beban Patah Batang Padi Varietas Inpari 41 dan Baroma pada Berbagai Dosis Biosilika	166

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Bobot Kering Tanaman, Indeks Panen, dan Hasil Polong Empat Kultivar Kacang Tanah yang Dilepas Tahun 1943 sampai 1977 di Amerika Serikat	3
Tabel 2.1	Suhu Maksimum, Suhu Minimum di Berbagai Tinggi Tempat Kebun Teh PT Pagilaran Kabupaten Batang Jawa Tengah Bulan Oktober–Desember Tahun 2010	12
Tabel 2.2	Intensitas Cahaya Matahari, Suhu Udara, dan Kelembapan Udara Relatif Juli–November 2017 di Beberapa Tinggi Tempat di Kabupaten Sleman, DIY ..	14
Tabel 2.3	Klasifikasi Angin Berdasarkan Kecepatan Menurut Beaufort	17
Tabel 2.4	Klasifikasi Curah Hujan Harian	20
Tabel 2.5	Suhu Tanah Pertanaman Kangkung pada Berbagai Letak Pematah Angin Tanaman Jagung Manis di Lahan Pasir Pantai Samas Kabupaten Bantul DIY Bulan November 2022	24
Tabel 2.6	<i>Skoring</i> Data Kualitatif Kadar Hara Tanah Hasil Pengukuran dengan PUTK dan PUTS	30
Tabel 2.7	Efisiensi Agronomis dan Efisiensi Fisiologis Padi Gogo IPB 9G pada Berbagai Dosis N	32
Tabel 3.1	Kadar Klorofil a, Klorofil b, Nisbah Klorofil a/b Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara ..	35
Tabel 3.2	Kadar N, Bagan Warna Daun (BWD), Kadar Klorofil a, b, dan Total Daun Teh pada Berbagai Takaran Pupuk Urea pada 24 MSP	35
Tabel 3.3	Nilai <i>Red</i> , <i>Blue</i> , <i>Green</i> , dan Kenampakan Warna (KW) Daun Teh pada Berbagai Takaran Pupuk Urea pada 24 MSP	38

Tabel 3.4	Konversi Nilai G dengan kadar N, Kadar Klorofil a, b, dan Total Daun Teh	42
Tabel 3.5	Kerapatan Stomata Daun Kultivar Jagung pada Beberapa Fase Pertumbuhan	45
Tabel 3.6	Lebar Bukaannya Stomata Daun Kultivar Jagung pada Beberapa Fase Pertumbuhan	46
Tabel 3.7	Lebar dan Panjang Bukaannya Stomata Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara	47
Tabel 3.8	Laju Fotosintesis Tanaman Kangkung dengan Pematahan Angin Tanaman Jagung Manis di Lahan Pasir Pantai	49
Tabel 3.9	Kadar Air Nisbi Daun Empat Kultivar Tanaman Jagung saat Tergenang Sepuluh Hari pada Fase Berdaun Empat	52
Tabel 3.10	Laju Transpirasi Tanaman Kelapa Sawit di Berbagai Tinggi Tempat di Sumatera Utara	54
Tabel 3.11	Lama Transpirasi Beberapa Klon Tanaman Teh	55
Tabel 3.12	Laju Transpirasi Tanaman Jati pada Beberapa Pemberian Takaran Arang Sekam dan Selang Waktu Penyiraman	56
Tabel 3.13	Konversi Lama Transpirasi (Detik) menjadi Laju Transpirasi ($\text{mmol/m}^2/\text{detik}$) Tanaman Tomat yang Mendapat Cara Irigasi dan Pemberian Mulsa Berbeda	57
Tabel 3.14	Jumlah Air Siraman, Bobot Kering Tanaman, dan Efisiensi Penggunaan Air (EPA) Tanaman Jagung pada Beberapa Selang Waktu Penyiraman	58
Tabel 3.15	Efisiensi Penggunaan Air (gram/mm) 18 Kultivar Kedelai pada Empat Interval Penyiraman	59
Tabel 3.16	Jumlah Panas untuk Perkembangan Tanaman Kacang Tanah dan Kacang Hijau	61
Tabel 3.17	Jumlah Panas, Umur Pecah Mata Tunas, dan Umur Panen Beberapa Klon Teh	62
Tabel 3.18	Hasil Biji, Indeks Sensitivitas Cekaman (ISC) dan Indeks Stabilitas Hasil (ISH) Indeks Toleransi Cekaman (ITC) dan Indeks Harmonik (IH) Beberapa Genotip Jagung terhadap Kekeringan	64
Tabel 3.19	Hasil Biji dan Indeks Toleransi Cekaman terhadap Kekeringan Beberapa Kultivar Kedelai	66
Tabel 4.1	Sudut dan Nilai Tangen	68
Tabel 4.2	Sifat Perakaran Tanaman Kedelai 13 MST yang Mendapat Simulasi Genangan dalam Parit (GP)	76

Tabel 4.3	Nisbah Akar Tajuk Tanaman Padi pada Beberapa Tingkat Salinitas pada Fase Vegetatif Awal (3 MST), Vegetatif Maksimum (8 MST), dan saat Panen (14 MST)	90
Tabel 4.4	Korelasi Indeks Toleransi Cekaman dengan Nisbah Perakaran dalam pada Tanaman Padi	94
Tabel 4.5	Luas Permukaan Akar, Serapan N, dan Permeabilitas Akar untuk N Varietas Padi Gogo pada Berbagai Kadar Lengas Tanah pada 12 MST	96
Tabel 4.6	Korelasi Serapan Hara N dan Laju Transpirasi Beberapa Kultivar Padi Gogo pada Beberapa Kandungan Lengas Tanah	98
Tabel 4.7	Sifat Akar Kedelai yang Mengalami Kekeringan	99
Tabel 4.8	Sifat Akar Beberapa Kultivar Kedelai saat Panen	99
Tabel 5.1	Luas Daun per Tanaman dan Indeks Luas Daun (ILD) Karika di Beberapa Tinggi Tempat di Dieng	106
Tabel 5.2	Jumlah, Panjang dan Lebar Anak Daun, Luas per Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara	107
Tabel 5.3	Jumlah Pelepah dan Indeks Luas Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara	108
Tabel 5.4	Nilai Koefisien Peredupan Cahaya pada Beberapa Sudut Daun Tanaman	110
Tabel 5.5	Durasi Luas Daun (cm ² Hari) Kultivar Kacang Tanah pada 5 MST yang Diinokulasi Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) pada Beberapa Takaran	110
Tabel 5.6	Durasi Luas Daun (DLD) Tanaman Terung yang Mendapat Inokulasi Bakteri Fotosintesis pada Beberapa Konsentrasi	111
Tabel 5.7	Sekapan Cahaya Beberapa Klon Tanaman Teh	115
Tabel 5.8	Sekapan Cahaya Tajuk Beberapa Kultivar Kedelai pada 3, 6, dan 9 MST	115
Tabel 5.9	Konversi Laju Asimilasi Bersih (g/dm ² /minggu) menjadi Laju Fotosintesis (μmol/m ² /detik) pada Tanaman Padi Gogo	118
Tabel 5.10	Estimasi Biomassa Pohon Menggunakan Persamaan Alometrik	121
Tabel 5.11	Tinggi, Lingkari, Diameter, Volume, dan Bobot Batang Kelapa Sawit pada Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara	126

Tabel 5.12	Lebar Petiol, Tebal Petiol, dan Bobot Kering Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara	126
Tabel 5.13	Jumlah Tandan/Pohon, Jumlah Tandan/ha, Rerata Bobot Tandan, Potensi Produktivitas, dan Indeks Panen Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara ..	127
Tabel 5.14	Bobot per Biji, Bobot/Inti, Buah/Tandan, Rendemen Minyak Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara	128
Tabel 5.15	Tinggi Batang, Diameter Batang, dan Bobot Kering Batang Tanaman Karika di Beberapa Tinggi Tempat di Dieng	129
Tabel 5.16	Lingkar Batang (cm) Dua Kultivar Jambu Mete pada Beberapa Umur Tanaman	130
Tabel 5.17	Bobot Kering Tanaman (kg) Dua Kultivar Jambu Mete pada Beberapa Umur Tanaman	130
Tabel 5.18(a)	Bobot Bagian-Bagian Tongkol Jagung pada Berbagai Takaran Fosfat Alam	132
Tabel 5.18(b)	Distribusi Asimilat Tanaman Jagung pada Berbagai Takaran Fosfat Alam	132
Tabel 5.19	Distribusi Biomassa pada Polong Kacang Tanah	133
Tabel 5.20	Umur Berbunga, Umur Panen, Durasi Fase Vegetatif, Durasi Fase Genaratif, Hasil Biji, dan Laju Pengisian Biji (LPB) Padi Gogo Asal Sulawesi Tengah	134
Tabel 5.21	Beberapa Variabel Analisis Pertumbuhan Tanaman Kedelai yang Tergenang	139
Tabel 6.1	Komponen Hasil dan Hasil Padi	143
Tabel 6.2	Komponen Hasil 15 Galur Tomat	143
Tabel 6.3	Konversi Nilai L iPhone dan Android Menjadi Nilai L pada Chroma Meter untuk Bunga Krisan Merah	148
Tabel 6.4	Konversi Nilai a iPhone dan Android Menjadi Nilai a pada <i>Chroma Meter</i> untuk Bunga Krisan Merah	149
Tabel 6.5	Konversi Nilai b iPhone dan Android Menjadi Nilai b pada Chroma Meter untuk Bunga Krisan Merah	149
Tabel 6.6	Nilai L^* , a^* , dan b^* Edamame Genotipe R15-10280 pada Berbagai Fase Pertumbuhan dan Umur Panen	151
Tabel 6.7	Skor Uji Organoleptik Beras Beberapa Varietas Padi .	153
Tabel 6.8	Skor Uji <i>Rangking</i> dan Uji Hedonik Beras Beberapa Varietas Padi	154

Tabel 6.9	Skor Uji Organoleptik Nasi Beberapa Varietas Padi ...	156
Tabel 6.10	Skor Uji <i>Ranking</i> dan Uji Hedonik Nasi Beberapa Varietas Padi	156
Tabel 6.11	Konversi Nilai Kekerasan Buah Tomat dengan <i>Pnetrometer</i> Swayasa dan <i>Pnetrometer</i> Standar.	159
Tabel 6.12	Kualitas 15 Galur Tomat	161
Tabel 6.13	Kriteria <i>Skoring</i> Kualitas Buah Stroberi	162
Tabel 6.14	Kualitas Buah Stroberi yang Disimpan dalam Kemasan Berbeda	162
Tabel 6.15	Nilai <i>Visual Quality Rating</i> (VQR) dan Kriteria Tingkat Kecacatan atau Kerusakan	163
Tabel 6.16	Kriteria <i>Skoring</i> Kualitas Selada Keriting	164
Tabel 6.17	Kerenyahan, Tekstur dan Kemanisan Daun Selada Keriting Hidroponik pada saat Panen yang Mendapat Tekanan Aerator Berbeda	164

Buku ini tidak diperjualbelikan

Pengantar Penerbit

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Kualitas hasil penelitian dalam bidang agronomi sangat bervariasi. Hal ini dipengaruhi salah satunya oleh ketersediaan sarana dan prasarana penelitian. Sayangnya, peningkatan kualitas hasil penelitian seringkali dihadapi oleh kendala keterbatasan dana, sarana, dan prasarana penelitian. Namun demikian, pengamatan yang lebih rinci dapat dilakukan dalam bentuk modifikasi pengamatan dengan menggunakan peralatan sederhana yang biasa ditemukan di pasaran dan peralatan buatan sendiri. Penggunaan telepon pintar juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengamatan di lapangan.

Buku *Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas* hadir untuk mendukung penggalan informasi penelitian agronomi dengan pengamatan yang lebih luas dan mendalam dalam kondisi dana, sarana, dan prasarana penelitian yang terbatas. Selain itu, dalam buku ini dijelaskan teknik-teknik pengukuran variabel secara lebih bervariasi untuk penelitian dengan menggunakan peralatan terbatas. Buku ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber referensi bagi para peneliti agronomi, baik mahasiswa, dosen, maupun peneliti di lembaga penelitian dan universitas yang dukungan peralatannya terbatas untuk dapat melakukan penelitian agronomi secara mendalam menggunakan variabel yang lebih bervariasi.

Buku ini tidak diperjualbelikan

Kami berharap hadirnya buku ini dapat menjadi referensi bacaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi seluruh pembaca. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Kata Pengantar

Membaca naskah buku yang berjudul *Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas* mengingatkan saya terhadap visi dan misi Beliau terkait upaya memperbaiki kedalaman riset-riset agronomi di Indonesia meskipun menggunakan perangkat sederhana. Saya sebagai dosen dan peneliti yunior merasa beruntung karena secara langsung dibimbing oleh Beliau dalam menapaki karier saya sebagai dosen dan peneliti di Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Sepanjang pergaulan saya dengan Beliau, ruh dari isi buku tersebut sebenarnya merupakan topik yang sering kami bicarakan sehari-hari ketika bertemu di kampus. Pada setiap pembicaraan, selalu muncul kegelisahan Beliau terkait bagaimana melakukan penelitian agronomi secara mendalam meskipun dengan dukungan peralatan yang sederhana.

Narasi buku yang ditulis sangat menarik dan mengangkat persoalan-persoalan aktual yang dihadapi oleh banyak institusi riset maupun kampus di Indonesia, khususnya riset di bidang agronomi. Beliau berpandangan bahwa riset-riset agronomi di Indonesia selama ini tidak bergerak maju akibat dari pilihan variabel pengamatan yang itu-itu saja. Pilihan variabel yang itu-itu saja untuk riset agronomi menyebabkan diskusi yang muncul menjadi dangkal dan sulit memunculkan kebaruan. Kondisi riset-riset agronomi yang jalan di tempat dilatarbelakangi oleh alasan bahwa dukungan infrastruktur peralatan kurang memadai di banyak lembaga riset maupun universitas.

Saya sebagai murid tahu persis bahwa Beliau telah mengunjungi banyak lembaga riset dan universitas yang tersebar di beberapa wilayah negara Indonesia dari Sabang di barat hingga Merauke di timur.

Dari pengalaman empirik tersebut, Beliau sangat menyadari bahwa sampai dengan saat ini pun banyak lembaga riset dan universitas di Indonesia yang belum didukung oleh peralatan laboratorium yang memadai. Menimbang hal tersebut, tercetus ide Beliau untuk mencoba mengembangkan pendekatan-pendekatan sederhana, terkait teknik pengukuran variabel-variabel dalam riset di bidang agronomi.

Alhamdulillah, menjelang periode purnatugas, cita-cita Beliau untuk menyusun buku yang berisi teknik-teknik pengukuran variabel untuk riset di bidang agronomi menggunakan peralatan terbatas mampu diwujudkan. Melalui buku ini, kita dapat belajar bagaimana cara melakukan pengukuran variabel-variabel secara lebih bervariasi untuk riset di bidang agronomi sehingga aspek kedalaman riset dapat ditingkatkan. Terbitnya buku ini dapat membantu lembaga-lembaga riset maupun universitas yang dukungan peralatannya terbatas untuk dapat melakukan riset agronomi secara mendalam menggunakan variabel yang lebih variatif.

Buku yang telah ditulis Beliau secara garis besar dapat membuka wawasan kita dan memberi peluang untuk mempertajam kajian-kajian di bidang agronomi di tengah dukungan peralatan yang terbatas. Jika hal ini dapat kita lakukan maka kajian-kajian agronomi ke depan dapat dilakukan secara lebih rinci untuk menghasilkan teknologi produksi tanaman yang presisi. Dalam jangka pendek, mutu riset di bidang agronomi juga berpotensi dapat ditingkatkan meskipun peralatan yang dimiliki cukup terbatas. Setelah membaca buku ini, insyaallah pikiran kita menjadi lebih terbuka untuk mengembangkan dan menggunakan variabel-variabel pengamatan yang lebih bervariasi sebagai indikator kunci riset bidang agronomi. Yang terpenting adalah kita menjadi lebih optimis dan terhindar dari rasa putus asa yang berkepanjangan di tengah dukungan fasilitas peralatan riset yang belum kunjung membaik.

Yogyakarta, 27 Oktober 2023
Kepala Laboratorium Manajemen Produksi
Departemen Budidaya Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada
Eka Tarwaca Susila Putra, S.P., M.P., Ph.D.

Prakata

Assalāmu'alaikum warahmatullāhi wa barakātuh, salam sejahtera bagi kita semua.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT penulis panjatkan karena dengan berkah dan rahmat-Nya-lah buku ini dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih atas ide, saran, motivasi, data, informasi dan bantuan berbagai pihak sehingga buku ini dapat terwujud. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para alumni Program Sarjana dan Pascasarjana Fakultas Pertanian UGM yang telah memberikan ide dan bekerja sama dalam penelitian sehingga menghasilkan data dan informasi yang sangat berguna untuk penulisan buku ini. Kepada para sejawat yang memberikan iklim bekerja yang kondusif, penulis mengucapkan terima kasih. Kepada Penerbit BRIN dan jajarannya, terutama Bapak Wijananto, S.ST. dan Ibu Indah Susanti yang banyak memberikan masukan perbaikan, serta ibu Noviasuti Putri Indrasari, S.S., M.A. yang memperkenalkan Penerbit BRIN, penulis memberikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih. Kepada Eka Tarwaca Susila Putra, S.P., M.P., Ph.D yang telah memberikan Kata Pengantar, penulis memberikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih kepada Desmadian Hammam, yang telah merapikan naskah, penulis juga mengucapkan terima kasih. Semoga amal baik Bapak, Ibu, dan Saudara sekalian mendapat balasan dari Allah SWT.

Kualitas hasil penelitian bidang agronomi di Indonesia sangat bervariasi. Variasi hasil penelitian, antara lain dipengaruhi oleh ketersediaan sarana dan prasarana penelitian. Salah satu usaha

peningkatan kualitas penelitian yang dapat dilakukan adalah dengan penggalian informasi yang lebih luas dan mendalam dengan melakukan pengamatan yang lebih perinci. Pengamatan yang lebih perinci pada umumnya menghadapi kendala keterbatasan dana, sarana, dan prasarana penelitian.

Buku berjudul *Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas* ini dipersiapkan untuk mendukung penggalian informasi penelitian agronomi dengan pengamatan yang lebih luas dan mendalam dalam kondisi dana, sarana, dan prasarana penelitian yang terbatas. Walaupun berfokus pada peralatan sederhana, buku ini juga memperkenalkan penggunaan teknologi kekinian, terutama melalui telepon pintar (*handphone*/hp) yang pada umumnya dimiliki oleh setiap peneliti agronomi. Berbagai aplikasi pada hp dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengamatan lapangan, seperti pengukuran luas daun dengan ImageJ, penentuan kadar nitrogen dan klorofil menggunakan *Color Analyzer*, serta penilaian kualitas bunga atau tingkat kematangan edamame dengan *Color Analyzer IsoShirabe*. Selain itu, pengamatan terhadap cuaca mikro juga dapat dilakukan melalui aplikasi pemantauan cuaca yang tersedia di hp. Dengan demikian, buku ini menawarkan metode yang praktis, ekonomis, dan relevan dengan perkembangan teknologi digital, sekaligus memberdayakan alat yang sudah dimiliki oleh hampir semua peneliti agronomi, yaitu telepon pintar mereka sendiri.

Buku ini dapat dimanfaatkan oleh para peneliti agronomi, baik mahasiswa, dosen maupun peneliti di lembaga penelitian. Pengamatan alternatif dalam rangka memperluas, memperdalam, dan membuat pengamatan yang lebih perinci, dilakukan dalam bentuk modifikasi pengamatan dengan menggunakan peralatan sederhana, biasa ditemukan di pasaran dan peralatan swayasa atau buatan sendiri. Peningkatan akurasi peralatan modifikasi tersebut dapat dilakukan dengan kalibrasi atau perbandingan dengan peralatan standar.

Sebagian contoh yang disajikan merupakan hasil pengamatan menggunakan peralatan standar dari penelitian yang dilakukan oleh para mahasiswa dalam tugas akhir berupa skripsi, tesis, atau disertasi

dan publikasi. Sebagian data telah dianalisis statistik, namun juga terdapat tambahan data dari perhitungan yang tidak dianalisis statistik. Penafsiran data dari suatu pengamatan sesuai dengan tujuan penulisan buku ini, terutama ditekankan pada nilai yang diperoleh, tetapi secara terbatas juga menafsirkan pengaruh perlakuan.

Penulis hanya mampu menyajikan sedikit contoh pengembangan pengamatan penelitian agronomi dengan peralatan yang terbatas. Contoh tersebut pun belum dapat seluruhnya dibuat sampai tuntas dengan menyajikan pengamatan alternatif yang sudah dikalibrasi. Penulis berharap, kepada para peneliti yang mempunyai peralatan lengkap, dapat mengembangkan lebih lanjut berbagai alternatif pengamatan yang lebih inovatif, sedangkan kepada para peneliti yang mempunyai peralatan terbatas, apabila sesuai, dapat menerapkan pengamatan alternatif yang penulis sajikan dalam buku ini. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk penambahan variabel pengamatan lain, perbaikan, dan pembetulan untuk publikasi yang akan datang. Penulis berharap dengan berbagai informasi di dalam buku ini, para peneliti agronomi dapat melakukan pengamatan yang lebih luas, dan mendalam dengan dana, sarana dan prasarana terbatas, serta ide untuk mengembangkan penelitian alternatif yang lebih lengkap dan baik. Mari berkembang bersama, semoga bermanfaat.

Wassalāmu'alaikum wa rahmatullāhi wabarakātuh.

Yogyakarta, 17 Agustus 2023

Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan

Buku ini tidak diperjualbelikan

Bab I

Keterbatasan Alat

Salah satu masalah utama penelitian yang dihadapi oleh Indonesia adalah terbatasnya ketersediaan infrastruktur terbaru. Hal ini menjadikan Indonesia mengalami ketertinggalan apabila dibandingkan penelitian dari luar (Aswatini, 2014). Secara spesifik, terbatasnya peralatan juga dialami oleh laboratorium yang mendukung Program Studi Agronomi atau Agroteknologi di sebagian besar fakultas pertanian di Indonesia dan beberapa lembaga penelitian bidang agronomi. Agronomi itu sendiri merupakan cabang ilmu pertanian yang mempelajari pengelolaan lahan dan tanaman untuk memproduksi pangan, pakan, sandang, bahan bangunan, bahan bakar, dan berbagai bahan baku industri.

Agronomi pertama kali didefinisikan sebagai ilmu produksi tanaman yang memfokuskan pada studi tentang hubungan antara sifat genetik, faktor lingkungan, praktik budaya, serta dengan hasil dan kualitas tanaman. Faktor genetik dalam bentuk berbagai varietas dengan keunggulan yang berbeda-beda, berinteraksi dengan faktor lingkungan dan perlakuan budidaya, yang kemudian berpengaruh terhadap proses fisiologis, pertumbuhan, dan hasil tanaman. Faktor lingkungan dapat berupa faktor lingkungan abiotik berupa tanah dan iklim, sedangkan faktor lingkungan biotik dapat berupa tanaman lain, mikrobial bermanfaat, hama, penyakit, dan gulma. Sementara itu, praktik budidaya meliputi pengaturan tanaman, pengairan, pemupukan dan pengendalian organisme pengganggu tanaman. Oleh

karena itu, agronomi mengintegrasikan ilmu-ilmu, seperti genetika, biologi, ilmu tanah, klimatologi, fisiologi, ekologi, dan lain-lain.

Peralatan laboratorium mempunyai peran penting dalam bidang agronomi. Melalui penggunaan peralatan laboratorium, ahli agronomi dapat melakukan pengujian dan penelitian yang memungkinkan mereka mengetahui perubahan anatomi dan morfologi, reaksi biokimia, proses fisiologis, pertumbuhan, serta hasil dan kualitas hasil tanaman. Data dan informasi yang diperoleh dari pengamatan dan penelitian agronomi sangat penting dalam pengembangan tanaman menjadi lebih baik serta peningkatan produktivitas dan produksi tanaman.

Ahli agronomi sangat bergantung pada peralatan laboratorium untuk melakukan penelitian yang memungkinkan mereka mempelajari proses fisiologis, pertumbuhan, dan hasil tanaman. Alat penting bagi peneliti agronomi sangat beragam. Untuk pengamatan proses fisiologis dapat menggunakan *areameter*, *photosynthetic analyzer*, *spectrophotometer*, *pressure chambers*, *penetrometer*, ataupun *chroma meter*, dan masih banyak peralatan lainnya. *Area meter* digunakan untuk mengukur luas daun, panjang dan luas permukaan akar; *photosynthetic analyzer* digunakan untuk mengukur konduktivitas stomata, laju transpirasi dan laju fotosintesis; *spectrophotometer* digunakan untuk mengukur kadar suatu senyawa misalnya klorofil; dan *pressure chambers* untuk mengukur potensial air jaringan. *Pnetrometer* digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan suatu organ tanaman, misalnya batang atau buah, sedangkan *chroma meter* digunakan untuk menilai warna bunga atau buah. Alat-alat tersebut mempunyai harga yang relatif sangat mahal sehingga hanya laboratorium tertentu saja yang dapat menyediakan fasilitas tersebut. Keterbatasan peralatan tersebut sering kali menjadi hambatan dalam melakukan riset secara sempurna.

Keterbatasan alat yang tersedia berdampak pada publikasi yang dilakukan oleh para dosen, peneliti dan, mahasiswa di jurnal ataupun prosiding seminar. Variabel pengamatan yang ditampilkan terbatas pada variabel pengamatan yang dapat dilakukan dengan menggunakan

peralatan yang sangat sederhana. Variabel pengamatan penelitian agronomi yang sering ditampilkan, antara lain adalah tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun yang dapat diamati dengan peralatan sangat sederhana. Variabel pengamatan lain yang cukup lengkap ditampilkan adalah variabel komponen hasil dan hasil tanaman yang juga dapat diamati dengan peralatan sederhana. Pengamatan yang terbatas sering menyebabkan informasi yang disampaikan menjadi kurang lengkap dan akurat sehingga dapat menyebabkan tindak lanjut yang juga kurang tepat. Diperlukan pengamatan variabel yang lebih perinci untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap dan benar.

Gambaran bahwa pengamatan yang lebih perinci dapat memberikan informasi yang lebih jelas dapat dilihat pada suatu penelitian klasik yang dilakukan oleh Duncan dkk., (1978) (Tabel 1.1). Penelitian pada empat kultivar kacang tanah di Amerika yang dilepas antara 1943 sampai 1977, yaitu Dixie Runner sampai dengan Early Bunch mendapatkan bahwa terjadi kenaikan potensi hasil dua kali lipat. Bila dikaji dari kemampuan fotosintesis yang dinyatakan dalam bentuk bobot biomassa, di antara empat kultivar tersebut tidak terdapat perbedaan sehingga tidak dapat diketahui apa penyebab peningkatan potensi hasil tersebut. Pengamatan yang sedikit lebih perinci dengan mengamati distribusi asimilat ke bagian vegetatif dan generatif yang dinyatakan dengan indeks panen, lama periode pengisian polong, dan laju pembentukan polong memberikan informasi yang lebih jelas.

Tabel 1.1 Bobot Kering Tanaman, Indeks Panen, dan Hasil Polong Empat Kultivar Kacang Tanah yang Dilepas Tahun 1943 sampai 1977 di Amerika Serikat

Kultivar	Tahun	Bobot Kering Tanaman (t/ha)	Indeks Panen	Hasil Polong (t/ha)
Dixie Runner	1943	10,8	0,23	2,5
Early Runner	1952	10,6	0,36	3,8
Florunner	1969	11,2	0,41	4,6
Early Bunch	1977	10,8	0,51	5,5

Sumber: Duncan dkk. (1978)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan potensi hasil terjadi terutama karena peningkatan indeks panen dua kali lipat dari 0,23 pada Dixie Runner yang dilepas tahun 1943 menjadi 0,51 pada Early Bunch yang dilepas tahun 1977. Dari penelitian Duncan dkk. (1978) didapat suatu pembelajaran bahwa pengamatan yang terbatas, yaitu hanya pada bobot biomassa belum dapat memberikan informasi penyebab peningkatan potensi hasil pada kultivar kacang tanah di Amerika tersebut. Penambahan beberapa pengamatan yang lebih rinci kemudian dapat memberikan informasi yang lebih jelas tentang penyebab peningkatan potensi hasil tersebut, yaitu peningkatan indeks panen.

Sebenarnya, banyak variabel pengamatan yang dapat diamati untuk mendapatkan pendalaman informasi dari suatu penelitian agronomi dengan menggunakan peralatan yang ada atau peralatan tambahan yang hampir dipastikan dapat diadakan. Untuk mengamati luas daun dapat digunakan plastik mika atau selembar kertas HVS. Dengan menggunakan oven dan timbangan yang dimiliki laboratorium, dibantu rumus dalam analisis pertumbuhan dapat dihitung laju asimilasi bersih, sebagai alternatif laju fotosintesis yang biasa diukur dengan *photosynthetic analyzer*. Bahkan dengan berkembangnya alat komunikasi berupa telepon pintar berbasis Android yang dapat mengunduh berbagai macam aplikasi, terdapat peralatan alternatif untuk menambah variabel pengamatan. Tentu saja pengamatan menggunakan berbagai peralatan alternatif tersebut memerlukan kalibrasi dengan peralatan standar. Dalam buku ini, penulis mencoba menyampaikan beberapa pengamatan tambahan untuk memperdalam informasi pengamatan penelitian agronomi dengan menggunakan peralatan terbatas, sebagian sudah dikalibrasi atau dicari korelasinya dengan alat standar, sebagian besar yang lain masih memerlukan kalibrasi atau dicari korelasinya dengan alat standar.

Bab pertama buku ini memberikan informasi bahwa salah satu faktor yang menentukan daya saing suatu negara adalah pada tingkat inovasi iptek yang dicapai. Salah satu masalah yang dihadapi para peneliti di Indonesia adalah terbatasnya ketersediaan peralatan,

namun pengamatan yang lebih baik masih dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan yang terbatas.

Bab II sampai VI merupakan bagian inti buku ini, berisi gambaran tentang macam pengamatan dan hasil pengamatan agronomi yang biasa dilakukan, serta alternatif pengamatan yang mungkin dapat dilakukan dan dikembangkan lebih jauh dengan peralatan terbatas. Pengamatan yang dibahas dimulai dari pengamatan lingkungan berupa iklim dan tanah. Dalam bab-bab tersebut, penulis mengupas pengamatan tanaman yang meliputi pengamatan sifat fisiologis, pertumbuhan, serta hasil dan kualitas hasil tanaman. Selain itu, disampaikan dengan cukup perinci pengamatan pertumbuhan pada akar dan analisis pertumbuhan pada tajuk. Untuk membantu proses penelitian yang lebih dalam terkait proses hilir dalam sistem pertanian, dalam Bab VI, penulis menyampaikan beberapa teknik pengamatan secara subjektif terhadap hasil tanaman, komponen hasil, dan juga kualitas hasil yang dapat dievaluasi dari warna bunga, warna polong, kualitas biji-bijian, buah dan sayur, maupun ketahanan terhadap rebah.

Bab VII berisi rangkuman berbagai cara pengamatan dan perhitungan penelitian agronomi alternatif yang dapat dilakukan dengan peralatan terbatas. Disampaikan harapan pengkajian lanjutan untuk kesahihan cara yang telah dipaparkan dan harapan pengembangan lanjutan dapat dilakukan oleh para peneliti yang tersebar di seluruh Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan

Bab II

Lingkungan

Lingkungan merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam sistem agronomi. Lingkungan berinteraksi dengan faktor genetik tanaman yang memengaruhi proses fisiologis, pertumbuhan, dan hasil tanaman. Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap tanaman terdiri dari faktor lingkungan biotik dan abiotik. Faktor lingkungan biotik dapat berupa tanaman lain sejenis dalam suatu lahan dan tanaman lain beda jenis dalam sistem tumpang sari atau wanatani. Faktor lingkungan biotik lain dapat berupa organisme berguna maupun pengganggu berupa hama, patogen penyebab penyakit, dan gulma. Faktor lingkungan abiotik yang berpengaruh terhadap proses fisiologis serta pertumbuhan dan hasil tanaman adalah cuaca atau iklim dan tanah yang akan dibahas sedikit mendalam.

Unsur cuaca atau iklim yang banyak diamati bagi kebutuhan agronomi yang lumrah dalam stasiun meteorologi pertanian adalah intensitas radiasi, lama penyinaran surya, suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, kecepatan angin dan arah angin, serta curah hujan. Pengamatan sifat tanah yang sering dilakukan para peneliti agronomi adalah sifat fisik meliputi kadar lengas dan suhu tanah, serta sifat kimia tanah berupa kadar hara makro N, P, K, C organik, dan pH tanah.

A. Cuaca

Cuaca dan iklim merupakan salah satu faktor lingkungan yang memengaruhi proses fisiologis, pertumbuhan, dan produktivitas tanaman. Cuaca adalah nilai sesaat dari kondisi atmosfer serta perubahannya dalam jangka pendek di suatu tempat tertentu di permukaan bumi. Dengan kata lain, cuaca merupakan satu kasus kondisi atmosfer sesaat di suatu tempat. Karena cuaca merupakan nilai sesaat dari atmosfer sehingga cuaca dapat berubah setiap saat. Perubahan cuaca hari demi hari dan bulan demi bulan umumnya akan membentuk pola tertentu. Menurut World Meteorological Organization (WMO) selama 30 tahun, nilai rata-rata unsur-unsur cuaca akan menggambarkan sifat atmosfer yang dikenal sebagai iklim. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa iklim adalah sintesis atau kondisi unsur-unsur cuaca dalam jangka panjang di suatu tempat atau pada suatu wilayah. Sintesis tersebut dapat diekspresikan sebagai nilai statistik yang meliputi rata-rata, maksimum, minimum, frekuensi kejadian, atau peluang kejadian dari cuaca.

Pada skala kecil, cuaca mikro cukup mudah untuk diamati karena lingkupnya yang tidak terlalu luas. Cuaca mikro adalah faktor-faktor kondisi cuaca setempat yang memberikan pengaruh langsung terhadap fisik pada suatu lingkungan. Cuaca mikro merupakan cuaca di lapisan udara terdekat permukaan bumi dengan ketinggian sampai 2 meter (Karyati dkk., 2020). Pengamatan, visualisasi, dan penafsiran data cuaca perlu dilakukan untuk mengetahui interaksi antar komponen iklim, misalnya pengaruh topografi dan tata guna lahan suatu tempat terhadap suhu dan tekanan udara. Selain itu, dapat diketahui apakah kondisi cuaca di lokasi pada saat penelitian berlangsung sesuai atau tidak dengan kebutuhan tanaman.

Cuaca dan iklim dinyatakan dengan susunan nilai unsur fisika atmosfer yang selanjutnya disebut unsur cuaca atau unsur iklim yang terdiri dari radiasi surya (Watt/m^2), lama penyinaran surya (jam), suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan udara (%), tekanan udara (milibar atau mb), kecepatan angin (knot) dan arah angin (derajat), penutupan awan, presipitasi yang meliputi embun, hujan, salju (mm), serta

evaporasi/evapotranspirasi (mm). Pengamatan rutin terhadap unsur-unsur cuaca secara terus-menerus pada jam-jam pengamatan tertentu akan menghasilkan suatu seri data cuaca yang selanjutnya dapat diolah menjadi data iklim (Kusmaryono & Askari, 2022).

1. Intensitas Cahaya, Suhu Udara, dan Kelembapan Relatif Udara

Radiasi matahari mempunyai peran yang sangat penting dalam bidang pertanian. Hal ini karena radiasi matahari merupakan sumber energi dalam proses fotosintesis bagi tanaman berklorofil. Terdapat beberapa aspek dari radiasi matahari yang dapat diukur berikut ini.

- a. Fluks cahaya, yaitu total *output* cahaya dari sumbernya, yang pada umumnya dinyatakan dalam satuan lumen (lm).
- b. Intensitas cahaya, yaitu jumlah radiasi yang diterima oleh suatu permukaan dalam satuan lux (lx) atau *foot-candle* (fc). Lux adalah unit standar pengukuran intensitas cahaya. Satu lux cahaya adalah ukuran kerapatan cahaya yang setara dengan 1 lumen per meter persegi atau sama dengan penerangan satu lilin ke permukaan satu meter persegi yang berjarak satu meter. Sinar matahari langsung mempunyai intensitas 32.000 hingga 100.000 lux, cahaya siang hari sekitar 10.000 hingga 25.000 lux, cahaya siang saat mendung 1.000 lux, cahaya matahari terbit dan terbenam mempunyai intensitas 400 lux (Lighting lux, lumens. 2022).
- c. Irradiasi atau intensitas radiasi, yaitu daya atau energi radiasi elektromagnetik yang diterima per satuan luas. Biasanya dinyatakan dalam satuan watt per meter persegi (W/m^2).
- d. Spektrum cahaya, yaitu distribusi panjang gelombang cahaya;
- e. Suhu warna, yaitu warna cahaya yang menunjukkan apakah cahaya tersebut lebih hangat (merah) atau lebih dingin (biru), dan pada umumnya menggunakan satuan Kelvin.
- f. Luminasi, yaitu ukuran kecerahan cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan dari suatu permukaan dalam satuan candela per meter persegi (cd/m^2).

Pengukuran energi radiasi matahari dilakukan dengan alat *actinograph bimetal*. Alat dipasang pada tempat terbuka di atas tiang

beton yang kuat, dengan sinar harus bebas diterima sensor. Alat akan mengukur intensitas penyinaran matahari dengan satuan pengukuran $\text{kal/cm}^2/\text{hari}$. Pengukuran dilakukan dengan mengukur luasan yang ada di kertas grafik dengan bantuan alat planimeter, kemudian dikonversikan ke satuan intensitas radiasi menggunakan perkalian dengan konstanta *actinograph*. *Actinograph* bimetal pada umumnya hanya dipasang di stasiun pengamat cuaca yang letaknya belum tentu dekat dengan lokasi penelitian.

Dari sejumlah radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi, hanya 1-2% yang digunakan untuk proses fotosintesis. Bagian dari radiasi matahari yang sangat berperan dalam proses fotosintesis tanaman adalah radiasi aktif fotosintesis (*photosynthetically active radiation* atau/ PAR). PAR memiliki kisaran panjang gelombang 400-700 nm, yang ukurannya adalah kerapatan fluks foton fotosintesis (PPFD) dan dinyatakan dalam $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Laju fotosintesis sampai batas tertentu akan meningkat dengan peningkatan intensitas cahaya. Respons tanaman terhadap tingkatan intensitas cahaya berbeda-beda tergantung pada golongan, jenis, dan bahkan varietas tanaman.

Menurut Jarzyna dkk. (2018) pada masa lalu, orang menggunakan pengukur cahaya sederhana atau *light meter* untuk mengukur iluminasi (E) dalam lux (lx) untuk menunjang penelitian geobotani. Di satu pihak, beberapa peneliti tidak merekomendasikan penggunaannya dalam studi semacam itu. Ditekankan bahwa iluminasi yang diukur dengan pengukur cahaya sederhana adalah besaran fotometrik yang berkaitan dengan kepekaan mata manusia terhadap radiasi elektromagnetik. Oleh karena itu, *light meter* bukan perangkat yang tepat untuk studi pertanian. Meskipun demikian, pihak lain berpendapat bahwa instrumen tersebut sudah tersedia di pasaran, murah, dan mudah digunakan yang merupakan keunggulan dalam penelitian lapangan. Selain itu, penggunaannya dinilai dapat diterima karena rentang spektral pencahayaan dan PAR hampir identik. Dengan demikian, tampaknya layak menggunakan *light meter* sederhana sebagai alternatif untuk sistem pengukuran intensitas cahaya apabila tidak tersedia alat yang lebih sesuai.

Sekelompok peneliti menyatakan bahwa nilai pencahayaan terukur E (dalam lux), dapat diubah menjadi PPFD (dalam $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{det}$) dan irradiansi I (dalam Watt/m^2), menggunakan faktor konversi. Untuk menghitung PPFD, nilai pencahayaan dibagi dengan faktor komputasi. Untuk sinar matahari, faktor komputasinya adalah 54. Kemudian, untuk menghitung irradiansi (dalam Watt/m^2), nilai PPFD (dalam $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{det}$) dikalikan dengan faktor konversi untuk radiasi matahari sebesar 0,51. Pada kelompok yang lain, menyatakan bahwa tidak ada metode untuk mengubah pengukuran iluminasi menjadi pengukuran yang relevan dengan proses fisiologis tumbuhan tanpa pengetahuan perinci tentang komposisi spektral cahaya.

Untuk mengetahui besarnya intensitas cahaya ini maka diperlukan sebuah sensor yang cukup peka dan linier terhadap cahaya. Para peneliti di Indonesia pada umumnya menggunakan *lux meter* untuk mengukur besarnya intensitas cahaya di suatu tempat. Terdapat dua jenis *lux meter*, yaitu analog dan digital. *Lux meter* digital lebih populer sebab penggunaannya lebih praktis dan cepat. Alat ini dilengkapi sejumlah fitur yang mendukung kinerjanya dalam mengukur cahaya seperti sel foto, *photo diode*, dan sensor cahaya. Cahaya yang menyinari sel foto merupakan energi yang diteruskan oleh sel foto menjadi arus listrik. Makin banyak cahaya yang diserap oleh sel, arus yang dihasilkan lebih besar. Cahaya terdiri dari beberapa jenis warna dengan panjang gelombang yang berbeda. Pembacaan merupakan kombinasi efek dari semua panjang gelombang (Mujiati, 2014; Erick, 2021).

Suhu merupakan unsur iklim berupa besaran fisika yang menyatakan derajat panas suatu zat. Suhu di sekitar tanaman berpengaruh terhadap laju proses fisiologis, pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman. Setiap jenis, bahkan varietas mempunyai suhu spesifik yang diwakili oleh suhu minimum, maksimum, dan optimum (Hatfield & Prueger, 2015). Alat pengukur suhu adalah termometer, antara lain adalah termometer maksimum-minimum, termometer cair atau gabungan termometer dengan higrometer yang biasa disebut termohigrometer.

Termometer zat cair dibuat dengan memanfaatkan konsep pemuaian zat cair. Biasanya zat cair yang digunakan adalah air raksa atau alkohol. Sifat naik atau turunnya zat cair dalam pipa kapiler sebagai akibat pemuaian zat cair inilah yang digunakan untuk mengukur suhu. Permukaan zat cair naik sepanjang pipa kapiler dan berhenti pada posisi tertentu yang sesuai dengan suhu benda. Termometer maksimum-minimum bekerja didasarkan pada pemuaian alkohol dan air raksa yang dimodifikasi dengan adanya indeks penunjuk. Indeks penunjuk suhu maksimum hanya dapat bergerak ke atas jika didorong oleh kolom air raksa pada saat memuai, sedangkan indeks penunjuk suhu minimum hanya dapat bergerak jika ditarik oleh kolom alkohol ke arah reservoir pada saat menyusut.

Salah satu contoh hasil pengamatan suhu maksimum-minimum adalah seperti yang dilakukan Ayu dkk. (2012). Ayu dkk (2012) membuat penelitian tanaman teh di dataran tinggi kebun PT Pagilaran Kabupaten Batang Jawa Tengah dengan ketinggian 700–1.200 mdpl. Dari hasil penelitian, diperoleh suhu maksimum tertinggi di atas 26°C terjadi di kebun teh di lokasi terendah, sedangkan suhu minimum terendah hanya sedikit di atas 7°C yang terjadi di kebun daerah tinggi di atas 1000 mdpl (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Suhu Maksimum, Suhu Minimum di Berbagai Tinggi Tempat Kebun Teh PT Pagilaran Kabupaten Batang Jawa Tengah Bulan Oktober–Desember Tahun 2010

Tinggi Tempat (mdpl)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Minimum (°C)
735	26,67 a	12,67 a
896	25,00 a	10,67 ab
980	24,33 ab	10,00 ab
1023	22,00 b	7,33 b
1254	22,00 b	7,33 b
KK (%)	9,81	11,47

Sumber: Ayu dkk. (2012)

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda menurut uji LSD taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Kelembapan nisbi udara (*relatif humidity*/RH) adalah unsur iklim yang menggambarkan nisbah antara uap air yang terkandung dengan kapasitas kandungan maksimum uap air pada suatu temperatur dan tekanan udara tertentu. Alat yang biasa digunakan untuk mengukur RH adalah higrometer. Higrometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kelembapan yang dapat menampilkan kelembapan secara seketika (*realtime*). Hasil penelitian Mott dan Parkhurst (1991) menunjukkan bahwa kelembapan udara rendah menyebabkan penutupan stomata sehingga terjadi penurunan laju transpirasi dan fotosintesis.

Termohigrometer dapat menampilkan suhu udara dan kelembapan nisbi udara secara seketika. Pengukuran intensitas cahaya, suhu udara, dan kelembapan nisbi udara secara perinci dalam satu hari biasanya dilakukan tiga kali, yaitu pada pagi pukul 07.00, siang pukul 13.00, dan sore pukul 18.00. Selama penelitian, anasir cuaca mikro ini dapat diamati setiap minggu, setiap dua minggu, atau hanya tiga kali, yaitu pada awal, tengah, dan akhir penelitian, atau bahkan satu kali saja. Hasil pengamatan dapat ditampilkan dalam bentuk tabel atau gambar disertai dengan nilai optimal untuk tanaman yang diteliti (Kusumawati, 2021).

Azkiyah dan Tohari (2019) yang membuat penelitian tentang tanaman stevia (*Stevia rebaudiana*) di beberapa tinggi tempat, mengamati kondisi iklim mikro yang terjadi di tempat penelitian. Tabel 2.2 menampilkan rerata intensitas cahaya, suhu, dan kelembapan udara relatif pada pagi, siang, dan sore antara bulan Juli sampai November 2017 di beberapa tinggi tempat di Kabupaten Sleman DIY. Intensitas cahaya matahari tertinggi sebesar lebih dari 80 klux terjadi pada siang hari pada tinggi tempat 582 mdpl, sedangkan yang terendah terjadi pada pagi hari di 167 mdpl yang hanya mencapai sekitar 5 klux. Suhu udara tertinggi di atas 36°C terjadi pada siang hari di dataran rendah dan suhu terendah terjadi di dataran tinggi pada pagi hari yang hanya mencapai sedikit di atas 23°C. Kelembapan udara tertinggi lebih dari 70% dicapai pada pagi hari di dataran menengah, sedangkan kelembapan udara terendah kurang dari 50% terjadi pada siang hari di dataran rendah.

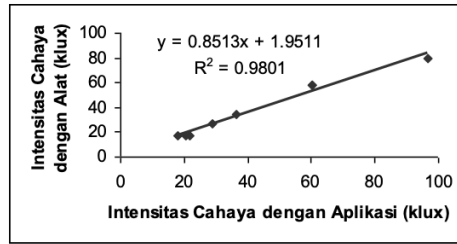
Tabel 2.2 Intensitas Cahaya Matahari, Suhu Udara, dan Kelembapan Udara Relatif Juli–November 2017 di Beberapa Tinggi Tempat di Kabupaten Sleman, DIY

Iklim Mikro	Waktu	Tinggi Tempat (mdpl)		
		167	582	897
Intensitas Cahaya (klux)	Pagi	30,06 a	23,17 a	48,52 a
	Siang	74,46 a	86,78 a	58,83 a
	Sore	5,47 b	35,05 a	12,00 b
Suhu Udara (°C)	Pagi	28,9 a	24,4 b	23,3 b
	Siang	36,8 a	29,9 b	27,3 b
	Sore	30,0 a	27,1 b	24,6 c
Kelembapan Udara Relatif (%)	Pagi	71 a	74 a	65 a
	Siang	48 b	58 a	57 a
	Sore	65 a	68 a	71 a

Sumber: Azkiyah & Tohari (2019)

Keterangan: Angka dalam baris untuk anasir iklim mikro dan waktu yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji LSD Fischer tingkat kesalahan 5%.

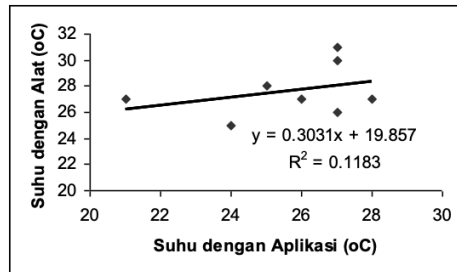
Pengamatan anasir cuaca mikro berupa intensitas cahaya matahari, suhu udara, kelembapan udara relatif menggunakan aplikasi yang diunduh dari *Play Store* telepon pintar berbasis Android dilakukan oleh Trisnaningtyas (2022). Hasil kalibrasi intensitas cahaya tercantum dalam Gambar 2.1, suhu udara dalam Gambar 2.2, dan kelembapan udara relatif dalam Gambar 2.3. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara hasil pengukuran intensitas cahaya menggunakan telepon pintar yang dilengkapi aplikasi dengan hasil pengukuran dengan *lux meter*, membentuk persamaan linier dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,98$ dan koefisien korelasi $r = 0,99^{**}$. Dengan menggunakan persamaan yang diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai terukur menggunakan telepon pintar sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan nilai dengan *lux meter*. Sebagai contoh, apabila intensitas cahaya yang terukur dengan telepon pintar sebesar 100 klux, nilai intensitas cahaya dengan *lux meter* adalah 87,08 klux.



Sumber: Trisnaningtyas (2022)

Gambar 2.1 Hubungan Intensitas Cahaya Terukur Menggunakan Aplikasi Telepon Pintar dengan Intensitas Cahaya Menggunakan *Lux Meter*

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa hubungan antara suhu udara terukur dengan aplikasi telepon pintar dengan suhu udara menggunakan termohigrometer cukup lemah, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,12$ dan koefisien korelasi $r = 0,34$. Dari persamaan linier yang diperoleh dapat dihitung suhu udara dengan termohigrometer adalah $27,43^{\circ}\text{C}$ apabila suhu terukur menggunakan telepon pintar misalnya 25°C .

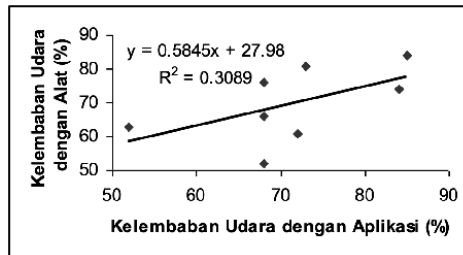


Sumber: Trisnaningtyas (2022)

Gambar 2.2 Hubungan Suhu Udara Terukur Menggunakan Aplikasi Telepon Pintar dengan Suhu Udara Menggunakan Termohigrometer

Gambar 2.3 memberikan informasi bahwa hubungan antara kelembapan udara relatif terukur menggunakan aplikasi telepon pintar dengan kelembapan udara yang diukur dengan termohigrometer agak kuat dengan $R^2 = 0,31$ dan $r = 0,56$. Menggunakan persamaan yang diperoleh, dapat diketahui bahwa apabila kelembapan udara terukur

dengan aplikasi telepon pintar misalnya 80% maka kelembapan udara relatif dengan termohigrometer adalah 74,74%.



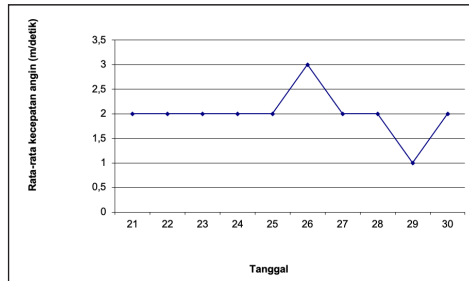
Sumber: Trisnaningtyas (2022)

Gambar 2.3 Hubungan Kelembapan Udara Relatif Terukur Menggunakan Aplikasi Telepon Pintar dengan Kelembapan Udara Relatif Menggunakan Termohigrometer

2. Kecepatan Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari suatu wilayah yang bertekanan tinggi menuju wilayah yang bertekanan rendah, baik secara horizontal, vertikal, maupun resultan antara keduanya. Angin muncul sebagai hasil dari pemanasan di permukaan bumi sehingga terjadi perbedaan tekanan udara. Adanya pemanasan di permukaan bumi mengakibatkan terjadi pemuaian massa udara dan kerapatan udara relatif lebih rendah sehingga tekanan udara menjadi rendah. Kecepatan angin merupakan unsur iklim yang dinyatakan dalam satuan m/detik atau km/jam atau knot (1 knot = 1 mil laut/jam = 1,852 km/jam). Alat untuk mengukurnya adalah anemometer. Makin kuat angin bertiup maka perputaran mangkok pada anemometer akan semakin cepat. Anemometer harus dipasang dengan ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah, pada tempat yang bebas dari halangan (Kusumawati, 2021) untuk dapat memberi informasi angin permukaan.

Murniati dan Sudarti (2021) mengukur rata-rata kecepatan angin harian di Kota Banyuwangi, Jawa Timur antara tanggal 21–29 April 2021 mendapatkan bahwa kecepatan angin bervariasi antara 1 sampai 3 m/detik (Gambar 2.4).



Sumber: Murniati & Sudarti (2021)

Gambar 2.4 Rata-Rata Kecepatan Angin Harian antara Tanggal 21–29 April 2021 di Banyuwangi, Jawa Timur

Selain dengan anemometer, kecepatan angin dapat diamati dengan aplikasi menggunakan telepon pintar, misalnya Zephyrus Pro Anemometer, Wind Meter Lab, atau yang lain. Kecepatan angin dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori berdasarkan skala tertentu, contohnya adalah skala Beaufort (Tabel 2.3). Skala Beaufort merupakan skala pertama yang dibuat Laksamana Inggris Sir Francis Beaufort tahun 1805 untuk memperkirakan kecepatan angin dan dampaknya.

Tabel 2.3 Klasifikasi Angin Berdasarkan Kecepatan Menurut Beaufort

	Kecepatan (km/jam)	Sebutan	Fenomena
0	<1.6	Calm	Asap bergerak vertikal
1	1.6-4.8	Light air	Arah angin ditunjukkan oleh asap
2	6.4-11.3	Light breeze	Terasa pada muka, daun berisik, penunjukan angin mulai bergerak
3	12.9-19.3	Gentle breeze	Daun dan ranting bergerak tetap, bendera berkibar
4	20.9-29.0	Moderate breeze	Menggerakkan tangkai kecil, mengembus debu dan kertas
5	30.6-38.6	Fresh breeze	Pohon kecil yang berdaun mulai bergoyang

	Kecepatan (km/jam)	Sebutan	Fenomena
6	40.2-49.9	Strong breeze	Dahan besar bergoyang, kawat telepon berdering
7	51.5-61.1	Moderate gale	Seluruh pohon bergoyang
8	62.8-74.0	Fresh gale	Ranting pohon patah
9	75.6-86.9	Strong gale	Bangunan ringan rusak
10	88.5-101.4	Whole gale	Bangunan rusak, pohon tumbang
11	103.0-120.7	Storm	Kerusakan bangunan sangat banyak
12	>120.7	Hurricane	Kerusakan besar, dahsyat, dan meluas

Sumber: Muda (2022)

3. Hujan

Curah hujan didefinisikan sebagai jumlah air yang jatuh dari atmosfer pada permukaan tanah selama periode tertentu. yang diukur dalam satuan tinggi (mm). Curah hujan merupakan unsur iklim yang fluktuasinya tinggi dan pengaruhnya terhadap produksi tanaman cukup signifikan (Suciantini, 2015). Curah hujan dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya lokasi geografis dan musim. Kedekatan dengan lautan, pegunungan, dan fitur geografis lainnya dapat memengaruhi pola curah hujan. Curah hujan juga menunjukkan adanya variasi antara musim, terutama di wilayah yang dipengaruhi oleh monsun. Pada dasarnya, curah hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi. Bentuk presipitasi lainnya adalah salju dan hujan es. Curah hujan sangat penting untuk mengisi kembali sumber air yang mendukung pertanian, dan memelihara ekosistem.

Tinggi air hujan 1 mm berarti air hujan pada bidang seluas 1 m² setinggi 1 mm atau berisi 1 liter karena $100 \text{ cm}^2 \times 100 \text{ cm}^2 \times 0,1 \text{ cm} = 1 \text{ liter}$. Parameter hujan yang harus diperhatikan dalam pengukuran hujan ialah jumlah curah hujan dan hari hujan. Berdasarkan pengertian klimatologi, satu hari hujan ialah periode selama 24 jam terkumpul curah hujan paling sedikit 1 mm. Apabila kurang dari ketentuan

tersebut maka hari hujan dianggap nol meskipun curah hujan tetap diperhitungkan.

Alat yang digunakan untuk pengukuran adalah ombrometer. Ombrometer terdiri dari corong (mulut penampung air hujan), yang luasnya 100 cm^2 dengan garis tengah luar 11,3 cm. Bagian dasar dari corong terdiri dari pipa sempit yang menjulur ke dalam tabung kolektor dan dilengkapi dengan kran. Air yang ditampung dalam tabung kolektor dapat diketahui bila kran dibuka, kemudian air diukur dengan gelas ukur. Ada gelas ukur yang mempunyai skala khusus, yaitu langsung dapat menunjukkan jumlah curah hujan yang terjadi, tetapi apabila menggunakan gelas ukur biasa maka setiap 10 cm^3 atau 10 ml setara dengan curah hujan sebesar 1 mm.

Penakar harus ditempatkan di suatu tempat yang terbuka, tidak boleh terlalu dekat dengan penghalang dengan lintasan angin masih horizontal. Jarak suatu penghalang dari penakar paling dekat ialah empat kali tinggi penghalang. Tinggi mulut penakar dari permukaan tanah perlu diatur sekitar 50 cm dari permukaan tanah. Semakin dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin akan semakin berkurang, tetapi dapat terjadi percikan air dari permukaan tanah. Jika mulut penakar semakin tinggi maka tiupan angin akan bertambah besar sehingga jumlah air yang tertampung akan semakin sedikit.

Dalam kondisi tidak ada ombrometer yang cukup dekat dengan tempat penelitian, dapat dibuat ombrometer swayasa. Langkah yang perlu dilakukan menurut Kusumawati (2021) adalah menyiapkan wadah penampungan air hujan, misalnya berupa ember plastik atau bahan lain yang tersedia disiapkan, diukur diameter mulut ember untuk mendapatkan luasnya, yaitu $= \pi r^2$. Wadah penampung air hujan tersebut diletakkan pada sebuah penyangga setinggi 50 cm dengan tujuan agar percikan air hujan yang jatuh ke tanah tidak masuk ke wadah penampungan dan menyebabkan bias. Penyangga tersebut dapat berupa kursi plastik atau bahan lain yang tersedia. Lokasi penempatan wadah penampungan dan penyangga adalah pada tempat yang tidak ada penghalang air hujan masuk ke wadah penampungan, jauh dari bangunan atau pohon.

Perhitungan curah hujan dilakukan selama 24 jam, atau jumlah air yang tertampung dalam 24 jam. Ketika curah hujan tinggi, dipastikan tidak ada air yang tumpah dari wadah penampungan. Pengamatan dilakukan setiap pukul 7 pagi. Volume air yang tertampung dalam wadah penampungan dihitung dengan menggunakan alat bantu, bisa berupa gelas ukur plastik atau alat yang ada dengan satuan ml. Untuk mendapatkan besar curah hujan atau dengan satuan mm, jumlah air dibagi dengan luas mulut wadah. Sebagai contoh, volume air di dalam wadah 4700 ml ($4.700.000 \text{ mm}^3$, luas mulut wadah 660 cm^2 (660.000 mm^2 , curah hujan = volume air/luas = $4.700.000/660.000 = 71,2 \text{ mm}$. Hasil perhitungan curah hujan, kemudian dimasukkan dalam harkat, dengan ketentuan seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi Curah Hujan Harian

Curah Hujan Harian	Klasifikasi
0 mm / hari	Berawan
0,5–20 mm/hari	Hujan ringan
20–50 mm/hari	Hujan sedang
50–100 mm/hari	Hujan lebat
100–150 mm/hari	Hujan sangat lebat
Lebih dari 150 mm/hari	Hujan ekstrem

Sumber: Kusumawati (2021)

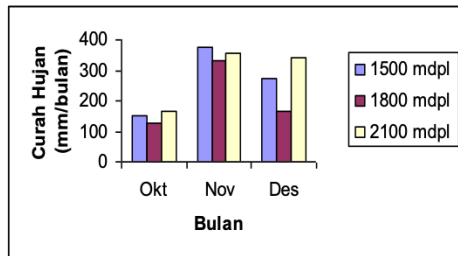
Pengamatan curah hujan dengan menggunakan ombrometer sederhana yang merujuk pada standar Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dilakukan oleh Apsari (2021). Ombrometer dibuat dari jeriken volume 4 l, corong dengan diameter 14 cm, dan penakar air dengan satuan ml (Gambar 2.5). Ombrometer sederhana dikalibrasikan dengan ombrometer standar.



Keterangan: (a) corong, (b) jeriken, dan (c) gelas ukur
 Sumber: Google Image (t.t)

Gambar 2.5 Alat-alat untuk Ombrometer Sederhana

Contoh hasil pengamatan curah hujan adalah seperti berikut yang dilakukan setiap hari selama tiga bulan antara bulan Oktober sampai Desember 2020 di tiga tinggi tempat di Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan November di ketinggian tempat 2100 mdpl sebesar 375 mm/bulan, sedangkan yang terendah pada bulan Oktober pada ketinggian 1800 mdpl sebesar 125 mm/bulan (Gambar 2.6).



Sumber: Apsari (2021)

Gambar 2.6 Curah Hujan pada Bulan Oktober sampai Desember 2020 di Tiga Tinggi Tempat di Dataran Tinggi Dieng.

Aplikasi pengamatan lingkungan penting lain juga banyak ditemukan di *Play Store*, misalnya untuk menentukan koordinat suatu tempat yang biasa menggunakan GPS (*Global Positioning System*), yakni sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat untuk menentukan tinggi tempat yang biasa menggunakan altimeter dan lain-lain.

B. Tanah

Tanah merupakan elemen dasar yang tidak terpisahkan dalam dunia pertanian. Tanah menjadi sangat penting karena tanah menyediakan unsur hara, seperti mineral, bahan organik, air, dan udara bagi tumbuhan untuk proses fotosintesis. Penentuan tingkat kesuburan tanah dapat dilakukan dengan melakukan analisis sifat kimia dan fisika tanah. Analisis sifat kimia tanah tersebut meliputi analisis kandungan unsur utama, seperti N dan P, tingkat kemasaman (pH), kapasitas tukar kation (KTK), kandungan bahan organik (C/N), kation basa (K, Ca, Mg, Na), dan kandungan asam organik (Syofiani et al., 2020).

1. Fisika Tanah: Kadar Lengas dan Suhu

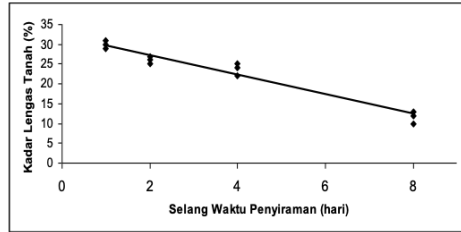
Salah satu sifat fisik tanah yang sering diamati pada penelitian agronomi adalah status air tanah dikaitkan dengan kadar lengas tanah. Air tersedia bagi tanaman terletak antara kapasitas lapang sampai dengan titik layu permanen. Kapasitas lapang merupakan kondisi air yang tertahan pada tanah setelah air berlebih terdrainase, biasanya terjadi 2–3 hari setelah hujan atau irigasi, pada tanah sarang dengan struktur dan tekstur yang seragam. Kadar air kapasitas lapang dapat ditetapkan di laboratorium, antara lain dengan menggunakan alat piring tekan (*pressure plate apparatus*). Metode piring tekan dilakukan dengan memberikan tekanan contoh tanah di dalam alat piring tekan sebesar 0,3 bar pada tanah yang telah dijenuhkan selama ± 24 jam. Tekanan dapat dinyatakan dalam tinggi kolom air, yaitu sebesar 346 cm atau pF 2,54.

Cara lain menetapkan kondisi kapasitas lapang yang lebih sederhana adalah dengan metode drainase bebas. Prinsip metode drainase bebas dilakukan dengan memberikan air pada tanah hingga jenuh. Kadar air ditetapkan pada saat air berhenti, yaitu pada saat potensial matriks sama dengan potensial gravitasi atau pada saat kadar air tanah mulai tetap. Waktu yang diperlukan tanah untuk mencapai kapasitas lapang berbeda-beda karena dipengaruhi oleh bahan organik, tekstur tanah, dan ukuran pori tanah. Makin tinggi kadar bahan organik tanah, air tersedia makin tinggi, makin kasar

tanah, air tersedia makin rendah dan makin besar ukuran pori, makin mudah air dilepaskan (Wulandari, 2018).

Nilai potensial matriks -15 bar (-1,5 MPa) dipilih sebagai titik referensi untuk menentukan titik layu permanen (Kurnia et al., 2022). Titik layu permanen ditentukan dengan menggunakan sampel tanah yang diberi tekanan 15 bar pada alat piring tekan. Titik layu permanen juga dapat ditentukan secara lebih sederhana dengan menggunakan batas ganti warna (titik ubah). Tanah yang telah melewati batas kapasitas lapang masih dapat terus kehilangan air. Tanah dalam keadaan kapasitas lapang berwarna gelap, lambat laun menjadi kering dan menjadi berwarna lebih terang (Abdurachman et al., 2022). Penentuan titik layu permanen dengan cara ini dilakukan dengan mengaduk tanah dengan air sehingga menjadi pasta. Pasta panah diletakkan di atas alas misalnya papan, membentuk lereng dengan kemiringan $<30^\circ$. Tanah yang basah semula mempunyai warna gelap yang sama. Penguapan akan terjadi lebih cepat pada bagian tanah yang tipis, kemudian bergerak ke arah tanah yang lebih tebal, terlihat dari perubahan warna menjadi lebih terang. Kadar air titik layu permanen, ditetapkan pada tanah perbatasan antara yang berwarna lebih gelap dengan yang berwarna lebih terang. Penentuan titik layu permanen dengan cara ini sekarang jarang digunakan lagi karena penetapan dilakukan pada tanah dalam keadaan diaduk yang tidak alami.

Boy (2020) mendapatkan hubungan antara selang waktu penyiraman dengan kadar lengas tanah regosol di Kecamatan Banguntapan Kabupaten Bantul DI Yogyakarta mengikuti persamaan $y = -2,7359 + 33,591x$ dengan $R^2 = 0,9833^{**}$ (Gambar 2.7). Pada kondisi kapasitas lapang (pF 2,54) tanah memiliki kadar lengas 33,34% dan titik layu permanen (pF 4,2) kadar lengas 8,14% setara dengan 24,42% kapasitas lapang. Hasil pengamatan (Gambar 2.7) menunjukkan bahwa rata-rata kadar lengas dengan penyiraman satu hari sekali adalah 31,54% setara 94,60% kapasitas lapang, penyiraman dua hari sekali 27,85% setara 83,53% kapasitas lapang, penyiraman empat hari sekali 23,36% setara 70,07% kapasitas lapang, dan penyiraman delapan hari sekali 13,41% setara 40,22% kapasitas lapang.



Sumber: Boy (2020)

Gambar 2.7. Hubungan Selang Waktu Penyiraman dengan Kadar Lengas Tanah Regosol

Suhu tanah merupakan sifat fisik tanah yang berpengaruh pada penyerapan air. Semakin rendah suhu maka sedikit air yang diserap oleh akar tanaman. Suhu tanah dapat diamati dengan menggunakan termometer tanah. Suhu tanah di lahan pertanian kangkung di lahan pasir pantai tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Suhu Tanah Pertanian Kangkung pada Berbagai Letak Pematah Angin Tanaman Jagung Manis di Lahan Pasir Pantai Samas Kabupaten Bantul, DIY Bulan November 2022

Letak Pematah Angin	Suhu Tanah (°C)			
	Pagi	Siang	Sore	Rerata
Tanpa	27,50a	37,78a	36,86a	34,05a
Timur	27,00a	37,14a	36,07a	33,38b
Timur dan barat	27,00a	37,21a	36,00a	33,43b
Selatan	27,04a	37,25a	36,64a	33,64ab
Selatan dan utara	27,36a	37,39a	36,46a	33,74ab

Keterangan: angka diikuti huruf yang sama dalam kolom tidak beda nyata pada HSD 5%.

Sumber: Ulfah (2023)

Suhu tanah meningkat dari pagi ke siang hari, kemudian sedikit menurun pada sore hari. Suhu tanah tertinggi pada siang hari di lahan pasir pantai Yogyakarta mencapai sekitar 37°C. Letak pematah angin

tanaman jagung manis dapat menurunkan suhu tanah. Letak pematang angin paling efektif adalah di bagian timur atau di timur dan barat, memotong arah datangnya angin, yang dapat menurunkan suhu tanah hampir 1°C.

2. Kimia Tanah: Kadar N, P, K, C Organik, dan pH

Banyak penelitian agronomi tentang pemupukan yang memerlukan pengamatan kadar hara di dalam tanah, terutama kadar hara makro N, P, dan K. Di institusi yang tidak mempunyai peralatan dan bahan kimia yang cukup, peneliti harus mengirimkan sampel tanah yang diamati ke institusi lain. Penentuan kadar unsur hara N, P, K tersedia di tanah dapat dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan perangkat uji tanah sawah (PUTS) atau perangkat uji tanah kering (PUTK) yang dikembangkan oleh Balai Penelitian Tanah.

Berdasarkan buku panduan penggunaan PUTK yang disesuaikan dengan kondisi suatu penelitian, pengukuran kesuburan tanah lahan kering dapat dilakukan sebagai berikut. Diambil contoh tanah komposit dengan posisi diagonal, zig-zag, sistematis atau acak. Rumput, batu atau kerikil, sisa-sisa tanaman atau serasah yang terdapat di permukaan tanah disisihkan. Contoh tanah individu diambil menggunakan bor tanah, cangkul, sekop atau cetok dari tanah lapisan olah (0–20 cm). Contoh-contoh tanah individu dari masing-masing titik, dicampur dan diaduk sampai merata dalam ember plastik. Dari campuran contoh tanah diambil kurang lebih 0,5 kg dan disimpan di plastik bening dan diberi keterangan perlakuan dan tanggal. Contoh tanah uji siap dianalisis.

Untuk analisis P sebanyak setengah sendok spatula contoh tanah uji dimasukkan ke dalam tabung reaksi, atau jumlah tanah sebanyak 0,5 ml sesuai yang tertera pada tabung reaksi PUTK, ditambah 3 ml Pereaksi P-1, kemudian diaduk sampai homogen dengan pengaduk kaca selama 1 menit dan dibiarkan sampai larutan jernih. Ke dalam larutan ditambahkan sedikit ± 10 butir atau seujung spatula Pereaksi P-2, digoyang perlahan jangan sampai keruh, didiamkan kurang lebih selama 5–10 menit. Warna yang muncul dari larutan jernih di atas permukaan tanah dibandingkan dengan bagan warna P tanah.

Untuk analisis K sebanyak setengah sendok spatula contoh tanah uji atau jumlah tanah sebanyak 0,5 ml sesuai yang tertera pada tabung reaksi masukkan ke dalam tabung reaksi, ditambah 4 ml K-1, diaduk sampai homogen, diamkan kira-kira 5 menit sampai larutan jernih. Ke dalam larutan ditambahkan 2 tetes Pereaksi K-2, dikocok, didiamkan sebentar kira-kira 5 menit, kemudian ditambah 2 ml K-3 secara perlahan-lahan melalui dinding tabung, dan dibiarkan sebentar lalu diamati endapan putih yang berbentuk antara larutan K-3 dengan di bawahnya. Jika pengujian menghasilkan endapan putih, berarti tanah yang diuji memiliki kandungan K - $dd > 0,25 \text{ me}/100 \text{ g}$. Status K rendah apabila tidak terbentuk endapan putih, status K sedang apabila endapan putih terbentuk, dan status K tinggi apabila endapan putihnya jelas dan banyak.

Reaksi tanah yang dinyatakan dengan nilai pH, menunjukkan tingkat kemasaman tanah. Pada tanah masam ($\text{pH} < 4,5$), ketersediaan beberapa hara makro dan mikro lebih rendah daripada tanah netral. Penetapan pH tanah dilakukan dengan mengambil sebanyak setengah sendok spatula contoh tanah uji atau jumlah tanah sebanyak 0,5 ml sesuai yang tertera pada tabung reaksi, ditambahkan 4 ml Pereaksi pH-1, kemudian diaduk sampai homogen dengan pengaduk kaca. Larutan ditambah 1-2 tetes indikator warna pereaksi pH-2, didiamkan selama ± 10 menit hingga suspensi mengendap dan terbentuk warna pada cairan jernih di bagian atas. Warna yang muncul pada larutan jernih di permukaan tanah dibandingkan dengan bagan warna pH tanah,

Penetapan C-organik tanah dilakukan dengan mengambil sebanyak setengah sendok spatula contoh tanah uji atau jumlah tanah sebanyak 0,5 ml sesuai yang tertera pada tabung reaksi. Tanah dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan 1 ml Pereaksi C-1, kemudian diaduk sampai homogen dengan pengaduk kaca. Larutan ditambah 3 tetes Pereaksi C-2, didiamkan tidak boleh diaduk. Setelah 10 menit ketinggian busa yang terbentuk diamati. Bila tinggi busa $< 2 \text{ cm}$ yang dibaca pada tanda garis tabung reaksi 2 ml, maka C-organik tanah tersebut tergolong rendah, dan bila tinggi busa $> 2 \text{ cm}$ yang

dibaca pada tanda garis tabung reaksi 2 ml maka C-organik tanah tersebut tergolong sedang sampai tinggi (Widowati et al., 2018).

Berdasarkan buku panduan penggunaan PUTS yang disesuaikan dengan kondisi suatu penelitian, pengukuran kesuburan tanah sawah dapat dilakukan sebagai berikut. Sampel tanah diambil secara komposit dari 5–8 sampel tunggal untuk mewakili areal penelitian yang kurang lebih seragam, sedangkan untuk petak perlakuan penelitian sekitar 3–5 sampel. Contoh tanah tunggal diambil dengan salah satu dari empat cara, yaitu diagonal, zig-zag, sistematis, atau cara acak. Rumput-rumput, batu-batuan atau kerikil, sisa-sisa tanaman atau bahan organik segar/serasah yang terdapat di permukaan tanah disisihkan. Pada saat pengambilan contoh, sebaiknya tanah dalam kondisi lembap, tidak terlalu basah atau kering. Contoh tanah tunggal diambil menggunakan bor tanah, cangkul, sekop, atau cetok dari tanah lapisan olah pada jeluk 0–20 cm. Contoh-contoh tanah tunggal dari masing-masing titik dicampur dan diaduk sampai merata di dalam ember plastik. Jika ada sisa tanaman, akar, atau kerikil dibuang. Dari campuran contoh tanah tersebut diambil kurang lebih 0,5 kg dan disimpan di plastik bening dan diberi keterangan lokasi, waktu, dan nama pengambil contoh. Contoh tanah ini uji siap untuk dianalisis.

Pengambilan contoh untuk analisis dilakukan dengan *syringe*. Permukaan tanah lembap ditusuk dengan *syringe* sedalam 5 cm dan diangkat. Permukaan *syringe* dibersihkan dan ratakan, tanah didorong keluar dan dipotong setebal sekitar 0,5 cm dengan sendok *stainless*, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Cara lain juga dapat dilakukan dengan mengambil contoh tanah uji sebanyak $\frac{1}{2}$ sendok spatula atau jumlah tanah sebanyak garis 0,5 ml yang tertera pada tabung reaksi yang paling bawah.

Contoh tanah di dalam tabung reaksi ditambah dengan 2 ml Pereaksi N-1, kemudian diaduk rata sampai homogen dengan pengaduk kaca. Larutan ditambah 2 ml Pereaksi N-2, dikocok sampai rata, ditambah tiga tetes Pereaksi N-3, dikocok sampai rata, ditambahkan 5–10 butir Pereaksi N-4, dikocok sampai rata. Contoh tanah didiamkan ± 10 menit, kemudian warna yang muncul pada

larutan jernih di permukaan tanah dibandingkan dengan bagan warna N tanah dan baca status hara N tanah.

Contoh tanah uji sebanyak $\frac{1}{2}$ sendok spatula atau 0,5 cm tanah yang diambil dengan *syringe* (spet) dimasukkan ke dalam tabung reaksi, atau jumlah tanah sebanyak garis 0,5 ml yang tertera pada tabung reaksi, ke dalam tabung reaksi ditambahkan 3 ml Pereaksi P-1, kemudian diaduk sampai merata dengan pengaduk kaca, ditambahkan 5–10 butir atau sejung spatula Pereaksi P-2, lalu dikocok satu menit, didiamkan selama ± 10 menit. Warna biru yang muncul dari larutan jernih di permukaan tanah dibandingkan dengan bagan warna P tanah.

Contoh tanah uji sebanyak $\frac{1}{2}$ sendok spatula atau 0,5 cm yang diambil dengan *syringe* (spet) dimasukkan ke dalam tabung reaksi, atau jumlah tanah sebanyak garis 0,5 ml yang tertera pada tabung reaksi. Ke dalam tabung reaksi ditambahkan 2 ml Pereaksi K-1, kemudian diaduk hingga merata dengan pengaduk kaca, ditambahkan 1 tetes Pereaksi K-2, lalu dikocok selama satu menit. Ditambahkan satu tetes Pereaksi K-3, kemudian dikocok sampai merata dan didiamkan selama ± 10 menit. Warna kuning yang muncul pada larutan jernih di permukaan tanah dibandingkan dengan bagan warna K tanah.

Diambil contoh tanah uji sebanyak $\frac{1}{2}$ sendok spatula atau 0,5 cm dengan *syringe* (spet) dimasukkan ke dalam tabung reaksi, atau jumlah tanah sebanyak garis 0,5 ml yang tertera pada tabung reaksi. Ditambahkan 4 ml Pereaksi pH-1, kemudian diaduk sampai merata dengan pengaduk kaca. Ditambahkan 1–2 tetes indikator warna Pereaksi pH-2. Larutan didiamkan selama ± 10 menit hingga suspensi mengendap dan terbentuk warna pada cairan jernih di bagian atas. Warna yang muncul pada larutan jernih di permukaan tanah dibandingkan dengan bagan warna pH tanah. Jika warna yang timbul meragukan, tanah dikocok ulang secara perlahan sampai cairan jernih teraduk merata, lalu diamkan sampai mengendap kembali. Selanjutnya, dibandingkan lagi dengan bagan warna pH (Setyorini et al., 2021).

3. Pemanfaatan Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) dan Perangkat Uji Tanah Kering (PUTK)

Virgawati et al. (2014) memanfaatkan PUTS untuk pemetaan NPK tanah sebagai prediksi rekomendasi pemupukan presisi pada tanaman padi. Menurut buku panduan penggunaan PUTS, pengambilan sampel tanah dilakukan secara komposit dari 5–8 sampel tunggal yang dapat mewakili 3–5 ha lahan sawah yang kurang lebih seragam. Karena penelitian bertujuan untuk mengetahui keberagamannya, sampel tanahnya diambil dan diuji secara tunggal mewakili satuan luas yang sempit dengan membagi sawah seluas 3000 m² menjadi 50 petak berukuran 10 × 6 m². Setiap petak diambil sampel tanahnya sebelum ditanami padi. Lokasi petak-petak tersebut digambarkan pada peta wilayah dengan skala 1:500. Hasil uji NPK tanah di masing-masing petak dicantumkan dalam peta sehingga dapat terlihat sebaran status haranya. Peta tersebut, kemudian digunakan sebagai acuan dalam memperkirakan kebutuhan pupuk NPK pada setiap petaknya sesuai rekomendasi Balai Penelitian Tanah.

Hasil pemetaan NPK tanah menunjukkan bahwa dalam satu hamparan sawah terdapat keberagaman nilai NPK tanah. Dari peta sebaran status NPK tanah diketahui bahwa ketersediaan N tanah pada 14 petak adalah rendah, 22 petak sedang, dan 14 petak tinggi. Untuk unsur P tanah sebarannya adalah 2 petak rendah, 15 petak sedang, dan 33 petak tinggi, sedangkan status K tanah dominan tinggi, hanya 2 petak berstatus sedang.

Pengukuran menggunakan PUTS maupun PUTK dilakukan dengan metode pewarnaan (kolorimetri) dan hasil pengukuran bersifat kualitatif dan digolongkan menjadi kelas rendah, sedang, dan tinggi (Virgawati et al., 2014). Data kualitatif yang diperoleh dapat dikuantitatifkan secara kasar seperti yang dilakukan pada penggunaan bagan warna daun (BWD). BWD empat warna terdiri dari hijau kekuningan nomor 1 sampai hijau tua nomor 4. Bila warna daun tampak berada di antara dua standar warna, dapat diambil rata-rata dari keduanya sebagai pembacaan warna daun. Misalnya, bila warna suatu daun padi terletak antara no. 3 dan no. 4 maka bacaan warna

daun adalah 3,5. BWD tidak dapat menunjukkan perbedaan warna hijau daun yang terlalu kecil sebagaimana pada klorofil meter (*Soil Plant Analysis Development*–SPAD), namun BWD bisa dibandingkan dengan SPAD (Gani, 2022).

Serupa dengan yang dilakukan pada BWD, data kualitatif yang diperoleh dari PUTK dan PUTS juga dapat diberi skor seperti tercantum dalam Tabel 2.6. Jika warna larutan tampak berada di antara dua standar warna, dapat diambil rata-rata dari keduanya sebagai pembacaan warna larutan. Misalnya, jika warna suatu larutan tanah terletak antara sedang yang diberi skor 2 dan tinggi yang diberi skor 3, bacaan warna antara larutan tanah adalah 2.5. Dengan angka antara tersebut, data yang diperoleh dapat lebih perinci. Rerata data yang diperoleh karena adanya ulangan menyebabkan data lebih bervariasi lagi. Rerata data yang diperoleh tersebut dapat dianalisis statistik dengan sidik ragam dan jika ada beda nyata diteruskan dengan uji lanjut sehingga dapat dibedakan pengaruh perlakuan pemupukan secara lebih kuantitatif.

Tabel 2.6 *Skoring* Data Kualitatif Kadar Hara Tanah Hasil Pengukuran dengan PUTK dan PUTS

Hara	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
PUTK				
P	1	2	3	-
K	1	2	3	-
PUTS				
N	1	2	3	4
P	1	2	3	-
K	1	2	3	-

Sumber: Virgawati et al. (2014)

Sakti (2019) mendapatkan hubungan data BWD dengan kadar klorofil a, b, dan total pada tanaman teh (Tabel 3.2). Tabel 3.2

menunjukkan terdapat hubungan antara BWD dengan kadar klorofil a, klorofil b, dan klorofil total. Diperlukan penelitian serupa untuk dapat membuat hubungan antara kadar hara P dan K yang diukur dengan PUTK, dengan kadar hara P dan K di tanah lahan kering yang diukur di laboratorium. Juga diperlukan penelitian untuk dapat membuat hubungan antara kadar hara N, P, dan K yang diukur dengan PUTS, dengan kadar hara N, P, dan K di tanah lahan sawah yang diukur di laboratorium. Dengan menggunakan persamaan hubungan tersebut, pengamatan yang dilakukan dengan PUTK dan PUTS dapat diketahui kadar hara yang sebenarnya.

4. Efisiensi Agronomis dan Efisiensi Fisiologis Pemupukan

Efisiensi agronomis (*EA*) adalah produksi ekonomi yang diperoleh per unit hara N yang digunakan. Efisiensi fisiologis adalah hasil biologis yang diperoleh per unit serapan hara N yang mengukur kemampuan tanaman untuk menghasilkan biji dan biomassa dengan N yang diperoleh di seluruh bagian tanaman.

Efisiensi agronomis (*EA*) (Suwanto et al., 2021) dihitung dengan rumus:

$$EA \text{ (mg/mg)} = (Gf - Gu) / Na$$

Keterangan:

- Gf*: hasil gabah dari rumpun yang dipupuk N (mg),
- Gu*: hasil gabah dari rumpun yang tidak dipupuk N (mg), dan
- Na*: jumlah pupuk N yang diaplikasikan (mg).

Sementara itu, efisiensi fisiologis (*EF*) (Suwanto et al., 2021) dihitung dengan rumus:

$$EF \text{ (mg/mg)} = (BYf - BYu) / (Nf - Nu)$$

Keterangan:

- BYf*: hasil biologis (gabah dan jerami) dari rumpun yang dipupuk N (mg),
- BYu*: hasil biologis (gabah dan jerami) dari rumpun yang tidak dipupuk N (mg),
- Nf*: serapan hara (gabah dan jerami) dari rumpun yang dipupuk N (mg), dan
- Nu*: serapan N (gabah dan jerami) dari rumpun yang tidak dipupuk N (mg).

Tabel 2.7 Efisiensi Agronomis dan Efisiensi Fisiologis Padi Gogo IPB 9G pada Berbagai Dosis N

Dosis N		Efisiensi Agronomis (mg/mg)	Efisiensi Fisiologis (mg/mg)
(kg/ha)	(mg/rumpun)		
0	0	-	-
46	230	221,7 a	109,9 b
92	460	86,2 b	110,4 b
138	690	48,5 b	104,5 b
194	920	60,1 b	144,9 a

Sumber: Suwanto et al. (2021)

Tabel 2.7 menunjukkan bahwa peningkatan dosis pupuk N dari 230 menjadi 460 mg/rumpun atau setara 46 menjadi 92 kg/ha menurunkan efisiensi agronomis, namun peningkatan lebih lanjut menjadi 690 sampai 920 mg/ha atau setara 92 sampai 194 kg/ha tidak lagi menyebabkan perbedaan efisiensi secara nyata. Berbeda dengan efisiensi agronomis pada efisiensi fisiologis, peningkatan dosis N dari 230 sampai 690 mg/rumpun setara dengan 46 sampai 138 kg/ha, tidak menyebabkan perbedaan efisiensi yang nyata. Peningkatan dosis N dari 690 menjadi 920 mg/rumpun atau setara 138 menjadi 194 kg/ha justru meningkatkan efisiensi secara nyata.

Bab III

Sifat Fisiologis Tanaman

Sifat dan proses fisiologis berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pertumbuhan berpengaruh terhadap hasil tanaman. Salah satu proses fisiologis penting yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman adalah fotosintesis. Proses fotosintesis terdiri dari dua tahap, yaitu reaksi cahaya dan reaksi gelap. Pengamatan agronomis yang sering dilakukan berkaitan dengan fotosintesis adalah kadar klorofil dan stomata. Klorofil berkaitan dengan reaksi cahaya fotosintesis, sedangkan stomata berkaitan dengan reaksi gelap fotosintesis. Perhitungan dari hasil pengamatan Fadillatunnisa et al. (2023) menunjukkan bahwa pada tanaman jali (*Coix lacryma jobi L.*), terdapat hubungan linier antara laju fotosintesis dengan kadar klorofil mengikuti persamaan $y = 204.95x - 159.14$ $R^2 = 0.6833$ dan dengan lebar bukaan stomata mengikuti persamaan $y = 1411.5x - 89.529$ $R^2 = 0.779$.

A. Klorofil

Reaksi cahaya merupakan tahap fotosintesis yang mengubah energi surya menjadi energi kimia. Reaksi cahaya berfungsi untuk menyiapkan energi yang dibutuhkan dalam tahap fotosintesis kedua, yaitu siklus Calvin-Benson. Pada siklus Calvin-Benson ATP (*adenosine triphosphate*) dan NADPH (*nicotinamide adenine dinucleotide phosphate*) hasil reaksi cahaya digunakan sebagai energi untuk mereduksi CO_2 menjadi gula. Air dipecah, menyediakan sumber elektron dan proton (ion hidrogen, H^+) serta melepas O_2 sebagai

produk sampingan. Cahaya yang diserap oleh klorofil menggerakkan transfer elektron dan ion hidrogen dari air menuju penerima NADPH+.

Istilah klorofil berasal dari bahasa Yunani, yaitu *chloros* artinya hijau dan *phyllos* artinya daun. Istilah ini diperkenalkan pada tahun 1818, dan pigmen tersebut diekstrak dari tanaman dengan menggunakan pelarut organik. Klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan, alga, dan bakteri fotosintetik. Pigmen ini berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Tanaman tingkat tinggi mempunyai dua macam klorofil, yaitu klorofil a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) yang berwarna hijau tua dan klorofil b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) yang berwarna hijau muda. Klorofil a dan klorofil b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600–700 nm), dan paling sedikit menyerap cahaya hijau (500–600 nm).

Klorofil terdapat pada kloroplas jaringan parenkim palisade dan parenkim spons daun. Kloroplas mempunyai membran luar, membran dalam, ruang antar membran, dan stroma. Permukaan membran internal yang disebut tilakoid membentuk kantong pipih dan tersusun dengan rapi membentuk struktur grana. Stroma merupakan rongga atau ruang dalam kloroplas yang berisi air beserta garam-garam yang terlarut dalam air. Stroma menjadi bagian cair tempat terjadinya reduksi CO_2 .

Pada tilakoid terdapat klorofil. Klorofil dibentuk dari kodensasi suksinil CoA beserta dengan asam amino glisin, dengan adanya fitol dan enzim klorofilase diubah menjadi klorofil. Molekul klorofil terdiri dari dua bagian, yaitu kepala porfirin dan rantai hidrokarbon yang panjang, atau ekor fitol. Porfirin adalah tetrapirrol siklik, yang terdiri dari empat nitrogen yang mengikat cincin pirol yang dihubungkan dengan empat rantai metana yang disebut porfin. Pada klorofil a, terdapat gugusan metil, sedangkan pada klorofil b terdapat gugusan aldehid (Rezita, 2020).

Kadar klorofil a, b, dan nisbah klorofil a/b daun kelapa sawit di beberapa tinggi tempat di Sumatera Utara diamati oleh Listia (2014). Hasil pengamatan pada Tabel 3.1 menunjukkan bahwa daun kelapa sawit mempunyai kadar klorofil bervariasi antara 0,43–0,52 mg/g,

sedangkan klorofil b tidak banyak bervariasi antara 0,56–0,63 mg/g. Klorofil a dipengaruhi oleh tinggi tempat, sedangkan klorofil b tidak. Akibatnya, pengaruh tinggi tempat terhadap nisbah klorofil a/b yang bervariasi 0,76–0,83 lebih ditentukan oleh perubahan klorofil a dibandingkan oleh klorofil b.

Tabel 3.1 Kadar Klorofil a, Klorofil b, Nisbah Klorofil a/b Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Klorofil a (mg/g)	Klorofil b (mg/g)	Klorofil a/b
50	0,47 ab	0,62 a	0,76
368	0,52 a	0,63 a	0,83
693	0,49 ab	0,63 a	0,78
865	0,43 b	0,56 a	0,77
KK (%)	6,7	12,1	

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Tabel 3.2 Kadar N, Bagan Warna Daun (BWD), Kadar Klorofil a, b, dan Total Daun Teh pada Berbagai Takaran Pupuk Urea pada 24 MSP

Urea (g/polibag)	Kadar N daun (%)	BWD	Kadar Klorofil (mg/g)		
			a	b	Total
0	2,28 b	2,50 c	0,32 c	0,39 b	0,72 c
5	2,76 b	3,50 b	0,40 b	0,46 b	0,86 b
10	3,28 a	4,62 a	0,45 bc	0,63 a	1,14 a
15	3,43 a	4,62 a	0,47 bc	0,64 a	1,12 a
20	3,34 a	4,37 a	0,49 a	0,69 a	1,13 a
r dengan BWD			0,95	0,94	0,98
KK (%)	10,65	11,68	11,21	19,52	11,63

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Duncan's Multiple Range Test taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Sakti (2019)

Pemupukan urea berpengaruh terhadap kadar N, nilai bagan warna daun (BWD), kadar klorofil a, b, dan total daun teh klon Gambung 7 pada 24 minggu setelah pemupukan (MSP) (Tabel 3.2). Kadar N daun bervariasi dari 2,28–3,43 %. Nitrogen yang merupakan salah satu unsur penyusun klorofil kadarnya di dalam daun berpengaruh terhadap kadar klorofil, baik klorofil a, b, maupun total. Kadar klorofil a bervariasi dari 0,32–0,49 mg/g, klorofil b dari 0,39–0,69, dan klorofil total dari 0,72–1,13 mg/g daun basah. Klorofil yang berwarna hijau dapat dibaca dengan menggunakan BWD.

Gejala kekurangan nitrogen yang paling mudah terlihat adalah menguningnya daun karena berkurangnya kadar klorofil. Petani pada umumnya menggunakan warna daun sebagai indikator visual dan subjektif bagi kebutuhan tanaman padi terhadap pupuk N. Apabila daun-daun pucat atau hijau kekuningan, para petani menganggap bahwa tanaman memerlukan lebih banyak N.

Bagan warna daun merupakan alat yang sangat sederhana dan berharga murah, tetapi dapat digunakan untuk mengetahui tingkatan klorofil. Bagan warna daun berupa lempengan yang terbuat dari karton atau plastik, dilengkapi potongan warna seperti contoh warna cat, tetapi hanya dengan warna hijau dengan gradasi ke kuning dan biru. Bagan warna daun pertama kali dikembangkan di Jepang, kemudian peneliti-peneliti dari Universitas Pertanian Zhejiang-Cina mengembangkan suatu BWD yang lebih baik dan mengalibrasinya untuk padi indica, japonica, dan hibrida. Alat ini, kemudian menjadi model bagi BWD yang didistribusikan oleh Crop Resources and Management Network (CREMNET) – IRRI untuk tanaman padi. BWD ini merupakan alat yang cocok untuk mengoptimalkan penggunaan N, dengan berbagai sumber pupuk N: pupuk-organik, pupuk-bio, ataupun pupuk kimia.

Ada dua macam BWD, yaitu BWD dengan empat dan enam macam warna hijau. BWD empat warna terdiri dari hijau kekuningan nomor 1 sampai hijau tua nomor 4. Pada BWD enam warna terdiri dari hijau kekuningan nomor 2 pada kartu sampai hijau tua nomor 5 pada kartu. BWD tidak dapat menunjukkan perbedaan warna hijau daun yang terlalu kecil sebagaimana pada klorofil meter (SPAD), namun

BWD bisa dibandingkan dengan SPAD untuk menentukan ketepatan relatifnya dalam menentukan status N tanaman padi.

Cara menggunakan BWD adalah dengan memilih minimal 10 tanaman secara acak. Daun yang diukur adalah daun termuda yang telah kembang sempurna dan sehat. Dari tiap daun yang terpilih, warna diukur dengan memegang BWD dan menempatkan bagian tengah daun di atas standar warna untuk dibandingkan. Selama pengukuran, daun yang sedang diukur ditutupi dengan badan karena pembacaan warna daun dipengaruhi oleh sudut datang dan intensitas cahaya matahari. Pengukuran tidak disarankan dengan memotong ataupun merusak daun. Pengukuran sebaiknya dilakukan oleh orang yang sama pada waktu yang sama. Bila warna daun tampak berada di antara dua standar warna, diambil rata-rata dari keduanya sebagai pembacaan warna daun. Misalnya, bila warna suatu daun padi terletak antara no. 3 dan no. 4 maka bacaan warna daun adalah 3,5 (Gani, 2022).

BWD juga dapat digunakan untuk berbagai jenis tanaman. Tabel 3.2 menunjukkan bahwa pemberian pupuk urea memengaruhi nilai BWD daun teh. Dengan menggunakan BWD enam warna, Nilai BWD daun teh bervariasi dari 2,50 pada tanaman yang tidak dipupuk, sampai 4,62 pada tanaman yang dipupuk 10–15 g/polibag. Dihubungkan dengan hasil pengamatan klorofil didapat korelasi antara nilai BWD dengan kadar klorofil a ($r = 0,95^{**}$), klorofil b ($0,94^{**}$), dan klorofil total ($r = 0,98^{**}$).

Suatu alat akurat untuk mengetahui kadar klorofil dalam daun tanaman yang penggunaannya sederhana, tetapi harganya mahal adalah klorofil meter SPAD 502 (Konica Minolta 1989). Klorofil meter secara digital membaca jumlah relatif molekul klorofil yang dinyatakan dengan nilai SPAD. Pembacaan dilakukan pada daun paling atas yang telah mengembang sempurna. Nilai SPAD sebesar 35 pada padi indica unggul pindah tanam digunakan sebagai suatu nilai batas bagi kekurangan N sehingga perlu diberi pupuk N. Batas bagi padi tanam langsung adalah nilai SPAD sebesar 32–33.

Alat lain yang dapat digunakan untuk mengukur kadar klorofil secara cukup akurat dan sudah biasa dimiliki oleh hampir setiap peneliti

adalah telepon pintar berbasis Android. Melalui *Play Store*, dapat diunduh aplikasi yang dapat digunakan untuk mengukur kadar klorofil secara tidak langsung, yaitu *color analyzer*. Kamera telepon pintar Android yang sudah dilengkapi aplikasi *color analyzer* dapat membaca intensitas warna R (*red*-merah), G (*green*-hijau), dan B (*blue*-biru).

Pengukuran warna daun sampel dilakukan secara vertikal dengan jarak 20 cm dari telepon pintar ke objek, dibantu dengan tripod agar stabil. Dilakukan tiga pengulangan pengukuran pada tiap tanaman. Pada saat pengukuran, daun dilatarbelakangi dengan kertas HVS berwarna putih, misalnya ukuran A4 dengan intensitas cahaya yang sama yang diukur pada tiap sampel. Berdasarkan nilai hasil pengamatan RGB, dibuat perhitungan kenampakan warna– KW (*color visibility*) (Itaravanne & Sumriddetchkajorn, 2015).

$$LFS = \frac{Md}{Mk} + \frac{Hd}{Hk} + \frac{Bd}{Bk} \times \frac{100}{3}$$

Keterangan:

- KW* = kenampakan warna
Md = nilai merah daun
Mk = nilai merah kertas
Hd = nilai hijau daun

Hk = nilai hijau kertas
Bd = nilai biru daun
Bk = nilai biru kertas

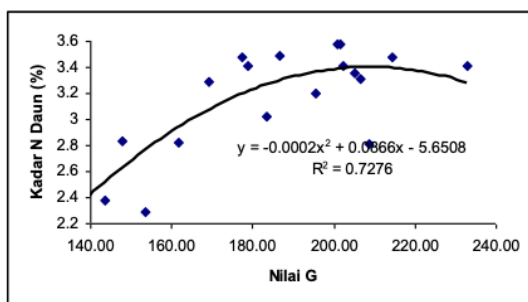
Tabel 3.3 Nilai *Red*, *Blue*, *Green*, dan Kenampakan Warna (KW) Daun Teh pada Berbagai Takaran Pupuk Urea pada 24 MSP

Urea (g/Polibag)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)	KW
0	75,87 a	144,33 c	5,41 a	29,49 c
5	74,49 a	191,21 b	5,74 a	35,48 b
10	74,20 a	222,33 a	5,77 a	39,52 a
15	73,14 a	223,24 a	6,11 a	39,54 a
20	73,24 a	203,55 ab	5,96 a	36,96 ab
KK (%)	4,56	6,37	12,31	4,48

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Duncan’s Multiple Range Test taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

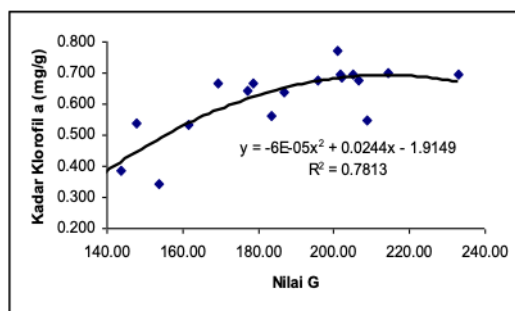
Sumber: Sakti (2019)

Hasil pengukuran nilai RGB dan perhitungan nilai KW dicantumkan dalam Tabel 3.3. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemupukan urea memengaruhi nilai G, tetapi tidak memengaruhi nilai R dan B. Perbedaan hasil perhitungan nilai KW hanya dipengaruhi oleh nilai G dan tidak dipengaruhi oleh nilai R dan B. Atas dasar hasil pengamatan tersebut, diperoleh suatu kesimpulan bahwa kadar nitrogen, klorofil a, b, dan total daun tanaman teh dapat diduga dengan bacaan nilai G saja (Sakti, 2019). Seperti pada nilai BWD dan SPAD, nilai G juga dapat digunakan untuk perbandingan antar suatu perlakuan sebagai penduga kadar nitrogen atau klorofil daun.



Sumber: Indradewa et al. (2019)

Gambar 3.1 Hubungan Nilai G dengan kadar N Daun Teh

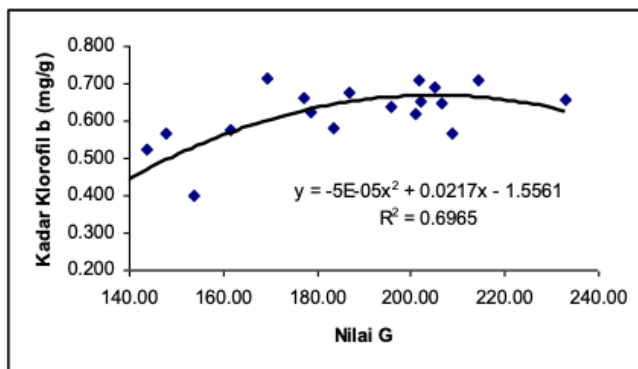


Sumber: Indradewa et al. (2019)

Gambar 3.2 Hubungan Nilai G dengan Kadar Klorofil a Daun Teh

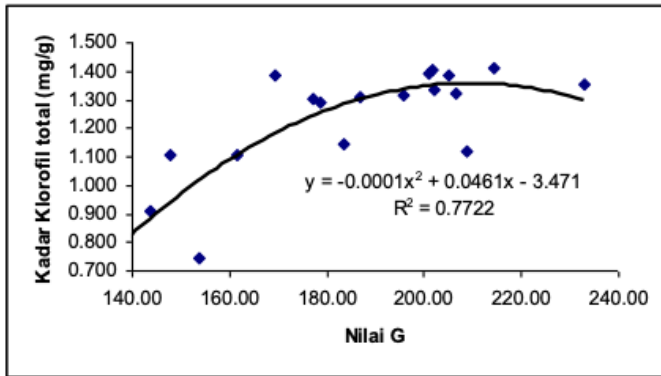
Indradewa et al. (2019) mencoba mendapatkan hubungan regresi nilai G yang diperoleh dengan menggunakan aplikasi *color analyzer* dengan kadar nitrogen, klorofil a, klorofil b, dan klorofil total daun teh. Diperoleh hubungan kuadrat antara nilai G dengan kadar nitrogen, klorofil a, klorofil b, dan klorofil total (Gambar 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4). Dari gambar tersebut, dapat langsung diperkirakan kadar nitrogen, klorofil a, klorofil b, dan klorofil total dari nilai G yang terbaca pada telepon pintar. Misalnya, nilai G yang terbaca untuk daun teh adalah 200 maka kadar nitrogen daun adalah 3,38%, klorofil a 0,68 mg/g, klorofil b 0,65 mg/g, dan klorofil total 1,35 mg/g. Cara ini merepotkan karena setiap bacaan nilai G yang diperoleh harus dicocokkan dengan grafik untuk memperoleh nilai kadar nitrogen, klorofil a, klorofil b, dan klorofil total.

Cara yang lebih cepat, tidak merepotkan, dan lebih akurat adalah dengan membuat program berdasarkan persamaan yang diperoleh. Dengan program yang sudah terpasang, setiap bacaan nilai G yang diperoleh dan dimasukkan, akan diperoleh nilai kadar nitrogen, klorofil a, klorofil b, dan klorofil total secara otomatis dengan nilai yang lebih akurat.



Sumber: Indradewa et al. (2019)

Gambar 3.3 Hubungan Nilai G dengan Kadar Klorofil b Daun Teh



Sumber: Indradewa et al. (2019)

Gambar 3.4 Hubungan Nilai G dengan Kadar Klorofil Total Daun Teh

Dengan menggunakan persamaan yang sudah diperoleh seperti pada (Gambar 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4) untuk misalnya nilai G 200 dapat dibuat perhitungan sebagai berikut.

Kadar nitrogen daun

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0002x^2 + 0,0866x - 5,6508 \\
 &= -(0,0002)(200)(200) + 0,0866(200) - 5,6508 \\
 &= -8 + 17,32 - 5,6508 \\
 &= 3,67
 \end{aligned}$$

Dengan nilai G 200, kadar nitrogen dalam daun adalah 3,67%

Kadar klorofil a

$$\begin{aligned}
 y &= -0,00006x^2 + 0,0244x - 0,9149 \\
 &= -0,00006(200)(200) + 0,0244(200) - 0,9149 \\
 &= -2,4 + 4,88 - 0,9149 \\
 &= 1,57
 \end{aligned}$$

Dengan nilai G 200, kadar klorofil a dalam daun adalah 0,57 mg/g

Kadar klorofil b

$$\begin{aligned}
 y &= -0,00005x^2 + 0,0217x - 1,5651 \\
 &= -0,00005(200)(200) + 0,0217(200) - 1,5651 \\
 &= 2,00 + 4,34 - 1,5651 \\
 &= 0,77
 \end{aligned}$$

Dengan nilai G 200, kadar klorofil b dalam daun adalah 0,77 mg/g
Kadar klorofil total

$$\begin{aligned} y &= -0,0001x^2+0,0461x-3,471 \\ &= -0,0001(200)(200)+0,0461(200)-3,471 \\ &= -4,00+9,22-3,41 \\ &= 1,75 \end{aligned}$$

Dengan nilai G 200, kadar klorofil total dalam daun adalah 1,75 mg/g

Dengan nilai G yang terbaca pada *color analyzer* 200, berarti daun tersebut mempunyai kadar nitrogen 3,67%, klorofil a 0,57 mg/g, klorofil b 0,77 mg/g, dan klorofil total 1,75 mg/g. Nilai tersebut lebih tepat untuk kadar nitrogen, klorofil a, klorofil b, dan klorofil total dibandingkan dengan nilai perkiraan dari gambar yang dipengaruhi subjektivitas pembaca gambarnya. Hasil perhitungan tersebut ditabelkan untuk nilai G antara 140–240 di dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Konversi Nilai G dengan kadar N, Kadar Klorofil a, b, dan Total Daun Teh

Nilai G	Kadar N (%)	Kadar Klorofil (mg/g)		
		a	b	Total
140	2,55	1,33	0.49	1,02
160	3,09	1,45	0.62	1,35
180	3,46	1,53	0.72	1,49
200	3,67	1,57	0,77	1,75
220	3,72	1,55	0,78	1,83
240	3,61	1,49	0,76	1,83

Sumber: Indradewa et al. (2019)

B. Stomata

Reaksi gelap merupakan tahapan fotosintesis yang mengubah CO_2 menjadi karbohidrat dengan memanfaatkan ATP dan NADPH_2 hasil reaksi cahaya. Difusi CO_2 udara masuk ke dalam daun salah satunya dipengaruhi oleh stomata. Stomata merupakan lubang atau celah kecil berbentuk oval atau lonjong yang diapit dua sel epidermis khusus yang disebut sebagai sel penutup yang mengatur ukuran celah stomata (Humami et al., 2020). Stomata merupakan organ tumbuhan yang berfungsi sebagai jalan lewat berbagai macam gas dan cairan, keluar dan masuk tanaman terutama melalui daun. Beberapa gas yang melewati stomata dan mempunyai peran penting dalam metabolisme tanaman, antara lain adalah CO_2 dan O_2 dalam proses fotosintesis dan respirasi, serta H_2O dalam bentuk gas dalam proses transpirasi. Cairan juga dapat masuk ke dalam daun melalui stomata, misalnya pupuk daun, zat pengatur tumbuh eksogen atau pestisida sistemik. Pengamatan sifat stomata yang biasa dilakukan dan berkaitan dengan berbagai macam proses difusi tersebut adalah konduktivitas stomata yang dapat diamati menggunakan alat *photosynthetic analyzer* atau *porometer*, yang harganya cukup atau bahkan sangat mahal.

Cara pengamatan lain adalah dengan pengamatan kerapatan dan lebar bukaan stomata. Cara yang biasa dilakukan untuk memperoleh data tentang kerapatan dan lebar bukaan stomata adalah dengan membuat “cetakan” stomata dengan menggunakan cat kuku bening atau biasa disebut kutek. Pembuatan cetakan stomata dilakukan dengan mengoleskan cat kuku cair ke permukaan daun bagian bawah yang mempunyai lebih banyak stomata dibandingkan dengan permukaan atas. Cat kuku mengandung polimer yang dilarutkan menjadi cairan kental. Setelah dioleskan, cairan cat kuku karena cukup kental, tidak dapat masuk ke dalam daun melalui stomata, tetapi tetap tinggal di permukaan daun dan akan mengikuti pola kontur permukaan daun, termasuk mengikuti bentuk stomata. Dalam 2–3 menit, pelarut akan menguap dan polimer pun mengeras menghasilkan cetakan stomata yang menempel pada permukaan daun. Cat kuku kering hasil cetakan stomata yang menempel di permukaan daun ini direkat dengan selotip

bening, diangkat, kemudian ditempelkan pada gelas benda untuk diamati di bawah mikroskop.

Pengamatan kerapatan stomata biasa menggunakan perbesaran 100–400 $\times$, sedangkan lebar bukaan stomata menggunakan perbesaran 400 $\times$. Dapat diperoleh data kuantitatif yang lebih baik apabila mikroskop dilengkapi dengan mikrometer objektif dan okuler. Dengan menggunakan mikrometer, dapat dihitung kerapatan stomata setiap mm² dan lebar bukaan dengan satuan μm . Pengamatan stomata dapat dilakukan lebih nyaman jika mikroskop dilengkapi dengan alat bantu, misalnya optilab yang dipasang pada mikroskop dan dihubungkan dengan laptop. Pengamatan stomata tidak langsung dilakukan pada mikroskop, tetapi pada layar monitor sehingga membuat pengamatan menjadi lebih nyaman karena tidak perlu mengintip melalui lubang stomata. Namun demikian, tidak semua laboratorium dilengkapi dengan optilab.

Tanpa menggunakan optilab dan mikrometer, kerapatan stomata dapat diamati dengan menghitung jumlah stomata per bidang pandang seperti pada Gambar 3.5(a). Satu bidang pandang mikroskop Yazumi perbesaran 10 $\times$ 10 adalah 2,163 mm². Hasil pengamatan kerapatan stomata satu bidang pandang seluas 2,163 mm², dikonversi menjadi nilai/mm², kemudian untuk stomata tanaman jagung dibandingkan, misalnya dengan hasil penelitian Rahayuningsih (2017) (Tabel 3.5). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada fase berdaun empat, kerapatan stomata berkisar antara 51,4–58,3/mm² pada fase berbunga antara 93,4–114,7/mm² dan pada fase masak susu 101,9–114,0/mm².



Keterangan: (a) kerapatan stomata tanaman padi pada satu bidang pandang dan (b) lebar bukaan stomata

Sumber: Salsinha (2021)

Gambar 3.5 Penampang Stomata

Tabel 3.5 Kerapatan Stomata Daun Kultivar Jagung pada Beberapa Fase Pertumbuhan

Kultivar	Kerapatan Stomata/mm ²			Rerata
	Berdaun 4	Berbunga	Masak Susu	
Bisi 2	58,1	104,5	109,7	90,8
Pioneer 21	58,3	106,8	114,0	93,0
Gumarang	57,1	98,5	104,5	86,7
Bisma	58,2	104,2	106,7	89,7
Sukmaraga	51,4	93,4	101,9	82,2
Srikandi Kuning	55,9	112,8	107,1	91,9
Bima 2	57,1	112,1	107,4	92,2
Bima 4	54,2	108,2	104,7	89,0
Bima 5	56,9	114,7	106,5	92,7
Rerata	56,4	106,1	106,9	

Sumber: Rahayuningsih (2017)

Pengamatan lebar bukaan stomata dapat dilakukan secara kualitatif dengan membagi kategori lebar bukaan, misalnya menjadi tiga kelompok, yaitu sempit, sedang, dan lebar. Untuk mengetahui lebar bukaan stomata maksimum, dapat dilakukan pada tanaman pengendali yang mendapat kondisi optimal, terutama ketersediaan cahaya, air, dan hara. Lebar bukaan stomata minimum terjadi pada stomata yang sedang menutup. Klasifikasi dapat dibantu dengan tanda garis di lensa okuler seperti pada Gambar 3.5 (b). Pengamatan dilakukan pada saat stomata membuka maksimal antara pukul 10.00-12.00. Perhitungan kuantitatif dilakukan dengan menggunakan skor, misalnya lebar bukaan stomata sempit diberi skor 1, sedang 2, dan lebar 3. Data skor dibandingkan antar perlakuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan perlakuan terhadap lebar bukaan stomata.

Untuk mendapatkan nilai lebar bukaan stomata yang mendekati sebenarnya, nilai skor dapat dikonversi berdasarkan hasil penelitian

yang sudah pernah dilakukan oleh peneliti lain pada kultivar atau paling tidak jenis tanaman yang sama. Dari hasil penelitian terdahulu dicari lebar bukaan stomata maksimum. Dari nilai maksimum tersebut, dibuat tiga kategori, sempit, sedang, dan lebar. Sebagai model dapat dilihat hasil penelitian Rahayuningsih (2017) (Tabel 3.6).

Tabel 3.6 Lebar Bukaan Stomata Daun Kultivar Jagung pada Beberapa Fase Pertumbuhan

Kultivar	Lebar Bukaan Stomata (μm)			Rerata
	Berdaun 4	Berbunga	Masak susu	
Bisi 2	2,850	3,050	3,358	3,086
Pioneer 21	3,008	3,208	3,133	3,116
Gumarang	2,983	4,150	3,792	3,642
Bisma	2,783	3,567	3,200	3,183
Sukmaraga	2,458	3,792	3,700	3,317
Srikandi K.	2,717	3,692	3,667	3,359
Bima 2	2,650	3,433	3,892	3,325
Bima 4	2,525	4,050	3,667	3,414
Bima 5	2,567	3,592	3,450	3,203
Rerata	2,727	3,615	3,540	

Sumber: Rahayuningsih (2017)

Dengan lebar bukaan stomata maksimum 4,150 μm pada kultivar Gumarang fase berbunga, jika dibagi menjadi tiga kategori maka bukaan sempit bervariasi dari 0-1,383, sedang 1,384-2,767, dan lebar dari 2,768-4,150 μm . Rata-rata bukaan sempit 0,692, sedang 2,076, dan lebar 3,458 μm . Data pengamatan lebar bukaan stomata kualitatif atau skor pada masing-masing perlakuan dapat dikonversi menjadi bukaan sempit 0,692, sedang 2,076, dan lebar 3,458 μm . Jika dianggap terlalu kasar, kelompok lebar bukaan stomata dapat dibuat lebih rinci dibandingkan dengan tiga kategori utama tersebut. Nilai konversi yang diperoleh tersebut tentu saja berupa pendekatan yang belum tentu

tepat, namun dapat dibandingkan antar perlakuan untuk menjelaskan akibat perlakuan yang diberikan.

Hasil pengamatan lain dilakukan pada tanaman kelapa sawit. Selain lebar bukaan stomata, diukur juga panjang bukaan stomata seperti pada Tabel 3.7. Panjang dan lebar bukaan stomata tanaman kelapa sawit dipengaruhi oleh tinggi tempat. Panjang bukaan stomata kelapa sawit bervariasi dari 13,41–20,25 μm , sedangkan lebar bukaan stomata bervariasi dari 4,52–7,12 μm (Listia, 2014).

Tabel 3.7 Lebar dan Panjang Bukaan Stomata Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Lebar Bukaan Stomata (μm)	Panjang Bukaan Stomata (μm)
50	6,24 b	18,36 b
368	7,12 a	20,25 a
693	5,31 c	16,03 c
865	4,52 d	13,41 d
KK (%)	2,29	9,8

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

C. Fotosintesis

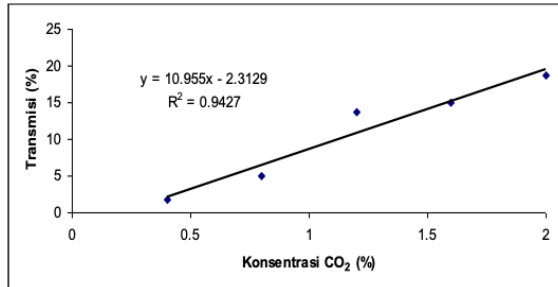
Fotosintesis adalah proses fisiologis perubahan karbon dioksida dan air, menggunakan energi cahaya untuk menghasilkan glukosa dan melepaskan oksigen ke udara (Stirbet et al. 2020) yang terjadi pada organ tanaman yang mengandung pigmen, misalnya klorofil. Laju fotosintesis pada umumnya diukur dengan menggunakan alat *photosynthetic analyzer*. Dalam keadaan tidak ada alat tersebut, laju fotosintesis dapat diukur dengan metode alternatif. Metode kolorimetri telah lama digunakan sebagai metode cepat sederhana untuk menentukan produksi CO_2 dari sampel buah dan sayuran yang mengalami respirasi. Metode ini dilakukan dengan membuat

kesetimbangan larutan bikarbonat dengan kandungan CO_2 . pH yang dihasilkan ditentukan secara kolorimetri dengan pewarna peka pH, bromtimol biru, dan konsentrasi CO_2 ditentukan dari kurva kalibrasi persen CO_2 dengan persen transmisi cahaya pada panjang gelombang 615 nm (Pratt & Mendoza, Jr. 1979).

Metode ini dapat digunakan secara terbalik untuk mengukur laju fotosintesis. Bila pada respirasi yang diukur kadar CO_2 yang meningkat, pada laju fotosintesis yang diukur adalah kadar CO_2 yang menurun. Pengukuran laju fotosintesis dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, penyiapan larutan bromtimol biru (BTB). BTB sebanyak 0,01 g dimasukkan ke dalam labu takar 1 L dan ditambahkan 2 g sodium bikarbonat. Selanjutnya, akuades ditambahkan ke dalam labu takar 1 L sampai mencapai tanda tera.

Kedua, penyiapan kurva standar. Kurva standar dibuat dengan cara menyiapkan empat tabung reaksi yang bertutup karet lunak. Masing-masing tabung diisi dengan larutan BTB sebanyak 10 ml. Gas CO_2 sebanyak berturut-turut 0 ml; 0,1 ml; 0,2 ml; 0,3 ml; 0,4 ml, diinjeksikan ke dalam masing-masing tabung dan digojog-gojog selama 1–2 menit. Setelah itu, semua larutan dari empat tabung diukur transmitansinya menggunakan spektrofotometer, misalnya Shimadzu seri UV-1650 PC UV-Visible atau Spectronic 21 D pada panjang gelombang 615 nm. Dibuat gambar kurva standar hubungan antara transmitansi dengan kadar CO_2 . Kurva hubungan konsentrasi CO_2 dengan transmisi cahaya yang diperoleh berbentuk linier $y = a + bx$.

Ketiga, pengukuran laju fotosintesis. Satu lembar daun yang telah mengembang sempurna dengan disungkup dengan kantong plastik bening. Kantong plastik ditutup selama waktu tertentu, ± 3 jam. Gas yang ada dalam kantong selanjutnya diambil dengan alat suntik sebanyak 10 ml dan diinjeksikan ke dalam tabung yang berisi 10 ml BTB 0,001% dan digojog-gojog selama 1–2 menit. Transmitansi larutan BTB diukur dengan spektrometer pada panjang gelombang 615 nm. Banyaknya CO_2 dihitung dengan menggunakan kurva standar hubungan antara kadar CO_2 dan transmisi cahaya (Gambar 3.6) (Ulfah, 2023).



Sumber: Ulfah (2023)

Gambar 3.6 Kurva Standar Hubungan Konsentrasi CO₂ dengan Transmisi Cahaya pada Panjang Gelombang 615 nm

Diukur luas daun yang tertutup kantong plastik dengan satuan dm². Laju fotosintesis (Ulfah, 2023) dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$LFS = \frac{(C \times BM \text{ CO}_2 \times Vol)}{(B \text{ CO}_2 \times LD \times waktu)} \times 100\%$$

LFS = laju fotosintesis (mg CO₂/dm²/jam), C = konsentrasi CO₂, BM CO₂ = bobot molekul CO₂ = 44,1, Vol = volume sungkup, B CO₂ = bobot CO₂, LD = luas daun.

Apabila tidak ada spektrofotometer, nilai warna larutan BTB dapat dibaca dengan menggunakan aplikasi *color analyzer* dari *Play Store* menggunakan telepon pintar. Nilai yang terbaca pada warna *blue* digunakan untuk membuat kurva standar dan untuk mengukur laju fotosintesis. Pengukuran laju fotosintesis pada tanaman kangkung yang dilakukan Ulfah (2023) seperti pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Laju Fotosintesis Tanaman Kangkung dengan Pematah Angin Tanaman Jagung Manis di Lahan Pasir Pantai

Letak Pematah Angin	Laju Fotosintesis	
	(mgCO ₂ /dm ² /jam)	(μmolCO ₂ /m ² /detik)
Tanpa	214,99b	135,44
Timur	264,14a	166,41

Letak Pematah Angin	Laju Fotosintesis	
	(mgCO ₂ /dm ² /jam)	(μmolCO ₂ /m ² /detik)
Timur dan Barat	267,92a	168,79
Selatan	244,76ab	154,20
Selatan dan Utara	226,82b	140,90

Keterangan: angka diikuti huruf yang sama dalam kolom tidak beda nyata pada HSD 5%.

Sumber: Ulfah (2023)

Tanaman kangkung yang diberi pematah angin di bagian timur dan di bagian timur dan barat, mempunyai laju fotosintesis lebih tinggi dibandingkan tanpa pematah angin atau di bagian yang lain. Dengan menggunakan metode BTB, variasi laju fotosintesis antara 214,99–267,92 mgCO₂/dm²/jam, bila dikonversi menjadi 135,44–168,79 μmolCO₂/m²/detik. Hasil pengamatan alternatif ini setara yang diperoleh Boy (2020) menggunakan *photosynthetic analyzer* Licor 6400 yang mencapai 109–179 μmol CO₂/m²/detik pada tanaman padi gogo, sesama tanaman golongan C3 dengan tanaman kangkung. Hasil penelitian Ulfah (2023) ini lebih rendah dibandingkan yang diperoleh Rahayuningsih (2017) menggunakan *photosynthetic analyzer* Licor 6400 pada tanaman jagung yang termasuk golongan C4. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tanaman jagung mempunyai variasi laju fotosintesis 103,01–111,42 μmol CO₂/m²/detik pada fase vegetatif berdaun 4, 304,01–401,17 pada fase berbunga dan 355,92 - 441,50 μmol CO₂/m²/detik pada fase masak susu.

D. Kadar Air Nisbi (KAN)

Potensial air tanaman biasa diukur dengan menggunakan alat ruang bertekanan (*pressure chamber-pressure bomb scholander*) (Boyer, 1967). Alat ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu sumber gas nitrogen bertekanan tinggi, manometer, dan ruang sampel (*chamber*). Sampel daun ditempatkan dalam *chamber*, dipasang dengan ujung tangkai daun menyembul ke luar untuk pengamatan. Tekanan gas nitrogen

diberikan dengan memutar keran. Gas akan menekan sampel daun sampai tekanan cukup untuk menekan cairan xilem dalam daun ke luar dari ujung tangkai daun yang dipasang menyembul ke luar *chamber*. Tekanan dalam satuan bar yang diperlukan untuk mengeluarkan cairan xilem merupakan potensial air sampel daun yang diukur dengan tanda negatif. Semakin rendah atau semakin negatif potensial air daun, diperlukan tekanan gas yang semakin tinggi. Menurut kesepakatan, potensial air daun tanaman yang mencapai titik layu permanen adalah -15 bar atau -1,5 MPa, meskipun dipengaruhi ketahanan tanaman terhadap kekeringan. Alat ini dapat mengukur potensial air jaringan atau daun dengan cepat, tetapi mempunyai harga yang relatif mahal.

Cara lain yang dapat dilakukan dengan peralatan relatif sederhana adalah dengan mengukur kadar air nisbi (KAN) atau kadar air relatif (KAR). KAN adalah nisbah jumlah air dalam jaringan daun saat pengambilan sampel dengan yang ada saat jenuh. Meskipun awalnya didefinisikan dalam bentuk persentase, KAN sekarang umumnya dinyatakan dalam bentuk desimal. Cara ini telah diterima secara luas sebagai indeks status air tanaman yang dapat direproduksi dan bermakna. Jaringan daun paling sering digunakan untuk penentuan KAN. Sampel komposit cakram daun atau potongan diambil dan bobot segar ditentukan, diikuti dengan pengapungan di atas air atau perendaman di dalam air 4–24 jam.

Cara yang biasa dilakukan adalah dengan menimbang bobot segar sampel daun sebanyak sekitar 10 g (BS). Daun direndam dalam air di dalam kantong plastik selama 24 jam, kemudian ditiriskan atau dilap dan ditimbang bobot jenuhnya (BJ). Sampel daun selanjutnya dioven sampai bobot tetap pada suhu 65–85°C, biasanya selama 48 jam, kemudian ditimbang bobot keringnya (BK).

$$KAN = \frac{BS - BK}{BJ - BK}$$

Keterangan:

KAN = kadar air nisbi
BS = bobot segar

BK = bobot kering
BJ = bobot jenuh

Nilai KAN maksimum yang mungkin dicapai adalah 1,0 atau 100%, terjadi pada sampel tanaman yang segar sehingga mempunyai kadar air yang jenuh dan tidak menyerap air lagi. Rahayuningsih (2017) mengamati KAN daun tanaman jagung yang tergenang selama sepuluh hari pada fase tanaman berdaun empat (Tabel 3.9). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tanaman yang tergenang akan menurun nilai KAN daunnya, yang terjadi pada hampir semua kultivar yang diuji, kecuali Bisi 2 yang penurunannya tidak nyata. Nilai KAN daun tanaman yang tidak tergenang berada di atas 80%, tetapi yang tergenang dapat berada di bawah 50%. Nilai ini sebenarnya terukur terlalu rendah karena bias pada hasil pengamatan bobot jenuh setelah direndam yang terlalu besar. Bobot jenuh seharusnya hanya mengukur biomassa daun dan air yang dikandung, tetapi saat diukur masih terdapat air yang menempel di permukaan daun. Tanaman mengalami cekaman air ringan bila mempunyai nilai KAN 90–98%, cekaman air sedang bila mempunyai KAN 80–90% dan mengalami cekaman air bobot bila mempunyai KAN <80%. Untuk menghilangkan air yang ada di permukaan organ ini dapat dilakukan dengan koreksi perhitungan.

Tabel 3.9 Kadar Air Nisbi Daun Empat Kultivar Tanaman Jagung saat Tergenang Sepuluh Hari pada Fase Berdaun Empat

Kultivar	Tidak Tergenang	Tergenang	Rerata
Gumarang	83,33 a	43,00 b	63,17
Bima 5	83,00 a	45,33 b	64,17
Bisi 2	83,33 a	77,00 a	80,17
Bisma	83,67 a	55,67 b	69,67
Rerata	83,33	55,25	(+)
KK 13,19%			

Keterangan: angka dalam baris dan kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak beda nyata pada DMRT tingkat kesalahan 5%. Tanda (+) artinya ada interaksi antar faktor. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Rahayuningsih (2017)

Koreksi nilai KAN dapat dilakukan sebagai berikut. Disiapkan sepuluh kelompok daun tanaman sejenis dengan tanaman yang dikoreksi nilai KAN-nya dengan bobot 5–10 g. Daun ditimbang bobot segarnya (BS), dicelup ke dalam air, kemudian diataskan dengan cara yang sama waktu mengukur KAN dan ditimbang sebagai bobot basah (BB). Bobot basah daun adalah bobot segar ditambah air yang menempel di permukaan (BA) sehingga $BA = BB - BS$. Kemampuan setiap bobot daun menyerap air di permukaan adalah $BA : BS \times 100\%$. Menggunakan daun mangga sebagai model, dapat diketahui bahwa kemampuan daun tanaman tersebut menyerap air di permukaan adalah 11,29% dari bobot segarnya. Angka 11,29% adalah angka koreksi terhadap angka bobot jenuh yang diperoleh waktu pengukuran KAN. Jadi, angka bobot jenuh yang diperoleh waktu mengukur KAN perlu dikurangi sebesar 11,29%. Tentu saja kemampuan daun setiap jenis tanaman menyerap air di permukaannya berbeda, karena berbagai faktor, antara lain adanya bulu-bulu atau trikhoma, lapisan kutikula, dan sebagainya. Dengan demikian, angka koreksi di atas tidak berlaku untuk tanaman yang lain. Perlu dilakukan koreksi sendiri dengan daun tanaman yang diteliti dengan cara yang sama.

E. Transpirasi

Transpirasi atau penguapan air dari dalam tubuh tanaman melalui stomata, lenti sel atau kutikula, dapat diukur dengan menggunakan alat *Photosynthetic analyzer*. Listia (2014) mengukur laju transpirasi daun kelapa sawit di beberapa tinggi tempat di atas permukaan laut (Tabel 3.10). Laju transpirasi daun kelapa sawit bervariasi dari 3,3 sampai 4,2 mmol $H_2O/m^2/det$. *Photosynthetic analyzer* merupakan alat yang relatif mahal sehingga tidak banyak laboratorium yang mempunyai alat tersebut.

Tabel 3.10 Laju Transpirasi Tanaman Kelapa Sawit di Berbagai Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Laju Transpirasi (mmol H ₂ O/m ² /det)
50	3,8 ab
368	3,3 ab
693	4,2 a
865	3,1 b
KK (%)	13,1

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Sebagai alternatif pengukuran laju transpirasi, dapat dilakukan pengukuran lama transpirasi. Lama transpirasi diukur dengan menggunakan kertas kobal klorida. Kertas kobal klorida dibuat dengan merendam kertas saring ke dalam larutan kobal klorida 10% selama beberapa menit. Kertas kobal klorida juga dijual bebas di toko kimia atau lokapasar. Pada saat basah, kertas kobal klorida akan berwarna merah jambu. Warna ini digunakan sebagai standar yang perlu dicapai pada saat pengukuran lama transpirasi. Kertas kobal klorida dioven atau dijemur di bawah sinar matahari sampai kering. Pada saat kering, kertas kobal klorida akan berwarna biru muda. Kertas kobal klorida berwarna biru muda ditempelkan di permukaan daun bagian bawah yang mempunyai kerapatan stomata lebih tinggi dibandingkan permukaan daun bagian atas. Kertas ditutup dengan lembaran plastik mika dengan ukuran yang sama, kemudian dijepit dengan klip atau penjepit kertas. Plastik mika digunakan menutupi kertas kobal klorida untuk menghindari terjadinya evaporasi air yang sudah diserap oleh kertas. Saat tanaman melakukan transpirasi melalui stomata, uap air akan membasahi kertas kobal klorida. Kertas kobal klorida yang berwarna biru jika kering, saat terkena uap air, hasil transpirasi akan berubah warna menjadi merah jambu. Semakin cepat laju transpirasi, akan semakin cepat kertas kobal klorida berubah warna menjadi

merah jambu standar. Tanaman yang melakukan transpirasi dengan cepat memerlukan waktu lebih pendek untuk mengubah warna kertas kobal klorida dari biru menjadi merah jambu.

Nilai lama transpirasi yang semakin kecil menunjukkan laju transpirasi yang semakin cepat. Nilai lama transpirasi yang semakin kecil berarti diperlukan waktu yang semakin pendek untuk mengubah warna kertas kobal klorida dari biru muda menjadi merah jambu, yang berarti semakin cepat laju transpirasi. Sebaliknya, nilai lama transpirasi yang semakin besar menunjukkan transpirasi yang semakin lambat.

Hasil pengamatan yang dilakukan Wijayanto et al. (2015) (Tabel 3.11) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan lama transpirasi di antara klon teh yang diuji. Gambung 7 suatu klon unggul teh asamika mempunyai laju transpirasi tertinggi ditunjukkan dengan lama transpirasi terpendek 0,35 menit, yang hanya dapat ditandingi oleh klon Oero 7 dan Oero 1, dua klon sinensis. Klon sinensis lain mempunyai lama transpirasi yang lebih panjang dan tidak berbeda satu dengan yang lain bervariasi antara 1,11–1,31 menit.

Tabel 3.11 Lama Transpirasi Beberapa Klon Tanaman Teh

Klon	Lama Transpirasi (menit)
Oero 1	1,00 abc
Oero 2	1,11 ab
Oero 3	1,30 a
Oero 4	1,31 a
Oero 5	1,17 ab
Oero 6	0,49 bc
Gambung 7	0,35 c
KK (%)	26,35

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak beda nyata menurut DMRT pada tingkat kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Wijayanto et al. (2015)

Menurut Baley et al.(1951) lama transpirasi dapat dikonversi menjadi laju transpirasi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Transpirasi} = 1/\text{waktu} \times 60 \text{ menit} \times 0,38 \text{ mg} = \text{mg/cm}^2/\text{jam}$$

Waktu dalam menit, 0,38 mg adalah bobot air yang diserap setiap cm² oleh kertas kobal klorid waktu berubah warna dari biru menjadi merah jambu standar.

Pengaruh selang waktu penyiraman dengan laju transpirasi pada tanaman jali yang diamati menggunakan metode yang dikemukakan Baley et al. (1951) dilakukan oleh Fadillatunnisa (2022) (Tabel 3.12). Pemberian arang sekam tidak mengubah laju transpirasi, sedangkan peningkatan selang waktu penyiraman menurunkan laju transpirasi. Laju transpirasi tanaman jali yang disiram setiap dua hari sekali mencapai 9,60 mg/cm²/jam menurun menjadi 4,88 mg/cm²/jam bila disiram empat hari sekali dan menurun lagi menjadi 3,51 mg/cm²/jam, saat selang waktu penyiraman diperpanjang menjadi enam hari sekali.

Tabel 3.12 Laju Transpirasi Tanaman Jali pada Beberapa Pemberian Takaran Arang Sekam dan Selang Waktu Penyiraman

Arang Sekam (t/ha)	Laju Transpirasi (mg/cm ² /jam)	Selang Waktu Penyiraman (hari)	Laju Transpirasi (mg/cm ² /jam)
0	6,93a	2	9,60p
10	6,57a	4	4,88q
20	4,49a	6	3,51q

Keterangan: Rerata dalam satu kolom yang diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada jenjang nyata 5%.

Sumber: Fadillatunnisa (2022)

Untuk mengonversi lama transpirasi (detik atau menit) menjadi laju transpirasi seperti pada *photosynthetic analyzer*, yaitu mmol/m²/detik maka nilai lama transpirasi (detik) perlu dikalikan dengan faktor koreksi dengan membuat suatu percobaan. Dihitung bobot air yang dapat diserap kertas kobal klororid per satuan luas. Disiapkan 10 kertas saring berukuran 2 cm × 2 cm dan larutan kobal klorida 10% 10 ml.

Kertas saring dicelup ke dalam larutan, kemudian diangin-anginkan sampai mencapai warna merah jambu standar, kertas ditimbang sebagai bobot kertas merah jambu (m). Kertas saring dikeringkan di dalam oven pada suhu 65–85°C sampai berubah warna menjadi biru muda. Kertas kobal klorida kering ditimbang sebagai bobot biru muda (b). Bobot air yang diserap kertas kobal klorida saat berubah warna dari merah jambu menjadi biru muda per 4 cm² dapat dihitung (a). Bobot air (a) = bobot kertas saring merah jambu (m) – bobot kertas saring biru muda (b). Hasil penimbangan bobot rata-rata menggunakan 10 sampel kertas kobal klorida seluas 2 cm × 2 cm waktu warna biru rata-rata adalah 0,04 g dan warna merah jambu adalah 0,05 g. Dibuat perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 & \text{Kertas kobal klorida biru muda ukuran } 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 0,04 \text{ g} \\
 & \text{Kertas kobal klorida merah jambu ukuran } 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 0,05 \text{ g} \\
 & \text{Bobot air kertas kobal klorida ukuran } 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 0,05 - 0,04 = 0,01 \text{ g} \\
 & \text{Bobot air kertas kobal klorida} = 0,01 \text{ g} / 4 \text{ cm}^2 \\
 & \qquad \qquad \qquad = 0,01 \times 1000 : 4 \times 10.000 \\
 & \qquad \qquad \qquad = 25.000 \text{ mg/m}^2 \\
 & \qquad \qquad \qquad = 25.000 : 18 \text{ mmol/m}^2 \\
 & \text{Laju transpirasi} = 1/\text{waktu} \times 1.388,89 \text{ mmol/m}^2/\text{detik} \\
 & \text{Misal untuk lama transpirasi 200 detik} \\
 & \qquad \qquad \qquad = 1/200 \times 1.388,89 \text{ mmol/m}^2/\text{detik} \\
 & \qquad \qquad \qquad = 6,94 \text{ mmol/m}^2/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.13 Konversi Lama Transpirasi (Detik) menjadi Laju Transpirasi (mmol/m²/detik) Tanaman Tomat yang Mendapat Cara Irigasi dan Pemberian Mulsa Berbeda

Mulsa	Lama Transpirasi (detik)		Laju Transpirasi (mmol/m ² /detik)	
	Irigasi Tetes	Irigasi Manual	Irigasi Tetes	Irigasi Manual
Plastik	159,95	216,95	8,68	6,40
Jerami	146,95	186,86	9,45	7,43
Tanpa	153,24	670,65	9,06	2,07
Rerata	153,38	358,15	9,05	3,88

Sumber: Data Lama Transpirasi Kartika & Kurniasih (2021)

Tabel 3.13 menunjukkan bahwa tanaman tomat yang diberi irigasi tetes dan mulsa jerami mempunyai laju transpirasi paling cepat mencapai 9,45 mmol/m²/detik, sedangkan laju transpirasi paling lambat sebesar 2,07 mmol/m²/detik terjadi pada tanaman yang mendapatkan irigasi manual dan tanpa diberi mulsa. Variasi nilai laju transpirasi tanaman tomat konversi lama transpirasi dengan kertas kobal klorida antara 2,07–9,45 mmol/m²/detik tidak terlalu jauh seperti yang terukur pada kelapa sawit menggunakan *photosynthetic analyzer* sebesar 3,1–4,2 mmol/m²/detik yang diperoleh Listia (2014).

Hasil pengukuran transpirasi dengan menggunakan kertas kobal klorida ini juga telah dibuktikan dapat menggantikan pengukuran menggunakan peralatan canggih, misalnya *photosynthetic analyzer*. Binsasi et al. (2016) mendapatkan hubungan lama transpirasi menggunakan kertas kobal klorida dengan menggunakan *photosynthetic analyzer* Licor 6400 XP. Diperoleh hubungan negatif linier dengan persamaan $y = -30,684x + 649,38$ $R^2 = 0,8212$. Lama transpirasi yang semakin pendek mempunyai hubungan yang erat dengan laju transpirasi yang cepat.

F. Efisiensi Penggunaan Air

Efisiensi penggunaan air (EPA) adalah bobot biomassa tanaman (g) yang dapat dibentuk untuk setiap satuan volume air yang digunakan (l). Ciptaningtyas et al. (2012) mendapatkan bahwa dengan jumlah air tersedia yang semakin banyak karena selang waktu penyiraman yang semakin pendek, penggunaan air menjadi semakin efisien. EPA tertinggi sebesar 5,51 g biomassa dapat dibentuk untuk setiap liter air yang digunakan dapat dicapai dengan penyiraman setiap hari (Tabel 3.14).

Tabel 3.14 Jumlah Air Siraman, Bobot Kering Tanaman dan Efisiensi Penggunaan air (EPA) Tanaman Jagung pada Beberapa Selang Waktu Penyiraman

Penyiraman (Hari)	Jumlah Air (l)	Bobot Kering (g)	EPA (g/l)
1	20,53 a	113,10 a	5,51 a
2	23,12 a	119,32 a	5,16 ab

Penyiraman (Hari)	Jumlah Air (l)	Bobot Kering (g)	EPA (g/l)
4	16,57 b	76,55 b	4,62 b
8	14,05 c	41,46 c	2,95 bc

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda menurut DMRT pada taraf kesalahan 5%.

Sumber: Ciptaningtyas et al. (2012)

Cara lain untuk menghitung efisiensi penggunaan air adalah menggunakan satuan kebutuhan air dalam mm seperti yang dilakukan oleh Suryanti et al. (2015) pada beberapa kultivar kedelai (Tabel 3.15). Besarnya kebutuhan air tanaman pada masing-masing pot dihitung menggunakan persamaan $ET_c = ET_o \times kc$. ET_c adalah kebutuhan air tanaman (mm/tanaman); ET_o adalah evapotranspirasi; kc adalah koefisien tanaman kedelai. Kultivar kedelai mempunyai efisiensi penggunaan air yang berbeda dan terjadi penurunan efisiensi penggunaan air dengan penurunan kadar air akibat peningkatan selang waktu penyiraman dengan nilai 5,00 g/mm pada tanaman yang disiram setiap hari sampai 4,03 g/mm pada tanaman yang disiram delapan hari sekali.

Tabel 3.15 Efisiensi Penggunaan Air (gram/mm) 18 Kultivar Kedelai pada Empat Interval Penyiraman

Kultivar	Interval Penyiraman (Hari)				Rerata
	1	2	4	8	
Grobogan	6,89	4,56	4,85	4,22	5,16 a-c
Galunggung	5,92	5,60	5,70	3,68	5,16 a-c
Burangrang	4,63	4,60	4,83	3,28	4,33 b-d
Kaba	4,55	3,72	4,37	4,37	4,25 b-d
Argomulyo	3,48	3,59	3,72	3,98	3,69 cd
Panderman	3,52	3,56	2,80	5,68	3,89 b-d
Ijen	4,67	3,27	4,24	3,89	4,02 b-d

Kultivar	Interval Penyiraman (Hari)				Rerata
	1	2	4	8	
Baluran	4,73	3,97	10,64	4,04	5,16 a-c
Petek	7,69	4,17	5,17	5,02	5,51 ab
Malabar	5,12	5,19	6,13	4,09	4,96 a-d
Sibayak	3,23	3,66	3,99	3,10	3,49 d
Tanggamus	3,89	4,17	4,60	3,35	4,00 b-d
Anjasmoro	3,66	4,52	4,00	3,95	3,96 b-d
Willis	3,69	3,78	5,10	3,46	4,01 b-d
Garut	4,03	4,22	4,13	3,89	4,07 b-d
Gepak Kng	6,40	4,45	3,54	3,81	4,55 a-d
Seulawah	7,14	3,72	4,78	4,15	4,95 a-d
Sinabung	7,19	5,77	5,37	5,32	5,60 a
Rerata	5,00 p	4,22 q	4,67 pq	4,03 q	(-)

Keterangan: Angka dalam baris dan kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata berdasarkan DMRT taraf kesalahan 5 %. (-) tidak ada interaksi antar faktor.

Sumber: Suryanti et al. (2015)

G. Metode Jumlah Panas

Suhu berpengaruh terhadap perkembangan tanaman, dinyatakan dalam satuan panas (*heat unit*) atau jumlah panas. Jumlah panas adalah akumulasi dari selisih antara suhu rata-rata harian dengan suhu dasar yang dimiliki jenis tanaman untuk mencapai perkembangan tertentu. Suhu dasar adalah suhu udara minimum yang menyebabkan suatu proses metabolisme berjalan. Suhu dasar tanaman berbeda antar jenis tanaman, misalnya kacang tanah, kedelai, kacang hijau, buncis, tomat, cabai rawit adalah 10°C, terong 11°C dan teh 12,5°C. Rumus perhitungan jumlah panas menurut Farokha dan Arifin (2019) sebagai berikut.

$$JP = \Sigma(T - T_o)$$

Keterangan:

JP = jumlah panas

T = suhu rata-rata harian

T_o = suhu dasar tanaman

Tabel 3.16 Jumlah Panas untuk Perkembangan Tanaman Kacang Tanah dan Kacang Hijau

Fase Pertumbuhan	Jumlah Panas (°C)	
	Kacang Tanah	Kacang Hijau
Perkecambahan	65,1	62,2
Vegetatif		
Pembentukan daun	88,1	85,2
Pembentukan cabang	186,7	290,2
Pembentukan kuncup bunga	310, 5	534,4
Generatif		
Pembentukan bunga	359,9	563,8
Pembentukan ginofor	490,5	-
Pembentukan polong	590,5	675,5
Pembentukan biji	715,5	755,5
Panen	1399,5	931,5

Sumber: Farokha & Ariffin (2019)

Tabel 3.17 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah panas yang harus diakumulasi oleh tanaman kacang tanah dan kacang hijau. Kacang hijau memerlukan jumlah panas yang lebih tinggi, yaitu 534,4°C untuk menyelesaikan fase vegetatif dibandingkan tanaman kacang tanah yang hanya memerlukan 310,5°C. Meskipun demikian, kacang hijau memerlukan jumlah panas yang lebih rendah untuk masak panen, yaitu 931,5°C dibandingkan kacang tanah yang memerlukan 1399,5°C. Di lokasi yang sama, kacang hijau akan berbunga lebih lambat, tetapi dapat dipanen lebih cepat dibandingkan kacang tanah.

Pengamatan pada klon tanaman teh yang dilakukan Fauziah (2022) menunjukkan terdapat perbedaan pencapaian fase pertumbuhan, baik

dari segi umur maupun akumulasi jumlah panas di antara klon teh. Tabel 3.16 menunjukkan bahwa pada tinggi tempat 1.200 mdpl. mata tunas pecah bervariasi antara 28,4–34,88 hari setelah petik dengan mengumpulkan jumlah panas 244,4–298,48°C hari. Pucuk siap panen bervariasi antara 58,0–63,00 hari setelah petik dengan mengumpulkan jumlah panas antara 495,0–537,00°C hari.

Tabel 3.17 Jumlah Panas, Umur Pecah Mata Tunas, dan Umur Panen Beberapa Klon Teh

Fase	Variabel	Klon		
		TRI 2025	TRI 2024	GMB 7
Pecah Mata Tunas	JP (°C)	244,4 a	261,06 b	298,48 b
	Umur (hari)	28,4 a	30,36 b	34,88 b
Panen	JP (°C)	495,0 a	503,50 b	537,00 c
	Umur (hari)	58,0 a	59,00 b	63,00 c

Keterangan: angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda menurut uji HSD-Tukey pada kesalahan 5%.

Sumber: Fauziah (2022)

Peningkatan tinggi tempat yang menyebabkan penurunan suhu dapat memperpanjang umur panen suatu tanaman. Tanaman perlu mengakumulasi jumlah panas tertentu untuk mencapai masak panen. Dengan suhu lingkungan yang lebih rendah, diperlukan waktu yang lebih panjang untuk dapat mengakumulasi jumlah panas masak panen yang sama.

H. Indeks Toleransi Cekaman

Tanaman yang mengalami cekaman umumnya akan mengalami penurunan hasil. Tingkat penurunan hasil tiap genotipe tanaman berbeda-beda tergantung kemampuan adaptasi dari setiap genotipe pada kondisi cekaman tersebut. Dengan menggunakan data hasil biji dan cekaman yang diberikan saat berbunga, menurut Efendi dan Azrai (2015) tingkat toleran suatu genotipe jagung pada lingkungan tercekam

dapat ditentukan berdasarkan nilai indeks cekaman yang dihitung berdasarkan perbandingan hasil pada kondisi cekaman dan optimum. Beberapa macam nilai indeks cekaman untuk menentukan tingkat toleransi genotipe tanaman antara lain adalah indeks sensitivitas cekaman (ISC), indeks stabilitas hasil (ISH), indeks toleransi cekaman (ITC), dan indeks harmonik (IH). Berikut rumus dari hasil penelitian Efendi dan Azrai (2015).

1. Indeks stabilitas hasil (ISH)

$$ISH = Y_{si} / Y_{pi}$$

2. Indeks sensitivitas cekaman (ISC)

$$ISC = [1 - Y_{si}] / [1 - (Y_s / Y_p)]$$

Kriteria untuk menentukan tingkat toleran terhadap cekaman kekeringan berdasarkan indeks sensitivitas cekaman adalah jika nilai $ISC \leq 0,5$ maka genotipe tersebut toleran, jika $0,5 < ISC \leq 1,0$ maka genotipe tersebut medium toleran, dan jika $ISC > 0$ maka genotipe tersebut peka.

3. Indeks toleransi cekaman (ITC)

$$ITC = (Y_{pi} \times Y_{si}) / Y_p^2$$

Kriteria untuk menentukan tingkat toleransi terhadap cekaman kekeringan berdasarkan indeks toleransi cekaman adalah jika nilai $ITC \leq 0,5$ maka genotipe tersebut peka, jika $0,5 < ITC \leq 1,0$ maka genotipe tersebut medium toleran, dan jika $ITC > 1,0$ maka genotipe tersebut toleran.

4. Indeks harmonik (Efendi & Azrai, 2015)

$$IH = [2 \times (Y_{pi} \times Y_{si})] / [Y_{pi} + Y_{si}]$$

Keterangan

Y_{si} = Hasil biji dari suatu genotipe pada kondisi cekaman

Y_{pi} = Hasil biji dari suatu genotipe pada kondisi optimum

Y_s = Rata-rata hasil biji dari seluruh genotipe pada kondisi cekaman

Y_p = Rata-rata hasil biji dari seluruh genotipe pada kondisi optimum

Genotipe jagung yang toleran memiliki nilai ISC yang semakin kecil atau nilai ISH yang semakin besar. Semakin kecil nilai ISC semakin rendah persentase penurunan hasil atau semakin toleran terhadap kondisi cekaman. Sebaliknya, nilai ISH yang semakin besar menunjukkan bahwa suatu genotipe semakin mampu menekan kehilangan hasil atau semakin toleran pada kondisi cekaman.

Tabel 3.18 menunjukkan bahwa empat genotipe jagung hibrida dengan kelas ketahanan terhadap kekeringan berbeda dari 60 genotipe yang diuji oleh Efendi dan Azrai (2015). H7 merupakan genotipe yang termasuk tahan dengan indeks sensitivitas cekaman (ISC) 0,4, mempunyai hasil 8,90 t/ha dan sedikit menurun menjadi 8,12 t/ha ketika tercekam kekeringan. Indeks stabilitas hasil (ISH) genotip H7 cukup tinggi, yaitu 0,97. H4 merupakan genotipe yang termasuk sangat peka, dengan indeks sensitivitas cekamaan 1,2, mempunyai hasil 9,89 t/ha dan menurun cukup banyak menjadi 8,61 t/ha ketika tercekam kekeringan. Indeks stabilitas hasil genotipe H4 lebih rendah, yaitu 0,87. Menggunakan nilai indeks toleransi cekaman (ITC) H3 termasuk genotipe yang tahan kering 1,13 dengan hasil biji tinggi 10,24 dan sedikit menurun menjadi 9,66 t/ha bila tercekam kekeringan. Genotipe H3 mempunyai indeks harmonik yang tinggi, yaitu 9,94.

Tabel 3.18 Hasil Biji, Indeks Sensitivitas Cekaman (ISC) dan Indeks Stabilitas Hasil (ISH) Indeks Toleransi Cekaman (ITC) dan Indeks Harmonik (IH) Beberapa Genotip Jagung terhadap Kekeringan

Genotip	Hasil Biji (t/ha)		ICS	ISH	ITC	IH
	Optimal	Kering				
H1	7,65	6,85	0,9 P	0,91	0,61 MT	7,28
H3	10,24	9,66	0,5 MT	0,94	1,13 T	9,94
H4	9,89	8,61	1,2 SP	0,87	0,97 P	9,20
H7	8,90	8,12	0,4 T	0,97	0,78 P	8,26

Keterangan : T = toleran, MT = medium toleran, P = peka, SP = sangat peka.

Sumber: Effendi et al. (2017)

Tingkat toleransi berdasarkan nilai ISC dan ISH tidak terkait dengan tingkat produktivitas suatu genotipe jagung pada kondisi cekaman, namun ditentukan oleh kemampuan genotipe jagung menekan penurunan hasil pada kondisi cekaman. Dalam memilih genotipe jagung yang toleran berdasarkan ISC dan ISH perlu juga diperhatikan tingkat produktivitas.

Menggunakan data lengkap dua macam cekaman, yaitu kekeringan dan N tanah rendah pada 60 genotipe, Efendi dan Azrai (2015) menyarankan bahwa kriteria toleransi suatu genotipe jagung didasarkan pada tingkat produktivitasnya pada kondisi cekaman sebaiknya berdasarkan ITC dan IH. Nilai ITC dan IH berkorelasi nyata linier dengan tingkat produktivitas genotipe jagung pada kondisi cekaman kekeringan dan N rendah dengan nilai koefisien determinan sebesar 0,768–0,964. Namun demikian, nilai IH lebih kuat berkorelasi dengan tingkat produktivitas pada berbagai kondisi cekaman yang mana nilai korelasi koefisien determinan (r) IH dengan hasil pada tiga kondisi cekaman, yaitu cekaman kekeringan, cekaman kekeringan+ N rendah, dan cekaman kekeringan + N sangat rendah, adalah 0,914–0,964, sedangkan ITC memiliki r antara 0,768–0,959.

Kriteria suatu genotipe jagung yang toleran berdasarkan nilai ITC atau IH, yaitu semakin besar nilai ITC dan IH dari suatu genotipe jagung maka semakin besar produktivitas genotipe tersebut pada kondisi cekaman atau semakin toleran terhadap kondisi cekaman kekeringan dan N rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa kriteria toleran ITC dan IH dapat menyeleksi genotipe jagung yang mempunyai produktivitas tinggi pada kondisi cekaman.

Heriyanto et al. (2019) membuat penelitian cekaman kekeringan yang dilakukan dari fase vegetatif sampai panen pada tanaman kedelai menggunakan kriteria ITC yang disampaikan oleh Effendi et al. (2017):

1. Jika nilai $ITC \leq 0,5$ maka genotipe tersebut sangat peka terhadap cekaman kekeringan.
2. Jika nilai $ITC 0,5 < ITC \leq 0,75$ maka genotipe tersebut peka terhadap cekaman kekeringan.

3. Jika nilai ITC $0,75 < ITC \leq 1$ maka genotipe tersebut moderat toleran terhadap cekaman kekeringan.
4. Jika nilai $ITC > 1$ maka genotipe tersebut toleran terhadap cekaman kekeringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari lima kultivar kedelai yang diuji tidak ditemukan kultivar yang toleran terhadap kekeringan. Kultivar paling tahan adalah Demas yang termasuk moderat toleran dengan hasil biji 54,70 g/tanaman saat cukup air, menurun menjadi 24,80 g/tanaman saat tercekam kekeringan dengan ITC 0,84. Kultivar lain termasuk kategori sangat peka terhadap kekeringan dengan nilai ITC berkisar antara 0,30–0,46 (Tabel 3.19).

Tabel 3.19 Hasil Biji dan Indeks Toleransi Cekaman terhadap Kekeringan Beberapa Kultivar Kedelai

Kultivar	Hasil Biji (g/Tanaman)			Indeks Toleransi cekaman
	Cukup Air	Kekeringan	Rerata	
Anjasromo	34,49	13,35	23,92 b	0,30 sp
Burangrang	33,71	16,87	25,29 b	0,38 sp
Demas	54,70	24,80	39,75 a	0,84 mt
Dering	38,13	18,88	28,51 ab	0,45 sp
Devon	36,13	19,88	28,00 ab	0,46 sp
Rerata	39,43 a	18,76 b	(-)	

Keterangan: angka dalam baris dan kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji lanjut Beda Nyata Jujur Tukey (BNJ Tukey) dengan taraf kesalahan 5%. (-): tidak ada interaksi. Sp = sangat peka, mt = moderat toleran.

Sumber: Heriyanto et al. (2019)

Bab IV

Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman adalah penambahan ukuran yang tidak dapat balik, mencerminkan pertambahan biomassa pada tanaman. Beberapa variabel pertumbuhan yang sering diamati para peneliti agronomi adalah tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun. Organ tanaman berupa akar lebih jarang diamati karena terletak di dalam tanah sehingga lebih sulit diamati. Metode pengamatan akar akan dibahas lebih mendalam agar para peneliti dapat menampilkan data yang lebih utuh untuk seluruh bagian tanaman.

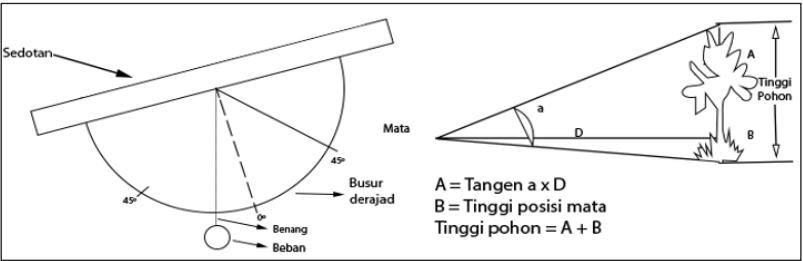
A. Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan variabel pengamatan yang dapat menggambarkan pertumbuhan yang paling sering diamati karena mudah dilakukan dengan peralatan sederhana berupa penggaris. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai bagian tanaman tertinggi. Tanaman dikotil diamati sampai daun tertinggi, namun ada pula yang dilakukan sampai titik tumbuh tertinggi. Tanaman monokotil dapat diamati dengan menelungkupkan daun dan diukur daun yang tertinggi, namun dapat pula diamati sampai bagian tanaman yang tertinggi tanpa menelungkupkan daun, misalnya pada tanaman jagung atau sorgum.

Pada tanaman tahunan tertentu, tinggi tanaman diukur sampai bagian tertentu, misalnya kelapa sawit diukur sampai bagian batang di bawah pelepah tertinggi. Tinggi tanaman tersebut secara sederhana

dapat diukur menggunakan bilah bambu dengan meteran, tetapi pekerjaan tersebut cukup berat. Pengamatan tinggi tanaman tahunan dapat dipermudah dengan peralatan sederhana. Pengamatan tinggi tanaman tahunan dapat dilakukan sebagai berikut.

Pengukuran tinggi pohon dapat dilakukan dengan beberapa alat bantu sederhana, yaitu busur derajat, pipa sedotan air minum besar biasanya untuk dawet atau cendol, serta benang dan bandul (Gambar 4.1). Pengukuran dilakukan dengan mengambil jarak misalnya 20 m dari pohon (D). Pucuk pohon atau batas yang akan diukur dilihat dari dalam pipa. Dilihat berapa sudut (a) yang dibentuk dengan melihat benang, misalnya 45°. Tinggi orang yang mengukur (B) misalnya 1,60 m. Daftar tangen sudut seperti i dalam Tabel 4.1.



Sumber: Didik Indradewa (2022)

Gambar 4.1 Cara Pengukuran Tinggi Pohon

Tinggi pohon adalah $A + B$

$$\begin{aligned} A &= \text{tangen sudut } a \times D + 1,6 \text{ m} \\ &= \text{tangen } 45^\circ \times 20 \text{ m} + 1,6 \text{ m} \\ &= 1,00063 \times 20 \text{ m} + 1,6 \text{ m} \\ &= 21,61 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Sudut dan Nilai Tangen

Sudut (°)	Tangen	Sudut (°)	Tangen
5	0,08752	30	0,57763
10	0,1764	35	0,70057

Sudut (°)	Tangen	Sudut (°)	Tangen
15	0,26806	40	0,83958
20	0,36413	45	1,00063
25	0,46652	50	1,1926

Sumber: Cubens. (t.t.)

B. Diameter Batang

Variabel pengamatan lain yang sering dan mudah diamati adalah garis tengah batang. Garis tengah (diameter) batang tanaman semusim berukuran kecil diukur menggunakan penggaris atau jangka sorong pada ketinggian tertentu, misalnya 2 sampai 5 cm di atas permukaan tanah tergantung ukuran tanaman. Model jangka sorong bermacam-macam, ada yang manual [Gambar 4.2(b)] dan ada pula yang digital [Gambar 4.2(a)].



(a)

(b)

Keterangan: (a) digital dan (b) manual

Sumber: Didik Indradewa (2020)

Gambar 4.2 Jangka Sorong

Tanaman yang lebih besar dapat diukur pada aras yang lebih tinggi. Tanaman tahunan berukuran besar tidak dapat diukur garis tengahnya secara langsung. Pada tanaman berukuran besar, garis tengah (D) batang diukur secara tidak langsung dengan mengukur lilit batang atau keliling batang (K) setinggi dada atau ketinggian 1,3 m di atas permukaan tanah. Garis tengah batang dapat dihitung dengan asumsi bentuk batang adalah lingkaran.

$$K = 2\pi r$$

$$D = 2r$$

Keterangan:

- K = keliling atau lilit batang
- r = jari-jari batang
- D = diameter batang

C. Jumlah Daun

Jumlah daun kadang-kadang dihitung secara berkala untuk mengetahui pertumbuhan tanaman, terutama pada tanaman semusim berukuran kecil. Pada tanaman berukuran besar tentu saja tidak mungkin dilakukan. Ada tanaman yang berdaun tunggal, ada juga yang berdaun majemuk. Contoh tanaman berdaun tunggal adalah cabai, bawang merah, sawi, pisang, dan jagung. Sementara itu, yang berdaun majemuk adalah kedelai yang mempunyai tiga anak daun, kacang tanah yang mempunyai empat anak daun, atau kelapa sawit yang mempunyai banyak anak daun. Untuk tanaman berdaun majemuk, yaitu kedelai dan kacang tanah yang dihitung adalah jumlah daun, bukan jumlah anak daun, tetapi kelapa sawit dihitung, baik jumlah daun maupun jumlah anak daun per daun.

Hasil pengamatan berkala dapat ditampilkan dalam bentuk tabel atau gambar. Tampilan dalam bentuk grafik pada gambar akan dapat menunjukkan bentuk hubungannya dengan waktu. Grafik pertumbuhan tanaman pada umumnya berbentuk sigmoid menyerupai huruf S. Pada bagian awal, pertumbuhan meningkat dengan lambat, dipercepat, linier, diperlambat dan pada bagian

akhir akan tetap. Bagian tanaman tertentu, misalnya, jumlah daun dapat terjadi penurunan. Grafik hasil pengamatan berkala dapat dibuat dengan program Excel, namun akan lebih bagus misalnya dengan menggunakan program *Curve Expert* 1.3. Hasil pembuatan grafik dengan *Curve Expert* 1.3 lebih tepat dan dapat menghasilkan persamaan.

D. Akar

Akar merupakan organ tanaman yang sama pentingnya dengan organ lain, yaitu daun, batang, buah, dan biji. Peran akar adalah menegakkan tanaman serta menyerap air dan hara sehingga penting untuk metabolisme tanaman, menghasilkan hormon tumbuh, dan dapat pula berfungsi sebagai tempat menyimpan cadangan makanan. Letak akar yang tersembunyi di dalam tanah menyebabkan lebih sulit untuk diamati sehingga membuat akar jarang merupakan bagian pengamatan penelitian agronomi. Untuk memperoleh data tentang akar, perlu dilakukan pengambilan sampel, perawatan, dan pengamatan yang memadai.

1. Pengambilan Sampel

Pengambilan akar tanaman tahunan secara utuh di lapangan sangat sulit dilakukan karena ukurannya yang besar. Akar tanaman tahunan utuh dapat diamati di dalam *rhizotron*, tetapi macam pengamatan yang dapat dilakukan sangat terbatas, misalnya laju pertumbuhan panjang akar. Sampel akar tanaman tahunan di lapangan dapat diambil sebagian dengan penggalian.

Sampel akar tanaman tahunan juga dapat diambil di lapangan dengan menggunakan bor akar yang digerakkan oleh mesin (Gambar 4.3), bor akar atau bor tanah berukuran kecil yang digerakkan secara manual (Gambar 4.4). Pengeboran dilakukan agak jauh dari batang agar tidak harus mengambil akar berukuran besar. Untuk mengurangi bias hasil pengamatan, pengeboran perlu dilakukan pada posisi yang sama arah, maupun jarak dari batang.



Sumber: (BosHardware, t.t.)

Gambar 4.3 Skema Gambar Bor Tanah atau Bor Akar Berpenggerak Mesin



(a)

(b)

(c)

Keterangan: (a) dan (c) bor tanah, (b) bor akar

Sumber: Didik Indradewa (2020)

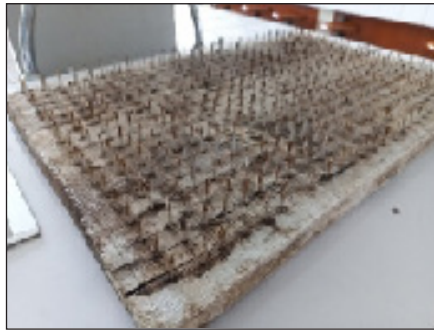
Gambar 4.4 Bor

Pada tanaman semusim di lapangan, pengambilan akar secara utuh dapat dilakukan dengan memasang kurungan kawat sesuai ukuran tanaman. Pada tanaman kedelai, kurungan kawat dibuat dengan ukuran 30 cm × 30 cm × 30 cm. Kurungan kawat ditanam di lapangan sebelum tanam. Benih ditanam di dalam kurungan sehingga akar tanaman dapat tumbuh, tetapi terkurung di dalam kurungan. Rancangan kawat yang cukup renggang menyebabkan tanah di dalam kurungan tetap berhubungan dengan tanah di luar kurungan secara alami. Saat pengambilan sampel atau saat panen, kurungan diangkat. Dengan menggunakan kurungan, sampel akar dapat diperoleh dari lapangan dengan relatif utuh dan dengan cara lebih mudah dibandingkan dengan cara membongkar akar secara langsung.

Untuk memperoleh akar tanaman semusim secara utuh di lapangan, dapat juga dilakukan dengan pengeboran menggunakan bor akar berukuran sesuai dengan ukuran tanaman dan digerakkan mesin sehingga dapat mengangkat seluruh akar. Padi atau kedelai yang ditanam dengan jarak 20 cm × 20 cm dibor melingkar seukuran jarak tanamnya. Jeluk atau kedalaman tanah pada umumnya mencapai kedalaman olah 30 cm atau lebih sampai jeluk yang dicapai akar.

Pada tanaman semusim di dalam pot atau polibag, pengambilan akar secara atuh lebih mudah dilakukan. Untuk mendapatkan arsitektur akar mendekati asli dalam bentuk 2 dimensi, digunakan papan berpaku dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran polibag atau ukuran perakaran (Gambar 4.5). Jarak antar paku dibuat, misalnya 2 cm × 2 cm. Pada papan berpaku, ditancapkan lembaran plastik bening yang agak kaku dengan ukuran panjang sama dengan panjang papan dan lebar 2 kali lebar papan. Setengah lebar plastik ditancapkan pada papan berpaku dengan setengah yang lain tidak tertancap. Tanaman di dalam polibag dibongkar dengan merobek polibag. Tanah berisi akar yang sudah tidak terbungkus polibag diletakkan di atas papan berpaku, tanah disemprot dengan air sampai bersih. Karena adanya paku, posisi akar yang disemprot tertahan di antara paku-paku. Setelah bersih dari tanah, setengah lebar plastik yang belum tertancap, ditancapkan pada papan berpaku. Akar akan terkunci di antara lubang plastik kaku bekas

paku. Akar utuh dengan posisi dua dimensi asli ini dapat digunakan untuk pengamatan dimensi fraktal atau porositas optik.



Sumber: Didik Indradewa (2020)

Gambar 4.5 Papan Berpaku

Pengambilan sebagian akar, baik tanaman tahunan atau semusim di lapangan dapat dilakukan dengan pengeboran secara manual menggunakan bor akar atau bor tanah berukuran kecil [Gambar 4.4(a), (b), dan (c)] sehingga hanya dapat mengambil sebagian akar di tempat yang dibor. Pada tanaman semusim, pengeboran dapat dilakukan dekat maupun jauh dari batang. Untuk menghindari bias hasil pengamatan, posisi pengambilan sampel juga perlu sama arah maupun jarak dari batang.

Bor tanah biasanya berukuran garis tengah bagian dalam sekitar 2–3 cm. Pada tanaman semusim, tanah beserta akar dibor dekat batang tanaman pada sisi yang seragam untuk semua sampel. Pada tanaman tahunan, pengeboran dilakukan pada posisi yang sesuai, ditekan ke dalam tanah sampai jeluk 20 cm atau lebih. Saat bor ditarik ke luar tanah, sampel tanah berisi akar akan tertinggal di dalamnya. Sampel tanah dengan akar di dalamnya ini dimasukkan ke dalam keranjang berlubang-lubang, disemprot dengan air untuk menghilangkan akarnya. Pada tanah bertekstur pasir, pemisahan ini relatif mudah, namun pada sampel tanah bertekstur lempungan, relatif lebih sulit. Perendaman sampel tanah di dalam larutan deterjen encer atau air yang diberi garam akan mendispersi partikel tanah sehingga memudahkan

pemisahan. Akar, kemudian diamati menurut kebutuhan. Hasil pengamatan akar dengan mengambil sampel sebagian ini dinyatakan dalam bentuk kerapatan atau densitas akar.

Akar yang diamati dapat berasal dari sampel akar yang diambil dengan bor sehingga hanya merupakan sebagian akar, dapat pula dari akar utuh dari tanaman yang berada di dalam polibag. Akar dipotong sepanjang 2–4 cm, dimasukkan ke dalam kantong plastik bening berukuran 15 cm × 20 cm. Kantong diisi air secukupnya, kemudian akar disebar dengan cara menggojog. Air dikeluarkan perlahan-lahan dengan cara memotong dua ujung kantong yang tertutup. Agar akar tersebar lebih merata di dalam kantong, dapat dibantu penyebarannya dengan tangan. Air diataskan sampai tidak ada lagi yang menetes.

2. Pengamatan Sifat Perakaran

Pengamatan yang biasa dilakukan para peneliti agronomi terhadap akar adalah panjang akar terpanjang dan bobot kering akar. Pada tanaman di dalam polibag, panjang akar terpanjang diukur dari leher akar sampai ujung akar. Panjang akar terpanjang ini sebenarnya tidak menggambarkan peran akar. Terdapat kemungkinan, panjang akar terpanjang tidak terpengaruh oleh perlakuan yang sedang diamati pengaruhnya, tetapi lebih dipengaruhi oleh kedalaman media atau tinggi polibag. Bobot kering akar dalam keadaan tertentu juga sering memberikan gambaran yang bias. Suatu perlakuan mungkin membuat akar tanaman mempunyai diameter lebih besar dengan bobot yang lebih berat, tetapi peningkatannya tidak sebanding peningkatan kemampuannya menyerap air dan hara yang lebih dipengaruhi oleh luas permukaan akar.

Pengamatan akar pada umumnya menggunakan area meter yang dapat mengukur panjang dan proyeksi luas permukaan akar. Dari variabel tersebut, dapat dihitung luas permukaan, diameter, dan volume akar. Pengamatan yang dapat dilakukan dengan alat yang sederhana adalah panjang akar total dan volume akar. Dari panjang dan volume akar tersebut, dapat dihitung diameter dan luas permukaan

akar. Pengamatan akar lain yang sering dilakukan adalah bobot kering akar. Pengembangan pengamatan akar untuk memperoleh data yang lebih mendalam dapat dilakukan pada beberapa variabel, misalnya dimensi fraktal, porositas optik, gaya cabut, dan sudut akar. Beberapa variabel, misalnya, panjang, luas permukaan, diameter, dan volume akar dapat diperinci per kedalaman tanah dalam bentuk distribusi akar atau nisbah perakaran dalam. Gabungan dua atau lebih variabel menghasilkan variabel akar lain, misalnya bobot volume, nisbah akar tajuk dan permeabilitas akar.

a. Panjang

Variabel pengamatan akar yang lebih mendekati perannya sebagai alat penyerap air dan hara adalah panjang akar total. Panjang akar total adalah panjang seluruh akar jika disambungkan. Sebenarnya, istilah panjang akar total dapat disebut panjang akar (saja) seperti halnya waktu menyebut bobot kering, volume, dan sebagainya, tidak disertai dengan kata *total*. Kata *total* kadang ditambahkan untuk menghindari kerancuan dengan istilah panjang akar yang selama ini digunakan para peneliti, yang mengacu pada panjang akar terpanjang, diukur dari pangkal batang sampai ujung akar. Panjang akar tanaman semusim yang selama ini disampaikan dalam berbagai artikel adalah sekitar 30 cm sehingga hasil pengamatan panjang akar kedelai dalam polibag menggunakan area meter mencapai lebih dari 80 m (Tabel 4.2) menjadi tidak umum.

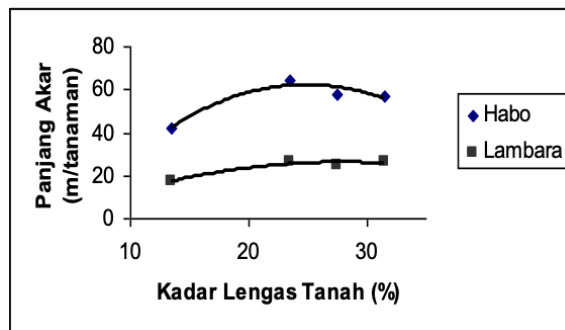
Tabel 4.2 Sifat Perakaran Tanaman Kedelai 13 MST yang Mendapat Simulasi Genangan dalam Parit (GP)

Sifat Perakatan (/Tanaman)	Kontrol	GP
Panjang (m)	10,64 b	87,50 a
Garis tengah (mm)	1,24 a	0,86 a
Luas permukaan (dm ²)	4,18 b	21,16 a
Volume (cm ³)	12,84 b	50,80 a

Keterangan: angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda menurut DMRT tingkat kesalahan 5%.

Sumber: Indradewa (2002)

Hasil pengamatan yang dilakukan Boy (2020) pada tanaman padi Gogo di dalam polibag menggunakan area meter seperti pada Gambar 4.6. Akar kultivar Habo yang tahan kering lebih panjang dibandingkan akar kultivar Lambara yang tidak tahan kering. Pada kultivar Habo, penurunan kadar lengas menyebabkan perubahan panjang akar mengikuti persamaan $y = -16,329x^2 + 796,22x - 3452,9$ dengan $R^2 = 0,9364^{**}$. Penurunan kadar lengas tanah dari 31,54% menjadi 27,85% menyebabkan peningkatan panjang akar. Akar paling panjang pada kultivar Habo mencapai 62,53 m yang mendapat lengas sekitar 23,55% atau 70,64% kapasitas lapang. Penurunan kadar lengas menyebabkan penurunan panjang akar kultivar Lambara yang tidak tahan kering mengikuti persamaan $y = -5,1066x^2 + 272,1x - 1013,1$ dengan $R^2 = 0,9879^{**}$.



Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.6 Panjang Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulewesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

Cara mengukur panjang akar total secara manual dapat dilakukan menggunakan metode perpotongan garis (*line intersection*) yang dikembangkan Newman (1966) dan Tenant (1975) yang terdapat di dalam Yoshida (1981). Dibuat alat penghitung dari plastik bening yang relatif kaku, seperti plastik transparansi atau plastik mika. Dibuat gambar kotak besar di atas plastik tersebut berukuran 14 cm × 14 cm dengan menggunakan spidol permanen. Kotak besar tersebut dibagi-bagi menjadi

kotak-kotak kecil dengan jarak 14/11 cm antar garis, atau kotak besar dibagi menjadi 11 kotak kecil. Plastik transparansi tersebut diletakkan di atas plastik sampel berisi akar. Dihitung jumlah perpotongan antara akar dengan garis-garis dalam kotak. Agar tidak ada yang terlewat, penghitungan dilakukan secara berurutan, misalnya dari kiri ke kanan mulai dari kotak yang paling atas. Satu potongan akar belum tentu memotong suatu garis, namun dapat pula terjadi satu potongan akar memotong lebih dari satu garis, semuanya tetap dihitung. Semakin panjang akar, semakin banyak potongan akar atau semakin besar kemungkinan perpotongan antara akar dan garis-garis. Menurut Yoshida (1981), panjang akar total dihitung dengan rumus sebagai berikut:

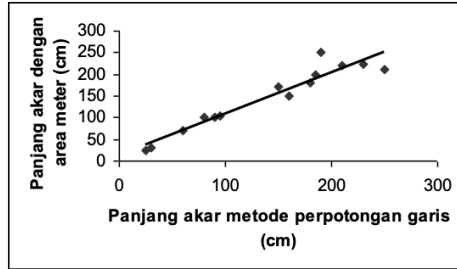
$$R = \frac{3,14 \times N \times 14 \times 14}{2 (14 \times 11 + 14 \times 11)} \text{ cm}$$

Keterangan:

R = panjang akar total

N = jumlah perpotongan akar dengan garis dalam kotak-kotak

Hasil pengukuran panjang akar menggunakan area meter sebagai standar dibandingkan dengan cara perpotongan garis yang dilakukan Indradewa (2002) tercantum pada Gambar 4.7. Terdapat hubungan linier $y = 0,9783x + 18,01$ dengan $R^2 = 0,8956$ sehingga pengukuran akar dengan menggunakan metode perpotongan garis dapat menggantikan pengukuran akar menggunakan area meter. Terdapat sedikit perbedaan antara panjang akar yang diukur dengan metode perpotongan garis dengan yang diukur menggunakan area meter. Bila dengan metode perpotongan garis terukur, misalnya akar sepanjang 50 m, dari persamaan dapat dihitung bahwa panjang akar dengan area meter adalah 66,93 m. Jika untuk perbandingan antar perlakuan, pengukuran akar dengan metode perpotongan garis akan memberikan hasil perbandingan yang sama dengan menggunakan area meter, namun untuk mendapatkan berapa panjang akar yang sebenarnya, masih perlu dilakukan konversi.



Sumber: Indradewa (2002)

Gambar 4.7 Hubungan Panjang Akar yang Diukur Menggunakan Metode Perpotongan Garis dengan Menggunakan Area Meter

b. Volume

Pengamatan volume akar dapat dilakukan secara sederhana dengan menggunakan gelas ukur yang sesuai. Gelas ukur diisi dengan air sampai batas tertentu. Akar dimasukkan ke dalam gelas ukur, kemudian dibaca berapa kenaikan volume air yang terjadi. Kenaikan volume air adalah volume akar. Terdapat gelas ukur dengan bermacam ukuran. Semakin besar ukuran gelas ukur yang dipakai, akan semakin mudah memasukkan sampel akar, namun hasil pengukuran mempunyai tingkat akurasi yang semakin menurun dan sebaliknya. Volume akar juga dapat dihitung dari hasil pengukuran area meter. Volume akar dapat dihitung dari hasil pengamatan panjang dan diameter akar.

$$\text{Volume akar} = \text{luas dasar} \times \text{tinggi} \\ \pi r^2 \times \text{panjang akar}$$

c. Luas Permukaan

Variabel pengamatan akar yang lebih baik dibandingkan dengan panjang akar dan secara teoretis mendekati perannya sebagai alat penyerap air dan hara adalah luas permukaan akar. Pengamatan luas permukaan akar dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan hasil pengamatan volume dan panjang akar total. Dibuat asumsi bahwa potongan akar berbentuk silinder. Dari hasil

pengukuran volume akar dan panjang akar total, luas permukaan akar dapat dihitung

$$\text{Volume} = \text{luas dasar} \times \text{panjang}$$

$$\text{Volume} = \pi r^2 \times \text{panjang}$$

$$\text{Volume akar} = 3,14 \times \text{jari-jari akar}^2 \times \text{panjang akar total}$$

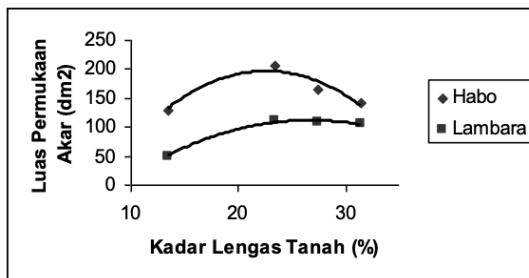
$$\text{Jari-jari akar} = \sqrt{\frac{\text{Volume akar}}{3,14 \times \text{Panjang akar total}}}$$

$$\text{Luas permukaan akar} = \text{keliling lingkaran} \times \text{panjang akar total}$$

$$= 2 \pi r \times \text{panjang akar total}$$

$$= 2 \times 3,14 \times \text{jari-jari akar} \times \text{panjang akar total}$$

Luas permukaan akar padi Gogo yang diamati menggunakan area meter seperti tercantum pada Gambar 4.8. Kultivar Habo yang tahan kering mempunyai permukaan akar yang lebih luas dibandingkan kultivar Lambara yang tidak tahan kering. Penurunan kadar lengas tanah dari 31,54% menjadi 27,85% menyebabkan peningkatan luas permukaan akar mengikuti persamaan $y = -81,114x^2 + 3677,4x - 21636$ dengan $R^2 = 0,9399^{**}$. Permukaan akar terluas terjadi pada kadar lengas tanah 22,67% atau 68,00% kapasitas lapang dengan luas akar maksimum 200,44 dm²/tanaman. Penurunan kadar lengas tanah pada kultivar Lambara yang tidak tahan kering cenderung menurunkan luas permukaan akar mengikuti persamaan $y = -37,635x^2 + 1963,9x - 14423$, dengan $R^2 = 0,9877^{**}$.

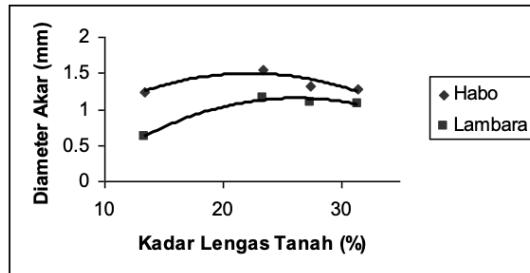


Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.8 Luas Permukaan Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

d. Diameter

Garis tengah atau diameter akar memberikan gambaran ukuran besar kecilnya akar, kaitannya dengan kemampuannya menembus pori-pori tanah. Pengamatan menggunakan area meter menunjukkan kultivar Habo yang tahan kering mempunyai diameter akar yang lebih besar dibandingkan kultivar Lambara yang tidak tahan kering (Gambar 4.9). Penurunan kadar lengas tanah memberikan pengaruh yang sejalan dengan luas permukaan akar. Perubahan diameter akar akibat penurunan kadar lengas tanah pada kultivar Habo mengikuti persamaan $y = -0,0032x^2 + 0,1432x - 0,1083$, dengan $R^2 = 0,8125^{**}$, sedangkan pada kultivar Lambara mengikuti persamaan $y = -0,0033x^2 + 0,1714x - 1,077$, dengan $R^2 = 0,9741^{**}$. Diameter akar terbesar pada kultivar Habo adalah 1,49 mm terjadi pada kadar lengas optimum 22,375%, sedangkan kultivar Lambara sebesar 1,15 mm pada kadar lengas 25,47%.



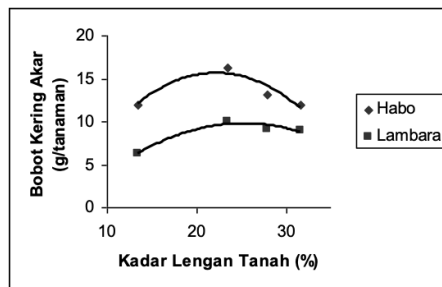
Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.9 Diameter Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulewesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

Diameter akar dapat diamati secara langsung pada sampel akar dengan menggunakan jangka sorong. Diameter akar juga dapat dihitung secara manual dari hasil pengamatan panjang akar dan volume akar yang menghasilkan nilai jari-jari akar. Garis tengah akar adalah dua kali nilai jari-jari akar.

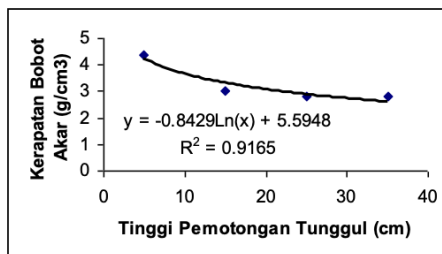
e. Bobot Kering

Bobot kering akar seperti bagian tanaman lain diperoleh setelah dikeringkan dengan oven pada suhu 65–85°C sampai bobot tetap, pada umumnya setelah 48 jam. Hasil pengamatan yang dilakukan Boy (2020) pada Gambar 4.10 mempunyai pola yang mirip dengan panjang akar maupun luas permukaan akar. Penurunan kadar lengas tanah menyebabkan bobot kering akar kultivar Habo berubah menurut persamaan $y = -0,0483x^2 + 2,168x - 8,5975$, dengan $R^2 = 0,9007^{**}$ mula-mula meningkat, kemudian menurun, sedangkan pada kultivar Lambara mengikuti persamaan $y = -0,0254x^2 + 1,2921x - 6,6333$, dengan $R^2 = 0,9453^{**}$ langsung menurun. Bobot kering akar terberat pada kultivar Habo adalah 15,93 g/tanaman, sedangkan pada kultivar Lambara 9,80 g/tanaman.



Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.10 Bobot Kering Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah



Sumber: Pratama et al. (2018 data diolah)

Gambar 4.11 Rerata Kerapatan Bobot Kering Akar Tanaman Padi Ratun dengan Berbagai Tinggi Pemotongan Tunggul

Kerapatan bobot kering akar padi Ratun yang diambil dari lapangan menggunakan bor tanah dicantumkan pada Gambar 4.11 (Pratama et al., 2018). Akar diambil dari kedalaman 0–5 cm dengan menggunakan bor tanah berdiameter 2,73 cm. Akar dari tanah dalam bor mempunyai volume $\pi r^2 \times \text{tinggi} = 3,14 \times 2,73^2 \times 5 = 117,01 \text{ cm}^3$. Bobot kering diperoleh setelah dioven pada suhu 65–85°C selama 48 jam. Kerapatan bobot kering adalah bobot kering akar dalam g/cm^3 .

Kerapatan bobot kering akar padi Ratun menurun dengan semakin tingginya pemotongan tunggul. Kerapatan bobot kering akar tertinggi sebesar $4,37 \text{ g/cm}^3$ diperoleh bila tunggul padi Ratun dipotong pada ketinggian 5 cm di atas permukaan tanah. Kerapatan bobot kering terendah sebesar $2,80\text{--}2,83 \text{ g/cm}^3$ diperoleh jika tunggul dipotong setinggi 25–35 cm di atas permukaan tanah. Di samping dalam satuan bobot akar/volume tanah, kerapatan akar juga dapat dinyatakan dalam satuan panjang/volume, luas permukaan/volume, dan volume/volume.

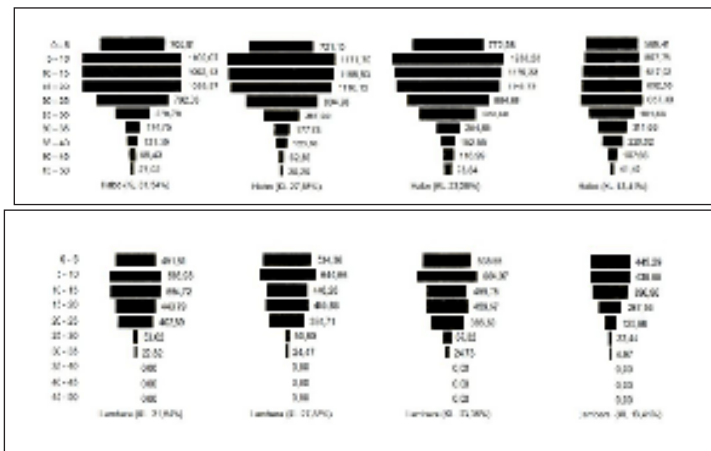
f. Bobot Volume

Sebenarnya, pengukuran volume akar maupun bobot kering akar cukup sering dilakukan para peneliti, namun variabel tersebut pada umumnya ditampilkan berdiri sendiri. Gabungan variabel volume akar dengan bobot kering akar menghasilkan variabel lain, yaitu bobot volume akar. Bobot volume akar dapat memberikan informasi keberadaan aerenkhim di dalam akar. Sel kortek akar tanaman yang tergenang mengalami lisis membentuk aerenkhim. Jaringan aerenkhim dari akar sampai ke tajuk tanaman dapat membantu akar yang tergenang mendapatkan oksigen langsung dari udara. Terjadinya lisis dinding sel menyebabkan volume sel tetap, tetapi bobotnya menurun sehingga akar mempunyai bobot volume yang lebih kecil.

$$BV \text{ akar} = \frac{BK \text{ akar}}{\text{Volume akar}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

g. Distribusi Akar

Informasi perakaran akan menjadi lebih rinci apabila dapat memberikan gambaran distribusinya di dalam tanah secara vertikal, maupun horisontal. Gambaran distribusi vertikal pada sampel akar utuh didapat dengan memotong sampel tanah yang berisi akar, menurut jeluk atau kedalamannya. Tanah tempat tumbuh akar yang utama pada umumnya sampai jeluk 30 cm. Tanah sampel berisi akar dipotong setiap jeluk 5 cm. Pada sampel tanah dengan jeluk 30 cm, akan diperoleh enam potongan tanah berisi akar dan pada sampel dengan jeluk lebih dalam, akan diperoleh potongan lebih banyak juga. Distribusi akar dapat digunakan untuk beberapa variabel pengamatan dapat berupa bobot kering, panjang, luas permukaan, volume, atau diameter. Distribusi panjang akar tanaman padi Gogo tercantum pada Gambar 4.12.



Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.12 Distribusi Panjang Akar pada Tanaman Padi Gogo

Akar kultivar Habo tergambar di bagian atas, sedangkan kultivar Lambara di bagian bawah. Gambar di sebelah kiri adalah akar tanaman tumbuh pada kadar lengas 31,54%, sedangkan yang paling kanan pada kadar lengas 13,41 %. Akar kultivar Habo yang

tahan kering lebih panjang dan terdistribusi sampai jeluk 50 cm, dibandingkan akar kultivar Lambara yang tidak tahan kering lebih pendek dan hanya terdistribusi sampai jeluk 35 cm. Kadar lengas yang lebih rendah menyebabkan penurunan panjang akar, mengubah model distribusi akar, namun tidak mengubah jeluk maksimum yang dapat dicapai akar.

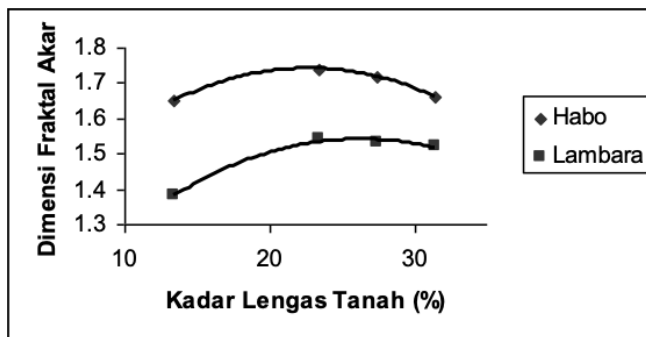
h. Dimensi Fraktal

Dimensi fraktal akar merupakan nilai yang menggambarkan kerapatan akar. Nilai dimensi fraktal akar bervariasi dari 1 apabila akar berupa satu garis lurus dan maksimal 2 bila akar memenuhi seluruh bidang dua dimensi tanpa celah. Pada umumnya, akar tidak pernah mencapai kedua nilai ekstrem tersebut. Analisis fraktal dapat dilakukan dengan metode *box counting*. Hal ini didasarkan pada bentuk benda yang rumit dan memandang objek secara keseluruhan.

Sistem akar disampel dengan metode *needle - pin board* (papan berpaku) seperti yang diuraikan dalam pengambilan sampel akar. Seluruh sistem akar dipisahkan dari bagian tajuk, kemudian diletakkan di atas papan berpaku yang telah diberi alas plastik bening yang agak kaku dan dibersihkan dari tanah dengan cara mencuci secara hati-hati. Setelah dicuci bersih, akar dijepit di dalam plastik agar tidak bergerak. Akar yang terjepit di dalam plastik diletakkan di bawah *frame* plastik berukuran $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ yang dibuat kotak-kotak bujur sangkar dengan ukuran berbeda-beda. Disiapkan 10 *frame* dengan ukuran kotak (r): 1; 2; 2,5; 4; 5; 10; 12,5; 20; 25; dan 50 cm. Sampel akar disemprot dengan pewarna 0,25% larutan *Brilliant Coumarin* Biru untuk mendapatkan kontras yang jelas (Tatsumi et al., 1989). Pada masing-masing *frame*, dihitung jumlah kotak yang dipotong oleh akar sebagai $N(r)$ untuk setiap ukuran r . Dihitung nilai $\log N(r)$ dan $\log r$ untuk masing-masing *frame* (r). Dibuat persamaan regresi dengan $\log N(r)$ sebagai sumbu Y dan $\log r$ sebagai sumbu X. Menurut Mandelbrot (1983) dalam Eghball (1993), jika plotting $\log N(r)$ vs. $\log r$ berupa garis lurus maka dianggap bahwa sistem

perakaran tersebut bersifat fraktal. Didapat persamaan linier $\log N(r) = -D \log r + \log K$. Nilai D yang merupakan *slope* (kemiringan negatif) adalah dimensi fraktal, sedangkan K (intersep) adalah konstan. Jika garis lurus tidak terbentuk maka sistem perakaran tidak fraktal.

Pengamatan dimensi fraktal akar pada tanaman padi dilakukan oleh Boy (2020) saat tanaman umur 12 minggu (Gambar 4.13). Kultivar Habo yang tahan kering mempunyai nilai dimensi fraktal lebih tinggi dibandingkan nilai dimensi fraktal kultivar Lambara yang tidak tahan kering. Penurunan kadar lengas tanah dari 31,54% menjadi 27,85% menyebabkan peningkatan dimensi fraktal akar mengikuti persamaan $y = -0,0008x^2 + 0,0373x + 1,296$, dengan $R^2 = 0,9793^{**}$. Kadar lengas tanah optimum dimensi fraktal kultivar Habo adalah 23,12% dengan nilai dimensi fraktal akar maksimum 1,73. Penurunan kadar lengas tanah pada kultivar Lambara yang tidak tahan kering cenderung menurunkan dimensi fraktal akar mengikuti persamaan $y = -0,0012x^2 + 0,0603x + 0,7854$, dengan $R^2 = 0,9978^{**}$. Pada kondisi lengas minimum 13,41%, kultivar Lambara mempunyai dimensi fraktal kurang dari 1,4.



Sumber: Boy (2020).

Gambar 4.13 Nilai Dimensi Fraktal Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

i. Porositas Optik

Porositas optik merupakan istilah yang biasa dipakai dalam pembuatan penahan angin. Dalam pembuatan penahan angin, porositas optik secara dua dimensi menggambarkan nisbah (*ratio*) celah penahan angin dengan luas totalnya. Dapat juga dinyatakan bahwa porositas optik adalah nisbah langit yang terlihat secara vertikal dengan luas penahan angin total. Melihat batasan tersebut, porositas optik sebenarnya sama dengan penerusan cahaya kebalikan dari sekapan cahaya secara vertikal oleh suatu tajuk.

Kerapatan perakaran biasa dinyatakan dengan demensi fraktal. Pengukuran demensi fraktal secara manual memerlukan banyak tenaga dan waktu. Untuk meringkankan pekerjaan, dicari cara pengamatan yang memerlukan tenaga lebih sedikit dan waktu lebih pendek, tetapi tetap dapat menggambarkan kerapatan suatu perakaran, yaitu dengan menggunakan variabel pengamatan porositas optik.

Untuk menggambarkan kerapatan perakaran dengan porositas optik, perakaran yang sudah dibersihkan dari tanah dan difiksasi di dalam plastik transparan dengan sistem papan berpaku, diukur kemampuannya meneruskan cahaya. Pengukuran dapat dilakukan secara vertikal seperti cara pengukuran sekapan cahaya pada tajuk, yaitu mengukur cahaya di atas dan di bawah plastik yang berisi akar. Akar yang rapat akan menyekap cahaya lebih banyak. Sebaliknya, meneruskan cahaya lebih sedikit atau mempunyai porositas optik yang kecil. Perlu dilakukan pengamatan porositas optik akar dan akan lebih baik jika dicari korelasinya dengan dimensi fraktal akar sehingga kerapatan akar dapat diamati lebih cepat dan tidak menguras tenaga.

j. Gaya Cabut

Gaya cabut adalah gaya tarik yang diperlukan agar akar tanaman dapat tercabut dari dalam tanah dinyatakan dalam gram atau kilogram. Alat yang digunakan untuk mengukur gaya cabut akar tanaman cukup sederhana, yaitu timbangan gantung.

Timbangan gantung biasa (manual) digunakan untuk mengukur bobot suatu barang dengan menggantungnya pada timbangan tersebut [Gambar 4.14(b)]. Bobot suatu barang akan diketahui dengan melihat penunjuk saat barang digantung pada timbangan. Pengamatan menjadi lebih mudah jika timbangan tersebut dimodifikasi dengan memasang tambahan alat yang dapat menunjukkan bobot suatu barang. Tambahan alat tersebut berupa ring logam yang dipasang pada batang logam yang dapat bergerak cukup bebas di depan penunjuk bobot. Saat barang digantung, penunjuk akan bergerak ke bawah dengan mendorong ring. Saat barang dilepas, penunjuk kembali ke posisi awal pada angka nol, tetapi ring logam tertinggal pada posisi terakhir berapa g atau kg bobot barang yang digantung.

Tanaman yang akan diukur gaya cabut akarnya ditalikan pada bagian bawah timbangan yang biasa digunakan untuk menggantung bahan yang ditimbang. Bagian atas timbangan yang biasa untuk menggantung timbangan ditarik sampai akar terbongkar dari dalam tanah. Saat timbangan ditarik, penunjuk tertarik ke bawah sesuai beban sambil mendorong ring. Saat akar sudah terbongkar, penunjuk akan kembali ke posisi nol, sedangkan ring akan tertinggal pada skala terberat saat digunakan untuk mencabut akar. Gaya cabut akar terbaca dari ring yang tertinggal di depan skala bobot. Semakin banyak akar tanaman, semakin besar gaya cabut akar.

Gaya cabut akar diukur oleh Boy (2020) dengan menggunakan timbangan gantung digital *LCD Display Passport* max 50 kg yang banyak tersedia di berbagai toko [Gambar 4.14(a)]. Batang padi Gogo yang berdekatan dengan leher akar diikat menggunakan tali rafia, ujung tali diikatkan pada timbangan yang digunakan, kemudian ditarik secara perlahan sampai akar tercabut. Nilai gaya cabut akar akan tercatat pada monitor timbangan sebagai bobot dengan satuan kilogram.



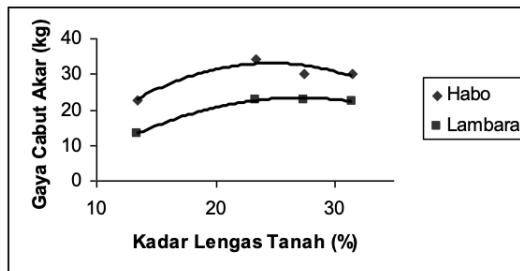
(a)

(b)

Keterangan: (a) digital dan (b) manual

Sumber: Didik Indradewa (2020)

Gambar 4.14 Timbangan untuk Pengukuran Gaya Cabut Akar



Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.15 Gaya Cabut Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

Gaya cabut kultivar Habo yang tahan kering lebih tinggi dibandingkan kultivar Lambara yang tidak tahan kering (Gambar 4.15). Penurunan kadar lengas tanah di bawah kapasitas lapang cenderung menurunkan gaya cabut kedua kultivar tersebut.

Perubahan gaya cabut kultivar Habo mengikuti persamaan $y = -0,0874x^2 + 4,2983x - 19,304$, $R^2 = 0,915^{**}$, sedangkan kultivar Lambara mengikuti persamaan $y = -0,0519x^2 + 2,8536x - 16,078$, $R^2 = 0,9937^{**}$. Gaya cabut maksimum pada kultivar Habo 33,54 kg, sedangkan kultivar Lambara 23,15 kg.

k. Nisbah Akar-Tajuk

Nisbah akar tajuk adalah perbandingan bobot kering akar dibandingkan dengan bobot kering tajuk, menggambarkan alokasi biomassa ke bagian akar dan tajuk tanaman. Termasuk tajuk adalah semua bagian tanaman yang berada di atas tanah, berupa daun, batang, dan buah atau biji. Saat tanaman mengalami cekaman, terjadi penurunan berbagai proses fisiologis, tetapi dengan laju yang tidak sama. Fotosintesis mengalami penurunan lebih kecil dibandingkan turgor sel yang berpengaruh terhadap pengembangan dan pembelahan sel. Fotosintat yang dihasilkan daun harus disalurkan ke organ yang mempunyai turgor cukup tinggi sehingga masih bisa mengembang dan membelah. Organ tanaman yang mempunyai turgor lebih tinggi dibandingkan tajuk adalah akar, yang berada di dalam tanah lebih dekat dengan air. Lebih banyak fotosintat dialirkan ke akar sehingga nisbah akar tajuk meningkat.

Tabel 4.3 Nisbah Akar Tajuk Tanaman Padi pada Beberapa Tingkat Salinitas pada Fase Vegetatif Awal (3 MST), Vegetatif Maksimum (8 MST) dan saat Panen (14 MST)

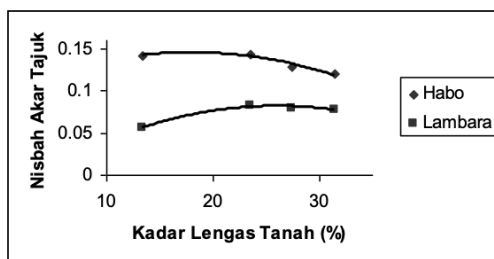
Salinitas (dS/m)	3 MST	8 MST	14 MST
< 0,4	0,14 a	0,32 b	0,08 b
4,0	0,13 a	0,49 a	0,11 a
8,0	0,16 a	0,41 ab	0,11 a

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada Duncan's Multiple Range Test taraf kesalahan 5%.

Sumber: Ikhsanti et al. (2018)

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa pada awal pertumbuhan nisbah akar tajuk berada di sekitar 0,15 dan cekaman belum mengubah nisbah akar tajuk. Bertambahnya umur tanaman padi menyebabkan terjadinya peningkatan nisbah akar tajuk. Nisbah akar tajuk mencapai maksimum pada saat pertumbuhan vegetatif maksimum, mencapai hampir 0,5, kemudian menurun sampai saat tanaman dipanen pada umur 14 minggu, saat tanaman telah membentuk dan mengisi gabah. Saat tanaman mencapai pertumbuhan vegetatif maksimum, tanaman yang tercekam salinitas mempunyai nisbah akar tajuk yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak tercekam. Kondisi tersebut terus berlangsung sampai saat panen (Ikhsanti et al., 2018).

Nisbah akar tajuk dua kultivar padi Gogo yang mengalami cekaman kekeringan tercantum pada Gambar 4.16. Nisbah akar tajuk kultivar Habo yang tahan kering lebih tinggi dibandingkan kultivar Lambara yang tidak tahan kering. Penurunan kadar lengas menyebabkan peningkatan nisbah akar tajuk. Pada kultivar Habo mengikuti persamaan $y = -0,0002x^2 + 0,0067x + 0,086$, $R^2 = 0,8977^{**}$, dengan nilai maksimum 0,14 pada kadar lengas 17,02%. Pada kultivar Lambara mengikuti persamaan $y = -0,0002x^2 + 0,0099x - 0,0449$, $R^2 = 0,9992^{**}$, dengan nilai maksimum 0,08 pada kadar lengas 24,75%.

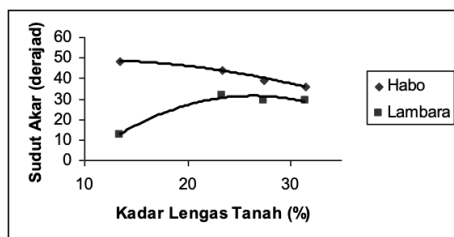


Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.16 Nisbah Akar Tajuk Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

1. Sudut Akar

Sudut akar memberikan gambaran arah tumbuh akar apakah ke arah samping atau ke arah bawah. Boy (2020) melakukan pengamatan sudut akar pada 12 MST menggunakan busur derajat. Akar dibongkar dari polibag secara utuh. Busur diletakkan pada leher akar dan akar paling atas diukur besar sudutnya ($^{\circ}$) dari bidang datar.



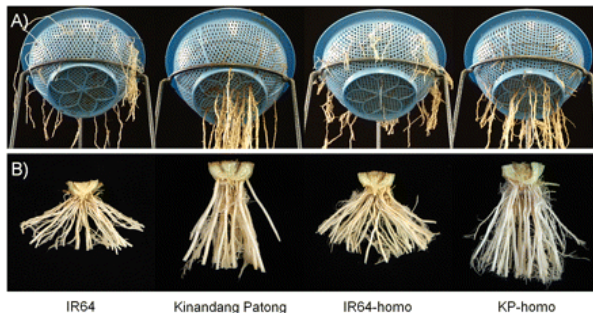
Sumber: Boy (2020)

Gambar 4.17 Sudut Akar Dua Kultivar Padi Gogo Lokal Sulawesi Tengah pada Berbagai Kadar Lengas Tanah

Kultivar Habo yang tahan kering mempunyai akar lebih tegak ke bawah dengan sudut akar yang lebih besar dibandingkan kultivar Lambara yang tidak tahan kering (Gambar 4.17). Perubahan kadar lengas tanah pada kultivar Habo mengikuti persamaan $y = -0,0283x^2 + 0,5818x + 45,777$ dengan $R^2 = 0,9499^{**}$. Penurunan kadar lengas tanah pada kultivar tahan kering ini menyebabkan akar tumbuh semakin tegak ke bawah dengan sudut dari bidang datar yang semakin besar, hampir mencapai 50° . Kadar lengas tanah yang menyebabkan sudut akar maksimum pada kultivar Habo adalah 10,28% mendekati titik layu permanen pada kadar lengas 8,14% dengan sudut akar maksimum $48,77^{\circ}$. Kultivar Lambara yang tidak tahan kering mempunyai akar yang tumbuh lebih mendatar. Penurunan kadar lengas tanah menyebabkan akar kultivar Lambara tumbuh lebih mendatar mengikuti persamaan $y = -0,1065x^2 + 5,7072x - 44,731$ dengan $R^2 = 0,9832^{**}$. Kadar lengas tanah optimum pada kultivar Lambara adalah 27,18% atau 81,5% kapasitas lapang dengan sudut akar maksimum $31,73^{\circ}$.

m. Nisbah Perakaran Dalam

Sistem akar yang dalam pada tanaman mempunyai peran yang besar dalam ketahanan kekeringan melalui peningkatan penyerapan air. Kedalaman perakaran merupakan kombinasi sifat sudut perakaran dan panjang akar. Kombinasi antara akar yang hampir vertikal dan akar yang panjang menghasilkan akar yang dalam. Meskipun perbedaan panjang akar antar varietas telah banyak diteliti, penelitian tentang variasi sudut akar masih sangat sedikit. Uga et al. (2011) menggunakan metode nisbah perakaran dalam untuk memperoleh sudut pertumbuhan akar menggunakan keranjang. Keranjang yang digunakan merupakan keranjang plastik dengan diameter atas 15 cm; diameter bawah 8,5 cm; lebar bawah; dan tinggi 6 cm mempunyai lubang dengan diameter 2 mm. Bagian bawah jala keranjang merupakan bagian yang diasumsikan mempunyai sudut 50° – 90° dari horisontal, merupakan bagian yang dapat ditembus oleh akar yang tegak (Gambar 4.18).



Sumber: Uga et al. (2011).

Gambar 4.18 Akar Tanaman Padi yang Tumbuh di Bagian Bawah dan Atas Keranjang

Sudut pertumbuhan padi dihitung terhadap horizontal dengan menghitung nisbah perakaran dalam (*ratio of deep rooting-RDR*) atau proporsi total akar yang memanjang melalui bagian bawah keranjang dibandingkan akar total. Metode tersebut merupakan cara yang mudah dan efisien untuk mengukur sudut

pertumbuhan akar, antara lain pada tanaman sereal. RDR didefinisikan sebagai jumlah akar yang menembus bagian bawah jala keranjang dibagi dengan jumlah total akar yang menembus seluruh jala (Uga et al., 2011).

$$RDR = \frac{\text{Jumlah akar di bagian bawah keranjang}}{\text{Jumlah seluruh akar yang menembus keranjang}}$$

Tabel 4.4 Korelasi Indeks Toleransi Cekaman dengan Nisbah Perakaran dalam pada Tanaman Padi

Nisbah Perakaran Dalam	Umur (MST)	Nilai <i>r</i>
Jumlah Akar	6	0,15
	9	0,05
	Panen	0,20
Bobot Segar	6	-0,13
	9	0,10
	Panen	0,22
Bobot Kering	6	-0,15
	9	0,11
	Panen	0,54*
Panjang	6	0,09
	9	0,07
	Panen	0,57*
Luas Permukaan	6	0,08
	9	0,12
	Panen	0,46*
Volume	6	0,05
	9	0,16
	Panen	0,35

Sumber: Abidin & Indradewa (2021)

Abidin dan Indradewa (2021) mencoba menyederhanakan teknik yang digunakan dengan mengganti teknik hidroponik yang biasa dilakukan dengan media tanah, namun tanaman juga

ditumbuhkan di dalam keranjang berlubang-lubang. Tanaman yang digunakan untuk percobaan adalah lima varietas padi Gogo ditambah dengan IR 64 yang juga dibudidayakan secara Gogo, dilakukan pada tanah regosol. Dicoba berbagai pengamatan nisbah perakaran dalam untuk mencari variabel pengamatan akar apa yang mudah dilakukan dan mempunyai korelasi yang tinggi dengan ketahanan kekeringan. Pengamatan nisbah perakaran dalam yang dilakukan adalah jumlah, bobot segar, bobot kering, panjang, luas permukaan, dan volume. Pengamatan dilakukan pada umur berbeda untuk memperoleh waktu yang lebih pendek, tetapi tetap cukup akurat. Untuk mengetahui ketahanan tanaman terhadap kekeringan, dihitung indeks toleransi cekaman (ITC).

Selanjutnya, dihitung koefisien korelasi r antara ITC dan berbagai variabel Nisbah Perakaran Dalam (Tabel 4.4). Hasil yang diperoleh belum seperti yang diharapkan. Di antara berbagai macam variabel nisbah perakaran dalam yang mempunyai koefisien korelasi yang nyata adalah nisbah bobot kering, nisbah panjang, dan nisbah luas permukaan perakaran dalam pada saat panen. Nisbah jumlah perakaran yang dipakai Uga et al. (2011) ternyata tidak mempunyai korelasi yang nyata dengan indeks toleransi cekaman. Yang menjadi masalah adalah umur tanaman. Jika harus dilakukan pada saat panen seperti hasil penelitian ini, nisbah perakaran dalam tidak dapat digunakan sebagai deteksi dini ketahanan kekeringan. Diperlukan penelitian lanjutan untuk memperoleh variabel yang dapat cepat diamati dan dapat dilakukan sejak dini pada lebih banyak varietas pada berbagai jenis tanaman.

n. Permeabilitas Akar

Permeabilitas akar untuk unsur hara atau air adalah kemampuan akar untuk dapat meloloskan hara atau air. Dari data luas permukaan akar, serapan N total tanaman dan umur tanaman saat pengambilan sampel dapat dihitung permeabilitas akar untuk N.

*Permeabilitas akar untuk N = jumlah N diserap :
rerata luas permukaan akar : umur tanaman*

Dengan asumsi luas permukaan akar awal adalah 0, rerata luas permukaan akar adalah luas permukaan akar saat pengambilan sampel dibagi dua. Perhitungan permeabilitas akar padi Gogo pada 12 MST untuk N tercantum pada Tabel 4.5 (Boy, 2020).

Tabel 4.5 Luas Permukaan Akar, Serapan N, dan Permeabilitas Akar untuk N Varietas Padi Gogo pada Berbagai Kadar Lengas Tanah pada 12 MST

Kultivar	Kadar Lengas (%)	Luas Permukaan Akar (dm ² /rumpun)	Serapan N (mg/rumpun)	Permeabilitas N Akar (mg/dm ² /minggu)
Habo	31,54	144	830	0,24
	27,85	168	890	0,22
	23,36	208	1000	0,20
	13,41	135	820	0,25
Rerata	24,04	163,75	885	0,23
Lambara	31,54	104	500	0,20
	27,85	108	520	0,12
	23,36	112	540	0,20
	13,41	50	320	0,26
Rerata	24,04	93,50	470	0,20

Sumber: Boy (2020 data diolah)

Kultivar tahan kering Habo mampu menyerap N dalam jumlah lebih besar dibandingkan kultivar rentan kekeringan Lambara. Bukan karena kultivar Habo mempunyai akar dengan permukaan yang lebih luas mencapai 163,75 dm²/rumpun pada 12 MST dibandingkan Lambara 93,50 dm²/rumpun, melainkan karena akarnya mempunyai permeabilitas untuk N yang lebih besar. Kultivar Habo mempunyai permeabilitas 0,23 mg/dm²/minggu, sedangkan kultivar Lambara 0,20 mg/dm²/minggu. Pada kultivar Habo, penurunan kadar lengas tanah

cenderung menurunkan permeabilitas akar untuk N, kecuali saat mendekati titik layu permanen pada kadar lengas 13,41 % terjadi peningkatan permeabilitas cukup besar. Agak berbeda yang terjadi pada kultivar Lambara. Pada kultivar rentan kekeringan ini, peningkatan permeabilitas untuk N mulai terjadi pada kadar lengas yang lebih tinggi, yaitu 23,36%.

Seperti permeabilitas akar untuk hara N, permeabilitas akar untuk hara yang lain dan air juga dapat dihitung, dengan menggunakan data serapan hara lain dan jumlah air yang diserap tanaman dan luas permukaan akar sampai umur tertentu.

$$\text{Permeabilitas akar untuk air} = \frac{\text{jumlah air diserap}}{\text{rerata luas permukaan akar} : \text{umur}}$$

Jumlah air yang diserap dapat dihitung

$$\text{Jumlah air yang diserap} = \text{air transpirasi (T)}$$

$$\text{Air transpirasi (T)} = \text{air evapotranspirasi (ET)} - \text{air evaporasi (E)}$$

$$\text{Air ET} = \text{air siraman pot dengan tanaman}$$

$$\text{Air E} = \text{air siraman pot tanpa tanaman}$$

o. Hubungan Serapan N dengan Laju Transpirasi

Aliran massa (*convective flow*) merupakan mekanisme serapan hara dalam bentuk ion terlarut yang berpindah bersama aliran air melewati akar tanaman ke daun yang dipengaruhi oleh laju transpirasi tanaman. Beberapa unsur hara seperti N (NO_3^{2+}) diserap oleh tanaman melalui mekanisme ini (Farrasati et al., 2021). Untuk mengetahui suatu hasil penelitian apakah sesuai dengan teori tersebut, data serapan N dan laju transpirasi penelitian Boy (2020) dibuat korelasi seperti dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Korelasi Serapan Hara N dan Laju Transpirasi Beberapa Kultivar Padi Gogo pada Beberapa Kandungan Lengas Tanah

Kultivar	Kadar Lengas (%)	Serapan N (g/rumpun)	Laju Transpirasi (mmolH ₂ O/m ² /det)
Habo	31,41	0,82	4,3
	27,41	1,00	6,3
	21,41	0,89	5,0
	13,41	0,83	4,5
Sunggul	31,41	0,60	3,8
	27,41	0,72	5,3
	21,41	0,64	4,2
	13,41	0,64	4,0
Hiwanggu	31,41	0,41	2,2
	27,41	0,63	3,3
	21,41	0,60	3,2
	13,41	0,58	3,2
Lambara	31,41	0,32	2,0
	27,41	0,54	3,0
	21,41	0,52	2,9
	13,41	0,50	2,9

Keterangan: $r = 0,93^{**}$

Sumber: Boy (2020 data diolah)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang sangat kuat ($r = 0,93^{**}$) antara serapan hara N dan laju transpirasi pada tanaman padi Gogo. Hasil perhitungan tersebut membuktikan bahwa hasil penelitian sesuai dengan teori bahwa hara N diserap akar tanaman bersama aliran massa dalam bentuk laju transpirasi.

p. Hubungan Sifat Perakaran

Purbowahyuni et al. (2019) mengukur sifat akar kedelai yang tercekam kekeringan. Tabel 4.7 menunjukkan bahwa sifat perakaran kedelai yang tercekam kekeringan, sedangkan Tabel 4.8

menunjukkan sifat perakaran beberapa varietas. Tabel 4.7 secara konsisten menunjukkan bahwa tanaman kedelai yang mengalami cekaman kekeringan menurun perakarannya, baik pada jumlah, bobot kering, panjang, luas permukaan maupun diameternya. Perbandingan antar varietas menunjukkan kecenderungan yang berbeda.

Tabel 4.7 Sifat Akar Kedelai yang Mengalami Kekeringan

Sifat Akar	Cukup Air	Kekeringan
Jumlah	198,79 p	64,70 q
Bobot Kering (g)	6,10 p	2,93 q
Panjang (m)	62,57 p	32,55 q
Luas Permukaan (dm ²)	6,70 p	2,85 q
Diameter (mm)	4,96 p	3,03 q

Keterangan: angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji HSD kesalahan 5%.

Sumber: Purbowahyuani et al., (2019)

Sementara itu, Tabel 4.8 menunjukkan bahwa jumlah akar paling banyak dimiliki oleh varietas Dering 1 yang mempunyai jumlah akar mencapai 151,50. Akar terberat 5,43 g dengan permukaan terluas 6,13 dm² dimiliki oleh varietas Demas 1, sedangkan akar terpanjang mencapai 55,61 m dimiliki oleh varietas Burangrang. Tidak ada perbedaan diameter akar di antara varietas yang diteliti. Dari Tabel 4.8 didapat gambaran bahwa sifat akar yang mempunyai nilai tertinggi dimiliki oleh kultivar yang tidak sama.

Tabel 4.8 Sifat Akar Beberapa Kultivar Kedelai saat Panen

Sifat Akar	Kultivar				
	Anjasmoro	Burangrang	Demas 1	Dering 1	Devon 1
Jumlah	110,75 b	118,83 ab	136,33 ab	151,50 a	135,25 ab

Sifat Akar	Kultivar				
	Anjasmoro	Burangrang	Demas 1	Dering 1	Devon 1
Bobot Kering (g)	4,10 ab	4,33 ab	5,43 a	3,97 b	4,75 ab
Panjang Akar (m)	48,99 ab	55,61 a	47,03 ab	37,77 b	48,19 ab
Luas Permukaan (dm ²)	2,14 b	3,02 ab	6,13 a	2,55 b	5,60 ab
Diameter (mm)	2,74 a	2,68 a	4,09 a	7,09 a	3,38 a

Keterangan: angka dalam baris diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji HSD kesalahan 5%.

Sumber: Purbowahyuani et al., (2019)

Bab V

Analisis Pertumbuhan

Pengaruh perlakuan terhadap hasil suatu tanaman melalui tahapan pengaruh perlakuan terhadap proses fisiologis, pengaruh proses fisiologis terhadap pertumbuhan, dan pengaruh pertumbuhan terhadap hasil tanaman. Proses fisiologis perlu diamati untuk menjelaskan bagaimana akibat suatu perlakuan atau lingkungan terhadap hasil tanaman. Variabel fisiologis jarang diamati karena diperkirakan memerlukan peralatan canggih yang mahal. Tanpa alat yang canggih, proses fisiologis tanaman dapat dipelajari dengan suatu metode yang disebut dengan analisis pertumbuhan (Gardner et al., 1980).

Pertumbuhan adalah pertambahan ukuran tanaman tidak balik disertai dengan pertambahan biomassa hasil asimilasi. Ilmuwan tanaman perlu mengeksplorasi pertumbuhan dan hasil tanaman secara kuantitatif. Sumber variasi dalam produktivitas, kemudian dapat dibagi menjadi proses yang bertanggung jawab untuk mengubah sumber daya eksternal menjadi biomassa di dalam sumber dan proses yang bertanggung jawab untuk membagi biomassa ke dalam lubuk ekonomis.

Analisis pertumbuhan adalah persamaan perubahan ukuran tanaman dari waktu ke waktu yang dinyatakan dalam berbagai komponen variabel, merupakan variabel yang berkaitan dengan suatu proses fisiologis yang sangat bermanfaat untuk dapat menjelaskan akibat suatu perlakuan. Berikut akan dibahas berbagai hal mengenai

analisis pertumbuhan meliputi macam pengamatan, cara pengamatan, cara penghitungan variabel pengamatan, penafsiran data variabel pengamatan, serta hubungan antar variabel pengamatan.

Pengamatan terpenting untuk analisis pertumbuhan yang perlu dilakukan adalah luas daun dan bobot kering tanaman. Luas daun dapat diukur dengan menggunakan berbagai macam cara. Bobot kering tanaman diperoleh setelah tanaman atau organ-organ tanaman, misalnya daun, batang, akar, buah atau biji dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 65–85°C sampai bobot tetap, pada umumnya sampai 48 jam. Dua macam pengamatan tersebut agar lebih lengkap dapat ditambah dengan pengamatan distribusi cahaya yang memerlukan peralatan tambahan. Peralatan tambahan relatif sederhana untuk mengamati intensitas cahaya adalah *light meter* yang juga dapat digantikan dengan menggunakan telepon pintar dilengkapi dengan aplikasi yang dapat diunduh dari *Play Store*.

Dari data dasar berupa luas daun dan bobot kering organ tanaman, misalnya daun, batang, buah, dan biji diperoleh berbagai variabel turunan, misalnya nisbah luas daun, indeks luas daun, durasi luas daun, bobot daun khas, laju asimilasi bersih, laju pertumbuhan nisbi, dan laju pertumbuhan tanaman indeks panen. Dari data intensitas cahaya dapat dihitung sekapan cahaya dan distribusi cahaya.

A. Luas Daun

Daun merupakan organ tanaman yang berperan menangkap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Salah satu sifat daun yang berkaitan dengan kemampuan menangkap cahaya adalah luas daun. Daun yang sudah dirontok dari batang tanaman biasa diukur luasnya dengan menggunakan area meter. Dalam kondisi tidak ada area meter, terdapat beberapa cara mengukur luas daun, antara lain pengukuran secara gravimetri, gravimetri pola, area meter manual, kertas standar, aplikasi telepon pintar, pengukuran tidak langsung, pengukuran kelompok, dan perhitungan dengan rumus.

1. Gravimetri

Pada cara gravimetri, semua daun dirontok dari batang, pola daun digambar di atas kertas yang seragam, pola daun dipotong dan ditimbang (a). Dibuat pola standar dengan ukuran tertentu misal 20 cm × 20 cm dan ditimbang (b).

Persamaan luas daun adalah sebagai berikut:

$$\frac{\text{Luas pola daun}}{\text{Bobot pola daun}(a)} = \frac{\text{Luas pola daun standar}(400\text{cm}^2)}{\text{Bobot pola daun standar}(b)}$$

$$\frac{\text{Luas daun}}{\text{Bobot daun}(a)} = \frac{\text{Luas pola daun}(400\text{cm}^2)}{\text{Bobot pola daun}(c)}$$

$$\text{Luas daun} = a/b \times 400 \text{ cm}^2$$

2. Gravimetri Pola

Pada cara gravimetri dengan pola dibuat pola dari karton atau bahan lain yang cukup keras, berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tergantung ukuran daun. Pola karton untuk daun kedelai dapat dibuat 2 cm × 2 cm = 4 cm², tanaman jagung dapat diukur dengan pola lebih besar, tetapi padi lebih kecil. Semua daun dirontok, ditimbang bobot segarnya (a), diambil sebagian daun, misalnya 10 lembar ditumpuk. Jumlah pola daun bebas, yang penting waktu ditimbang dapat terbaca cukup cermat. Tumpukan daun dipotong dengan menggunakan pola karton sehingga diperoleh pola daun dengan luas 10 × 4 cm² = 40 cm² (b), pola daun ditimbang (c).

$$\text{Luas daun} : \text{Bobot daun} (a) = \text{Luas pola daun} (40 \text{ cm}^2) : \text{Bobot pola daun} (c)$$

$$\text{Luas daun} = 40 \text{ cm}^2 (b) \times (c) : (a)$$

3. Area Meter Manual

Area meter manual dibuat dari plastik tebal semacam plastik transparan, dibuat kotak-kotak garis berukuran misalnya 1 cm × 1 cm menggunakan spidol permanen. Semua daun dirontok dari batang. Luas setiap daun diukur dengan meletakkan daun di bawah plastik, kemudian diperkirakan luasnya dengan menghitung jumlah kotak,

dengan tiap kotak mempunyai ukuran 1 cm^2 . Tidak semua bagian daun terletak pada kotak secara utuh, luas daun tersebut diperkirakan dengan menjumlahkan kotak-kotak yang tidak utuh tersebut sehingga saling melengkapi. Luas daun per tanaman adalah jumlah daun yang diukur $\times$ luas per daun.

4. Kertas Standar

Pengukuran dengan kertas standar dilakukan dengan merontok semua daun dari satu tanaman sampel. Disiapkan kertas standar berukuran tertentu, misalnya $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, atau sesuai dengan kertas ukuran kuarto. Daun diijarkan serapat mungkin di atas kertas standar sampai penuh. Daun di atas kertas standar ukuran $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ tersebut mempunyai luas 400 cm^2 . Pengukuran daun di atas kertas standar tersebut diulang sampai semua daun habis. Pada pengukuran yang terakhir, terdapat kemungkinan tidak seluruh kertas standar terisi penuh. Diperkirakan berapa luas kertas yang tertutup oleh daun misalnya 25%. Luas daun satu tanaman adalah sama dengan berapa kali luas kertas standar penuh, ditambah pengukuran yang terkahir. Jika misalnya kertas standar penuh sebanyak tiga kali, maka

$$\text{Luas daun tanaman} = 3 \times 400 \text{ cm}^2 + 25\% \times 400 \text{ cm}^2 = 1.300 \text{ cm}^2$$

Kertas standar dapat juga dibuat tanpa memotong kertas, tetapi menggunakan ukuran normal. Untuk kertas kuarto, misalnya, mempunyai ukuran $21,6 \text{ cm} \times 29,7 \text{ cm}$.

5. Aplikasi Telepon Pintar

Luas daun dapat diukur menggunakan telepon pintar dengan aplikasi *ImageJ*. Daun dirontok dari batang tanaman, disusun di atas kertas putih, dipindai menggunakan kamera telepon pintar. Kamera telepon pintar akan mengambil gambar dan telepon pintar akan menghitung luas daun. Dengan mengikuti langkah-langkah operasional, luas daun pada lembaran kertas dapat dibaca pada a layar dengan satuan mm^2 . Apabila jumlah daunnya banyak, pengukuran dilakukan berkali-kali, sampai seluruh daun dalam satu tanaman terukur.

6. Pengukuran Tidak Langsung

Dapat terjadi suatu tanaman tidak boleh atau tidak dapat diukur luas daunnya secara destruktif dengan alasan tertentu. Tanaman tidak boleh didestruksi, misalnya karena tanaman tersebut adalah hasil pemuliaan yang harus ditanam untuk generasi berikutnya. Data luas daun dapat didekati dengan pengamatan tidak langsung, dengan menggunakan tanaman lain sejenis yang boleh didestruksi. Tanaman sejenis yang digunakan diusahakan semirip mungkin dengan tanaman yang tidak boleh didestruksi.

Dibuat gambar pola daun di atas kertas, bervariasi dari yang kecil, sedang, sampai besar sebanyak masing-masing 10 helai sehingga diperoleh 30 gambar. Diukur luas gambar pola masing-masing daun dengan menggunakan salah satu metode, misalnya gravimetri. Panjang dan lebar masing-masing gambar pola daun diukur. Dibuat regresi linier antara panjang $\times$ lebar gambar masing-masing pola daun (x) dengan luas gambar pola daun gravimetri (y), diperoleh persamaan $y = a + bx$.

Pada tanaman yang tidak boleh didestruksi, panjang dan lebar semua daun diukur dan dihitung perkaliannya (x_1), dihitung masing-masing luasnya (y_1) dengan memasukkan ke dalam persamaan $y = a + bx$. Luas masing-masing daun dijumlahkan untuk memperoleh luas daun satu tanaman.

7. Pengukuran Kelompok

Tanaman dengan ukuran yang relatif besar juga tidak dapat didestruksi. Luas daun tanaman dengan ukuran cukup besar, tetapi jumlah daun yang relatif sedikit dapat diukur dengan cara lebih sederhana, yaitu dengan membagi seluruh ukuran daun menjadi pengukuran kelompok, misalnya ukuran daun dibagi tiga kelompok, yaitu kecil, sedang, dan besar. Dibuat gambar 10 daun kelompok kecil, sedang, dan besar di atas kertas. Diukur luas rata-rata kelompok kecil (L_k), sedang (L_s), dan besar (L_b). Dihitung jumlah daun pada tanaman yang tidak boleh didestruksi yang termasuk kecil (J_k), sedang (J_s), dan besar (J_b).

$$\text{Luas daun} = J_k \times L_k + J_s \times L_s + J_b \times L_b$$

Apsari (2021) membuat klasifikasi daun karika (pepaya Dieng: *Carica pubescens* L.) menjadi tiga kelas, yaitu daun kecil dengan lebar 5 cm–15 cm, daun sedang dengan lebar 16 cm–25 cm, dan daun besar dengan lebar 26 cm–50 cm masing-masing sebanyak 10 lembar. Dilakukan pengukuran luas daun masing-masing kategori dengan metode gravimetri. Dihitung jumlah daun untuk masing-masing kelas, kemudian dihitung luas daun per tanaman. Hasil pengukuran luas daun per tanaman tercantum di dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Luas Daun per Tanaman dan Indeks Luas Daun (ILD) Karika di Beberapa Tinggi Tempat di Dieng

Tinggi Tempat (mdpl)	Luas Daun (m ²)	ILD
1.500	5,53 a	0,66 a
1.800	8,17 a	1,23 a
2.100	7,88 a	1,23 a
KK (%)	51	48

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf kesalahan 5% dengan uji HSD-Tukey. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Apsari (2021)

Tabel 5.1 menunjukkan tidak terdapat perbedaan luas daun tanaman karika di beberapa tinggi tempat di dataran tinggi Dieng. Luas daun tanaman karika bervariasi dari 5,53 m² per tanaman pada ketinggian tempat 1.500 mdpl sampai 8,17 m² per tanaman pada ketinggian 2.100 mdpl.

8. Perhitungan dengan Rumus

Metode non-destruktif menggunakan perhitungan dengan rumus telah dikembangkan untuk memperkirakan luas daun serta bobot kering daun dan batang tanaman kelapa sawit (Corley dan Tinker, 2003).

Luas daun:

$$A = b (nlw)$$

Keterangan:

A = luas daun (dm^2)

n = jumlah anak daun

lw = rata-rata panjang $\times$ lebar (cm) untuk sampel enam daun terlebar

b adalah faktor koreksi berkisar antara 0,51 hingga 0,57 tergantung pada usia dan progeni, pada umumnya digunakan angka 0,55

Dengan menggunakan persamaan yang telah dikembangkan tersebut, Listia (2014) memperoleh luas per daun kelapa sawit di beberapa tinggi tempat (Tabel 5.2). Luas per daun kelapa maksimum terjadi pada tinggi tempat 368 m dpl. sebesar $12,66 \text{ dm}^2$, nyata lebih luas dari daun di 50 mdpl yang hanya $10,06 \text{ dm}^2$.

Tabel 5.2 Jumlah, Panjang dan Lebar Anak Daun, Luas per Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Anak Daun			Luas per Daun (dm^2)
	Jumlah	Panjang (cm)	Lebar (cm)	
50	339,7 a	94,5 a	5,7 b	10,06 b
368	368,3 a	99,2 a	6,3 a	12,66 a
693	351,3 a	97,8 a	6,1 ab	11,53 ab
865	358,3 a	100,8 a	5,9 ab	11,72 ab
KK (%)	4,7	4,7	4,9	

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Apsari (2021)

B. Indeks Luas Daun

Indeks luas daun (ILD) = *leaf area index (LAI)* adalah luas daun di atas suatu luas lahan, tidak mempunyai satuan. Sebagai gambaran bagaimana membaca pengertian suatu ILD, dapat dilihat nilai ILD

tanaman, misalnya ILD 2 mempunyai pengertian bahwa di atas tiap m² lahan ditutupi 2 m² daun (Gardner et al., 1980).

$$LAI = \frac{1}{Ga} \times \frac{La2 - La1}{2} \text{ atau } \frac{La}{Ga} \text{ (tidak bersatuan)}$$

Keterangan:

La = leaf area = luas daun

Ga = ground area = luas lahan

Pada tanaman karika, Tabel 5.1 menunjukkan bahwa ILD bervariasi dari 0,66 pada tinggi tempat 1500 mdpl sampai 1,23 pada tinggi tempat 1.800 sampai 2.100 mdpl.

Pada tanaman kelapa sawit, indeks luas daun dihitung dari luas per daun, jumlah daun per tanaman dan jumlah tanaman per hektare (Tabel 5.3).

$$ILD = \text{luas daun per pohon (m}^2\text{)} \times \text{jumlah pohon per hektare} : 10.000 \text{ m}^2$$

(Listia, 2014)

Tabel 5.3 Jumlah Pelepah dan Indeks Luas Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (m)	Jumlah Pelepah	ILD
50	40,0 a	5,8 a
368	36,7 a	6,6 a
693	42,0 a	6,9 a
865	38,3 a	6,5 a
KK (%)	7,8	12,1

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Indeks luas daun kelapa sawit dapat diperkirakan cukup akurat dengan sekapan cahaya yang diukur dengan *plant canopy analyzer* PCA-2000 (Li-Cor Incorporated, Lincoln, Nebraska, AS). Metode ini jauh lebih cepat daripada mengukur luas per daun dan menghitung daun per tanaman, tetapi harga alatnya mahal.

Perhitungan indeks luas daun dapat dilakukan dengan menggunakan *light meter* atau telepon pintar yang dilengkapi dengan aplikasi *light meter* atau *lux meter* dan menggunakan persamaan peredupan cahaya: $I_i/I_o = e^{-kL}$. Intensitas cahaya di atas (I_o) dan di bawah tajuk (I_i) diukur, e adalah bilangan natural = 2,712878. Jika koefisien peredupan cahaya k diketahui maka indeks luas daun L dapat dihitung.

Nilai koefisien peredupan cahaya bervariasi antara mendekati nol sampai mendekati satu. Daun tegak mempunyai koefisien peredupan cahaya mendekati nol, sedangkan daun mendatar mendekati satu. Untuk bibit tanaman kelapa sawit yang dipelihara dengan kepadatan tinggi, ditemukan nilai k lebih besar, yaitu 0,7, sedangkan untuk sawit dewasa nilai $k = 0,47$ (Corley & Tinker, 2003). Kakao mempunyai k berkisar antara 0,57–0,67 diambil rata-rata 0,62 (Alvim, 1975). Apabila sudah diketahui nilai k , pengamatan distribusi cahaya dapat digunakan untuk menghitung nilai indeks luas daun.

Pada tanaman sorgum, Zhi et al. (2022) mendapatkan hubungan linier $y = -0,21 + 0,014x$ dengan $R^2 = 0,36$ $p = 0,0012$. x adalah sudut daun sorgum dan y adalah koefisien peredupan cahaya. Sudut daun dihitung terhadap batang. Dengan menggunakan persamaan tersebut, dihitung koefisien peredupan cahaya (k) seperti pada Tabel 5.4. Hasil perhitungan mendapatkan pada tanaman dengan sudut daun tegak, rata-rata 30° dari bidang tegak atau 60° dari bidang datar, mempunyai nilai k 0,21, sedangkan pada tanaman dengan sudut daun datar 80° dari bidang tegak atau 10° dari bidang datar mempunyai nilai k adalah 0,91.

Terutama pada tanaman tahunan berukuran besar dan tidak mungkin diukur dengan merontokkan daun, luas daun dapat didekati dengan rumus $I_i/I_o = e^{-kL}$. Yang perlu dilakukan adalah mengukur sudut daun pada beberapa daun di bagian atas, Tengah, dan bawah tajuk menggunakan busur derajat, kemudian di rata-rata. Dihitung koefisien peredupan cahaya dengan persamaan. Selanjutnya, diukur intensitas cahaya di luar dan di bawah tajuk, kemudian dimasukkan ke dalam rumus $I_i/I_o = e^{-kL}$. I_o adalah intensitas cahaya di luar tajuk, I_i adalah intensitas cahaya di bawah tajuk, $e = 2,712878$, k adalah koefisien peredupan cahaya dari persamaan yang diperoleh Zhi et al. (2022) dan L adalah indeks luas daun.

Tabel 5.4 Nilai Koefisien Peredupan Cahaya pada Beberapa Sudut Daun Tanaman

Sudut Daun (°)		Koefisien Peredupan Cahaya (k)
Dari Bidang Tegak	Dari Bidang Datar	
30	60	0,21
40	50	0,35
50	40	0,49
60	30	0,63
70	20	0,77
80	10	0,91

Sumber: Zhi et al. (2022)

C. Durasi Luas Daun

Durasi luas daun (DLD) adalah lamanya suatu tanaman mempunyai luas daun hijau, diperoleh dari kurva indeks luas daun dari waktu ke waktu, atau indeks luas daun rata-rata dikalikan waktu (Gardner et al., 1980). Mayasin et al. (2021) menghitung DLD dua kultivar kacang tanah yang diinokulasi dengan mikoriza vesikular arbuskular pada beberapa dosis dengan menggunakan data luas daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DLD tertinggi sebesar 85,67 cm² hari, dimiliki oleh kultivar Takar 2 yang diinokulasi dengan dosis 15 g/tanaman (Tabel 5.5).

Tabel 5.5 Durasi Luas Daun (cm² Hari) Kultivar Kacang Tanah pada 5 MST yang Diinokulasi Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) pada Beberapa Takaran

Kultivar	Inokulasi MVA (g/Tanaman)			
	Kontrol	5	10	15
Talam 2	47,07 bc	12,27 a	22,70 ab	22,15 ab
Takar 2	23,20 ab	32,82 ab	20,95 ab	85,67 c

Keterangan : angka diikuti huruf sama pada kolom dan baris, menunjukkan tidak berbeda menurut DMRT kesalahan 5% (data ditransformasi $\sqrt{x} + \log 10$).

Sumber: Mayasin et al. (2021)

Menurut Gardner et al. (1980), DLD mempunyai korelasi yang lebih kuat dengan hasil tanaman dibanding ILD. Tanaman dengan ILD yang tinggi, tetapi berlangsung dalam waktu yang pendek akan memberikan hasil yang lebih rendah dibandingkan tanaman yang mempunyai ILD yang tinggi dan berlangsung lama sehingga mempunyai DLD yang besar. Pengolahan data lanjutan dari hasil penelitian Kusuma (2022) mendapatkan bahwa peningkatan konsentrasi inokulasi bakteri fotosintesis meningkatkan durasi luas daun dan hasil buah terung dengan koefisien korelasi $r = 0,92^{**}$. Durasi luas daun tertinggi dicapai oleh tanaman yang diinokulasi bakteri 15 ml/l yang menghasilkan DLD 1,68 dm²minggu (Tabel 5.6).

Tabel 5.6 Durasi Luas Daun (DLD) Tanaman Terung yang Mendapat Inokulasi Bakteri Fotosintesis pada Beberapa Konsentrasi

Konsentrasi (ml/l)	Luas Daun (dm ² /tanaman)		DLD (dm ² . minggu)	Hasil Buah (t/ha)
	4 MST	8 MST		
0	276,18 b	764,45 a	1,30	10,19 b
5	388,51 ab	818,52 a	1,51	14,68 a
10	427,14 a	818,25 a	1,56	15,33 a
20	426,91 a	918,04 a	1,68	15,28 a

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda berdasarkan uji HSD Tukey kesalahan 5%.

Sumber: Kusuma (2022 data diolah)

D. Distribusi dan Sekapan Cahaya

Cahaya matahari merupakan sumber energi yang diubah oleh tanaman menjadi karbohidrat melalui proses fotosinteis. Radiasi matahari mempunyai panjang gelombang 300–2500 nm, sedangkan *photosynthetically active radiation* (PAR) mempunyai panjang gelombang 400– 00 nm. Pada tanaman kelapa sawit berusia 10 tahun, 15% dari total radiasi dipantulkan, 70% disekap, dan 15% mencapai tanah. Sekapan PAR jauh lebih besar, yaitu 90%, dengan hanya 3%

yang dipantulkan dan 6% mencapai tanah (Corley & Tinker, 2003). Pengukuran intensitas cahaya matahari dapat dilakukan dengan menggunakan *light meter* standar atau menggunakan telepon pintar yang dilengkapi aplikasi *light meter* atau *lux meter*.

Sekapan cahaya adalah persentase cahaya yang dapat disekap oleh tajuk tanaman, dipengaruhi oleh ILD dan arsitektur tajuk. Besarnya cahaya matahari yang dapat disekap oleh tajuk tanaman bervariasi menurut bentuk tajuk, bentuk daun, luas daun, sudut daun, ukuran daun, dan sebaran daun (Kozlowski dan Pallardy, 1997). Pengamatan sudut daun dapat dilakukan dengan menggunakan busur derajat. Sudut daun dalam fisiologi tanaman dihitung dari bidang datar, berbeda dengan dalam pemuliaan yang dihitung dari bidang tegak. Berdasarkan sudutnya dari bidang datar, daun dibagi menjadi tiga golongan, yaitu daun mendatar (*planophile*) dengan sudut $< 35^\circ$, daun sedang (*plagiophile*) dengan sudut 35° – 60° , dan daun tegak (*erectophile*) dengan sudut $> 60^\circ$. Sudut daun dapat memengaruhi distribusi cahaya di dalam tajuk, semakin tegak daun semakin banyak cahaya diteruskan dan sebaliknya. Jika sebagian besar daun tersusun tegak atau sejajar dengan arah datangnya sinar matahari, tajuk akan menyekap cahaya lebih sedikit dibandingkan jika tajuk tersusun dari daun yang mendatar atau tegak lurus terhadap arah cahaya matahari. Hubungan antara distribusi cahaya, koefisien peredupan cahaya, dan indeks luas daun digambarkan dengan persamaan (Gardner et al., 1980):

$$I_i/I_o = e^{-kL}$$

Keterangan:

I_o : intensitas cahaya di bagian atas tajuk

I_i : intensitas cahaya di lapisan tajuk ke- i

e : bilangan natural (2,712878)

L : indeks luas daun

k : koefisien peredupan cahaya

Nilai yang rendah untuk koefisien peredupan cahaya k , terjadi pada tajuk yang bersifat tegak atau erektofil, di mana tajuk didominasi oleh daun yang tersusun secara vertikal. Secara teoretis, tajuk seperti itu seharusnya lebih efisien dibandingkan tajuk yang tersusun secara

horizontal, karena cahaya lebih baik didistribusikan, sampai tajuk bagian bawah. Jadi, sekapan cahaya yang rendah, untuk suatu nilai ILD, menunjukkan distribusi cahaya yang baik (Corley & Tinker, 2003).

Koefisien peredupan untuk PAR lebih tinggi dibandingkan untuk radiasi total, biasanya dengan faktor 1,4. Sangat penting untuk memperhatikan satuan yang digunakan untuk pengukuran cahaya sebelum membandingkan nilai k dari kumpulan data yang berbeda. Untuk sawit dewasa nilai $k = 0,34$ untuk radiasi total dan 0,47 untuk PAR, namun dapat juga ditemukan nilai yang lebih rendah, misalnya pada tanaman umur 14 tahun mempunyai nilai 0,32 untuk PAR. Semua nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan sebagian besar tanaman, yang menggambarkan tajuk tanaman yang bersifat erektofil. Pada tajuk tanaman muda dapat bersifat plagiofil, yang merupakan bentuk antara tegak dan mendatar. Untuk bibit tanaman yang dipelihara dengan kepadatan tinggi, ditemukan nilai k lebih besar, yaitu 0,7 untuk PAR (Corley & Tinker, 2003).

Sekapan cahaya dapat diperkirakan dengan mengukur radiasi di atas tanaman atau di tempat terbuka di dekat tanaman dan radiasi mencapai tanah di bawah tajuk.

Sekapan cahaya oleh suatu tajuk tanaman digambarkan dengan persamaan (Gardner et al., 1980):

$$SC = 100\% - \left(\frac{Cb}{Ca} \times 100\% \right)$$

Keterangan:

SC = sekapan cahaya

Cb = cahaya di bawah tajuk

Ca = cahaya di atas tajuk

Diukur cahaya matahari di atas tajuk atau di luar tajuk di tempat terbuka (Ca) dan di bawah tajuk (Cb) pada saat matahari cerah antara pukul 10.00 sampai pukul 14.00. Jika cuaca mendung, pengukuran tetap dapat dilakukan, tetapi perlu diusahakan pada kondisi awan yang tidak berubah-ubah. Pada kondisi intensitas cahaya yang stabil, pengukuran cahaya di luar tajuk cukup dilakukan satu kali. Akan tetapi, jika berawan, perlu dilakukan beberapa kali.

Dari bayang-bayang daun di bawah tajuk dapat dilihat bahwa ada bagian yang gelap dan terang. Jika diukur bagian yang terang maka intensitas cahaya akan lebih tinggi dibandingkan bagian yang gelap sehingga pengamatan perlu dilakukan berulang 5–10 kali untuk memperoleh nilai rerata. Untuk memperoleh nilai rerata intensitas cahaya di bawah tajuk yang menggambarkan keadaan yang sebenarnya, pengukuran dapat dilakukan dengan cara acak sistematis (*systematic random sampling*) dengan bantuan tongkat bertanda. Tongkat dapat dibuat dari bambu atau kayu sepanjang 50–100 cm tergantung besarnya tajuk yang akan diukur. Pada tongkat, diberi tanda garis menggunakan spidol. Jarak tanda pada tongkat panjang 50 cm yang digunakan untuk tanaman semusim dibuat, misalnya setiap 5 cm, sedangkan untuk tongkat 100 cm yang digunakan untuk tanaman tahunan dibuat misalnya setiap 25 cm. Cara pengukuran acak dilakukan dengan menempatkan tongkat secara acak di bawah tajuk, intensitas cahaya diukur pada garis pertama. Cara sistematis dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya pada baris kedua dan seterusnya sampai jumlah sampel yang diperlukan terpenuhi.

Tabel 5.7 menunjukkan hasil pengamatan sekapan cahaya beberapa klon teh yang dilakukan Wijayanto et al. (2015) menggunakan *lux meter* standar. Batas kritik sekapan cahaya atau batas terendah cahaya yang harus dapat disekap oleh suatu tajuk tanaman adalah 95% yang menggambarkan tajuk yang rapat. Tabel tersebut menunjukkan bahwa hampir semua klon yang diuji mampu menyekap hampir seluruh cahaya matahari yang sampai ke permukaan bumi, baik klon sinensis maupun asamika Gambung 7 yang digunakan sebagai pembanding. Perkecualian ada pada klon Oero 5 yang hanya mampu menyekap cahaya kurang dari 50% cahaya matahari yang sampai, menggambarkan tajuk yang jarang.

Tabel 5.7 Sekapan Cahaya Beberapa Klon Tanaman Teh

Klon	Sekapan Cahaya (%)
Oero 1	96,26 a
Oero 2	96,90 a
Oero 3	95,74 a
Oero 4	97,53 a
Oero 5	47,00 b
Oero 6	97,01 a
Gambung 7	97,58 a
KK (%)	3,91

Keterangan: angka pada kolom diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak terdapat beda nyata menurut DMRT pada tingkat kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Wijayanto et al. (2015)

Sekapan cahaya oleh tajuk tanaman kedelai meningkat dengan bertambahnya umur tanaman (Tabel 5.8). Terdapat perbedaan sekapan cahaya di antara kultivar kedelai yang diteliti oleh Hariandi et al. (2019) pada 3 dan 6 MST, tetapi tidak ada perbedaan antar kultivar saat tanaman berumur 9 minggu. Sampai saat tanaman mencapai pertumbuhan vegetatif maksimum pada 9 MST, sekapan cahaya oleh tajuk tanaman belum dapat menyekap cahaya secara maksimum sama dengan atau di atas 95%.

Tabel 5.8 Sekapan Cahaya Tajuk Beberapa Kultivar Kedelai pada 3, 6, dan 9 MST

Kultivar	Sekapan Cahaya (%)		
	3 MST	6 MST	9 MST
Anjasmoro	27.85 ab	53.65 a	73.99 a
Argomulyo	25.06 b	56.32 a	61.93 bc
Burangrang	35.34 a	44.99 a	71.18 ab

Kultivar	Sekapan Cahaya (%)		
	3 MST	6 MST	9 MST
Gema	28.88 ab	48.48 a	58.80 c
Gepak Kuning	27.91 ab	53.91 a	66.22 abc
Kaba	29.99 ab	47.52 a	71.93 ab
Wilis	31.48 ab	55.66 a	66.89 abc

Keterangan : angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT kesalahan 5%.

Sumber: Hariandi et al. (2017)

E. Nisbah Luas Daun

Leaf area ratio (LAR) atau nisbah luas daun (NLD) menggambarkan kemampuan tanaman membentuk luas daun dari tiap bobot kering tanaman yang dimiliki (Gardner et al., 1980).

$$LAR = \frac{La}{W} (dm^2/g)$$

Keterangan:

La = leaf area = luas daun

W = weight = bobot kering total

F. Bobot Daun Khas dan Luas Daun Khas

Specific leaf weight (SLW) atau bobot daun khas (BDK) adalah bobot daun tiap satuan luas daun. Nilai ini dapat menggambarkan ketebalan daun, semakin tinggi nilai SLW, semakin berat bobot daun tiap satuan luas daun dan semakin tebal daun (Gardner et al., 1980).

$$SLW = \frac{Lw}{La} (g/dm^2)$$

Keterangan:

Lw = leaf weight = bobot kering daun

La = leaf area = luas daun

Luas daun khas (*specific leaf area*/SLA) adalah luas daun yang dapat dibentuk setiap satuan bobot daun. Semakin tinggi nilai SLA, semakin tipis daun, satuan yang digunakan adalah (g/dm²) (Gardner et al., 1980).

$$SLA = \frac{La}{Lw} \text{ (dm}^2\text{/g)}$$

Keterangan:

La = leaf area = luas daun

Lw = leaf weight = bobot kering daun

G. Laju Asimilasi Bersih

Net assimilation rate (NAR) atau laju asimilasi bersih (LAB) atau istilah lain adalah *unit leaf rate* (ULR) menggambarkan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas daun suatu tajuk tanaman individual, maupun populasi tiap satuan waktu, dengan satuan antara lain (g/dm²/minggu) (Gardner et al., 1980).

$$SLA = \frac{W2 - W1}{T2 - T1} \times \frac{\ln La2 - \ln La1}{La2 - La1} \text{ (g/dm}^2\text{/minggu)}$$

Keterangan:

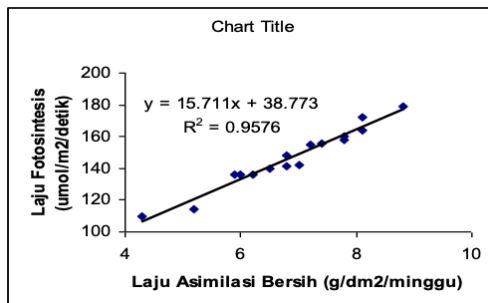
W = weight = bobot kering total

La = leaf area = luas daun

1 = umur lebih muda

2 = umur lebih tua

Laju asimilasi bersih dapat menggantikan laju fotosintesis yang biasa diukur dengan *photosynthetic analyzer*. Perhitungan lanjut hasil pengamatan Boy (2020) menunjukkan terdapat hubungan linier antara laju asimilasi bersih dengan laju fotosintesis pada tanaman padi Gogo lokal asal Sulawesi Tengah (Gambar 5.1). Dari persamaan linier yang diperoleh, dibuat konversi yang dicantumkan dalam Tabel 5.9.



Sumber: Boy (2020 data diolah)

Gambar 5.1 Hubungan Laju Asimilasi Bersih dengan Laju Fotosintesis Tanaman padi Gogo

Tabel 5.9 Konversi Laju Asimilasi Bersih (g/dm²/minggu) menjadi Laju Fotosintesis (µmol/m²/detik) pada Tanaman Padi Gogo

Laju Asimilasi Bersih (g/dm²/minggu)	Laju Fotosintesis (µmol/m²/detik)
4	101,617
5	117,328
6	133,039
7	148,750
8	164,461
9	180,172
10	195,883

Sumber: Boy (2020 data diolah)

Laju fotosintesis menggambarkan kemampuan daun mereduksi CO₂ menjadi karbohidrat tiap satuan luas daun tiap satuan waktu pada daun tunggal yang mendapat cahaya matahari penuh. Laju asimilasi bersih menggambarkan kemampuan rata-rata daun dalam suatu tajuk individu atau populasi tanaman membentuk biomassa. Dengan demikian, laju asimilasi bersih dipengaruhi oleh saling naung di antara daun dan biomassa yang merupakan akumulasi asimilat setelah digunakan untuk respirasi.

H. Laju Pertumbuhan Nisbi

Relative growth rate (RGR) atau laju pertumbuhan nisbi (LPN) merupakan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan bobot kering awal tiap satuan waktu dengan satuan (g/g/minggu) (Gardner et al., 1980).

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1} \text{ (g/g/minggu) \}$$

Keterangan:

W = *weight* = bobot kering total

T = *time* = umur

1 = umur lebih muda

2 = umur lebih tua

I. Laju Pertumbuhan Tanaman

Crop growth rate (CGR) atau laju pertumbuhan tanaman (LPT) menggambarkan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas lahan tiap satuan waktu dengan satuan antara lain (g/m²/minggu) (Gardner et al., 1980).

$$SLA = \frac{1}{Ga} \times \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \text{ (g/m}^2\text{/minggu)}$$

Keterangan:

Ga = *ground area* = luas lahan

W = *weight* = bobot kering total

T = *time* = umur

1 = umur lebih muda

2 = umur lebih tua

J. Bobot Kering Tanaman

Bagian tanaman dapat berupa daun, batang, bunga dan buah. Akar pada tanaman di lapangan sering tidak diikuti karena sulit untuk memperolehnya, namun pada tanaman pot dapat diikuti. Karena analisis pertumbuhan pada umumnya tidak menyertakan akar tanaman, apabila akar diikuti maka perlu disebutkan. Polong,

misalnya kedelai, gabah, misalnya pada padi dapat dibagi lagi menjadi kulit dan biji. Tongkol, misalnya jagung dapat dibagi menjadi kelobot, biji, dan janggel.

Tanaman dari lapangan dijemur di bawah sinar matahari sampai kering sebelum dioven untuk menghemat biaya listrik. Apabila ada rumah kaca, pengeringan di dalam rumah kaca lebih baik karena rumah kaca pada umumnya mempunyai suhu ruang lebih tinggi dibandingkan di luar. Selain itu, pengeringan di dalam rumah kaca dapat juga menghindarkan bahan dari hujan. Selanjutnya, bahan tanaman dikeringkan dengan oven bersuhu 65°C sampai 85°C sampai bobot tetap. Suhu tidak boleh terlalu tinggi karena dapat mengakibatkan asimilat tertentu, misalnya minyak atsiri menguap sehingga mengurangi bobot yang seharusnya. Bobot tetap telah tercapai apabila bobot bahan tanaman yang ditimbang pada suatu saat tidak berubah lagi pada saat penimbangan berikutnya, misalnya setelah selang waktu 24 jam. Pada umumnya, bahan tanaman telah mencapai bobot tetap setelah dioven selama akumulasi waktu 48 jam, kecuali bahan yang mempunyai kadar air tinggi seperti buah.

Biomassa pohon terdiri dari biomassa tajuk dan biomassa akar. Untuk mengurangi tindakan perusakan selama pengukuran, biomassa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik yang didasarkan pada pengukuran diameter batang (Tabel 5.10). Biomassa akar dapat pula diestimasi berdasarkan diameter batang. Menurut Hairiah dan Rahayu (2007), diameter pohon diukur pada bagian batang setinggi dada ($\text{DBH} = \text{diameter at breast height} = 1,3 \text{ m}$ dari permukaan tanah) dengan memberi tanda goresan pada batang pohon. Pada pohon di lahan berlereng, pengukuran dilakukan dengan meletakkan ujung tongkat 1,3 m pada lereng bagian atas. Bila diameter pohon berukuran antara 5–20 cm, dapat gunakan jangka sorong (*calliper*) untuk mengukur DBH, data yang diperoleh adalah diameter pohon. Jika pohon berukuran lebih dari 20 cm, dapat digunakan meteran pita yang dililitkan sejajar. Data yang diperoleh adalah lilit pohon (keliling batang) $= 2 \pi r$ dan diameter pohon $= 2r$.

Pada pohon bercabang sebelum ketinggian 1,3 m, pengukuran DBH dilakukan pada semua cabang yang ada. Jika pada ketinggian 1,3 m terdapat benjolan, pengukuran DBH dilakukan pada 0,5 m setelah benjolan. Jika pada ketinggian 1,3 terdapat akar-akar tunjang, pengukuran DBH dilakukan pada 0,5 m setelah perakaran. Jika pada ketinggian 1,3 m terdapat banir (batas akar papan), pengukuran DBH dilakukan pada 0,5 m setelah banir.

Untuk pohon yang batangnya rendah dan bercabang banyak, misalnya pohon kopi yang dipangkas secara teratur, yang diukur adalah diameter semua cabang. Untuk tanaman monokotil, misalnya bambu dan pisang, yang diukur adalah diameter dan tinggi masing-masing individu dalam setiap rumpun tanaman. Demikian pula jika terdapat pohon tidak bercabang seperti kelapa atau tanaman keluarga palma lainnya.

Tabel 5.10 Estimasi Biomassa Pohon Menggunakan Persamaan Alometrik

Jenis Pohon	Estimasi Biomasa (kg/pohon)	Sumber
Pohon bercabang	$BK = 0.11 \rho D^{2.82}$	Ketterings, 2001
Pohon tidak bercabang	$BK = \pi \rho H D_2/40$	Hairiah <i>et al</i> , 1999
Kopi dipangkas	$BK = 0.281 D^{2.06}$	Arifin , 2001
Pisang	$BK = 0.030 D^{2.13}$	Arifin , 2001
Bambu	$BK = 0.131 D^{2.28}$	Priyadarsini, 2000
Sengon	$BK = 0.0272 D^{2.831}$	Sugiharto, 2002
Pinus	$BK = 0.0417 D^{2.6576}$	Sugiharto, 2002

Keterangan: BK = bobot kering (g); D = diameter pohon (cm); H = tinggi pohon (cm); ρ = BJ kayu, $g\ cm^{-3}$.

Sumber: Hairiah & Rahayu (2007)

Untuk menetapkan bobot jenis ($BJ = \rho$) kayu dari masing-masing jenis pohon dapat dilakukan dengan jalan memotong kayu dari salah satu cabang, diukur panjang dan diameternya. Potongan kayu dioven

pada suhu 100°C selama 48 jam dan ditimbang bobot keringnya (BK).
Dihitung volume dan BJ kayu dengan rumus sebagai berikut :

$$BJ = BK : Volume$$

$$Volume = \pi R^2 T$$

R = jari-jari potongan kayu = $\frac{1}{2} \times$ Diameter (cm)

T = panjang kayu (cm)

Biomassa akar sering diabaikan meskipun jumlahnya cukup besar. Hal ini disebabkan oleh sulitnya pengukuran akar di lapangan karena melibatkan perusakan lahan dan membutuhkan waktu serta tenaga banyak. Biomassa akar juga dapat diestimasi menggunakan persamaan alometrik berdasarkan nisbah tajuk : akar, yaitu 4:1 untuk pohon di lahan kering, 10:1 untuk pohon di lahan basah, dan 1:1 untuk pohon di tanah-tanah miskin (Hairiah & Rahayu, 2007).

Pada tanaman kakao, menurut Yuliasmara et al. (2009), biomassa tanaman secara geometrik memiliki hubungan yang bersifat sejajar dengan diameter tanaman, tinggi tanaman, dan bobot jenis kayu. Prinsip dasar pendekatan alometrik adalah tajuk tanaman diasumsikan sebagai tabung sehingga perhitungan volume tanaman berdasarkan rumus volume.

$$\begin{aligned} Volume \text{ tanaman} &= volume \text{ tabung} \\ &= (\pi r^2 H) \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Keterangan:

π = 3,14, r (jejari tanaman pada ketinggian 130 cm)

H (tinggi tanaman, cm)

Yuliasmara et al. (2009) mencoba beberapa cara perhitungan volume dibandingkan dengan kontrol yang menggunakan pengukuran volume dengan air tumpahan. Rumus alometrik ini diharapkan dapat digunakan untuk pengukuran biomassa tanaman kakao sehingga pengamatan dapat lebih praktis, efisien, dan cepat dengan akurasi nilai estimasi yang mendekati kebenaran. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai dengan tajuk tertinggi, sedangkan diameter tanaman sangat tergantung pada ketinggian atau letak pengukuran.

Penelitian dilakukan untuk menentukan pengukuran yang berkorelasi positif terhadap volume tanaman yang sesungguhnya.

Ada empat metode pengukuran volume tanaman sebagai berikut.

1. Volume dihitung dengan tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai dengan tajuk tertinggi, pengukuran diameter tanaman pada setinggi dada (*diameter at breast height/DBH*), yaitu pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah).
2. Volume dihitung dengan tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai dengan tajuk tertinggi, pengukuran diameter pada pokok batang (*basal area/BA*) pada ketinggian 30 cm di atas permukaan tanah, untuk menghindari cabang-cabang pohon.
3. Volume dihitung dengan pengukuran diameter tanaman setinggi dada (*diameter at breast height/DBH*), yaitu pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah, tanpa pengukuran tinggi tanaman.
4. Volume tanaman yang sesungguhnya diperoleh dengan metode air tumpahan. Metode volume air tumpahan digunakan sebagai kontrol dari ketiga metode yang diujikan. Bagian tanaman yang telah dipotong-potong dimasukkan ke dalam bak penuh air. Volume air yang tumpah sama dengan volume bagian tanaman yang dimasukkan ke dalam bak.

Hasil analisis statistik nilai volume hasil estimasi dibandingkan dengan volume sesungguhnya menunjukkan bahwa Model 1 merupakan model dasar dalam pengukuran biomassa tanaman dengan ketepatan paling tinggi ($R^2 = 0,9863$). Keunggulan dari model ini adalah ketepatan hasil estimasi karena melibatkan variabel diameter dan tinggi tanaman sebagai unsur utama perhitungan volume dan biomassa tanaman. Model 1 memiliki kelemahan jika digunakan untuk mengukur volume jika tinggi tanaman sulit diamati karena titik tertinggi tanaman tertutup oleh tajuk tanaman lain. Jika pada ketinggian <130 cm terdapat percabangan maka pengukuran dilakukan pada semua cabang. Pada model 2 yang dapat dilakukan jika ada percabangan dekat permukaan tanah menunjukkan bahwa pengukuran diameter pada ketinggian 30 cm dapat digunakan dalam

pendugaan volume tanaman sesungguhnya, namun nilai volume hasil estimasi berkorelasi lebih rendah ($R^2 = 0,8812$). Model 3 merupakan model dengan menggunakan diameter tanaman sebagai variabel utama, pengamatan lebih sederhana dengan akurasi tinggi dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol maupun terhadap model 1 (Yuliasmara et al., 2009).

Rumus alometrik ini dapat digunakan untuk pengukuran biomassa tanaman kakao. Biomassa tanaman dihitung dengan rumus dasar (Yuliasmara et al., 2009).

$$\delta \pi r^2 H \text{ (g) atau } \delta \pi r^2 \text{ (g)}$$

Keterangan:

- δ : massa jenis kakao (0,37 g/cm³)
- π = 3,14
- r : jejari tanaman pada ketinggian 130 cm
- H : tinggi tanaman sampai tajuk tertinggi

Pada tanaman kakao, juga sudah diperoleh persamaan yang dapat digunakan secara langsung untuk menghitung bobot kering tanaman (Yuliasmara et al., 2009).

$$\text{Log } B = (-1,684 + 2,158 * \text{Log } (d_{30}) + 0,892 * \text{Log } (\text{alt}))$$

Keterangan:

- B = Biomassa (kg)
- d_{30} = diameter batang pada ketinggian 30 cm (cm)
- alt = ketinggian pohon di atas permukaan tanah (m)

Pada tanaman kelapa sawit, bobot kering batang (T) dapat dihitung dengan rumus (Corley dan Tinker, 2003) :

$$T = VS$$

$$\begin{aligned} \text{Bobot} &= \text{volume} \times \text{massa jenis (Yuliasmara et al., 2009).} \\ &= \pi r^2 h S \end{aligned}$$

Keterangan:

- V = volume batang (liter)
- r = jari-jari batang (setelah pangkal daun dihilangkan)
- h = tinggi tanaman
- S = massa jenis batang kering (kg/liter)
- $S = 0,0076 \text{ t} + 0,083$

Volume batang diukur dengan rumus silinder. Jari-jari batang diukur pada ketinggian 1,5 m dari pangkal batang dengan cara mengukur keliling (lingkaran) batang dengan meteran.

$$\text{Keliling} = 2\pi r$$

r dapat dihitung.

$$\text{Volume batang} = \pi r^2 h$$

Tinggi tanaman diukur mulai dari pangkal batang di atas permukaan tanah sampai pada daun ke-17. Pengukuran, misalnya dengan mengambil jarak 20 m dari pohon (D). Sudut benang, misalnya menunjuk 20°, posisi mata (B) misalnya 1,5 m di atas permukaan tanah.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pohon } A &= \text{Tangen } 10^\circ \times D + \text{tinggi posisi mata (B)} \\ &= 0,36413 \times 20 \text{ m} + 1,5 \text{ m} \\ &= 8,78 \text{ m} \end{aligned}$$

Penghitungan massa jenis batang (S) dapat dilakukan dengan mengetahui umur tanaman (t). Jika tidak diketahui umur tanaman, massa jenis batang dapat dihitung dengan mengukur bobot dan volume potongan batang. Potongan batang dapat diperoleh di tempat penggergajian batang kelapa sawit. Bobot potongan batang diperoleh setelah batang dioven selama 48 jam pada suhu 85° C. Volume batang dapat diperoleh dengan metode air tumpahan. Potongan batang dimasukkan ke dalam bak penuh air. Volume air yang tumpah sama dengan volume bagian tanaman yang dimasukkan ke dalam bak (Yuliasmara et al., 2009).

$$S = \text{bobot} : \text{volume (kg/l)}$$

Dengan menggunakan rumus $\pi r^2 h S$, Listia (2014) dapat menghitung bobot batang kelapa sawit (Tabel 5.11).

Tabel 5.11 Tinggi, Lingkar, Diameter, Volume, dan Bobot Batang Kelapa Sawit pada Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Batang				
	Tinggi (m)	Lingkar (m)	Diameter (m)	Volume (l)	Bobot (kg)
50	4,21 b	3,01 a	0,96 a	3055,4 ab	439,36 ab
368	3,71 b	3,01 a	0,96 a	2770,2 b	398,36 b
693	5,11 a	2,95 a	0,94 a	3558,2 a	398,36 b
865	5,01 a	2,90 a	0,92 a	3373,9 a	485,17 a
KK (%)	8,7	3,9	3,8	9,1	9,1

Keterangan : angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Pada tanaman kelapa sawit, bobot kering daun dapat diperkirakan dari lebar dan tebal pelepah daun, diukur di titik pertemuan antara pelepah daun dan tangkai daun, yaitu pada bagian anak daun yang terendah (Corley dan Tinker, 2003).

$$W = 0,102P + 0,21$$

Keterangan:

W = bobot kering daun (kg) dan

P = lebar $\times$ tebal petiol (cm^2).

Hasil pengamatan yang dilakukan Listia (2014) tercantum dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Lebar Petiol, Tebal Petiol, dan Bobot Kering Daun Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Lebar Petiol (cm)	Tebal Petiol (cm)	Bobot Kering Daun (g)
50	7,6 c	4,4 b	3,8 b
368	8,1 bc	5,9 ab	5,1 ab
693	9,3 a	6,3 a	6,2 a

Tinggi Tempat (mdpl)	Lebar Petiol (cm)	Tebal Petiol (cm)	Bobot Kering Daun (g)
865	8,7 ab	6,3 a	5,9 a
KK (%)	6,0	14,8	19,7

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Bobot kering tandan dapat dihitung dengan rumus (Corley dan Tinker, 2003):

$$D/F = 0,37X + 0,29$$

Keterangan

X = rasio buah/tandan,

D = bobot kering tandan

F = bobot segar tandan dalam kg.

Jika rasio buah/tandan tidak berbeda antar perlakuan, $X = 0,65$, dan rumusnya menjadi (Corley dan Tinker, 2003):

$$D = 0,53 F$$

Listia (2014) mendapatkan potensi produktivitas tercantum pada Tabel 5.13 dan rendemen minyak pada Tabel 5.14.

Tabel 5.13 Jumlah Tandan/Pohon, Jumlah Tandan/ha, Rerata Bobot Tandan, Potensi Produktivitas, dan Indeks Panen Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Jumlah Tandan/Pohon	Jumlah Tandan/ha	Bobot per Tandan (kg)	Pot Prod (t TBS/ha/th)	Indeks Panen
50	11,8 a	1672,5 a	16,9 c	27,8 a	0,34 ab
368	12,2 a	1564,5 a	19,3 bc	28,5 a	0,39 a
693	7,8 b	793,3 b	26,5 ab	20,4 b	0,27 bc
865	6,0 b	636,0 b	27,7 a	16,6 b	0,23 c
KK (%)	13,8	14,4	16,4	9,3	15,5

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Tabel 5.14 Bobot per Biji, Bobot/Inti, Buah/Tandan, Rendemen Minyak Kelapa Sawit di Beberapa Tinggi Tempat di Sumatera Utara

Tinggi Tempat (mdpl)	Bobot/Biji (g)	Bobot per Inti (g)	Buah/Tandan (%)	Rendemen Minyak (%)
50	12,13 a	0,67 b	66,5 a	25,9 a
368	13,47 a	0,83 ab	72,2 a	25,7 a
693	16,67 a	1,00 a	71,9 a	24,3 b
865	16,90 a	0,93 a	74,6 a	23,5 b
KK (%)	19,7	13,3	8,8	2,7

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji beda nyata terkecil taraf kesalahan 5%. KK = koefisien keragaman.

Sumber: Listia (2014)

Bobot kering batang karika dihitung menggunakan pendekatan volume $\times$ bobot volume batang seperti pada tanaman kelapa sawit (Corley dan Tinker, 2003) (Tabel 50). Lingkar batang diukur pada ketinggian 120 cm di atas permukaan tanah. Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang sampai pucuk batang menggunakan meteran atau dengan cara seperti yang dilakukan pada tanaman kelapa sawit. Volume potongan batang dapat diukur secara rata-rata dengan mengambil potongan batang yang dapat dihitung volumenya dengan mengukur diameter dan tinggi potongan batang. Volume potongan batang juga dapat dihitung menggunakan metode air tumpahan (Yuliasmara, 2009). Bobot kering batang diukur setelah dikeringkan dengan oven pada suhu 65–85° C. Untuk memperoleh bobot volume batang secara lebih akurat, dapat dipilih batang dari tiap perlakuan dan dari tiap perlakuan dipilih tanaman dengan ukuran kecil, sedang, dan besar. Bobot volume potongan batang = bobot potongan batang: volume potongan batang. Bobot batang = volume batang $\times$ bobot volume potongan batang. Hasil pengukuran tinggi tanaman, lingkar batang

pada ketinggian 120 cm di atas permukaan tanah dan perhitungan bobot kering batang tanaman karika di beberapa tinggi tempat di Dieng dicantumkan dalam Tabel 5.15 (Apsari, 2021).

Tabel 5.15 Tinggi Batang, Diameter Batang, dan Bobot Kering Batang Tanaman Karika di Beberapa Tinggi Tempat di Dieng

Tinggi Tempat (mdpl)	Tinggi Batang (cm)	Diameter Batang (cm)	Bobot Kering Batang (g)
1.500	224 b	8,65 b	7,02 b
1.800	286 ab	13,28 a	23,76 a
2.100	303 a	13,87 a	26,22 a
KK (%)	19	24	61

Keterangan: angka dalam kolom diikuti oleh huruf sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf kesalahan 5% dengan uji HSD-Tukey. KK = koefisien keragaman.
Sumber: Apsari (2021)

Aliyaman dan Indradewa (2017) menghitung bobot kering dua kultivar tanaman jambu mete pada berbagai umur tanaman. Perhitungan bobot kering tanaman dilakukan menurut Somarriba et al. (2013) dengan rumus Log bobot kering tanaman = $(-1,11 + 2,64 \times \text{Log diameter})$. Diameter batang dihitung dari hasil pengukuran lingkaran batang pada 15–30 cm di atas permukaan tanah = πr^2 , dan diameter batang = $2r$. Hasil pengukuran lingkaran batang tercantum pada Tabel 5.16, sedangkan hasil perhitungan bobot kering tanaman pada Tabel 5.17. Tabel 5.17 menunjukkan bahwa bobot kering tanaman kultivar jambu mete dengan warna buah merah tidak berbeda antara yang berumur 5 sampai 26 tahun, sedangkan pada kultivar yang berbuah kuning hanya antara 5 sampai 17 tahun. Mulai umur 26 tahun, tanaman mempunyai bobot tanaman yang nyata lebih tinggi dan terus berlanjut saat tanaman berumur 37 tahun. Pada umur 26 tahun, kultivar jambu mete dengan buah kuning mempunyai bobot tanaman yang lebih berat, sedangkan pada umur yang lain tidak ada perbedaan yang nyata. Bobot kering tanaman yang berumur 37 tahun dapat mencapai lebih dari 500 kg per tanaman.

Tabel 5.16 Lingkar Batang (cm) Dua Kultivar Jambu Mete pada Beberapa Umur Tanaman

Kultivar (Warna Buah)	Umur Tanaman (Tahun)				Rerata
	5	17	26	37	
Merah	54,2	60,6	71,4	88,2	68,60 p
Kuning	58,0	58,2	70,0	97,8	71,00 p
Rerata	56,10 c	59,40 c	70,70 b	93,00 a	(-)

Keterangan: angka dalam baris dan kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan DMRT taraf kesalahan 5%. (-) tidak terjadi interaksi.

Sumber: Aliyaman & Indradewa (2019)

Tabel 5.17 Bobot Kering Tanaman (kg) Dua Kultivar Jambu Mete pada Beberapa Umur Tanaman

Kultivar (Warna Buah)	Umur Tanaman (Tahun)				Rerata
	5	17	26	37	
Merah	136,7 c	178,3 c	188,7 c	527,3 a	257,7
Kuning	146,1 c	160,8 c	352,6 b	651,8 a	327,8
Rerata	141,4	169,5	270,6	589,5	(+)

Keterangan: angka di dalam baris dan kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan DMRT taraf kesalahan 5%. (+) terjadi interaksi.

Sumber: Aliyaman & Indradewa (2019)

Bobot kering tanaman semusim yang tidak boleh didestruksi dapat didekati dengan menggunakan pengamatan tidak langsung berdasarkan persamaan yang dibuat sendiri. Ditanam 10–30 tanaman yang boleh didestruksi serupa dengan yang tidak boleh didestruksi. Diamati tinggi, diameter batang, dan bobot kering tanaman untuk masing-masing tanaman, 10 tanaman pada saat ukuran tanaman masih relatif kecil, 10 saat berukuran sedang, dan 10 saat telah berukuran besar. Dibuat perhitungan regresi misalnya dengan menggunakan model linier.

$$y = a + bx$$

y = bobot kering tanaman

a = *intercept*

b = konstanta

x = tinggi $\times$ diameter batang

Dari persamaan, dihitung bobot kering tanaman yang tidak boleh didestruksi dengan menggunakan hasil pengamatan tinggi dan diameter batang pada tanaman tersebut.

K. Indeks Panen

Harvest index (HI) atau indeks panen (IP) menggambarkan kemampuan tanaman menyalurkan asimilat ke hasil ekonomis, tidak mempunyai satuan. Hasil ekonomis adalah bagian tanaman yang mempunyai nilai ekonomis, dapat berupa daun, batang, buah, biji, akar, maupun bagian yang diekstrak, misalnya getah, nira, dan sebagainya tergantung jenis tanamannya (Gardner et al., 1980).

$$HI = \frac{We}{W} \text{ (tidak bersatuan)}$$

Keterangan:

We = bobot kering hasil ekonomis

W = bobot kering tanaman

L. Distribusi Fotosintat

Para peneliti jagung biasa melakukan pengamatan bobot tongkol berklobot, bobot tongkol tanpa klobot, dan bobot biji. Parhusip et al. (2020) membuat penelitian pengaruh takaran fosfat alam pada tanaman jagung mulai 150 sampai 750 dengan pupuk dasar urea 200 kg/ha dan KCl 150 kg/ha. Pengamatan dilakukan pada bobot tongkol berklobot, bobot tongkol tanpa klobot, dan bobot biji per tongkol. Untuk memberi gambaran distribusi fotosintat dan air setelah ditranslokasikan ke tongkol, dapat ditambahkan pengamatan bobot klobot dan bobot janggel [Tabel 5.18(a)], kemudian dapat dihitung persentase klobot/tongkol berklobot, janggel/tongkol berklobot, dan

biji/tongkol berkllobot [Tabel 5.18(b)]. Dengan tambahan perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa peningkatan hasil biji/tongkol akibat peningkatan takaran fosfat alam lebih disebabkan oleh peningkatan distribusi fotosintat dan air yang dihasilkan tanaman ke tongkol berkllobot dibandingkan peningkatan distribusi fotosintat dan air dari tongkol berkllobot ke biji.

Tabel 5.18 (a) Bobot Bagian-Bagian Tongkol Jagung pada Berbagai Takaran Fosfat Alam

Takaran Fosfat Alam (kg/ha)	Tongkol Berklobot (g)	Tongkol Tanpa Klobot (g)	Biji (g)	Klobot (g)	Janggal (g)
150	220,94	195,00	147,50	25,94	73,44
300	229,06	205,62	154,06	23,44	75,00
450	241,25	215,62	165,62	25,63	75,73
600	255,62	227,19	173,12	28,43	82,50
750	276,25	250,94	190,62	25,31	85,63

Sumber: Parhusip et al. (2020 data diolah)

Tabel 5.18 (b) Distribusi Asimilat Tanaman Jagung pada Berbagai Takaran Fosfat Alam

Takaran Fosfat Alam (kg/ha)	Klobot/Tongkol Berklobot (%)	Janggal/Tongkol Berklobot (%)	Biji/Tongkol Berklobot (%)
150	11,74	24,36	66,76
300	10,23	25,07	67,26
450	10,62	23,19	68,65
600	11,12	23,80	67,72
750	9,16	24,15	69,00

Sumber: Parhusip et al. (2020 data diolah)

Biomassa hasil fotosintesis pada kacang tanah setelah disalurkan ke dalam polong, selanjutnya akan diteruskan ke dalam biji. Tanaman yang menyalurkan fotosintat ke dalam polong yang tidak berbeda,

dapat mempunyai hasil biji lebih berat apabila mampu menyalurkan fotosintat tersebut dengan proporsi lebih besar ke dalam biji. Kemampuan menyalurkan fotosintat dari dalam polong ke dalam biji dapat ditunjukkan dengan perhitungan tambahan berupa bobot biji/ bobot polong. Tabel 5.19 memberikan informasi bahwa kacang tanah kultivar lokal Genol yang menghasilkan bobot polong tidak berbeda dibandingkan kultivar unggul Bima, dapat mendistribusikan fotosintat yang dihasilkan dalam proporsi yang lebih besar, yaitu 52% ke dalam biji dibandingkan 49% pada kultivar Bima sehingga mempunyai bobot hasil biji yang lebih berat. Secara kasat mata, kultivar Genol mempunyai kulit biji yang lebih tipis.

Tabel 5.19 Distribusi Biomassa pada Polong Kacang Tanah

Bobot Kering (g/Tanaman)	Kultivar	
	Genol	Bima
Polong	8,09 a	7,03 a
Biji	4,21a	3,46 b
Biji/Polong	0,52	0,49

Keterangan : angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda berdasarkan beda nyata terkecil kesalahan 5%.

Sumber: Zuhri (2009)

M. Durasi Fase Generatif dan Laju Pengisian Biji

Pengamatan umur berbunga dan umur panen banyak dilakukan para peneliti, namun jarang yang menghitung durasi fase generatif dan laju pengisian biji. Durasi fase generatif dihitung dari umur panen dikurangi umur berbunga. Laju pengisian biji seharusnya dihitung dari saat biji mulai terisi sampai panen. Namun, karena jarang dilakukan pengamatan saat mulai pengisian biji, perhitungan diganti dengan durasi fase generatif. Laju pengisian biji dihitung dari bobot biji dibagi durasi fase generatif per tanaman, maupun per satuan luas. Satuan dapat g/hari/tanaman atau kg/hari/ha atau yang lain. Boy (2020)

mengamati umur berbunga dan umur panen 20 varietas padi Gogo lokal asal Sulawesi Tengah (Tabel 5.20).

Terdapat variasi umur berbunga dan umur panen di antara varietas padi yang diteliti. Umur berbunga bervariasi dari 91 sampai 110 hari, sedangkan umur panen bervariasi antara 121 sampai dengan 140 hari. Meskipun terdapat variasi umur berbunga dan umur panen, ternyata durasi fase generatif hampir seluruhnya sama, yaitu 30 hari. Dengan demikian, perbedaan hasil di antara varietas padi Gogo tersebut bukan karena durasi pengisian biji yang berbeda, melainkan lebih karena laju pengisian biji yang berbeda ($r = 0,98^{**}$). Laju pengisian biji tertinggi pada kultivar Habo sebesar 0,88 (g/hari) dengan hasil juga tertinggi sebesar 26,39 g/rumpun. Laju pengisian biji paling kecil terjadi pada klutivar Lambara sebesar 0,44 g/hari yang juga mempunyai hasil biji terkecil, yaitu 13,21 g/rumpun.

Tabel 5.20 Umur Berbunga, Umur Panen, Durasi Fase Vegetatif, Durasi Fase Genaratif, Hasil Biji, dan Laju Pengisian Biji (LPB) Padi Gogo Asal Sulawesi Tengah

Varietas	Umur Berbunga (Hari)	Umur Panen (Hari)	Durasi Fase Veg. (Hari)	Durasi Fase Gen. (Hari)	Hasil Biji (g/ Rumpun)	LPB (g/Hari)
Batu	97 h	127 h	97 h	30	16,59 h-k	0,55
Berra	110 d	140 d	110 d	30	18,86 f-h	0,63
Dupa	91 i	127 h	91 i	36	25,36 ab	0,70
Gado	97 h	127 h	97 h	30	16,54 i-k	0,55
Habo	97 h	127 h	97 h	30	26,39 a	0,88
Hiwanggu	110 d	140 d	110 d	30	24,86 ab	0,83
Kelor	91 i	121 i	91 i	30	23,39 b-d	0,78
Lambara	110 d	140 d	110 d	30	13,21 m-p	0,44
Landaao	91 i	121 i	91 i	30	19,08 fg	0,64
Makole	110 d	140 d	110 d	30	21,38 de	0,71
Makuni	101 g	131 g	101 g	30	15,94 j-l	0,53

Varietas	Umur Berbunga (Hari)	Umur Panen (Hari)	Durasi Fase Veg. (Hari)	Durasi Fase Gen. (Hari)	Hasil Biji (g/ Rumpun)	LPB (g/Hari)
Mea	97 h	127 h	97 h	30	24,46 ab	0,82
Ngkaru	110 d	140 d	110 d	30	13,34 m-o	0,44
Ngofa	97 h	127 h	97 h	30	18,75 g-i	0,63
Paria	110 d	140 d	110 d	30	13,56 m-o	0,45
Ranta	91 i	121 i	91 i	30	24,21 a-c	0,81
Sampara	91 i	121 i	91 i	30	25,09 ab	0,84
Sunggul	101 g	131 g	101 g	30	13,74 l-o	0,45
Tarumbu	101 g	131 g	101 g	30	17,97 g-j	0,60
Wanga	110 d	140 d	110 d	30	22,04 c-e	0,73

Keterangan: angka dalam kolom diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda menurut DMRT kesalahan 5%.

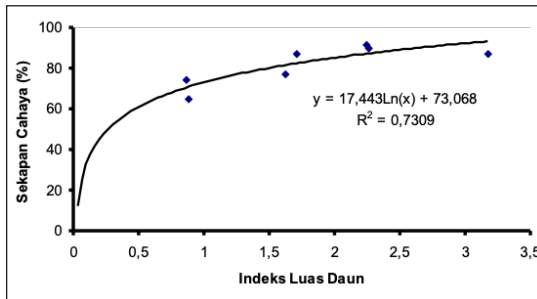
Sumber: Boy (2020, data diolah)

N. Hubungan antar Variabel Analisis Pertumbuhan

Terdapat hubungan di antara variabel-variabel analisis pertumbuhan yang diamati. Hubungan antara indeks luas daun (ILD) dengan sekapan cahaya menghasilkan ILD kritis. Indeks luas daun kritis adalah ILD yang menyebabkan tanaman menyekap 95% cahaya matahari yang sampai ke tajuk tanaman. Gambar 5.2 adalah gambar hubungan ILD dengan sekapan cahaya matahari pada tanaman kedelai yang mendapat perlakuan genangan dalam parit.

Dari gambar tersebut, dapat dilihat ILD mempunyai hubungan logaritmis dengan sekapan cahaya. Sampai dengan ILD 1, peningkatan ILD mengakibatkan sekapan cahaya meningkat dengan cepat. Di atas nilai tersebut, peningkatan ILD, meskipun juga meningkatkan sekapan cahaya matahari, peningkatannya semakin lama semakin melambat. Meskipun demikian, menurut kenyataan di lapangan, sekapan cahaya matahari oleh tajuk tanaman tidak pernah mencapai nilai 100% karena

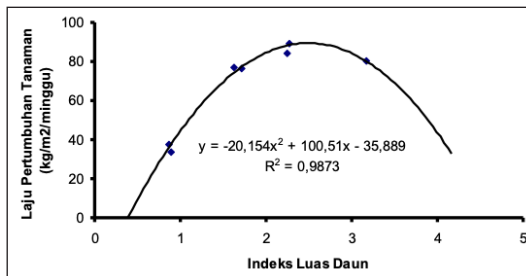
selebat apa pun suatu tajuk tanaman selalu masih meloloskan cahaya matahari ke permukaan tanah. Indeks luas daun kritis pada tanaman kedelai dapat dilihat di gambar terjadi pada nilai 3 sampai 3,5, menurut perhitungan terjadi pada ILD 3,40 (Indradewa, 2002).



Sumber: Indradewa (2002)

Gambar 5.2 Hubungan Indeks Luas Daun dengan Sekapan Cahaya pada Tanaman-Tanaman Kedelai

Hubungan antara ILD dengan laju pertumbuhan tanaman (LPT) menghasilkan ILD optimum. Indeks luas daun optimum adalah ILD yang menyebabkan LPT maksimum seperti pada Gambar 5.3.



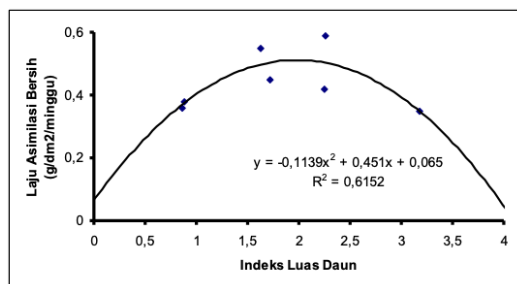
Sumber: Indradewa (2002)

Gambar 5.3 Hubungan Indeks Luas Daun dengan Laju Pertumbuhan Tanaman Kedelai

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa peningkatan ILD tanaman kedelai sampai dengan nilai sekitar 2,5 disertai dengan peningkatan laju pertumbuhan tanaman (LPT). Ini terjadi karena peningkatan ILD mengakibatkan peningkatan sekapan cahaya matahari yang cukup

besar (Gambar 5.2) sehingga tanaman dapat meningkatkan akumulasi bahan kering hasil fotosintesis cukup besar pula. Di atas ILD 2,5, peningkatan ILD mengakibatkan penurunan LAB. Ini terjadi karena peningkatan ILD tidak lagi dapat menambah sekapan cahaya matahari cukup besar (Gambar 5.2), bahkan peningkatan ILD mengakibatkan peningkatan efek saling naung (*mutual shading*) di antara daun. Peningkatan efek saling naung mengakibatkan daun pada tajuk bagian bawah tidak memperoleh cukup cahaya untuk melakukan fotosintesis, padahal respirasi berjalan dengan normal sehingga akumulasi bahan kering hasil fotosintesis yang dinyatakan dengan laju asimilasi bersih (LAB) justru menurun. Menurut perhitungan ILD optimum, tanaman kedelai dicapai pada nilai ILD 2,49 (Indradewa, 2002).

Peningkatan ILD pada umumnya mengakibatkan penurunan LAB karena meningkatnya efek naungan (Gardner et al., 1980). Hasil penelitian Indradewa (2002) ternyata tidak sepenuhnya mengikuti pola umum tersebut.



Sumber: Indradewa (2002)

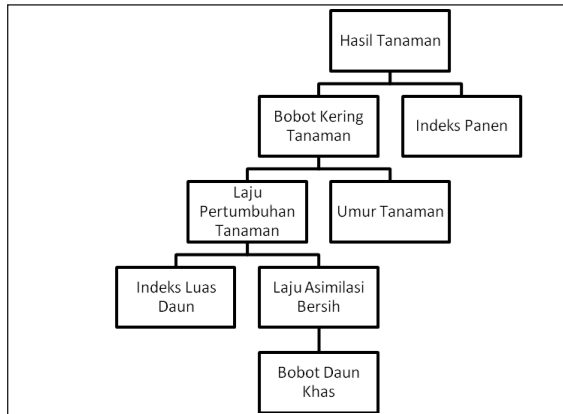
Gambar 5.4 Hubungan Indeks Luas Daun dengan Laju Asimilasi Bersih Tanaman Kedelai

Gambar 5.4 menunjukkan bahwa peningkatan ILD sampai dengan nilai sekitar 2 dapat meningkatkan LAB. Pada penelitian yang dilakukan Indradewa (2002), diduga bahwa peningkatan ILD sampai dengan nilai 2 terjadi akibat peningkatan ketersediaan air. Peningkatan ketersediaan air terjadi pada perlakuan pemberian air sekitar kapasitas lapang untuk jangka waktu yang lama. Keadaan tersebut di samping meningkatkan ILD, juga dapat meningkatkan LAB

karena air menjadi lebih tersedia bagi tanaman, sedangkan efek saling naung yang mengurangi ketersediaan cahaya belum cukup parah sehingga dapat menurunkan LAB tanaman tersebut. Di atas ILD 2, peningkatan ILD mulai menurunkan LAB, seperti yang dikemukakan Gardner *et al.* (1980), terjadi karena ketersediaan air yang lebih baik tidak mampu mengompensasi kekurangan cahaya akibat peningkatan efek saling naung.

Hubungan yang lebih menyeluruh antar variabel analisis pertumbuhan terlihat dalam Gambar 5.5. Bagan hubungan tersebut dapat menjelaskan bagaimana suatu perlakuan atau keadaan dapat berpengaruh terhadap hasil tanaman. Hasil tanaman merupakan bagian akhir dari seluruh proses fisiologis dan menjadi tujuan utama budidaya tanaman. Sifat atau proses fisiologis yang dinyatakan dalam bentuk variabel analisis pertumbuhan awal yang dapat berpengaruh terhadap hasil dimulai dari laju asimilasi bersih (LAB) yang dipengaruhi oleh bobot daun khas (BDK). Bobot daun khas yang berat menggambarkan bahwa daun tersebut tebal, dengan kadar klorofil dan enzim per satuan luas yang tinggi, sehingga mempunyai kemampuan fotosintesis yang tinggi. Indeks luas daun (ILD) berpengaruh terhadap sekapan cahaya (Gambar 5.2).

Kemampuan fotosintesis semua daun menghasilkan pertambahan fotosintat per satuan waktu dinyatakan dalam bentuk perkalian ILD dengan LAB yang menghasilkan laju pertumbuhan tanaman (LPT). Akumulasi fotosintat sampai umur tertentu dinyatakan dalam bentuk perkalian LPT dengan umur tanaman menghasilkan bobot kering tanaman. Selanjutnya, kemampuan akumulasi fotosintat dan kemampuan menyalurkan fotosintat dinyatakan dalam bentuk perkalian antara bobot kering tanaman dengan indeks panen yang menjadi hasil ekonomis.



Gambar 5.5 Hubungan antar Variabel Pengamatan Analisis Pertumbuhan

Tabel 5.21 Beberapa Variabel Analisis Pertumbuhan Tanaman Kedelai yang Tergenang

Variabel Pengamatan	Kontrol	Tergenang
Indeks Luas daun	1,67 a	0,42 b
Sekapan Cahaya (%)	88,7 a	29,80 b
Laju Asimilasi Bersih (g/dm ² /minggu)	1,04 a	0,27 b
Laju Pertumbuhan Tanaman (kg/m ² /minggu)	29,50 a	9,90 b
Bobot Kering Tanaman (t/ha)	2,95 a	0,36 b
Indeks Panen	0,34 a	0,30 a
Hasil Biji (t/ha)	1,59 a	0,34 b

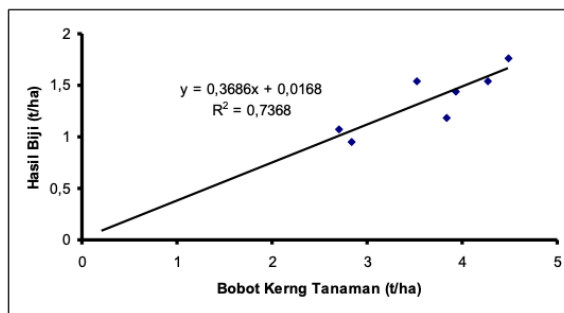
Keterangan: angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda menurut DMRT kesalahan 5%.

Sumber: Indradewa (2002)

Hasil analisis pertumbuhan pada tanaman kedelai tergenang seperti dalam Tabel 5.21. Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa tanaman yang tergenang mempunyai indeks luas daun lebih kecil dibanding tanaman kontrol sehingga menyekap cahaya matahari lebih sedikit. Ditambah dengan laju asimilasi bersih yang

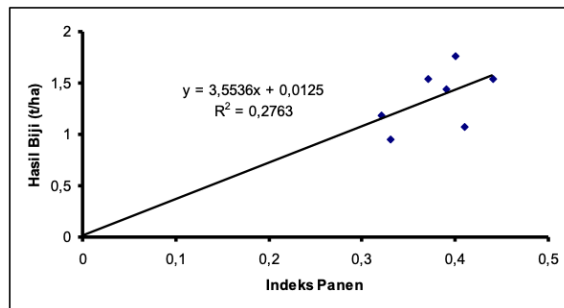
lebih rendah, tanaman yang tergenang mempunyai laju pertumbuhan tanaman dan kemampuan akumulasi bahan kering yang lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol. Dengan kemampuan akumulasi asimilat yang lebih kecil, meskipun kemampuan menyalurkan hasil asimilasinya dinyatakan dengan indeks panen tidak berbeda, tanaman yang tergenang menghasilkan bobot biji yang lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol yang tidak tergenang.

Hasil tanaman dapat dipengaruhi, baik oleh kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering maupun kemampuan tanaman menyalurkan fotosintat tersebut ke hasil ekonomis yang dinyatakan dengan indeks panen. Gambar 5.6 dan 5.7 menunjukkan bahwa hasil biji mempunyai hubungan lebih erat dengan bobot kering tanaman dibandingkan dengan indeks panen.



Sumber: Indradewa (2002)

Gambar 5.6 Hubungan Bobot Kering Tanaman dengan Hasil Biji Kedelai



Sumber: Indradewa (2002)

Gambar 5.7 Hubungan Indeks Panen dengan Hasil Biji Tanaman Kedelai

Bab VI

Hasil, Komponen Hasil, dan Kualitas Hasil

Pengamatan penting yang dilakukan saat panen adalah hasil, komponen hasil, dan kualitas hasil. Hasil, komponen hasil, dan kualitas hasil tanaman semusim pada umumnya diamati satu kali pada saat panen. Tanaman tertentu hasilnya harus dipanen lebih satu kali, misalnya cabai dan tomat sehingga pengamatan juga dapat dilakukan lebih dari satu kali. Tanaman tahunan dipanen berkali-kali atau bahkan terus-menerus sepanjang tahun. Data yang disampaikan dapat berupa data panen pertama, tiap kali panen, maupun data panen total selama satu tahun.

A. Hasil Tanaman

Pengamatan hasil pada tanaman semusim yang ditanam dalam pot dinyatakan dalam hasil per tanaman, sedangkan tanaman di lahan dinyatakan dalam hasil per satuan luas pada umumnya hasil per hektare. Hasil tanaman tahunan juga dapat dinyatakan dalam satuan per pohon dapat pula per hektare. Komponen hasil dan hasil tanaman semusim di lahan diambil dari petak produksi. Tanaman padi, misalnya data diambil dari petak produksi berupa petak ubinan dengan luas minimal 2,5 m × 2,5 m. Pada tanaman tahunan, dapat diambil dari tanaman atau petak sampel. Hasil tanaman tergantung jenisnya dapat berupa hasil biji kering, misalnya pada padi, jagung, kedelai, dan kacang tanah dapat pula berupa hasil buah segar, misalnya cabai atau

tomat; daun segar, misalnya bayam, kangkung, sawi, dan bawang daun. Hasil dapat pula berupa bobot tandan buah segar misalnya pada kelapa sawit dapat pula berupa bobot lateks misalnya pada karet.

B. Komponen Hasil

Agar penjelasan hasil penelitian agronomi lebih perinci dan mendalam, pengamatan hasil ekonomis tanaman perlu dilengkapi dengan komponen-komponen penyusunnya. Pada tanaman dengan hasil ekonomis berupa biji, komponen hasil yang perlu diamati terdiri dari dua bagian utama, yaitu jumlah biji dan ukuran biji. Variabel jumlah biji, kemudian dapat ditelusur lebih perinci pada komponen yang lebih besar, yang berbeda untuk masing-masing jenis tanaman. Variabel ukuran biji pada umumnya dinyatakan dalam bobot pada jumlah tertentu yang berbeda menurut ukuran yang memudahkan untuk diukur.

1. Padi mempunyai komponen yang cukup banyak untuk diamati, antara lain berupa jumlah anakan, jumlah anakan produktif atau jumlah malai, panjang malai, jumlah biji per malai, persentase gabah hampa dan bobot 1.000 butir biji (Tabel 6.1).
2. Komponen hasil pada tanaman tomat, antara lain adalah jumlah tandan, jumlah buah per tandan, dan bobot per buah (Tabel 6.2). Komponen hasil ini juga dapat digunakan pada tanaman kelapa dan kelapa sawit.
3. Komponen hasil kedelai dapat berupa jumlah cabang, jumlah buku per tanaman, jumlah polong per buku, jumlah biji per polong, dan bobot 100 biji, bobot biji per tanaman.
4. Komponen hasil pada tanaman bawang daun dapat berupa jumlah daun dan bobot per lembar daun.
5. Komponen hasil pada bawang merah dapat berupa jumlah siung dan bobot per siung.
6. Komponen hasil kelapa dapat berupa jumlah janjang per pohon, jumlah buah per janjang, dan bobot per buah.
7. Komponen hasil pada tanaman teh berupa jumlah pucuk yang dibagi menjadi jumlah pucuk peko dan pucuk burung, serta bobot pucuk terdiri dari bobot pucuk peko dan pucuk burung.

8. Tanaman karet mempunyai hasil ekonomis berupa getah dengan komponen hasil berupa bobot getah dan rendemen getah.

Bobot buah atau biji pada tiga jenis tanaman, yaitu padi, kedelai, dan kelapa berbeda karena ukuran yang dapat diukur juga berbeda. Ukuran biji padi yang kecil agar dapat diukur dengan timbangan yang banyak tersedia perlu dikumpulkan sebanyak 1.000 butir, pada kedelai 100 butir biji, sedangkan pada kelapa yang berukuran besar yang diukur cukup satu butir. Meskipun akan lebih perinci jika hasil tanaman diperinci menjadi komponen hasil, namun tidak semua tanaman mempunyai komponen hasil. Salah satu tanaman tersebut adalah tanaman wortel. Hasil wortel tidak dapat dipecah menjadi komponennya karena hasilnya berupa satu umbi tiap tanaman.

Tabel 6.1 Komponen Hasil dan Hasil Padi

Komponen Hasil	Ratun	Induk
Jumlah Malai	10,89 b	19,52 a
Panjang Malai (cm)	16,16 b	26,29 a
Jumlah Gabah per Malai	110,02 a	117,30 a
Persentase Gabah Isi (%)	65,0 a	68,0 a
Bobot 1.000 Bulir (gram)	23,35 b	27,85 a
Hasil Gabah (ton/ha)	2,7 b	6,54 a

Keterangan: angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey kesalahan 5 %.

Sumber: Nuzul et al. (2018)

Tabel 6.2 Komponen Hasil 15 Galur Tomat

Variabel Pengamatan	Nilai	
	Terendah	Tertinggi
Jumlah tandan per tanaman	3,57	9,57
Jumlah bunga per tandan	3,23	6,90
Jumlah buah per tandan	2,87	6,50

Variabel Pengamatan	Nilai	
	Terendah	Tertinggi
Jumlah buah per tanaman	17,47	39,13
Panjang buah (cm)	2,34	5,64
Diameter buah (cm)	2,18	4,79
Nisbah panjang/diameter	0,51	1,32
Bobot buah (g)	30,40	71,72

Sumber: Wijayati & Murti (2021)

Salah satu komponen hasil biji tanaman adalah ukuran biji yang dinyatakan dalam bobot 100 atau 1.000 butir biji tergantung pada ukuran biji. Untuk biji tanaman berukuran relatif besar, misalnya jagung digunakan bobot 100 butir biji, sedangkan untuk biji yang relatif kecil, misalnya kacang hijau digunakan bobot 1.000 butir. Untuk menghitung jumlah biji, biasa digunakan alat *grain counter*, tetapi dalam kondisi tidak tersedia alat tersebut, dapat digunakan alat swayasa sederhana yang terbuat dari misalnya gabus putih (*styrofoam*) yang biasa dipakai untuk penggajal barang-barang di dalam kemasan kardus.

Disiapkan gabus putih, misalnya ukuran 15 cm × 15 cm. Dibuat kotak-kotak garis berjarak 1 cm, sebanyak 10 garis mendatar dan 10 baris tegak, sehingga terbentuk perpotongan garis sebanyak 100 titik. Titik potong tersebut dilubangi dengan obeng kembang yang dipanasi di api lilin atau kompor dengan ukuran sedikit lebih besar dibandingkan ukuran biji yang akan dihitung.

Segenggam biji ditabur di atas gabus berlubang, biji diratakan dengan menggunakan, misalnya penggaris sehingga biji masuk ke dalam lubang. Jika jumlah biji kurang dari 100, perlu ditambah. Jika lebih, didorong keluar. Jika semua lubang yang berjumlah 100 terisi semua, berarti jumlah biji di dalam lubang sebanyak 100 butir. Jika perlu mengukur bobot 100 butir maka cukup satu kali tabur, tetapi jika perlu 1.000 berarti harus dihitung jumlah biji berikutnya. Ukuran gabus tidak harus memuat 100 lubang, tetapi menyesuaikan.

C. Kualitas Hasil

1. Warna Bunga

Warna merupakan salah satu indikator penting karakteristik tanaman, antara lain untuk bunga tanaman hias. Pada awalnya, pengamatan warna bunga dilakukan dengan menggunakan *Royal Horticulture Society color chart* (*RHS color chart*). *RHS color chart* menjadi standar baku dalam mengklasifikasikan warna. Seiring berjalannya waktu, diketahui kelemahan-kelemahan dari alat tersebut. Kelemahan yang dirasakan oleh peneliti adalah kurangnya objektivitas penilaian warna karena penentuan warna berdasarkan penglihatan manusia sehingga mempunyai tingkat keakuratan yang rendah, persepsi penglihatan yang berbeda-beda, harga alat yang mahal, serta variasi warna yang cukup terbatas.

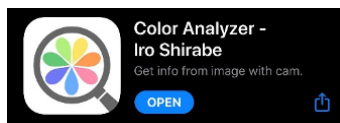
Selain *RHS color chart*, terdapat alat yang lebih canggih, yaitu *chroma meter*. *Chroma meter* dianggap lebih canggih karena menggunakan sistem digital serta mempunyai ruang warna CIELAB yang sudah disesuaikan dengan penglihatan manusia dengan cahaya. Ruang warna CIELAB adalah salah satu ruang warna paling lengkap dan populer untuk mengukur warna objek, yang ditetapkan oleh Komisi Internasional tentang iluminasi warna (*French Commision Internationale de l'eclairage*, dikenal sebagai CIE) tahun 1976. Ruang warna CIELAB secara luas diadopsi di banyak industri untuk kontrol warna dan manajemen. Analisis dengan menggunakan alat akan menghasilkan data yang lebih akurat karena bersifat objektif. *Chroma meter* juga mempunyai kelemahan, yaitu kurang aplikatif digunakan di lapangan karena memerlukan arus listrik dan harganya juga relatif sangat mahal. *Chroma meter* biasanya digunakan dalam skala laboratorium atau tidak di lahan.

Aplikasi *color analyzer* berbasis telepon genggam dapat menjadi alternatif untuk pengukuran warna yang murah dan mudah. Aplikasi ini juga sudah dilengkapi dengan ruang warna CIELAB seperti *chroma meter* yang mengukur nilai L , a , dan b sehingga nilai warna yang dihasilkan bukan berdasarkan penglihatan mata manusia. Nilai

L menunjukkan tingkat kecerahan warna bunga yang mempunyai nilai antara 0–100. Nilai 0 menandakan gelap/hitam, sedangkan 100 menandakan terang/putih. Nilai a dan b dapat bernilai tinggi, maupun rendah. Jika nilai a tinggi maka warna cenderung kemerahan, nilai a rendah cenderung kehijauan, nilai b tinggi cenderung kekuningan, dan b rendah cenderung kebiruan.

Puspitasari dan Indradewa (2023) membuat pengamatan tentang kemungkinan penggunaan aplikasi *color analyzer* untuk pengukuran warna. Bahan yang digunakan adalah bunga krisan merah. Alat yang digunakan adalah *chroma meter*, telepon genggam iPhone 11 Pro Max dengan kamera 12 MP, f/1,8, telepon genggam tipe Android Realme XT dengan kamera 64 MP, f/1,8. Penggunaan dua tipe telepon genggam yang berbeda dengan spesifikasi kamera berbeda untuk mengetahui apakah tipe telepon genggam memengaruhi hasil pengukuran. Telepon genggam dilengkapi dengan aplikasi *color analyzer-Iro Shirabe* (Gambar 6.1) yang dapat diunduh di *App Store*, maupun *Play Store*. Pengamatan dilakukan untuk mengukur nilai L , a , dan b warna bunga krisan merah dilakukan pada siang hari di ruang terbuka (*outdoor*) agar diperoleh kualitas cahaya yang baik.

Sampel bunga diletakkan secara vertikal dengan jarak 20 cm dari telepon genggam yang disangga menggunakan tripod. Pengukuran dilakukan sebanyak 30 kali pengulangan. Pada saat pengukuran, kelopak bunga dilatarbelakangi dengan kertas HVS berwarna putih. Hasil pengukuran diperoleh nilai L , a , dan b yang dianalisis dengan menggunakan *software* SAS (Puspitasari & Indradewa, 2023). Selanjutnya, dibuat regresi untuk mengetahui hubungan antar variabel.

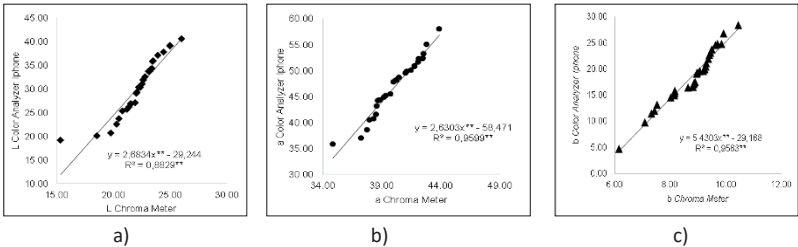


Gambar 6.1 Aplikasi *Color Analyzer Iro Shirabe* untuk telepon genggam.

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran nilai L , a , dan b dengan menggunakan *chroma meter*

dan aplikasi *color analyzer* pada telepon genggam tipe iPhone dan tipe Android. Dihitung koefisien korelasi r dan persamaan regresi untuk L , a , dan b dari tiga alat pengamatan tersebut. Hubungan antara nilai *chroma meter* dengan *color analyzer* iPhone tercantum dalam Gambar 6.2(a) untuk nilai L , Gambar 6.2(b) untuk nilai a , dan Gambar 6.2(c) untuk nilai b . Hubungan antara nilai *chroma meter* dengan *color analyzer* Android tercantum dalam Gambar 6.3(a) untuk nilai L , Gambar 6.3(b) untuk nilai a , dan 6.3(c) untuk nilai b .

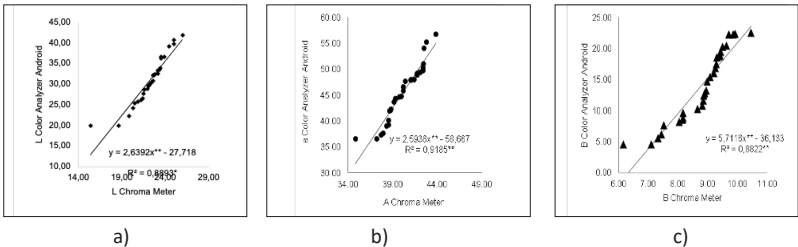
Nilai L yang dihasilkan dari ketiga alat pengukuran warna adalah antara 19–41. Bunga krisan yang diamati berwarna merah tua sehingga nilai L yang dihasilkan rendah mendekati 0 atau cenderung gelap. Hasil pengamatan menunjukkan nilai a dominan tinggi menandakan warna merah yang tua dan nilai b yang dihasilkan cukup rendah sehingga cenderung gelap.



Keterangan: (a) untuk nilai L , (b) untuk nilai a , (c) untuk nilai b

Sumber: Puspitasari & Indradewa (2023)

Gambar 6.2 Regresi *Chroma Meter* × *Color Analyzer* iPhone



Keterangan: (a) untuk nilai L , (b) untuk nilai a , (c) untuk nilai b

Sumber: Puspitasari & Indradewa (2023).

Gambar 6.3 Regresi *Chroma Meter* × *Color Analyzer* Android

Gambar 6.2(a) menunjukkan bahwa nilai L pada *iPhone* mempunyai hubungan sangat nyata dengan nilai L pada *chroma meter* dengan $R^2 = 0,8829^{**}$, mengikuti persamaan linier $y = 2,6834x - 29,244$, Gambar 6.2(b) nilai a dengan $R^2 = 0,9599^{**}$, dan persamaan linier $y = 2,6303x - 58,471$, sedangkan Gambar 6.2(c) nilai b dengan $R^2 = 0,9563^{**}$, mengikuti persamaan linier $y = 5,4303x - 29,168$. Hubungan antara nilai *chroma meter* dengan *color analyzer Android* terlihat dalam Gambar 6.3(a) untuk nilai L dengan $R^2 = 0,8893^{**}$ mengikuti persamaan linier $y = 2,6392x^{**} - 27,718$, Gambar 6.3(b) untuk nilai a dengan $R^2 = 0,9185^{**}$ persamaan linier $y = 2,5936x^{**} - 58,667$, sedangkan Gambar 6.3(c) nilai b dengan $R^2 = 0,8822^{**}$ persamaan linier $y = 5,7116x^{**} - 36,133$.

Menggunakan persamaan regresi yang diperoleh, dapat dihitung nilai L , a , dan b yang terbaca dengan menggunakan *color analyzer iPhone* maupun *Android* menjadi nilai L , a , dan b menurut alat standar *chroma meter*. Hasil perhitungan tersebut dicantumkan di dalam Tabel 6.3 untuk nilai L , Tabel 6.4 untuk nilai a , dan Tabel 6.5 untuk nilai b . Untuk hasil pengukuran pada bunga krisan merah menggunakan telepon genggam, nilai L hanya ditabelkan dengan rentang nilai dari 10 sampai 40, nilai a dari 30 sampai 60, dan nilai b dari 5 sampai 30.

Tabel 6.3 Konversi Nilai L iPhone dan Android Menjadi Nilai L pada Chroma Meter untuk Bunga Krisan Merah

L Color Analyzer iPhone	L Chroma Meter	L Color Analyzer Android	L Chroma Meter
10	14,62	10	14,29
15	16,49	15	16,19
20	18,35	20	18,08
25	20,21	25	19,97
30	22,07	30	21,87
35	23,94	35	23,76
40	25,80	40	25,66

Sumber: Puspitasari & Indradewa (2023)

Tabel 6.4 Konversi Nilai *a* iPhone dan Android Menjadi Nilai *a* pada *Chroma Meter* untuk Bunga Krisan Merah

a Color Analyzer iPhone	a Chroma Meter	a Color Analyzer Android	a Chroma Meter
30	33,64	30	34,18
35	35,54	35	36,11
40	37,44	40	38,04
45	39,34	45	39,97
50	41,24	50	41,90
55	43,14	55	43,83
60	45,04	60	45,75

Sumber: Puspitasari & Indradewa (2023)

Tabel 6.5 Konversi Nilai *b* iPhone dan Android Menjadi Nilai *b* pada *Chroma Meter* untuk Bunga Krisan Merah

b Color Analyzer iPhone	b Chroma Meter	b Color Analyzer Android	b Chroma Meter
5	6,29	5	7,20
10	7,21	10	8,08
15	8,13	15	8,95
20	9,05	20	9,82
25	8,97	25	10,70
30	10,89	30	11,58

Sumber: Puspitasari & Indradewa (2023)

Tabel 6.3 menunjukkan bahwa nilai *L* pada *color analyzer* iPhone dan Android tidak jauh berbeda dengan nilai pada *chroma meter*. Rentang nilai yang dekat menandakan bahwa penggunaan aplikasi *color analyzer*, baik pada iPhone maupun Android dapat digunakan sebagai pengganti alat *chroma meter*. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat, misalnya jika nilai *L color analyzer* Iphone dan Android terbaca 10 maka jika dibaca dengan *chroma meter* akan terbaca nilai sekitar angka 14.

Tabel 6.4 dan 6.5 juga memberikan hasil yang sama, yaitu nilai a dan b pada *color analyzer* iPhone dan Android yang tidak jauh beda dengan nilai a dan b pada *chroma meter*. Jika nilai a pada *color analyzer* iPhone dan Android terbaca 30 maka yang terbaca pada *chroma meter* adalah sekitar angka 33 hingga 34. Jika nilai b pada *color analyzer* iPhone dan Android terbaca 10 maka yang terbaca pada *chroma meter* sekitar angka 6 hingga 7. Konversi nilai dapat dilakukan lebih perinci dengan kisaran lebih lebar. Konversi dapat dihitung lebih cepat jika dibuat program dari persamaan yang telah diperoleh. Dengan nilai yang terukur menggunakan *color analyzer* iPhone, maupun Android, dapat langsung diketahui berapa sebenarnya nilai jika diukur dengan *chroma meter* sebagai alat standar menilai warna bunga krisan merah. Perlu dibuat pengamatan pada warna bunga yang berbeda agar cakupan pemanfaatan menjadi lebih luas.

2. Warna Polong

Edamame adalah kedelai muda yang masih berada dalam polong, disajikan setelah direbus atau dikukus. Yu et al., (2022) mengamati perkembangan polong tiga genotipe edamame, yaitu R15-10280, V16-0547 dan UA-Kirksey untuk menentukan kriteria dan umur panen yang optimal. Edamame dipanen pada R5 (biji awal), R6 (biji penuh), dan R7 (awal matang). Pengamatan dilakukan pada sifat fisik dan kimia edamame. Hasil penelitian menunjukkan bobot polong, bobot biji, dan ketebalan polong memuncak pada R6 dan tetap stabil setelahnya. Gula, pati, alanin, dan glisin juga mencapai puncaknya R6, tetapi terus menurun.

Warna polong sangat penting untuk penerimaan konsumen terhadap edamame. Polong edamame yang lebih cerah dan lebih hijau lebih disukai di pasar. Untuk menentukan warna polong yang optimal diamati nilai CIE L^* , a^* , dan b^* menggunakan Spektrofotometer Konica Minolta CM-700d portabel genggam (Konica Minolta Sensing Americas, Inc, NJ, AS). Nilai dicatat untuk membandingkan sampel, L^* berwarna terang (+)/gelap (-), a^* kemerahan (+)/hijau (-), dan b^* kuning (+)/biru (-) dan ditampilkan pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Nilai L^* , a^* , dan b^* Edamame Genotipe R15-10280 pada Berbagai Fase Pertumbuhan dan Umur Panen

Fase Pertumbuhan	Umur (Hari)	L^*	a^*	b^*
R5-1	118	53,50 c	- 7,35 c	34,77 a
R5-2	123	55,58 bc	- 6,80 bc	35,14 a
R6-1	129	56,86 abc	- 6,73 bc	35,40 a
R6-2	135	59,71 ab	- 5,71 bc	36,15 a
R7-1	141	60,01 ab	- 4,89 ab	36,70 a
R7-2	142	61,27 a	- 3,10 a	37,44 a

Keterangan: nilai diikuti huruf sama dalam kolom menunjukkan tidak berbeda menurut uji HSD Tukey taraf kesalahan 5%.

Sumber: Yu et al. (2022)

Perubahan besar terjadi pada nilai L^* , a^* , dan b^* dari tahap R5-1 hingga R6-2, tetapi tidak pada stadium R7. Nilai L^* meningkat pesat dari R5-1 ke R6-2 diikuti sedikit meningkat saat R7-2. Meningkatnya nilai L^* menunjukkan polong menjadi lebih terang seiring pertumbuhannya. Nilai a^* semuanya negatif yang menunjukkan polong berwarna hijau. Nilai a^* meningkat secara bertahap, namun tidak signifikan dari R5-1 hingga R6-2. Peningkatan a^* terjadi pada R6-2 sampai dengan R7-2 ini menandakan warna hijau dipertahankan hingga R7-1, namun menjadi kurang hijau. Peningkatan nilai b^* secara keseluruhan diamati pada polong, namun peningkatan tersebut tidak signifikan. Meningkatnya nilai b^* menunjukkan polong semakin menguning seiring dengan perkembangan edamame. Secara keseluruhan, dapat diketahui bahwa dalam perkembangan polong, warna polong menjadi lebih terang, kurang hijau, dan lebih kuning. Ini terjadi kemungkinan disebabkan selama perkembangan dari stadium R6 sampai R8 terjadi penurunan kadar klorofil a dan b yang berwarna kehijauan.

Berdasarkan pengamatan sifat fisik dan kimia, edamame optimal dipanen pada fase R6 pada umur 129 sampai 135 hari setelah tanam. Umur tidak dapat dijadikan patokan untuk panen karena dipengaruhi oleh sifat genetik dan lingkungan. Kriteria yang dapat

digunakan adalah warna polong, yaitu nilai L^* 56,86 sampai 59,71, a^* - 6,73 sampai - 5,71, dan b^* 35,40 sampai 36,15. Pengamatan dapat menggunakan Spektrofotometer Konica Minolta CM-700d seperti yang digunakan oleh Yu et al., (2022). Dalam keadaan tidak ada alat tersebut, dapat digunakan telepon genggam iPhone 11 Pro Max atau telepon genggam tipe Android Realme XT seperti yang digunakan Puspitasari & Indradewa (2023) atau yang lain.

3. Kualitas Biji-Bijian

Beras merupakan biji-bijian makanan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Besar kecilnya penerimaan konsumen terhadap beras ditentukan oleh kualitas nasi yang dihasilkan. Sifat-sifat yang menentukan mutu beras, antara lain sifat fisik dan sifat giling, cita rasa dan mutu tanak, serta nilai gizi. Penampilan beras dan cita rasa serta kepulenan nasi merupakan faktor utama pilihan konsumen yang dapat direpresentasikan oleh sifat fisikokimia beras. Standar Nasional Indonesia (SNI) beras giling hanya memuat sifat fisik, tetapi belum menampung cita rasa, mutu tanak, dan nilai gizi dari beras. Hal ini disebabkan adanya perbedaan preferensi konsumen dalam hal cita rasa, mutu tanak, dan nilai gizi beras yang dikonsumsi sehingga sulit untuk distandarkan secara nasional.

Konsumen di setiap daerah mempunyai preferensi yang berbeda-beda terhadap mutu beras. Bagi sebagian masyarakat, terutama Jawa, semakin pulen nasi yang dihasilkan cenderung semakin diminati. Bagi sebagian masyarakat di luar Jawa, nasi yang pera lebih disukai. Karena pada akhirnya yang dituju adalah penerimaan konsumen, uji organoleptik yang menggunakan panelis (pencicip) sering digunakan dalam menilai mutu beras dan nasi. Pendekatan dengan penilaian organoleptik dianggap paling praktis dan lebih murah biayanya. Evaluasi sensori atau organoleptik adalah ilmu pengetahuan yang menggunakan indera manusia untuk mengukur tekstur, penampakan, aroma, dan rasa produk pangan.

Bahan yang digunakan dalam uji organoleptik beras dan nasi oleh Barokah dan Daenuri (2022) adalah 11 varietas, yaitu Inpari 30, Inpari

32, Inpari 33, Inpari 42, Inpari 43, Inpari 44, Siliwangi, Padjajaran, Cakrabuana, Ciherang, dan IR 64. Untuk mengetahui karakter nasi dilakukan pemasakan beras menjadi nasi dengan metode pemasakan yang sama dengan jumlah perbandingan air dan beras yang sama. Masing-masing sampel diberi kode yang dirahasiakan dari panelis. Dua puluh lima panelis diberikan sampel beras dan nasi, kemudian diberi kesempatan untuk melihat, membaui, memegang, dan mencicipi (khusus nasi) dan selanjutnya memberi penilaian. Panelis memberi penilaian dari sampel-sampel beras dan nasi tersebut. Karakter beras yang diujikan adalah warna, kilap, aroma, dan bentuk secara keseluruhan dari beras berbagai varietas yang dinilai, sedangkan untuk karakteristik nasi yang diujikan adalah warna, kilap, aroma, dan kepulenan.

Hasil uji organoleptik beras pada Tabel 6.7 dapat diketahui bahwa sebagian sampel yang diuji memiliki warna agak putih. Skor warna tertinggi dimiliki varietas Inpari 44 dengan skor 3,68, sedangkan terendah varietas Inpari 43 dengan skor 2,64. Beras yang paling berkilap adalah varietas Inpari 33 dengan skor 3,56, yang agak berkilap adalah varietas Inpari 43 dengan skor 2,72. Parameter aroma menunjukkan sebagian besar sampel memiliki aroma netral. Skor tertinggi dimiliki oleh Siliwangi dengan skor 2,48, sedangkan terendah dimiliki oleh varietas Inpari 42 dengan skor 2,28. Sebagian besar varietas beras berbentuk panjang. Skor tertinggi dimiliki oleh varietas Inpari 30 dan Inpari 33 dengan skor 2,12. Sementara itu, skor terendah adalah varietas Siliwangi dengan skor 1,6.

Tabel 6.7 Skor Uji Organoleptik Beras Beberapa Varietas Padi

Varietas	Warna	Kilap	Aroma	Bentuk
Inpari 30	3,64	3,48	2,44	2,12
Inpari 32	3,52	3,28	2,40	2,04
Inpari 33	3,36	3,56	2,40	2,12
Inpari 42	2,80	2,92	2,28	1,88
Inpari 43	2,64	2,72	2,32	1,92

Varietas	Warna	Kilap	Aroma	Bentuk
Inpari 44	3,68	3,16	2,40	1,88
Siliwangi	3,32	2,84	2,48	1,60
Padjajaran	3,48	3,40	2,40	1,96
Cakra Buana	3,56	3,28	2,40	2,00
Ciherang	3,44	3,24	2,40	1,92
IR 64	3,48	3,28	2,32	1,80

Sumber: Barokah & Daenuri (2022)

Keterangan:

- skor warna: 5 = sangat putih, 4 = putih, 3 = agak putih, 2 = kusam, 1= sangat kusam
- skor kilap: 5 = sangat berkilap, 4 = berkilap, 3 = agak berkilap, 2 = kusam, 1= sangat kusam
- skor aroma: 5 = sangat wangi, 4 = wangi, 3 = agak wangi, 2 = netral, 1= bau tidak enak
- skor bentuk: 3 = bulat, 2 = panjang, dan 1= pendek

Panelis pada uji *ranking* diminta mengurutkan contoh-contoh yang diuji berdasarkan sifat beras dengan memberikan nomor urut. Berdasarkan hasil uji *ranking* pada Tabel 6.8 diperoleh hasil yang paling bagus adalah varietas Siliwangi dengan skor 7,4, sedangkan yang paling tidak bagus adalah varietas Inpari 33 dengan skor 4,2.

Tabel 6.8 Skor Uji *Rangking* dan Uji Hedonik Beras Beberapa Varietas Padi

Varietas	Uji <i>Ranking</i> *	Uji Hedonik **
Inpari 30	4,76	4,24
Inpari 32	5,16	4,32
Inpari 33	4,20	4,44
Inpari 42	6,84	3,56
Inpari 43	7,28	3,72
Inpari 44	4,96	3,96
Siliwangi	7,40	3,88
Padjajaran	7,28	4,28

Varietas	Uji <i>Ranking</i> *	Uji Hedonik **
Cakra Buana	6,20	4,56
Ciherang	5,92	4,28
IR 64	6,0	4,16

Sumber: Barokah & Daenuri (2022)

Keterangan:

* Skor 1 = paling bagus; 11= tidak bagus

** Skor 6 = sangat suka; 5 = suka; 4 = agak suka; 3 = biasa; 2 = agak tidak suka; 1= tidak suka

Uji hedonik dalam penelitian ini dilakukan untuk menguji kesukaan panelis terhadap sampel yang diuji. Uji hedonik merupakan tanggapan pribadi panelis tentang kesukaan atau ketidaksukaannya terhadap beras yang dinilai dalam bentuk skor hedonik: 6 = sangat suka ; 5 = suka; 4 = agak suka; 3 = biasa; 2 = agak tidak suka; 1 = tidak suka. Berdasarkan hasil uji hedonik terhadap 11 sampel beras yang diujikan (Tabel 6.9), dapat diketahui varietas Cakra Buana merupakan varietas yang paling disukai daripada varietas lainnya. Varietas Cakra Buana memiliki skor organoleptik tertinggi (4.52), yakni sebanyak 20% panelis menyatakan sangat suka, 36% suka, 28% agak suka, 12% biasa, 4% agak tidak suka, dan 0% panelis menyatakan tidak suka. Tabel 6.8 juga menunjukkan bahwa varietas Inpari 42 merupakan varietas yang paling tidak disukai (skor = 3,56). Banyaknya panelis yang menyatakan tidak suka terhadap varietas ini adalah 16%.

Selain beras, diujikan juga nasi yang dihasilkan dari penanaman beras. Dari Tabel 6.9, dapat diketahui bahwa warna nasi dengan skor tertinggi adalah Cakra Buana (4,12) dengan warna putih, sedangkan skor terendah pada Inpari 43 dengan skor 2,8 dengan warna agak putih. Nasi yang berkilap adalah varietas Padjajaran skor 3,8, dan yang agak berkilap adalah varietas Inpari 43 skor 2,64. Dari segi aroma, nasi varietas Siliwangi mempunyai aroma agak wangi dengan skor 3,2 dan nasi varietas Inpari 43 mempunyai aroma paling netral dengan skor 2,44. Tekstur merupakan ciri sensori utama nasi yang menentukan tingkat penerimaan konsumen. Hasil uji skoring terhadap nasi 11

varietas padi, menunjukkan bahwa varietas Siliwangi memiliki tingkat kepulenan yang paling tinggi dibandingkan lainnya dengan skor 3,96. Varietas yang memiliki tingkat kepulenan terendah (pera) berdasarkan uji skoring adalah varietas Inpari 30 dengan skor 2,36.

Tabel 6.9 Skor Uji Organoleptik Nasi Beberapa Varietas Padi

Varietas	Warna	Kilap	Aroma	Kepulenan
Inpari 30	3,28	2,84	2,72	2,36
Inpari 32	3,08	2,88	2,60	2,88
Inpari 33	3,72	3,36	2,76	3,40
Inpari 42	4,08	3,72	2,68	3,20
Inpari 43	2,8	2,64	2,44	3,40
Inpari 44	4,00	3,64	2,84	3,44
Siliwangi	4.00	3,64	3,20	3,96
Padjajaran	3,96	3,8	2,60	3,52
Cakra Buana	4,12	3,68	3,16	3,16
Ciherang	3,76	3,20	2,88	3,64
IR 64	3,68	3,64	3,12	3,28

Sumber: Barokah & Daenuri (2022)

Keterangan:

- skor warna : 5 = sangat putih, 4 = putih, 3 = agak putih, 2 = kusam, 1= sangat kusam
- skor kilap : 5 = sangat berkilap, 4 = berkilap, 3 = agak berkilap, 2 = kusam, 1 = sangat kusam
- skor aroma : 5 = sangat wangi, 4 = wangi, 3 = agak wangi, 2 = netral, 1= bau tidak enak
- skor kepulenan : 5 = sangat pulen, 4 = pulen, 3 = sedang, 2 = pera, 1 = sangat pera

Tabel 6.10 Skor Uji *Ranking* dan Uji Hedonik Nasi Beberapa Varietas Padi

Varietas	Uji <i>Ranking</i> *	Uji Hedonik**
Inpari 30	7,72	3,44
Inpari 32	7,00	3,56

Varietas	Uji <i>Ranking</i> *	Uji Hedonik**
Inpari 33	6,20	4,00
Inpari 42	4,84	4,24
Inpari 43	8,76	3,36
Inpari 44	4,92	4,44
Siliwangi	4,24	4,60
Padjajaran	4,56	4,56
Cakra Buana	4,52	4,32
Ciherang	7,00	4,28
IR 64	5,84	4,28

Sumber: Barokah & Daenuri (2022)

Keterangan:

* Skor 1= paling bagus; 11= tidak bagus

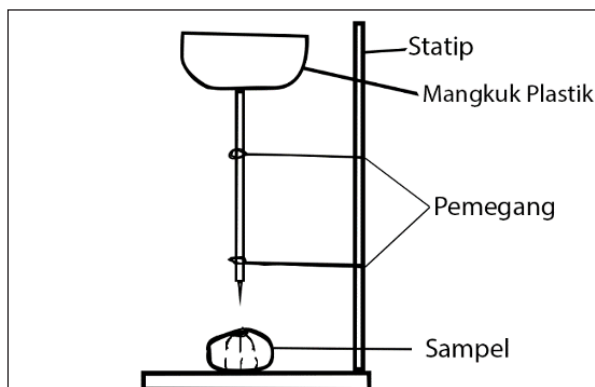
** Skor 6 = sangat suka; 5 = suka; 4 = agak suka; 3 = biasa; 2 = agak tidak suka; 1 = tidak suka

Berdasarkan hasil uji *ranking* pada nasi pada Tabel 6.10 didapatkan hasil yang paling bagus adalah Siliwangi dengan skor 4,24, sedangkan yang paling tidak bagus adalah Inpari 43 dengan skor 8,76. Uji hedonik menunjukkan varietas Siliwangi merupakan varietas yang paling disukai daripada varietas lainnya dengan skor 4,60 dan Inpari 43 merupakan varietas paling tidak disukai dengan skor 3,36.

4. Kualitas Buah dan Sayur

Kualitas buah dapat diamati secara objektif menggunakan alat dan dapat pula diamati secara subjektif oleh panelis. Kualitas buah tomat yang biasa diamati menggunakan alat, antara lain adalah kekerasan buah, padatan terlarut yang memberikan gambaran tingkat kemanisan, total asam tertitrasi, dan vitamin C yang dapat dirasakan sebagai tingkat keasaman dan yang cukup mudah diamati dengan peralatan sederhana adalah susut bobot dan kadar air.

Kekerasan buah diukur dengan *penetrometer* (Barreis Prufgeratebau GmbH tipe BS 61 II) yang dapat didekati dengan alat swayasa (Gambar 6.4). Alat alternatif *penetrometer* tersebut terdiri dari satu batang dari bahan bambu atau logam, di satu bagian ujungnya dipasang jarum dan di ujung yang lain mangkuk untuk menampung beban air. Jarum jahit yang digunakan dalam percobaan ini mempunyai panjang 4 cm diameter 0,5 mm. Batang ditegakkan dengan menempatkan pada cincin secara longgar agar dapat tegak, tetapi dapat leluasa bergerak. Buah tomat, misalnya, diletakkan di bawah jarum, dituangkan air dari gelas ukur dengan volume tercatat, sampai jarum menusuk buah tomat dengan kedalaman, misalnya 2 cm secara seragam. Jumlah air yang menyebabkan jarum menusuk buah dicatat dan dibandingkan antar perlakuan. Volume air dalam satuan ml sama dengan bobot air dalam satuan gram. Akan lebih baik jika dapat dilakukan kalibrasi dengan *penetrometer* standar, tetapi jika tidak, bobot air yang dikonversi dari volume dapat memberi gambaran tingkat kekerasan buah.

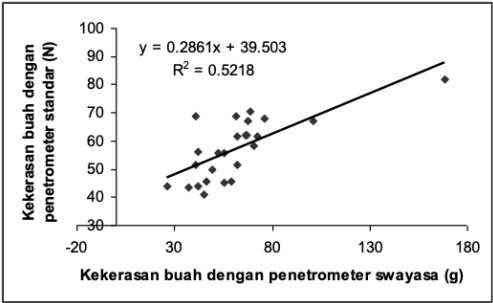


Sumber: Didik Indradewa (2020)

Gambar 6.4 *Penetrometer* Swayasa

Gambar 6.5 adalah hasil konversi pengukuran menggunakan alat *penetrometer* swayasa dengan *penetrometer* standar pada buah tomat dengan tingkat kematangan berbeda. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang cukup erat antara hasil pengukuran

menggunakan *pnetrometer* swayasa dengan hasil pengukuran menggunakan *pnetrometer* standar. Sementara itu, Tabel 6.11 memuat konversi nilai kekerasan buah tomat dengan *pnetrometer* swayasa dan *pnetrometer* standar.



Sumber: Didik Indradewa (2020).

Gambar 6.5 Hubungan Nilai Kekerasan Buah Tomat Diukur dengan *penetrometer* Swayasa Dibandingkan dengan *Penetrometer* Standar

Tabel 6.11 Konversi Nilai Kekerasan Buah Tomat dengan *Pnetrometer* Swayasa dan *Pnetrometer* Standar.

Nilai Tingkat Kekerasan Buah Tomat	
Alat Swayasa (gram)	<i>Pnetrometer</i> (Newton)
20	45,23
40	50,95
60	56,67
80	62,39
100	68,11
120	73,84
140	77,56
160	85,28

Sumber: Didik Indradewa (2020)

Padatan Terlarut Total (PTT) yang dapat menggambarkan tingkat kemanisan diukur dengan *hand refraktometer*. Penentuan nilai PTT dilakukan dengan mengambil sejumlah bahan sampel, dihaluskan menggunakan mortar dan alu. Bahan diperas hingga mengeluarkan filtrat dan ditetaskan di atas prisma refraktometer. Nilai PTT dapat dibaca pada monitor refraktometer dengan satuan °Brix.

Penentuan kadar vitamin C dilakukan dengan memotong buah kecil-kecil dan ditimbang 2 g, kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan alu. Sampel yang telah halus dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan akuades sebanyak 10 ml lalu diaduk hingga homogen. Larutan disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtratnya. Dilakukan pengukuran absorbansi terhadap filtrat tersebut dengan akuades sebagai blanko menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 265 nm. Kadar vitamin C dalam buah ditentukan dengan mencari nilai konsentrasi dari persamaan regresi kurva standar yang didapatkan

$$Y = aX + b$$

X adalah konsentrasi vitamin C dan Y adalah absorbansi. Kadar vitamin C dinyatakan dalam mg asam askorbat per 100 g sampel (mg/100g), dengan rumus konversi (Wijayati dan Murti, 2021):

$$\frac{c.v}{g} \times fp$$

Keterangan:

- c = Konsentrasi vitamin C (nilai X)
- v = Volume larutan yang digunakan (mL)
- fp = Faktor pengenceran
- g = Bobot sampel yang digunakan (g)

Penentuan total asam tertitrasi (TAT) dilakukan dengan memotong buah menjadi kecil-kecil, ditimbang sebanyak 2 g, kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan alu. Sampel yang telah halus dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan akuades sebanyak 10 ml lalu diaduk hingga homogen. Larutan disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat. Filtrat, kemudian diencerkan

dengan akuades hingga volume larutan menjadi 80 ml. Sebanyak 20 ml dari hasil pengenceran diambil dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 3 tetes indikator phenolphthalin dan dititrasi dengan NaoH 0,1 N hingga muncul warna merah jambu. TAT dihitung dengan rumus berikut.

$$\frac{(ml\ NaOH \times N\ NaOH \times total\ volume\ bahan \times bobot\ ekuivalen\ asam \times 100)}{(volume\ bahan\ yang\ dititrasi \times berat\ bahan\ awal \times 100)}$$

Sumber: Wijayati dan Murti (2021)

Kadar vitamin C yang diamati dengan menggunakan *spectrophotometer* dan nilai asam tertitrasi dan yang biasa diamati dengan cara kimia, dapat didekati dengan mengukur pH cairan buah menggunakan pH meter atau kertas pH. Kualitas 15 galur tomat yang diamati oleh Wijayati dan Murti (2021) dicantumkan dalam Tabel 6.12.

Tabel 6.12 Kualitas 15 Galur Tomat

Variabel Pengamatan	Nilai	
	Terendah	Tertinggi
Kekerasan Buah (Newton)	24,45	55,79
Padatan Terlarut Total (°Brix)	6,11	8,22
Total Asam Tertitrasi (%)	0,37	0,48
Vitamin C (%)	0,019	0,023

Sumber: Wijayati dan Murti (2021)

Susut bobot dihitung dari bobot segar buah suatu waktu dan pada waktu berikutnya, sedangkan kadar air dihitung dari bobot segar - bobot kering: bobot kering × 100%. Warna buah pada saat masak optimum dapat dibandingkan antar perlakuan dengan menggunakan *Muncel color chart*, *chroma meter* dapat juga didekati dengan menggunakan *color analyzer* pada telepon pintar dengan cara seperti cara pengukuran kadar klorofil daun atau warna bunga.

Kualitas buah yang dapat diamati oleh panelis secara subjektif adalah penampilan buah, rasa buah, aroma buah (Tabel 6.13), umur

simpan, dan mutu visual, dan persen kerusakan buah. Pengamatan ini dapat dilakukan tanpa menggunakan peralatan atau bahan yang relatif mahal, hanya perlu dibuat daftar pertanyaan yang perlu diisi oleh panelis. Hasil pengamatan pengaruh kemasan pada buah stroberi tercantum dalam Tabel 6.14.

Tabel 6.13 Kriteria *Skoring* Kualitas Buah Stroberi

Variabel	Skor			
	1	2	3	4
Penampilan	Tidak dapat diterima	Kurang diterima	Diterima	Sangat diterima
Rasa	Sangat asam	Asam	Asam>manis	Manis>asam
Aroma	Tidak ada aroma	Sedikit tercium aroma	Tercium aroma	Aroma tercium

Sumber: Nasution et al. (2013)

Tabel 6.14 Kualitas Buah Stroberi yang Disimpan dalam Kemasan Berbeda

Variabel	Kemasan		
	Tanpa	Styrofoam+Plastik	Plastik PE+Vakum
Penampilan	1,94 c	2,71 b	3,17 a
Mutu visual	5,88 c	6,57 b	7,25 a
Rasa	2.20 a	1,80 b	1,87 b
Aroma	3.26 a	3,13 a	2,90 b
Warna	3,01 c	3,96 b	4,74 a
Umur simpan	4,83 c	7,33 b	10,00 a

Keterangan: angka dalam baris diikuti huruf sama menunjukkan tidak berbeda berdasar DMRT tingkat kesalahan 5%.

Sumber: Nasution et al. (2013)

Pengamatan dilakukan pada hari keenam, kecuali umur simpan yang diamati saat buah sudah menurun kualitasnya. Tabel 6.14 menunjukkan bahwa penggunaan kemasan pada umumnya dapat

mempertahan kualitas buah stoberi lebih lama. Kemasan plastik PE (*polyethylene*) disertai dengan pemvakuman lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *styrofoam* dan plastik *cling wrap*.

Nilai *visual quality rating* (VQR) setiap buah diamati setiap satu minggu sekali, dengan membandingkan buah yang menjadi sampel dengan tingkat kerusakannya atau pembusukan berdasarkan kategori yang ditentukan (Tabel 6.15). Nilai VQR menentukan umur simpan buah, semakin rendah nilai VQR maka umur simpan buah semakin pendek.

Tabel 6.15 Nilai *Visual Quality Rating* (VQR) dan Kriteria Tingkat Kecacatan atau Kerusakan

VQR	Kecacatan/Kerusakan	
9-8	Tidak terlihat	0%
7-6	Sangat kecil	0-10%
5-4	Sedang	10-20%
3	Agar buruk	20-50%
2	Buruk	50-70%

Sumber: Nasution et al. (2013) dengan modifikasi

Persentase kerusakan buah diamati setiap satu minggu sekali. Dalam setiap perlakuan, diamati kerusakan atau pembusukan yang terjadi. Persentase kerusakan dihitung dengan menghitung jumlah buah yang rusak/busuk dibagi dengan jumlah sampel buah yang sehat dan dikalikan 100%.

$$\% \text{ Kerusakan} = \frac{k}{n} \times 100\%$$

Keterangan:
k = jumlah buah yang rusak/busuk
n = jumlah buah yang sehat

Uji mutu sayuran dapat dilakukan secara organoleptik oleh panelis (Fauzi *et al.*, 2013) dengan kriteria seperti tercantum dalam Tabel 6.16. Tekstur dapat juga dibalik menjadi skor 1 adalah yang kasar, sedangkan skor 4 adalah yang tidak kasar. Hasil uji panelis dicantumkan dalam

Tabel 6.17. Daun tanaman selada keriting hidroponik yang diberi tekanan aerasi dari aerator yang semakin besar sampai 0,012 MPa meningkat kerenyahan, teksktur, dan kemanisannya.

Tabel 6.16 Kriteria *Skoring* Kualitas Selada Keriting

Variabel	Skor			
	1	2	3	4
Kerenyahan	tidak renyah	kurang renyah	cukup renyah	renyah
Tekstur	tidak kasar	kurang kasar	cukup kasar	kasar
Kemanisan	tidak manis	kurang manis,	cukup manis	manis

Sumber: Fauzi et al. (2013)

Tabel 6.17 Kerenyahan, Tekstur, dan Kemanisan Daun Selada Keriting Hidroponik pada saat Panen yang Mendapat Tekanan Aerator Berbeda

Variabel	Tekanan Aerator (MPa)			
	Kontrol	0,003	0,006	0,012
Kerenyahan	1,70 b	1,80 b	1,80 b	1,86 a
Tekstur	1,59 b	1,59 b	1,59 b	1,80 a
Kemanisan	1,40 a	1,53 a	1,45 a	1,47 a

Keterangan: angka dalam baris diikuti dengan huruf sama menunjukkan tidak berbeda berdasarkan uji LSD Dunnet tingkat kesalahan 5%.

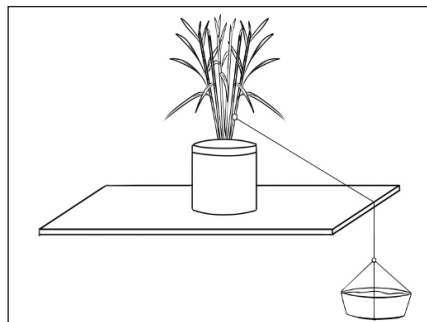
Sumber: Fauzi et al. (2013)

5. Ketahanan terhadap Rebah

Alat swayasa lain yang bekerja berdasarkan beban adalah beban patah yang dapat digunakan untuk mendekati ketahanan terhadap patah atau rebah, misalnya pada tangkai bunga krisan. Pada tanaman krisan, tangkai bunga potong merupakan bagian dari kualitas, perlu cukup kuat, agar waktu dipajang dapat tetap tegak.

Pada tanaman lain, misalnya, padi ketahanan terhadap rebah sangat penting untuk mempertahankan produktivitas. Tanaman padi yang mudah rebah menyebabkan aliran air dan hara dari akar ke daun terganggu, daun tanaman bertumpuk-tumpuk sehingga sekapan dan distribusi cahaya matahari tidak optimal, menurunkan laju fotosintesis, produksi biomassa, dan hasil gabah.

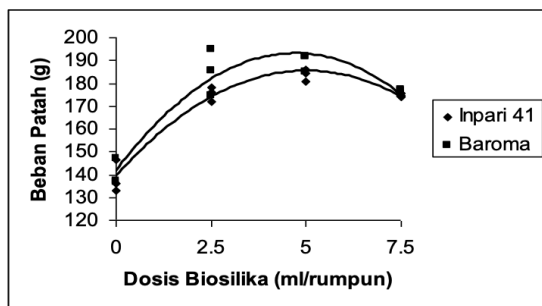
Salah satu komponen ketahanan terhadap rebah adalah batang yang kuat tidak mudah patah yang dapat diukur dengan alat swayasa beban patah. Alat swayasa beban patah yang digunakan Kartika (2023) untuk tanaman padi seperti pada Gambar 6.6. Tanaman padi yang telah mencapai fase vegetatif maksimum sampai sebelum pemasakan, di dalam pot atau dimasukkan dalam pot, diletakkan di atas meja pada jarak 20–30 cm dari tepi meja. Batang padi ditali pada ketinggian 10–20 cm dari permukaan tanah dengan ujung tali alat beban patah. Ujung tali yang lain digantungi dengan wadah penampung air volume 250–500 ml yang diletakkan di sisi meja menjulur ke bawah. Wadah dituangi air pelan-pelan sampai batang padi patah. Volume air yang menyebabkan batang padi patah diukur, dikonversi ke bobot dengan asumsi 1 ml = 1g. Bobot air ditambah bobot wadah dan tali, merupakan beban patah batang padi yang diukur. Perbandingan dengan beban patah penelitian lain belum tentu dapat dilakukan, tetapi antar perlakuan pada penelitian yang sama dengan alat dan kondisi yang sama, cukup layak untuk dilakukan.



Sumber: Kartika (2023)

Gambar 6.6 Alat Swayasa Pengukur Beban Patah

Kartika (2023) mengukur beban patah batang dua varietas padi, yaitu Inpari 41 yang berbatang pendek dan varietas Baroma yang berbatang tinggi yang dipupuk dengan biosilika pada berbagai dosis pada 10 MST. Gambar 6.7 menunjukkan bahwa batang tanaman padi yang dipupuk silika memerlukan beban patah yang lebih besar. Varietas lokal Baroma yang berbatang tinggi mempunyai tanggapan lebih baik dibandingkan dengan Inpari 41 yang berbatang pendek. Tanggapan varietas Baroma mengikuti persamaan $y = -2,32x^2 + 21,989x + 141,36$ dengan $R^2 = 0,92$, sedangkan varietas Inpari 41 mengikuti persamaan $y = -1,8132x^2 + 18,392x + 139,2$ dengan $R^2 = 0,96$. Dosis optimum untuk varietas Baroma adalah 4,72 ml/rumpun memerlukan beban patah 198,029 g, sedangkan Inpari 41 mempunyai dosis optimum 5,02 ml/rumpun dan memerlukan beban patah 185,38 g. Meskipun ada faktor sifat tanaman yang lain yang dapat memengaruhi ketahanan terhadap rebah, misalnya, tinggi tanaman dan ukuran tajuk, tetapi beban patah yang terukur menggambarkan kekerasan batang, nilai ini dapat dijadikan sebagai indikasi ketahanan terhadap rebah.



Sumber: Kartika (2023)

Gambar 6.7 Beban Patah Batang Padi Varietas Inpari 41 dan Baroma pada Berbagai Dosis Biosilika

Bab VII

Alternatif Pengamatan Agronomi dengan Peralatan Terbatas

Pengamatan penelitian agronomi yang lebih luas dan mendalam dapat dilakukan dengan peralatan yang terbatas. Pengamatan iklim mikro dapat dibantu, terutama dengan aplikasi pada telepon genggam berupa intensitas cahaya matahari, suhu udara, kelembapan relatif udara, dan kecepatan angin. Pengamatan hujan berupa curah hujan dan hari hujan tidak harus mengandalkan data dari stasiun meteorologi yang letaknya belum tentu dekat dengan lokasi penelitian sehingga data hujan tersebut belum tentu dapat menggambarkan kondisi lokasi penelitian. Dengan peralatan berupa ember atau jeriken plastik, dapat dibuat ombrometer sederhana.

Selain itu, data sifat fisika tanah berupa kadar lengas tanah cukup biasa dilakukan, namun data sifat kimia tanah sering masih tergantung hasil analisis laboratorium. Pengamatan sifat kimia tanah dapat dibantu dengan perangkat uji tanah sawah (PUTS) dan perangkat uji tanah kering (PUTK) yang diproduksi oleh Badan Litbang Pertanian meliputi kadar hara N, P, dan K, serta pH tanah. Data kualitatif yang dihasilkan dapat dicoba dikuantitatifkan meskipun secara terbatas dengan *skoring*.

Pengamatan sifat fisiologis tanaman secara terbatas dapat dilakukan pada beberapa variabel yang menyangkut sifat anatomis, komponen fotosintesis, status air tanaman, dan toleransi terhadap faktor lingkungan. Sifat anatomis yang berkaitan dengan fotosintesis yang dapat diamati, antara lain berupa kerapatan dan lebar bukaan stomata dengan memanfaatkan mikroskop sederhana. Komponen fotosintesis lain adalah kadar klorofil yang dapat didekati dengan bagan warna daun yang biasa digunakan para petani untuk menentukan takaran pupuk urea yang harus ditambahkan. Memanfaatkan aplikasi *color analyzer* dalam telepon genggam juga dapat diketahui kadar klorofil dan N daun. Laju fotosintesis dapat didekati nilai laju asimilasi bersih. Status air di dalam tubuh tanaman dapat dilihat dengan menggunakan nilai kadar air nisbi. Laju transpirasi dapat didekati dengan mengukur lama transpirasi, kemudian dikonversi menjadi laju transpirasi. Ketahanan suatu varietas terhadap cekaman lingkungan dapat diketahui dengan menghitung indeks toleransi cekaman dan cara perhitungan lain.

Pengamatan pertumbuhan meliputi pertumbuhan akar dan tajuk dapat diperluas dan diperdalam dengan peralatan sederhana. Pengamatan pertumbuhan akar yang selama ini dilakukan sangat terbatas dapat dilakukan lebih perinci dengan peralatan yang mudah diperoleh dan dibuat sehingga dapat diukur panjang, volume, luas permukaan, dan diameternya yang kemudian dapat digambarkan distribusi di dalam tanah. Disamping itu, dapat diamati kerapatan akar menggunakan beberapa variabel, antara lain nilai dimensi fraktal dan porositas opik.

Pengamatan tajuk dapat diperluas dan diperdalam dengan analisis pertumbuhan. Dengan pengamatan dasar berupa luas daun dan bobot kering masing-masing organ ditambah sekapan dan distribusi cahaya, sekaligus dapat juga memberikan informasi tentang sifat fisiologis tanaman. Dapat dihitung indeks luas daun, durasi luas daun, laju asimilasi bersih, laju pertumbuhan, dan akumulasi bahan kering. Dengan memperhitungkan bagaimana hasil fotosintesis tersebut

didistribusikan, dapat dijelaskan mengapa dapat terjadi perubahan hasil tanaman.

Bagian akhir pengamatan berupa komponen hasil dan kualitas hasil. Pengamatan komponen hasil pada umumnya sudah dilakukan dengan cukup lengkap, namun kualitas hasil masih dapat dikembangkan. Kualitas hasil yang berkaitan dengan warna dapat diperdalam dengan menggunakan aplikasi pada telepon pintar. Kualitas hasil berupa kenampakan, rasa, dan aroma dapat digambarkan menggunakan penilaian subjektif panelis.

Penelitian agronomi perlu melibatkan variabel pengamatan yang cukup perinci. Berbagai pengamatan dan perhitungan pada penelitian agronomi yang cukup banyak tersebut dapat dirangkum dalam suatu tabel secara runtut berdasarkan hukum sebab akibat. Dari data tersebut dapat dijelaskan suatu fenomena yang terjadi akibat suatu kondisi atau perlakuan agronomis secara cukup lengkap dengan menggunakan data pengamatan sendiri, tidak hanya mengandalkan teori dari pustaka.

Apa yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya tentu saja masih sangat terbatas, masih perlu dikaji kesahihannya dan masih dapat dikembangkan oleh para peneliti agronomi di seluruh Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan

Daftar Pustaka

- Abidin, A. Z., & Indradewa, D. (2021). Hubungan nisbah perakaran dalam dengan ketahanan kekeringan dan hasil enam kultivar padi (*Oryza sativa* L.). *Vegetalika*, 10(1), 18–30. <https://doi.org/10.22146/veg.57787>
- Binsasi, R., Sancayaningsih, R. P., & Murti, S. H. (2016). Evaporasi dan transpirasi tiga spesies dominan dalam konservasi air di daerah tangkapan air (DTA) Mata Air Geger Kabupaten Bantul Yogyakarta. *Bio Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 1(3), 32–34.
- Zuhri, A. (2009). Pemupukan SP36 pada lahan regosol bereaksi masam terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 2(1), 31–34. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v2i1.238>
- Abdurachman, U. Haryati & Juarsah, I. (2022). *Penetapan kadar air tanah dengan metode gravimetrik*. Balittanah Litbang Pertanian. <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/buku/buku%20sifat%20fisik%20tanah/12gravimetrik.pdf>
- Aliyaman & Indradewa, D. (2019.) Growth and yield characters of two cashew (*Anacardium occidentale* L.) cultivars at different ages in Baubau City, South-East Sulawesi Province. *Il. Pert. (Agric. Sci.)*, 4(1), 1–8. <https://jurnal.ugm.ac.id/jip/article/view/40216/24477>
- Alvim, P. de T & Kazlowski, T. T. (Ed.). (1977). *Ecophysiology of tropical crops*. New York: Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780120556502/ecophysiology-of-tropical-crops>.
- Apsari, T. (2021). *Kajian hasil dan mutu buah karika (Carica pubescens L.) pada tiga tinggi tempat berbeda di wilayah dieng*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.

- Aswatini. (2014). *Empat masalah penelitian indonesia versi LIPI*. LIPI. <http://lipi.go.id/berita/single/Empat-Masalah-Penelitian-Indonesia-Versi-LIPI/9408>
- Ayu, L., Indradewa, D & Ambarwati, E. (2012). Pertumbuhan, hasil dan kualitas pucuk teh (*Camelia sinensis* l.) kuntze di berbagai tinggi tempat. *Vegetalika*, 1(4), 1-12. <https://journal.ugm.ac.id/jbp/article/view/1598/1414>
- Azkiyah, D. R. & Tohari. (2019). Pengaruh ketinggian tempat terhadap pertumbuhan, hasil dan kandungan steviol glikosida pada tanaman stevia (*Stevia rebaudiana*). *Vegetalika*, 8(1), 1-12. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/37165/23784>
- Baley, L. F., Rothacher, J. S. & Cumming, W. H. (1951). *A critical study of the cobalt chloride methode of measuring transpiration*. Research Paper no. 1026, Journal Series, University of Arkansas, *Botany and Bacteriology Department*. <https://www.jstor.org/stable/4258566>
- Barokah, U. & Daenuri. (2022). Kajian preferensi konsumen terhadap beberapa varietas unggul baru padi sawah melalui uji organoleptik beras dan nasi. *Agronu: Jurnal Agroteknologi*, 1(1), 11-20. <http://jurnal.umnu.ac.id/index.php/agronu/article/view/329/138>
- BosHardware. (t.t.). *Mesin bor tanah Firman FPD-52S, drill bit 10-250 mm*. Diakses 31 Oktober 2025, dari <https://www.boshardware.co.id/product/mesin-bor-tanah-firman-fpd-52s-drill-bit-10-250-mm-p980433.aspx>
- Boy, R. (2020.) *Hubungan karakter fisiologis dan morfologis dengan tingkat ketahanan kekeringan dan hasil kultivar padi gogo lokal Sulawesi Tengah*. [Disertasi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Boyer. J.S. (1967). Leaf water potentials measured with a pressure chamber. *Plant Physiol.*, 42, 133-137. <https://academic.oup.com/plphys/article/42/1/133/6093561>
- Ciptaningtyas, D. S., Indradewa, D. & Tohari. (2012). pengaruh interval penyiraman terhadap pertumbuhan dan hasil empat kultivar jagung (*Zea mays* L.). *Vegetalika*, 1(4), 11-17. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/1592>
- Corley, R.H.V. & Tinker, P. B. (2003). *The oil palm*. Fourth edition. Malden, USA: Blackwell Publishing Company.
- Cubens. (n.d.). *Table of tangents*. Retrieved October 31, 2025, from <https://cubens.com/en/tables-and-formulas/table-trigonometric-functions/table-tangents/>

- Duncan, W.G., Mc Cloud, D. E., McGraw, R. L. & Boote, K. J. (1978). Physiological aspects of peanut yield improvement. *Crop Sci.*, 18(6), 1015-1020. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/1592/1408>
- Fadillatunnisa, Indradewa, D., & Putra, E. T. S. (2023). Effects of husk charcoal and watering on the biochemical and physiological properties of coix millet (*Coix lacryma jobi* L.) during vegetative phase. *Agricultural Science*, 8(2), 113–120. DOI: doi.org/10.22146/ipas.7924
- Efendi, R. & Azrai, M. (2015). Kriteria indeks toleran jagung terhadap cekaman kekeringan dan nitrogen rendah. *Prosiding Seminar Nasional Serealia*: (1 – 12). Balitbangtan. https://www.academia.edu/26121822/KRITERIA_INDEKS_TOLERAN_JAGUNG_TERHADAP_CEKAMAN_KEKERINGAN_DAN_NITROGEN_RENDA.
- Effendi, R., Andi, T.M., & Muhammad, A. (2017). Daya gabung inbrida jagung toleran cekaman kekeringan dan nitrogen rendah pada pembentukan varietas hibrida. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 1(2), 83-96. <https://dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net/54635984/7687-19512-1-SM-libre.pdf?1507267422=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDa>
- Eghball, B., Settimi, J.R., Maranville, J.R. & Parkhurst, A.M. (1993). Fractal analysis for morphology description of corn roots under nitrogen stress. *Agron. J.*, 85, 287-28. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj1993.000219622008500020023x>
- Erick, Y. (2021). *Mengenal lux meter, alat pengukur intensitas cahaya*. Stella Maris College. <https://stellamariscollege.org/lux-meter/>
- Fadillatunnisa. (2022). *Pengaruh arang sekam dan penyiraman terhadap sifat fisiologis dan pertumbuhan pada fase vegetatif tanaman jali (Coix lacryma jobi L.)*. [Tesis tidak diterbitkan] Fakultas Pertanian UGM.
- Faizah, A. (2022). *Fenologi pertumbuhan pucuk tiga klon teh (camelia sinensis L.) tahun pangkas kedua di ketinggian tempat 1200 m dpl pada periode musim hujan*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Farokha & Ariffin. (2019). Studi satuan panas (*heat unit*) beberapa famili *solanaceae* dan *fabaceae*. *J. Prod. Tanaman*, 7(5), 808–816. <http://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/view/1119>
- Farrasati, R., I. Pradiko, Rahutomo, S. & Ginting, E. N. (2021). Review: Pemupukan melalui tanah serta daun dan kemungkinan mekanismenya pada tanaman kelapa sawit. *Warta PPKS*, 26(1), 7-19. <https://warta.iopri.org/index.php/Warta/article/view/41>

- Faizah, A. (2022). *Fenologi Pertumbuhan Pucuk Tiga Klon Teh (Camelia sinensis L.) Tahun Pangkas Kedua di Ketinggian Tempat 1.200 m dpl pada Periode Musim Hujan*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Fauzi, R., Putra, E. T. S. & Ambarwati, E. (2013). Pengayaan oksigen di zona perakaran untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil selada (*Lactuca sativa* L.) secara hidroponik. *Vegetalika*, 2(4), 63-74. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/4006>
- Gani, A. (2022). *Bagan warna daun (BWD)*. Malut Litbang Pertanian. <https://malut.litbang.pertanian.go.id/images/stories/BWD.pdf>
- Gardner, F. P., Pierce, R. B. & Mitchel, R. L. (1980). *Physiology of crop plants*. Ames: Iowa State University Press.
- Google Image (t.t). Corong, jerigen dan gelas ukur. Diakses pada 5 Desember 2024. Dari a: <https://shopee.co.id/RD-Corong-Plastik-Ukuran-20cm-Corong-Minyak-Bensin-dan-air-i.3261113.23984916206>. b: <https://ud-adhika.com/detail/81/jerigen-4-lt-ps-%28a%29.html>.
- c: https://www.tokopedia.com/alfamediapratama/gelas-ukur-100ml-iwaki?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=pdp
- Hairiah K. & Rahayu, S. (2007). *Pengukuran 'karbon tersimpan' di berbagai macam penggunaan lahan*. World Agroforestry Centre – ICRAF. Bogor. SEA Regional Office, University of Brawijaya. Malang. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/37230/>
- Hariandi, D., Indradewa, D. & Yudono, P. (2017). Pengaruh gulma terhadap komponen pertumbuhan beberapa kultivar kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Jagur: J. Agrotek. Univ. Andalas*, 1(1), 15-18. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jav/article/view/7615/5107>
- Hatfield, J. L. & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Heriyanto, N., Rogomulyo, R., & Indradewa, D. (2019). Pengaruh cekaman kekeringan terhadap hasil dan komponen hasil lima kultivar kedelai (*Glycine max* L.). *Vegetalika*, 8(4), 227-236. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/42580>
- Humami, D. W., Sujono, P. A. W. & Desmawati, I. (2020). Densitas dan morfologi stomata daun *pterocarpus indicus* di Jalan Arif Rahman

- Hakim dan Kampus ITS, Surabaya. *Rekayasa: J. Sci. Tech.*, 13(3), 240-245. <https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa/article/view/7869/5145>
- Ikhsanti, A., Kurniasih, B. & Indradewa, D. (2018). Pengaruh aplikasi silika terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.) pada kondisi salin. *Vegetalika*, 7(4), 1-11. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/41144/22837>
- Indradewa, D. (2002). *Gatra agronomis dan fisiologis pengaruh genangan dalam parit pada tanaman kedelai*. [Disertasi tidak diterbitkan] S3 Ilmu Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Indradewa, D., Putra, E. T. S. & Sakti, T. S. (2019). Pendugaan kadar nitrogen, klorofil a, b dan total daun teh (*Camellia sinensis* L.) dengan nilai g aplikasi penganalisis warna pada telepon pintar. *Makalah Seminar Dies Natalis Fakultas Pertanian UGM ke 73*.
- Intaravanne, Y. & Sumriddetchkajorn, S. 2015. Android-based rice leaf color analyzer for estimating the needed amount of nitrogen fertilizer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 228–233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.005>
- Jarzyna, K., Podgórska, M., Szwed, M. & Józwiak, M. (2018). A simple light meter as a device for studying the influence of seasonal changes of light conditions on the phenology of herbaceous undergrowth species in a fertile beach forest. *Baltic Forestry*, 24 (1), 148-157. <https://www.researchgate.net/publication/327682824>
- Kartika, B. A. P. (2023). Pengaruh pemberian pupuk biosilika terhadap pertumbuhan dan ketahanan patah batang varietas Inpari 41 dan Baroma. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Kartika, M.N., & Kurniasih, B. (2021). Pengaruh irigasi tetes dan mulsa terhadap pertumbuhan tajuk tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.) di lahan kering Gunungkidul. *Vegetalika*, 10(1), 31–43. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/55590/30714>
- Karyati,, Assholihat, N. K., & Syafrudin, M. 2020. Iklim mikro tiga penggunaan lahan berbeda di Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Agrifor*, 14(1), 11-22. <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/AG/article/view/4576/4449>
- Kozłowski, T. T. & Pallardy, S. G. (1997). *Growth control in woody plants physiological ecology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012424210450005X>

- Kurnia, U., Nurida, N. L. & Kusnadi, H. (2022). *Penetapan retensi air tanah di lapangan*. Balittanah Litbang Pertanian. https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/buku/buku%20sifat%20fisik%20tanah/14retensi_air.pdf
- Koesmaryono, Y. & Askari, M. M. S. (2022). *Pengertian dan ruang lingkup klimatologi pertanian, dan pengaruh atmosfer terhadap kehidupan dan pertanian*. Universitas Terbuka. <http://repository.ut.ac.id/4412/1/LUHT4213-M1.pdf> 26 Maret 2022
- Kusuma, F. N. E. (2022). *Pengaruh konsentrasi dan frekuensi aplikasi inokulum bakteri fotosintesis terhadap pertumbuhan dan hasil terung (Solanum melongena L.)*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Kusumawati, A. (2021). *Buku praktikum dasar-dasar klimatologi. budidaya tanaman perkebunan*. Politeknik LPP Yogyakarta. <https://repository.polteklpp.ac.id/id/eprint/729/>
- Lighting lux, lumens. (2022). *Lighting lux, lumens and watts*. Green Business Light UK. [https://greenbusinesslight.com/resources/lighting-lux-lumens-watts/#:~:text=A%20measurement%20of%201%20lux,lm%20%2F%20m%5E2\)](https://greenbusinesslight.com/resources/lighting-lux-lumens-watts/#:~:text=A%20measurement%20of%201%20lux,lm%20%2F%20m%5E2)).
- Listia, E. (2014). *Pengaruh iklim mikro di beberapa ketinggian tempat terhadap aktifitas fisiologis, pertumbuhan, hasil dan rendemen minyak kelapa sawit*. [Tesis tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Mayasin, L. Gubali, L. S., H. & Dude, S. (2021). Analisis pertumbuhan dan hasil dua varietas kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) pada pemberian berbagai dosis mikoriza vesikular arbuskular. *JATT*, 10(2), 24 – 33. <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/JATT/article/view/13453/3825>
- Mott, K.A. & Parkhurst, D. F. (1991). Stomatal responses to humidity in air and helox. *Plant, Cell and Environment*, 14(5), 509-515. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01521.x>
- Muda, G. 2022. Skala Beaufort untuk mengukur Kecepatan Angin. Geografi.org. <https://www.geografi.org/2022/03/skala-beaufort-untuk-mengukur-kecepatan.html>
- Muis, A., Indradewa, D. & Widada, J. (2013). Pengaruh inokulasi mikoriza arbuskula terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) merrill) pada berbagai interval penyiraman. *Vegetalika*, 2(2) 2013, 7-20. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/2411/2167>

- Mujiati, D. (2014). *Lux meter–alat pengukur cahaya*. Digital Meter Indonesia. <https://digital-meter-indonesia.com/lux-meter-alat-pengukur-cahaya/> 25 Maret 2022.
- Murniati, M. E., Sudarti. 2021. Analisis potensi energi angin sebagai pembangkit enegi listrik tenaga angin di daerah Banyuwangi Kota menggunakan database online-BMKG. *Jurnal Surya Energy*, 6 (1) 9–16. <https://doi.org/10.32502/jse.v6i1.3364>
- Nasution, R. P., Trisnowati, S. & Putra, E. T. S. (2013). Pengaruh lama penyinaran ultra violet-c dan cara pengemasan terhadap mutu buah stroberi (*Fragaria x ananassa* Duchesne) selama penyimpanan. *Vegetalika*, 2(2), 87-99. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/2418/2174>
- Nuzul, V. S., Indradewa, D. & Kastono, D. (2018). Pengaruh waktu dan tinggi pemotongan tunggul terhadap komponen hasil dan hasil padi (*Oryza sativa* L.) ratun. *Vegetalika*, 7(2), 54-65. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/34148>
- Parhusip, D., Hutapea, N., Harahap, G., Handayani, T., Thohir, A., Harahap, N. & Harahap, S. M. 2020. Peningkatan produksi tanaman jagung melalui pemberian pupuk an-organik fosfat alam. *Jurnal Agrica Ekstensia*, 14(2), 113 – 118. <https://ejournal.polbangtanmedan.ac.id/index.php/agrica/article/view/59/29>
- Pratama, A. B., Indradewa, D., Ambarwati, E. (2018). Karakter Morfologi Akar dan Hasil Padi Ratun (*Oryza sativa* L.) pada Perbedaan Waktu dan Tinggi Pemotongan Tunggul Sisa Panen. *Vegetalika* 7(4), 12-25. <https://core.ac.uk/download/pdf/294965485.pdf>
- Pratt, H. K. & Mendoza, D. B. Jr. (1979). Colorimetric determination of carbon dioxide for respiration studies. *Hort Science*, 14(2), 175-176. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19800500334>
- Purbowahyuni, R. T., Kastono, D. & Indradewa, D. (2019). Hubungan sifat perakaran dan ketahanan kekeringan lima kultivar kedelai (*Glycine max* L.). *Vegetalika*, 8(4), 237-250. <https://journal.ugm.ac.id/jbp/article/view/42712/26350>
- Puspitasari, S. A. & Indradewa, D. (2023). Metode Standardisasi Warna Krisan (*Chrysanthemum*). *Vegetalika*, 12(3), 273-282. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/75631/37205>
- Rahayuningsih, S. E. A. (2017). *Kajian Fisiologis dan Agronomis ketahanan tanaman jagung pada cekaman genangan*. [Disertasi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.

- Rezita, C. (2020). *Analisis klorofil pada beberapa daun pohon di hutan kota kampus Universitas Hasanuddin Tamalanrea Makassar*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
- Sakti, T. S. (2019). *Pendugaan kadar nitrogen daun teh (Camellia sinensis) dalam pot dengan penganalisis warna berbasis android pada telepon pintar*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Salsinha, Y. C. F. (2021). *kajian toleransi kekeringan tanaman padi lokal Nusa Tenggara Timur melalui aplikasi osmoprotektan eksogen*. [Disertasi tidak diterbitkan]. Fakultas Biologi UGM.
- Setyorini, D., Widowati, L. R. & Kasno, A. (2021). *Petunjuk penggunaan perangkat uji tanah sawah (paddy soil test kit) versi 1.3*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/14588>
- Smart, R. E. & Bingham, S. G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiol*, 53, 258-260. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16658686/#:~:text=Relative%20water%20content%20may%20be,linearly%20related%20is%20demonstrated%20algeb>
- Somarrriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E. Poveda, V., Astorga, C. Say, E. & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry system of Central America. *Agric. Eco. Environment*, 173, 46–57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913001230>
- Stirbet, A., Lazár, D., Guo, Y. & Govindjee, G. (2020). Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of Botany* 126. <https://academic.oup.com/aob/article/126/4/511/5602694>
- Středov, H., Podhrázsk, J., Litschmann, T., Střed, T. & Rožnovsk, J. (2012). Aerodynamic parameters of windbreak based on its optical porosity. *Geophysics and Geodesy*, 42(3), 213–226. https://www.researchgate.net/publication/258612777_Aerodynamic_Parameters_of_Windbreak_Based_on_its_Optical_Porosity/link/0a85e53a5caf59b2a60000
- Suciantini. (2015). Interaksi iklim (curah hujan) terhadap produksi tanaman pangan di Kabupaten Pacitan. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 1(2). 358-365. <https://smujo.id/files/psnmbi/M0102/M010232.pdf>.
- Suryanti, S., Indradewa, D., Sudira, P. & Widada, J. (2015). Kebutuhan air, efisiensi penggunaan air dan ketahanan kekeringan kultivar kedelai.

- Agritech*, 35(1), 114-120. <https://jurnal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9426/7000>
- Suwarto, Adi, D. D., Lubis, I. & Sugiyanta. (2021). Efisiensi penggunaan nitrogen pada padi gogo varietas IPB 9G. *J. Agron. Indonesia*, 49(1): 23- 28. DOI:<https://dx.doi.org/10.24831/jai.v49i1.33626>
- Syofiani, R., Putri, S. D., Karjunita, N. (2020). Karakteristik sifat tanah sebagai faktor penentu potensi pertanian di Nagari Silokek kawasan geopark nasional. *Jurnal Agrium* 17(1), 1-6. <https://ojs.unimal.ac.id/agrium/article/view/2349>
- Trisnaningtyas, C. (2022). *Pembentukan bunga matahari (Helianthus annuus L.) sebagai tanaman hias pot dengan aplikasi paclobutrazol*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Fakultas Pertanian UGM.
- Uga, Y., Okuno, K., & Yano, M. (2011). Dro1, a major QTL involved in deep rooting of rice under upland field conditions. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2485–2494. <https://academic.oup.com/jxb/article/62/8/2485/470108>
- Ulfah, F. (2023). *Pertumbuhan dan hasil kangkung (Ipomoea reptan) di lahan pasir pantai dengan pemanfaatan jagung manis sebagai pemecah angin*. [Tesis tidak diterbitkan]. Magister Agronomi Fakultas Pertanian UGM.
- Virgawati, S., Padmini, O. S. & Poerwanto, M E. (2014). Pemetaan NPK tanah untuk prediksi rekomendasi pemupukan presisi pada tanaman padi. *Seminar Nasional Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia*. <http://eprints.upnyk.ac.id/13145/2/COVER.pdf>
- Widowati, L. R., Hartatik, W., Setyorini, D., Rosliani, R. & Sutopo. (2018). *Perangkat uji tanah kering (upland soil test kit) versi 2.0*. Balai Penelitian Tanah Kementrian Pertanian. Bogor. <https://www.yumpu.com/id/document/view/19044516/perangkat-uji-tanah-kering-putk-balai-penelitian-tanah>
- Wijayanto, A., Indradewa, D. & Putra, E. T. S. (2015). Kuantitas dan kualitas hasil pucuk enam klon teh sinensis (*Camellia sinensis* (L.) o. kuntze var. sinensis) di bagian Kebun Kayulandak P. T. Pagilaran. *Vegetalika*, 4 (3), 42-56. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/10476/7960>
- Wijayati, N. A. & Murti, R. H. (2021). Seleksi pedigree tomat (*Solanum lycopersicum* L.) generasi F4 berdasarkan kekerasan dan bentuk buah. *Vegetalika*, 10(1), 56–68. <https://jurnal.ugm.ac.id/jbp/article/view/47339/30715>

- Wulandari, W. (2018). *Nilai kadar air kapasitas lapang berdasarkan metode drainasi bebas dan pressure plate pada tanah ultisol dengan tekstur tanah yang berbeda bertanaman pakcoy (Brassica rapa L.)*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Program Studi Keteknikan Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/11815>.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. Los Banos Philippenes: The International Rice Research Institute.
- Yu, D., Lord, N., Polk, J., Dhakal, K., Li, S., Yin, Y., Duncan, S. E., Wang, H., Zhang, B. & Huang, H. (2022). Physical and chemical properties of edamame during bean development and application of spectroscopy-based machine learning methods to predict optimal harvest time. *Food Chemistry* 368, 1-43. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130799>
- Yuliasmara, F., Wibawa, A. & Prawoto, A. A. (2009). Karbon tersimpan pada berbagai umur dan sistem pertanaman kakao : pendekatan allometrik. *Pelita Perkebunan*, 25(2), 86—100. <https://media.neliti.com/media/publications/156412-ID-none.pdf>
- Zhi, X., Tao, Y., Jordan, D., Borrell, A., Hunt, C., Cruickshank, A., Potgieter, A., Wu, A., Hammer, G., George-Jaeggli, B. & Mace, M. (2022). Genetic control of leaf angle in sorghum and its effect on light interception. *J. Exp. Botany*, 73(3), 801–816. <https://academic.oup.com/jxb/article/73/3/801/6410695>

DAFTAR SINGKATAN DAN AKRONIM

ATP	: <i>adenosine triphosphate</i>
B	: <i>blue</i>
BDK	: bobot daun khas
BMKG	: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
BTB	: bromtimol biru
BV	: bobot volume
BWD	: bagan warna daun
C	: carbon
CGR	: <i>crop growth rate</i>
CIE	: French Commission Internationale de l'éclairage
CREMNET	: Crop Resources and Management Network
DBH	: <i>diameter at breast height</i>
Dd	: dapat dipertukarkan
DIY	: Daerah Istimewa Yogyakarta
DLD	: durasi luas daun
DMRT	: Duncan's Multiple Range Test
dpl.	: di atas permukaan laut
EPA	: efisiensi penggunaan air
G	: <i>green</i>
GP	: genangan dalam parit
GPS	: <i>global positioning system</i>
HI	: <i>harvest index</i>
IH	: indeks harmonik

ILD	: indeks luas daun
IP	: indeks panen
IPTEKS	: ilmu pengetahuan teknologi dan seni
IRRI	: International Rice Research Institute
ISC	: indeks sensitivitas cekaman
ISH	: indeks stabilitas hasil
ITC	: indeks toleransi cekaman
K	: kalium
KAN	: kadar air nisbi
KAR	: kadar air relatif
KW	: kenampakan warna
LAB	: laju asimilasi bersih
LAI	: <i>leaf area index</i>
LAR	: <i>leaf area ratio</i>
LPB	: laju pengisian biji
LPN	: laju pertumbuhan nisbi
LPT	: laju pertumbuhan tanaman
Me	: <i>milli equivalent</i>
Mg	: magnesium
MPa	: Mega Pascal
MSP	: minggu setelah pindah tanam
MST	: minggu setelah tanam
MVA	: mikoriza vesikular arbuskular
N	: nitrogen
NADPH ₂	: <i>Nicotine Amide Di Nucleotide Phosphate</i> tereduksi
NAR	: <i>net assimilation rate</i>
NLD	: nisbah luas daun
P	: fosfor
PAR	: <i>photosynthetically active radiation</i>
PDB	: Produk Domestik Bruto
PPFD	: <i>photosynthetically photon flux density</i>
PTT	: padatan terlarut total
PUTK	: perangkat uji tanah kering
PUTS	: perangkat uji tanah sawah
R	: <i>red</i>
RDR	: <i>ratio of deep rooting</i>

<i>RGR</i>	: <i>relative growth rate</i>
<i>RHS</i>	: <i>Royal Horticulture Society color Chart</i>
SC	: sekapan cahaya
<i>SLA</i>	: <i>specific leaf area</i>
<i>SLW</i>	: <i>specific leaf weight</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SPAD	: <i>Soil Plant Analysis Development</i>
TAT	: total asam tertitrasi
<i>ULR</i>	: <i>unit leaf rate</i>
UV	: ultraviolet
<i>VQR</i>	: <i>visual quality rating</i>
WMO	: World Meteorological Organization

Buku ini tidak diperjualbelikan

Glosarium

- a*: nilai warna dalam CIELAB, tinggi cenderung kemerahan, rendah cenderung kehijauan,
- Agronomi: cabang ilmu pertanian yang mempelajari pengelolaan lahan dan tanaman untuk memproduksi pangan, pakan, sandang, bahan bangunan, bahan bakar, dan berbagai bahan baku industri.
- Air tersedia bagi tanaman: air yang berada antara kapasitas lapang sampai dengan titik layu permanen.
- Analisis pertumbuhan: persamaan perubahan ukuran tanaman dari waktu ke waktu dinyatakan dalam berbagai komponen variabel. Analisis pertumbuhan merupakan variabel yang berkaitan dengan suatu proses fisiologis yang sangat bermanfaat untuk dapat menjelaskan akibat suatu perlakuan.
- Angin: udara yang bergerak secara horizontal dari suatu wilayah yang bertekanan tinggi menuju wilayah yang bertekanan rendah.
- Area meter*: alat yang dapat digunakan untuk mengukur luas daun, panjang, dan luas permukaan akar.
- b*: nilai warna dalam CIELAB, tinggi cenderung kekuningan, rendah cenderung kebiruan.
- Bagan warna daun (BWD): alat sederhana yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkatan klorofil. Bagan warna daun berupa lempengan terbuat dari karton atau plastik, dilengkapi potongan warna seperti contoh warna cat, tetapi hanya dengan warna hijau dengan gradasi ke kuning dan biru. BWD semula didistribusikan oleh Crop Resources and Management Network (CREMNET)–IRRI untuk tanaman padi.
- Bobot daun khas (BDK, *pecific leaf weight*/SLW): bobot daun tiap satuan luas daun. Nilai ini dapat menggambarkan ketebalan daun. Semakin

tinggi nilai SLW, semakin berat bobot daun tiap satuan luas daun dan semakin tebal daun, satuan g/dm^2 .

Chroma meter: alat untuk pengamatan dan pengklasifikasian warna, misalnya bunga atau buah, menggunakan sistem digital serta mempunyai ruang warna CIELAB yang sudah disesuaikan dengan penglihatan manusia dengan cahaya.

Color analyzer: aplikasi berbasis telepon pintar yang dapat diunduh, misalnya melalui *play store*, antara lain dapat digunakan untuk mengukur kadar klorofil secara tidak langsung. Kamera telepon pintar Android yang sudah dilengkapi aplikasi *color analyzer* dapat membaca intensitas warna R (*red*-merah), G (*green*-hijau) dan B (*blue*-biru). *Color analyzer* juga dapat menjadi alternatif untuk pengukuran warna bunga, dilengkapi dengan ruang warna CIELAB yang mengukur nilai *L*, *a*, dan *b* sehingga nilai warna yang dihasilkan bukan berdasarkan penglihatan mata manusia.

Cuaca: nilai sesaat dari atmosfer, serta perubahannya dalam jangka pendek di suatu tempat tertentu di permukaan bumi. Dengan kata lain, cuaca merupakan satu kasus kondisi atmosfer sesaat di suatu tempat.

Cuaca mikro: faktor-faktor kondisi cuaca setempat yang memberikan pengaruh langsung terhadap fisik pada suatu lingkungan. Cuaca mikro merupakan cuaca di lapisan udara terdekat permukaan bumi dengan ketinggian sampai dua meter.

Curah hujan: jumlah air yang jatuh pada permukaan tanah selama periode tertentu bila tidak terjadi kehilangan karena proses evaporasi, pengaliran dan peresapan, yang diukur dalam satuan tinggi. Alat yang digunakan untuk pengukuran adalah ombrometer.

Dimensi fraktal akar: nilai yang menggambarkan kerapatan akar. Nilai dimensi fraktal akar bervariasi dari satu apabila akar berupa satu garis lurus dan maksimal dua jika akar memenuhi seluruh bidang dua dimensi tanpa celah.

Durasi fase generatif: rentang waktu perkembangan tanaman dihitung dari umur panen dikurangi umur berbunga.

Durasi luas daun (DLD): lamanya suatu tanaman mempunyai luas daun hijau, diperoleh dari kurva indeks luas daun dari waktu ke waktu, atau indeks luas daun rata-rata dikalikan waktu, satuan dm^2 hari.

- Efisiensi penggunaan air (EPA): bobot biomassa tanaman (g) yang dapat dibentuk untuk setiap satuan volume air yang digunakan (l).
- Efisiensi agronomi pemupukan: peningkatan hasil tanaman yang diperoleh untuk setiap jumlah pupuk yang diberikan
- Efisiensi fisiologi pemupukan: peningkatan hasil tanaman yang diperoleh untuk setiap serapan hara yang terjadi,
- Faktor lingkungan: faktor di sekitar tanaman yang dapat berpengaruh terhadap proses fisiologis, pertumbuhan dan hasil tanaman, terdiri dari faktor lingkungan abiotis berupa tanah dan iklim dan faktor lingkungan biotis dapat berupa tanaman lain, mikrobia bermanfaat, hama, penyakit, dan gulma.
- Fotosintesis: proses fisiologis perubahan karbon dioksida dan air, menggunakan energi cahaya untuk menghasilkan glukosa dan melepaskan oksigen ke udara, terjadi pada organ tanaman yang mengandung pigmen, misalnya klorofil.
- Gaya cabut akar: gaya tarik yang diperlukan agar akar tanaman dapat tercabut dari dalam tanah, dinyatakan dalam gram atau kilogram. Alat yang digunakan untuk mengukur gaya cabut akar tanaman, misalnya timbangan gantung.
- Iklim: sintesis atau rata-rata perubahan unsur-unsur cuaca dalam jangka panjang di suatu tempat atau pada suatu wilayah.
- Iluminasi: besaran fotometrik yang berkaitan dengan kepekaan mata manusia terhadap radiasi elektromagnetik. Pengukur cahaya sederhana atau *light meter* yang mengukur iluminasi (E) dalam lux (lx). Para peneliti di Indonesia pada umumnya menggunakan *lux meter* untuk mengukur besarnya intensitas cahaya di suatu tempat.
- Indeks luas daun (ILD, *leaf area index/LAI*): luas daun di atas suatu luas lahan, tidak mempunyai satuan.
- Indeks luas daun kritis: indeks luas daun yang menyebabkan tanaman menyekap 95% cahaya matahari yang sampai ke tajuk tanaman.
- Indeks luas daun optimum: indeks luas daun yang menyebabkan laju pertumbuhan tanaman maksimum.
- Indeks panen (IP, *harvest index/HI*): kemampuan tanaman menyalurkan asimilat ke hasil ekonomis, tidak mempunyai satuan.
- Intensitas radiasi matahari: salah satu unsur iklim yang menggambarkan jumlah energi matahari yang sampai pada suatu luasan tertentu

dari suatu permukaan pada waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan Calori, Joule, Watt/m², dan lain-lain. Pengukuran intensitas radiasi matahari dilakukan dengan alat *actinograph bimetal*.

Jumlah panas: akumulasi suhu rata-rata harian dan suhu dasar yang dimiliki jenis tanaman untuk mencapai perkembangan tertentu, misalnya pembungaan atau pemasakan. Suhu dasar adalah suhu udara minimum yang menyebabkan suatu proses metabolisme berjalan.

Kadar air nisbi: nisbah jumlah air dalam jaringan daun saat pengambilan sampel dibandingkan dengan yang ada saat jenuh.

Kapasitas lapang: kondisi air yang tertahan pada tanah setelah air berlebih terdrainase, biasanya terjadi 2–3 hari setelah hujan atau irigasi, pada tanah sarang dengan struktur dan tekstur yang seragam.

Kelembapan nisbi udara (*relatif humidity*/RH): unsur iklim yang menggambarkan nisbah antara uap air yang terkandung, dengan kapasitas kandungan maksimum uap air pada suatu temperatur dan tekanan udara tertentu. Alat yang biasa digunakan untuk mengukur RH adalah higrometer.

Klorofil: pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan, alga, dan bakteri fotosintetik. Pigmen ini berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Klorofil berasal dari bahasa Yunani yaitu *chloros* yang artinya hijau dan *phyllos* yang artinya daun. Istilah ini diperkenalkan pada tahun 1818, dan pigmen tersebut diekstrak dari tanaman dengan menggunakan pelarut organik.

L: nilai tingkat kecerahan warna dalam CIELAB antara 0–100, gelap/hitam sampai terang/putih.

Laju asimilasi bersih (LAB, *net assimilation rate*/NAR, atau *unit leaf rate*/ULR): kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas daun suatu tajuk tanaman individual, maupun populasi tiap satuan waktu, dengan satuan antara lain (g/dm²/minggu).

Laju pengisian biji: pertambahan bobot kering biji tiap satuan waktu per tanaman, per rumpun atau per hektare, dihitung dari bobot biji dibagi durasi fase generatif.

- Laju pertumbuhan nisbi (LPN, *relative growth rate/RGR*): kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan bobot kering awal tiap satuan waktu dengan satuan (g/g/minggu).
- Laju pertumbuhan tanaman (LPT, *crop growth rate/CGR*): kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan luas lahan tiap satuan waktu dengan satuan antara lain (g/m²/minggu).
- Lux*: ukuran kerapatan cahaya, setara dengan 1 lumen per m² atau sama dengan penerangan satu lilin ke permukaan 1 m² yang berjarak 1 m. Sinar matahari langsung mempunyai intensitas 32.000 hingga 100.000 lux, cahaya siang hari sekitar 10.000 hingga 25.000 lux, cahaya siang saat mendung 1000 lux, cahaya matahari terbit dan terbenam mempunyai intensitas 400 lux.
- Nisbah akar tajuk: perbandingan bobot kering akar dibandingkan bobot kering tajuk, menggambarkan alokasi biomassa ke bagian akar dan tajuk tanaman.
- Nisbah perakaran dalam (*ratio of deep rooting/RDR*): proporsi akar yang memanjang melalui bagian bawah keranjang dibandingkan akar total.
- Nisbah luas daun (NLD, *leaf area ratio/LAR*): kemampuan tanaman membentuk luas daun dari tiap bobot kering tanaman yang dimiliki, satuan dm²/g.
- Organoleptik: cara mengukur tekstur, penampakan, aroma, dan rasa produk pangan menggunakan indera manusia.
- Padatan terlarut total (PTT): nilai yang dapat menggambarkan tingkat kemanisan suatu produk pertanian, misalnya buah, diukur dengan *hand refraktometer*, dengan satuan °Brix.
- Permeabilitas akar untuk air: kemampuan akar untuk dapat meloloskan air, dapat dihitung dari jumlah air yang ditranspirasikan dibagi dengan luas permukaan akar dalam dua waktu.
- Permeabilitas akar untuk unsur hara: kemampuan akar untuk dapat meloloskan hara. Permeabilitas akar untuk nitrogen, misalnya dihitung dari kadar nitrogen dikalikan dengan bobot kering tanaman untuk mendapatkan serapan, dibagi dengan luas permukaan akar dalam dua waktu.
- Pertumbuhan tanaman: pertambahan ukuran yang tidak dapat balik, mencerminkan pertambahan biomassa pada tanaman.

Photosynthetic analyzer: alat yang dapat digunakan untuk mengukur konduktivitas stomata, laju transpirasi, dan laju fotosintesis.

Pnetrometer: alat yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan suatu organ tanaman, misalnya batang atau buah.

Porositas optik: istilah yang biasa dipakai dalam pembuatan penahan angin. Porositas optik secara dua dimensi menggambarkan nisbah (*ratio*) celah penahan angin dengan luas totalnya. Dapat juga dinyatakan bahwa porositas optik adalah nisbah langit yang terlihat secara vertikal dengan luas penahan angin total.

Praktik budidaya: cara membudidayakan tanaman, dapat berupa pengaturan tanaman, pengairan, pemupukan, dan pengendalian organisme pengganggu tanaman.

Pressure chambers: alat yang dapat digunakan untuk mengukur potensial air jaringan.

Radiasi aktif fotosintesis (PAR): radiasi matahari yang digunakan dalam fotosintesis dalam kisaran panjang gelombang 400–700 nm, yang ukurannya adalah kerapatan fluks foton fotosintesis (PPFD) dalam $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Royal Horticulture Society color chart (RHS color chart): bagan yang digunakan untuk pengamatan dan pengklasifikasian warna, misalnya bunga atau buah.

Ruang warna CIELAB: salah satu ruang warna paling lengkap dan populer untuk mengukur warna objek, yang ditetapkan oleh Komisi Internasional tentang iluminasi warna (French Commision Internationale de l'eclairage, dikenal sebagai CIE) tahun 1976.

Sekapan cahaya: persentase cahaya yang dapat disekap oleh tajuk tanaman, dipengaruhi oleh ILD dan arsitektur tajuk. Besarnya cahaya matahari yang dapat disekap oleh tajuk tanaman bervariasi menurut bentuk tajuk, bentuk daun, luas daun, sudut daun, ukuran daun, dan sebaran daun.

Spectrophotometer: alat yang dapat digunakan untuk mengukur kadar suatu senyawa, misalnya klorofil.

Stomata: lubang atau celah kecil berbentuk oval atau lonjong yang diapit dua sel epidermis khusus yang disebut sebagai sel penutup yang mengatur ukuran celah stomata. Stomata merupakan organ tumbuhan yang berfungsi sebagai jalan lewat berbagai macam gas dan cairan, keluar dan masuk tanaman terutama melalui

daun. Beberapa gas yang melewati stomata dan mempunyai peran penting dalam metabolisme tanaman adalah CO_2 dan O_2 dalam proses fotosintesis dan respirasi, serta H_2O dalam bentuk gas dalam proses transpirasi.

Sudut akar: sudut yang dibentuk akar dengan bidang datar, merupakan gambaran arah tumbuh akar, apakah ke arah samping atau ke arah bawah.

Sudut daun: sudut yang dibentuk antara daun dengan bidang datar atau bidang tegak atau batang. Sudut daun dalam fisiologi tanaman dihitung dari bidang datar, sedangkan dalam pemuliaan dihitung dari bidang tegak. Berdasarkan sudutnya dari bidang datar, daun dibagi menjadi tiga golongan, daun mendatar (*planophile*) dengan sudut $< 35^\circ$, daun sedang (*plagiophile*) dengan sudut $35^\circ\text{--}60^\circ$, dan daun tegak (*erectophile*) dengan sudut $> 60^\circ$.

Suhu: unsur iklim berupa besaran fisika yang menyatakan derajat panas suatu zat. Alat pengukur suhu adalah termometer, antara lain adalah termometer maksimum-minimum, termometer cair atau gabungan termometer dengan higrometer yang biasa disebut termohigrometer.

Tanah (dalam bidang pertanian): media tempat tumbuh tanaman. Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan bercampur dengan sisa-sisa bahan organik dan organisme berupa vegetasi atau hewan yang hidup di atasnya atau di dalamnya. Selain itu, di dalam tanah juga terdapat air dan udara.

Titik layu permanen: kondisi kadar lengas tanah yang ketersediaannya lebih rendah dari kebutuhan tanaman untuk mempertahankan turgor dan aktivitas metabolismenya.

Transpirasi: penguapan air dari dalam tubuh tanaman melalui stomata, lenti sel atau kutikula, dapat diukur dengan menggunakan alat *Photosynthetic analyzer*.

Uji hedonik: metode pengujian kesukaan panelis terhadap sampel yang diuji.

Uji *ranking*: metode pengujian sensoris yang mana panelis diminta untuk mengurutkan atribut mutu yang diuji.

Buku ini tidak diperjualbelikan

Biodata Penulis



Didik Indradewa lahir di Kudus, Jawa Tengah, pada tanggal 19 Maret 1954. Penulis mulai menempuh pendidikan tinggi di Fakultas Pertanian UGM dalam bidang Agronomi pada tahun 1973–1978. Pendidikan tinggi lanjutan pada jenjang Post Graduate Diploma bidang Tropical Crop Science ditempuh di University of Queensland Australia dan diselesaikan pada tahun 1985. Selanjutnya, program doktor dalam bidang ilmu-ilmu pertanian diselesaikan di Universitas Gadjah Mada pada tahun 2002. Penulis diangkat

sebagai dosen di Fakultas Pertanian UGM mulai tahun 1979 dan guru besar sejak tahun 2005 dalam bidang Fisiologi Tanaman. Beberapa jabatan di Fakultas Pertanian UGM pernah diemban, antara lain sebagai Ketua Laboratorium Ilmu Tanaman pada tahun 1981–1983, 1986–2003, dan 2008; Pengelola PS Agronomi Program Pascasarjana pada tahun 2003; Pembantu Dekan III pada tahun 1993–1996; Ketua Jurusan Budi Daya Pertanian pada tahun 2003–2010; dan Ketua Senat Fakultas Pertanian pada tahun 2017–2019.

Kesempatan mengunjungi Laboratoria Agronomi dan Agroteknologi Fakultas Pertanian di berbagai perguruan tinggi di Indonesia, tugas sebagai penguji program doktor di beberapa perguruan tinggi, mitra bestari di beberapa jurnal dan penelaah karya ilmiah dosen yang akan naik ke jabatan guru besar, meyakinkan penulis bahwa terdapat kesenjangan yang cukup lebar pada variabel pengamatan, akibat perbedaan kelengkapan peralatan yang digunakan oleh para peneliti. Usaha untuk mempersempit kesenjangan variabel pengamatan yang dapat diamati para peneliti agronomi, dilakukan dengan menulis buku yang berjudul *Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas*.

Penulis mengampu mata kuliah pada jenjang sarjana, antara lain Pengantar Ilmu Pertanian, Dasar-dasar Agronomi, Fisiologi Tumbuhan dan Fisiologi Tanaman. Sementara itu, matakuliah jenjang pascasarjana yang diajar, antara lain Fisiologi Lingkungan, Ilmu Agronomi Lanjut, Ilmu Produksi Tanaman, Pertanian Berkelanjutan, Topik Khusus Agronomi, dan Fisiologi Cekaman Lingkungan.

Beberapa publikasi dalam bentuk buku, yaitu (1) *Etnoagronomi Indonesia* (2021, Penerbit Lily Publisher), (2) *Potensi Pertanian Organik dalam Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim (Menuju Indonesia Maju 2045, Pemikiran Guru Besar Universitas Gadjah Mada)* (2021, Penerbit Gadjah Mada Univesity Press), (3) *Pertanian Perkotaan Memperkuat Ketahanan Pangan pada Masa Pandemi Covid-19 (Pembangunan Pertanian– Membangun Kemandirian Pangan dalam Masa Bencana dan Pandemi)* (2021, Penerbit Lily Publisher), (4) *Potensi Lahan Pasir Pantai sebagai Lahan Pertanian Produktif (Inovasi Teknologi Agronomi di Lahan Pasir Pantai)* (2021, Penerbit Depublish), (5) *Sistem Budidaya dam Pertanian Organik (Pertanian Organik, Solusi Pertanian Berkelanjutan)* (2020, Penerbit Lily Publisher).

Sementara itu, beberapa artikel yang terbit di jurnal adalah (1) Physiological response, growth, and yield of edamame soybean (*Glycine max* L. Merr.) under foliar application of nano cattle bone ash in entisol. *Planta Tropika* (2023); (2) Effects of husk charcoal and watering on the biochemical and physiological properties of coix millet (*Coix lacryma jobi* L.) during vegetative phase. *Agricultural Science* (2023); (3) Morphophysiological and yield traits of soybean varieties tolerant of intercropping with maize. *Biodiversitas* (2023); (4) Anatomical characteristics of the upland local Indonesian rice cultivars as structural protection against drought. *Brazilian Journal of Botany* (2023); (5) Exogenously applied *Casuarina equisetifolia* leaf extracts act as an osmoprotectant on proline accumulation under drought stress in local rice from Indonesia. *Frontiers Plant Science* (2023); (6) Evaluation of Zinc efficiency and some of nutritional and physiological responses of tomatoes cultivars. *Journal of Plant Nutrition* (2023); (7) Interrelationships of air canal adaptation in the leaves of water lilies and water depth of lebak swampland in Kalimantan selatan. *Journal of Environmental Management and Tourism* (2022); (8) Enzymatic antioxidant activity and physiological responses of local swamp rice cultivars from Kalimantan-Indonesia under iron toxicity during vegetative stage. *Journal of Crop Science And Biotechnology* (2022); (9) Proline-related gene expression contribute to physiological changes of East Nusa Tenggara (Indonesia) local rice cultivars during drought stress. *Biodiversitas* (2022); (10) Growth and yield of maize in t'sen, a local wisdom of planting in one planting hole, typical cropping pattern of West Timor's, Indonesia. *Biodiversitas* (2022); (11) The effect of water depth on the structure and allocation of waterlily (*Nymphaea pubescens* willd) biomass in lebak swampland in Kalimantan Selatan. *Journal of Environmental Management and Tourism* (2022); dan (12) The relationship between morphophysiological changes and expression of transcription factors in ntt local rice cultivars as a response to drought stress. *Indonesian Journal of Biotechnology* (2022).

Indeks

A

abiotis 187
actinograph bimetal 10
agronomi xvii, xix, xx, xxi, xxii,
xxiii, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 22, 25, 67,
71, 75, 142, 167, 169, 187, 193
air tersedia 22, 23, 58
akar 2, 5, 24, 27, 67, 71, 72, 73, 74, 75,
76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83,
84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92,
93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 102,
119, 120, 121, 122, 131, 165, 168,
185, 186, 187, 189, 191
Akar v, vii, viii, xiii, 71, 72, 73, 74,
75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84,
85, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 93,
94, 95, 96, 99, 100, 119, 177
aliran massa 98
analisis pertumbuhan 4, 5, 101, 102,
119, 135, 138, 139, 168
Android ix, xiv, 4, 14, 38, 146, 147,
148, 149, 150, 152, 175, 186
anemometer 16, 17
area meter 75, 76, 77, 78, 79, 80,
81, 102
aroma buah 161
atmosfer 8, 18, 176, 186

B

bagan
warna daun (BWD) 29, 36
warna K tanah 28
warna N tanah 28
warna pH tanah 26, 28
warna P tanah 25, 28
batang 2, 3, 67, 69, 70, 71, 74, 76,
88, 90, 102, 103, 104, 106, 109,
119, 120, 123, 124, 125, 128,
129, 130, 131, 158, 165, 166,
175, 190, 191
batas ganti warna 23
beban patah 164, 165, 166
biji 5, 31, 61, 62, 63, 64, 66, 71, 90,
102, 120, 131, 132, 133, 134,
140, 141, 142, 143, 144, 150,
152, 182, 188
biotis 187
BMKG 20, 177, 181
bobot
100 biji 142
biomassa 3, 4, 58, 187
daun khas 102, 116, 138, 181
jenis kayu 122
jenuh 51, 52, 53
kering akar 75, 76, 82, 83, 90,
189

kering batang 124, 129
 kering biji 188
 kering daun 106, 116, 117, 126
 kering tanaman 102, 116, 124, 129, 130, 131, 138, 140, 189
 per buah 142
 per lembar daun 142
 per siung 142
 pucuk 142
 segar 51, 53, 95, 127, 161
 volume 76, 83, 128, 181

bor
 akar 71, 72, 73, 74
 tanah 25, 27, 71, 72, 74, 83, 172

buah 2, 5, 47, 71, 90, 102, 111, 119, 120, 127, 129, 131, 141, 142, 143, 144, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 171, 177, 179, 186, 189, 190

bunga
 krisan 146, 148, 150, 164
 matahari 179

busur derajat 68, 92, 109, 112

C

cekaman (ISC) 63, 64
chroma meter 2, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 161
color analyzer 38, 40, 42, 49, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 161, 168, 175, 186
color analyzer–Iro Shirabe 146
 contoh tanah 22, 25, 26, 27, 28
 C-organik tanah 26, 27
 cuaca mikro xxii, 8, 13, 14
 curah hujan 7, 18, 19, 20, 21, 167, 178

D

dada 70, 120, 123
 diameter akar 79, 81, 99
 dimensi fraktal 74, 76, 85, 86, 87, 168, 186
 distribusi
 akar 76, 85
 cahaya 102, 109, 112, 113, 165, 168
 fotosintat 131, 132
 durasi luas daun 102, 111, 168, 181

E

edamame xxii, 150, 151, 180, 194
 evaporasi 9, 54, 97, 186
 evapotranspirasi 9, 59, 97

F

faktor
 genetik 7
 lingkungan 1, 7, 8, 168, 187
 fisika tanah 22, 167
 fotosintesis 2, 3, 4, 9, 10, 13, 22, 33, 34, 43, 47, 48, 49, 50, 102, 111, 117, 118, 132, 137, 138, 165, 168, 176, 188, 190, 191

G

garis tengah batang 69
 gaya cabut akar 87, 88, 187
 gelas ukur 19, 20, 21, 79, 158, 174
grain counter 144
 gravimetri 102, 103, 105, 106
 gravitasi 22

H

hand refraktometer 160, 189
 hara makro 7, 25, 26
 hari hujan 18, 19, 167

hasil tanaman 1, 2, 3, 5, 7, 11, 33, 101,
111, 138, 141, 143, 169, 175, 187

I

iklim xxi, 1, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 16,
18, 167, 176, 178, 187, 188, 191

Image 21, 174

ImageJ xxii, 104

indeks

harmonik (IH) 63

panen 3, 4, 102, 131, 138, 140, 182

sensitivitas 63, 64, 182

stabilitas hasil (ISH) 63

toleransi cekaman (ITC) 63,
64, 95

indeks l

uas daun 102, 108, 109, 110, 112,
135, 139, 168, 182, 186, 187

intensitas cahaya matahari 14, 37,
112, 167

irigasi tetes 58, 175

J

jagung 25, 44, 50, 52, 62, 64, 65, 67,
70, 103, 120, 131, 141, 144, 172,
173, 177, 179

jambu mete 129

janggal 120, 131

jangka sorong 69, 81, 120

jumlah

anakan 142

anakan produktif 142

biji per malai 142

biji per polong 142

buah per janjang 142

buah per tandan 142

cabang 142

daun 3, 67, 70, 71, 104, 105, 106,
108, 142

janjang per pohon 142

malai 142

panas 60, 61, 62

pucuk 142

siung 142

tandan 142

K

kacang

hijau 60, 61, 144

tanah 3, 4, 60, 61, 70, 110, 132,
133, 141, 171, 176

kadar

air nisbi 51, 168, 182

hara 7, 25, 31, 167

lengas 7, 22, 23, 77, 80, 81, 82,
84, 86, 89, 91, 92, 96, 97,
167, 191

kakao 122, 124, 180

kalibrasi xxii, 4, 14, 48, 158

kantong plastik 48, 49, 51, 75

kapasitas lapang 22, 23, 77, 80, 89,
92, 137, 180, 185

karika 106, 108, 128, 129, 171

kecepatan angin 7, 8, 16, 17, 19, 167

kedelai 59, 60, 65, 66, 70, 73, 76,
98, 99, 103, 115, 120, 135, 136,
137, 139, 141, 142, 143, 150,
174, 175, 176, 177, 178

kekerasan buah 157, 158, 159

kelapa sawit 34, 47, 53, 58, 67, 70,
106, 107, 108, 109, 111, 124,
125, 126, 128, 142, 173, 176

kelembapan nisbi udara 13

kenampakan warna 38, 182

kepulenana 152, 153, 156

keranjang 74, 93, 94, 95, 189
 kerapatan fluks foton 10, 190
 ketahanan
 kekeringan 93, 95, 171, 172, 177, 178
 kimia tanah 7, 22, 167
 klimatologi 2, 18, 176
 klorofil xxii, 2, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 47, 138, 151, 161, 168, 178, 185, 186, 187, 190
 klorofilmeter 37
 koefisien peredupan cahaya 109, 112
 komponen hasil 3, 5, 141, 142, 143, 144, 169, 174, 177
 kualitas hasil xvii, 2, 5, 141, 169, 179
 kultivar 3, 4, 46, 52, 59, 66, 77, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 96, 97, 99, 110, 115, 129, 133, 134, 171, 172, 174, 177, 178
 kurungan kawat 73

L

lahan pasir pantai 24, 179
 laju
 asimilasi bersih 4, 102, 117, 118, 137, 138, 139, 168, 182
 pengisian biji 133, 134, 182
 pertumbuhan nisbi 102, 119, 182
 pertumbuhan tanaman 102, 119, 136, 138, 140, 182, 187
 transpirasi 2, 13, 53, 54, 55, 56, 58, 97, 98, 168, 190
 lama
 penyinaran 7, 8, 177
 transpirasi 54, 55, 56, 57, 58, 168
light meter 10, 102, 109, 112, 175, 187
 lingkaran

batang 128, 129

luas

daun xxii, 2, 4, 49, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117, 118, 135, 136, 138, 139, 168, 181, 182, 185, 186, 187, 188, 189, 190
 permukaan akar 2, 75, 79, 80, 81, 82, 95, 96, 97, 185, 189

lux meter 11, 14, 109, 112, 114, 173, 187

M

manometer 50
 mata tunas pecah 62
 metabolisme 43, 60, 71, 188, 191
 meteran 68, 120, 125, 128
 metode air tumpahan 123, 125, 128
 mikrometer 44
 mikroskop 44, 168
 minyak 120, 127, 176
 mulsa 58, 175

N

nilai G 39, 40, 41, 42
 nisbah
 akar tajuk 76, 90, 91
 luas daun 102, 116, 182
 perakaran dalam 76, 93, 95, 171

O

ombrometer 19, 20, 167, 186
optilab 44
 organoleptik 152, 153, 155, 163, 172
 oven 4, 57, 82, 102, 120, 128

P

padi Gogo 77, 80, 84, 88, 91, 95, 96, 98, 117, 118, 134

panjang
 akar 71, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81,
 82, 84, 85, 93
 gelombang 9, 10, 11, 48, 111, 160,
 190
 malai 142
 papan berpaku 73, 85, 87
 pemupukan 1, 25, 29, 30, 36, 39, 179,
 187, 190
 pemupukan presisi 29, 179
 penampilan buah 161
 penyiraman 23, 56, 58, 59, 172, 173,
 176
 perangkat uji tanah kering (PUTK)
 25, 167
 perangkat uji tanah sawah (PUTS)
 25, 167
 persamaan alometrik 120, 122
 persentase gabah hampa 142
 pertumbuhan 1, 2, 4, 5, 7, 8, 11, 33,
 61, 67, 70, 71, 91, 93, 94, 101,
 102, 115, 119, 135, 136, 138,
 139, 140, 168, 171, 172, 173,
 174, 175, 176, 182, 185, 187, 189
 petiol 126
 pH 7, 22, 25, 26, 28, 48, 161, 167
photosynthetically active radiation
 10, 111, 182
photosynthetic analyzer 2, 4, 43, 47,
 50, 56, 58, 117
piring tekan 22, 23
plant canopy analyzer 108
play store 186
pnetrometer 159
 polibag 35, 37, 73, 75, 76, 77, 92
 polong 3, 5, 61, 132, 133, 142, 150,
 151, 152
 pori tanah 22, 81
 porometer 43

porositas optik 74, 76, 87, 190
 potensial air 2, 51, 190
 potensial matriks 22, 23
pressure bomb scholander 50
 produktivitas 2, 8, 65, 101, 127, 165
 proses fisiologis 1, 2, 7, 8, 11, 33, 47,
 90, 101, 138, 185, 187
 pucuk burung 142
 pucuk peko 142

R

radiasi
 aktif fotosintesis 10
 surya 8
 rasa buah 161
 regosol 23, 95, 171
 rendemen getah 143
 respirasi 43, 47, 48, 118, 137, 191
RHS color chart 145, 190
rhzyotron 71

S

saling naung 118, 137, 138
 sekapan cahaya 87, 102, 108, 113, 114,
 115, 135, 136, 137, 138, 183
 spatula 25, 26, 27, 28
 stevia 13, 172
 stomata 2, 13, 33, 43, 44, 45, 46, 47,
 53, 54, 168, 174, 190, 191
 sudut
 akar 76, 92, 93
 daun 109, 112, 190
 suhu 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 24, 25,
 51, 57, 60, 61, 62, 82, 83, 102,
 120, 122, 125, 128, 167, 188, 191
 tanah 7, 25
 udara 7, 8, 13, 14, 15, 60, 167, 188

swayasa xxii, 19, 144, 158, 159, 164,
165
syringe 27, 28

T

tabung reaksi 25, 26, 27, 28, 48
tanah 1, 2, 3, 4, 5, 7, 16, 18, 19, 22, 23,
24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
60, 61, 65, 67, 69, 70, 71, 72,
73, 74, 76, 77, 80, 81, 82, 83,
84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92,
94, 95, 96, 110, 111, 112, 113,
120, 122, 123, 124, 125, 128,
129, 132, 133, 136, 141, 165,
167, 168, 171, 172, 173, 176,
178, 179, 180, 182, 186, 187,
188, 191
tanah masam 26
tandan 127, 142, 143
teh 12, 30, 36, 37, 39, 40, 55, 60, 61,
62, 114, 142, 172, 173, 175, 178,
179
tekanan udara 7, 8, 13, 16, 188
tekstur tanah 22, 180
telepon pintar xvii, xxii, 4, 14, 15, 16,
17, 38, 40, 49, 102, 104, 109,
112, 161, 169, 178, 186
tergenang 52, 83, 139, 140
termohigrometer 11, 15, 16, 191
termometer 11, 24, 191
tanah 24
terung 111, 176
timbangan gantung 87, 88, 187
tinggi tanaman 3, 67, 68, 122, 123,
124, 128, 166
titik layu permanen 22, 23, 51, 92,
97, 185
tomat 58, 60, 141, 142, 157, 158, 159,
161, 175, 179

tongkol 131, 132
total asam tertitrasi 157, 160, 183
transpirasi 2, 13, 43, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 97, 98, 168, 171, 190,
191

tumpang sari 7
turgor sel 90

U

uji
hedonik 155
ranking 154, 157
umur
berbunga 133, 134, 186
panen 62, 133, 134, 150, 186
simpan 161, 162, 163
urea 36, 37, 39, 131, 168

V

visual quality rating 163, 183
vitamin C 157, 160, 161
volume
akar 75, 76, 79, 80, 81, 83

W

wanatani 7
warna bunga 2, 5, 145, 146, 150, 161,
186

Kualitas hasil penelitian dalam bidang agronomi sangat bervariasi. Hal ini dipengaruhi salah satunya oleh ketersediaan sarana dan prasarana penelitian. Sayangnya, peningkatan kualitas hasil penelitian seringkali dihadapi oleh kendala keterbatasan dana, sarana, dan prasarana penelitian. Namun demikian, pengamatan yang lebih rinci dapat dilakukan dalam bentuk modifikasi pengamatan dengan menggunakan peralatan sederhana yang biasa ditemukan di pasaran dan peralatan buatan sendiri. Penggunaan telepon pintar juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengamatan di lapangan.

Buku *Pengamatan Penelitian Agronomi dengan Peralatan Terbatas* hadir untuk mendukung penggalan informasi penelitian agronomi dengan pengamatan yang lebih luas dan mendalam dalam kondisi dana, sarana, dan prasarana penelitian yang terbatas. Selain itu, dalam buku ini dijelaskan teknik-teknik pengukuran variabel secara lebih bervariasi untuk penelitian dengan menggunakan peralatan terbatas. Buku ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber referensi bagi para peneliti agronomi, baik mahasiswa, dosen, maupun peneliti di lembaga penelitian dan universitas yang dukungan peralatannya terbatas untuk dapat melakukan penelitian agronomi secara mendalam menggunakan variabel yang lebih bervariasi.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.968



ISBN 978-634-7933-13-3



9 786347 933133