

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

INOVASI TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA LIGNOSELULOSA SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG TEKNOLOGI BIOPROSES



OLEH:

RONI MARYANA

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**INOVASI TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA
LIGNOSELULOSA SEBAGAI SUMBER
ENERGI TERBARUKAN DAN BAHAN KIMIA
BERKELANJUTAN**

Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

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



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 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/>



**INOVASI TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA
LIGNOSELULOSA SEBAGAI SUMBER ENERGI
TERBARUKAN DAN BAHAN KIMIA
BERKELANJUTAN**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK KIMIA
BIDANG TEKNOLOGI BIOPROSES
KEPAKARAN TEKNOLOGI KONVERSI
BIOMASSA DAN BIOPOLIMER**

OLEH:
RONI MARYANA

Penerbit BRIN

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Kimia

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Inovasi Teknologi Konversi Biomassa Lignoselulosa sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Bahan Kimia Berkelanjutan/Roni Maryana–Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

ix + 97 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. Inovasi Teknologi | 2. Biorefinery |
| 3. Biomassa | 4. Selulosa |
| 5. Bioetanol | 6. Selulosa asetat |

608

Copy editor : Rahma Hilma Taslima
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : Rahma Hilma Taslima

Edisi pertama : Juni 2025



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, 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
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. POTENSI LIGNOSELULOSA BIOMASSA INDONESIA	13
A. Bioetanol Generasi Pertama (G1).....	13
B. Bioetanol Generasi Kedua (G2).....	14
C. Bahan Kimia dari Biomassa	14
D. Berbagai Jenis Biomassa di Indonesia	15
III. TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA: PERLAKUAN AWAL DAN REAKTOR	23
A. Perlakuan Awal adalah Kunci.....	23
B. Reaktor Skala Laboratorium dan <i>Bench Scale</i>	27
C. <i>Scale Up</i> Delignifikasi Skala Pilot	30
IV. BIOMASSA LIGNOSELULOSA SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN.....	35
A. Bioetanol dan <i>Dissolving Pulp</i>	35
B. Selulosa Asetat	42
C. <i>Lignin</i>	45
V. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA	49
VI. KESIMPULAN.....	53
VII. PENUTUP.....	55

UCAPAN TERIMA KASIH	57
DAFTAR PUSTAKA.....	61
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	71
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	87
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen Utama Penyusun Biomassa	18
Gambar 3.1	Reaktor Portabel untuk Delignifikasi	28
Gambar 3.2	Unit <i>screw continuous reactor</i> untuk delignifikasi biomassa (a); Reaktor tempat terjadinya kontak biomassa dan bahan kimia (NaOH) (b).	33
Gambar 3.3	Diagram Alir Proses Delignifikasi Biomassa Secara Kontinu.....	34
Gambar 4.1	Perolehan Bioetanol dan Pengurangan Lignin	40
Gambar 4.2	Proses Pembuatan Selulosa Asetat dari Ranting Kayu Putih dan Bagas Tebu	44
Gambar 4.3	Spektra Infra Red dari Selulosa, Selulosa Asetat Ranting Kayu Putih (<i>Cajuput Twigs</i>), Selulosa Asetat Bagas Tebu, dan Selulosa Asetat Komersial	44
Gambar 4.4	Proses Isolasi Lignin dari TKKS dengan Metode Asam	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kapasitas Terpasang Bioetanol G2 di Dunia	10
Tabel 2.1	Luas Tanam Perkebunan Tahun 2023 sebagai Potensi Sumber Biomassa di Indonesia	16
Tabel 2.2	Jumlah Potensi Selulosa dan Etanol Per Tahun Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit	19
Tabel 2.3	Jumlah Potensi Etanol Per Tahun Dari Batang Kelapa Sawit	20
Tabel 3.1	Penurunan Kadar Lignin dengan Menggunakan Reaktor Portabel.....	29
Tabel 4.1	Komposisi Kimia Bagas Tebu dan Batang Sawit	38
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Produksi Bioetanol Menggunakan <i>Pretreatment</i> Secara Kontinu	40
Tabel 4.3	Parameter Pulp yang Telah di Bleaching dengan Metode TCF	42
Tabel 5.1	Kontribusi Inovatif Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa.....	49

BIODATA RINGKAS



Roni Maryana, lahir di Ciamis, Jawa Barat pada 7 November 1979 adalah anak ke-2 dari Bapak Drs. H. Romli Syarif, M.M dan Ibu Hj. Yati Maryati. Menikah dengan Oktaviani, Ph.D. dan dikaruniai tiga (3) orang anak, yaitu Rafid Syakir Ogawana, Raziq Afham Waldan dan Rasyada Khaira Shafwa.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 38/M Tahun 2023 tanggal 18 September 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 10 Oktober 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 137/I/HK/2025 tanggal 2 Juni 2025 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar di SDN Galuh XXIX Ciamis, tahun 1992, Sekolah Menengah Pertama SMPN 2 Ciamis, tahun 1995, dan Sekolah Menengah Analis Kimia Bogor, tahun 1999, memperoleh gelar Sarjana Sains dari Departemen Kimia Universitas Indonesia tahun 2005, gelar Master of Science in Engineering dari Departement of Applied Chemistry Keio University, Jepang tahun 2012, dan gelar Ph.D. in Bioresources Engineering dari University of Tsukuba, Jepang tahun 2017.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama di Bogor tahun 2007; Cleaner Production Technology for Sustainable Development. di Shah Alam, Selangor, Malaysia tahun 2008, LIPI-NRF (National Research Foundation) exchange

program, di Seoul Korea Selatan tahun 2018; dan Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Tingkat Lanjutan di Bogor tahun 2018.

Pernah menjadi Ketua Tim Perencanaan Monitoring dan Evaluasi BPTBA LIPI, sekretaris tim Perencanaan Monitoring dan Evaluasi pada Kedeputian Ilmu Pengetahuan Teknik LIPI tahun 2019 dan Pusat Riset Kimia LIPI tahun 2020. Menjadi Koordinator Kelompok Riset Senyawa Kimia Bio dan Kimia Adi, Pusat Riset Kimia BRIN sejak tahun 2022 sampai sekarang.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 2010, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2013, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2021, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama bidang Teknologi Konversi Biomassa dan Biopolimer tahun 2023.

Menghasilkan 90 karya tulis ilmiah (KTI), yang ditulis bersama tim dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 80 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Selain itu menghasilkan pula 13 paten terdaftar dan 2 tersertifikasi. Saat ini memiliki h-indeks scopus 13 dan google scholar 16.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia dan Badan Riset dan Inovasi Nasional, pembimbing skripsi (S-1) pada universitas Negeri Semarang, Universitas Sebelas Maret, Telkom University, Universitas Pertamina, UIN Jakarta, Universitas Pertahanan, Universitas Brawijaya, Universitas Sriwijaya, Universitas Airlangga; Pembimbing tesis (S-2) pada Universitas Sebelas Maret dan Universitas Indonesia; Pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas Padjajaran; dan menjadi host Postdoctoral Fellow dari Hiroshima University.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia tahun 2013; Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia sampai saat ini; Himpunan Periset Indonesia sejak tahun 2018 sampai saat ini; Pengalaman lainnya menjadi General Chair I, Konferensi Internasional Indonesia Science Expo 2020, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia; Ketua Dewan Juri pada National Young Inventors Award (NYIA) Tahun 2022; anggota dewan juri Lomba Karya Cipta Teknologi TNI AD tahun 2023; dan anggota dewan juri Indonesia Research and Innovation Fair 2024.

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya 10 tahun (tahun 2018) dari Presiden RI, Peneliti Terbaik Pusat Riset Kimia untuk jenjang Ahli Peneliti Utama tahun 2023, Juara ke-2 PPI Researcher Award untuk kategori peneliti tahun 2024 dari Perhimpunan Periset Indonesia

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assaalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada 25 Juni 2025 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“INOVASI TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA
LIGNOSELULOSA SEBAGAI SUMBER ENERGI
TERBARUKAN DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN”

Adapun *state of the art* orasi ini adalah inovasi teknologi konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan dan bahan kimia berkelanjutan, mencakup nilai penting perlakuan awal biomassa secara paralel dalam reaktor *batch* skala laboratorium dan perlakuan awal dengan sistem kontinu menggunakan *screw continuous reactor*. Selain itu, konversi biomassa menjadi bioetanol, *dissolving pulp*, selulosa asetat dan lignin dengan perlakuan awal menggunakan pelarut basa dan pelarut

jenis baru, seperti *deep eutectic solvent* dan *ionic liquid* akan disajikan. Proses perlakuan awal biomassa yang berkembang saat ini lebih mengungkapkan metode-metode baru, seperti delignifikasi secara kontinu dan penggunaan berbagai pelarut pada proses delignifikasi dalam upaya meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan. Pemanfaatan biomassa ini dapat memberikan nilai ekonomi dengan pilar pemanfaatan yang lestari dan sebagai upaya mendukung agenda 2030 untuk pembangunan berkelanjutan (*the 2030 Agenda for Sustainable Development*).

I. PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah peningkatan kemandirian bidang energi dan bahan kimia. Saat ini, bahan baku kedua sektor ini, sebagian besar masih berbasis *fossil* dan mengalami ketergantungan terhadap impor. Pemanfaatan biomassa lignoselulosa memiliki potensi untuk mengurangi persoalan dan menjawab tantangan ini.

Pemanfaatan biomassa lignoselulosa telah dikenal sebagai *biorefinery*. Proses ini adalah suatu sistem yang menggabungkan banyak metode dan teknologi untuk mengubah biomassa menjadi berbagai macam komoditas seperti bahan bakar, yaitu *biofuel*, bahan kimia dan bioproduk lainnya. *Biorefinery* mirip dengan kilang minyak yang mengubah minyak mentah menjadi berbagai produk, tetapi secara khusus untuk sumber daya hayati yang terbarukan. Elemen penting dari *biorefinery* adalah sumber biomassa yang *sustainable*. Pemanfaatan ini memainkan peran penting dalam upaya mendorong transisi ekonomi yang lebih berkelanjutan untuk energi dan material dengan dampak lingkungan yang kecil (Rimantho et al., 2024).

Biomassa terdiri dari berbagai komponen kimia yang dapat dikonversi menjadi energi, bahan kimia, dan produk lainnya. Komponen utamanya adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa adalah polisakarida yang terdiri dari rantai panjang molekul glukosa dan dihubungkan oleh ikatan beta-1,4-glikosidik. Hemiselulosa adalah suatu polisakarida kompleks yang terdiri dari berbagai gula pentosa (seperti xilosa dan arabinosa) serta heksosa (seperti glukosa, galaktosa, dan manosa). Sementara itu, lignin adalah suatu polimer kompleks

yang terdiri dari unit fenilpropanoid, memberikan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi biologis pada dinding sel tanaman (Maryana, et al., 2024; Maryana, et al., 2024; Sudiyani et al., 2013). Semua komponen utama ini dapat diubah menjadi senyawa kimia bernilai ekonomi tinggi.

Indonesia adalah negara yang sangat kaya akan biomassa, terutama dari sektor perkebunan, pertanian, dan sektor kehutanan. Diperkirakan jumlah biomassa di Indonesia mencapai sekitar 146,7 ton per tahun (Dani & Wibawa, 2018).

Teknologi konversi biomassa merupakan usaha mendukung riset dan inovasi nasional Indonesia. UU Nomor 11 Tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Sisnas Iptek) ditetapkan untuk memperkuat ekosistem riset dan inovasi di Indonesia.

Sebagian besar bahan bakar di Indonesia saat ini masih berbasis fosil yaitu minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Sementara itu, sumber energi terbarukan, seperti biofuel, tenaga surya, angin, dan panas bumi masih terus dikembangkan dan mulai diterapkan. Kebijakan energi nasional (KEN) ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014. KEN menargetkan pemanfaatan energi baru terbarukan mencapai 23% dari bauran energi nasional pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Peraturan Menteri (Permen) ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) Nomor 12 tahun 2015 menjelaskan penggunaan bioetanol E5 (5% etanol dalam 95% bensin) yang diwajibkan tahun 2020 dan kemudian meningkat menjadi E20 di tahun 2025.

Target bauran energi diharapkan berasal dari bioenergi, seperti biodiesel dan bioetanol. Kementerian ESDM mencatat, mayoritas bauran energi primer pembangkit listrik di Indonesia 67,21% masih berasal dari batu bara pada 2022. Kebijakan

dan inisiatif pemerintah saat ini adalah untuk mendiversifikasi sumber energi dan meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional, di antaranya dengan memanfaatkan biomassa. Saat ini, Indonesia mengalami defisit pasokan minyak bumi dengan selisih antara produksi dan konsumsi minyak sebesar 254,29 juta barel pada tahun 2022. Selama periode Januari–September 2023 secara kumulatif, impor minyak mentah meningkat sebanyak 18,5%. Dengan demikian, selama periode tersebut, total volume impor minyak Indonesia mencapai 32,8 juta ton (Statistik, 2024d).

Bioetanol generasi kedua atau sering disebut bioetanol G2 merupakan salah satu jenis biofuel. Bioetanol G2 (C_2H_5OH) adalah senyawa kimia yang diproduksi dari biomassa lignoselulosa, seperti limbah perkebunan, kehutanan, dan pertanian. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS), bagas tebu, jerami, sekam padi, serbuk gergaji dan lainnya merupakan biomassa yang umum di Indonesia (Maryana, et al., 2014). Biomassa lignoselulosa memiliki ketersediaan yang melimpah dan beragam. Bioetanol dapat dicampur dengan bensin dalam berbagai komposisi. Selain itu, bioetanol dapat digunakan pula dalam sektor industri.

Sejak tahun 2006, beberapa negara maju dan negara berkembang telah menetapkan mandat pencampuran bahan bakar minyak berbasis *fossil* dengan *biofuel* yang lebih ramah lingkungan. *Biofuel*, khususnya bioetanol G2, yang dibuat dari bahan baku non-pangan mulai dikomersialkan pada tahun 2013. Saat ini banyak negara berpartisipasi dalam pengembangan industri bioetanol G2 (UNCTAD, 2016). Kapasitas terpasang bioetanol G2 di dunia disampaikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kapasitas Terpasang Bioetanol G2 di Dunia

Negara	Kapasitas terpasang tahun 2015 (juta liter)*	Kapasitas terpasang tahun 2024 (juta liter)**
Amerika Serikat	490,37	n.d.
China	340,19	n.d.
Kanada	303,45	n.d.
Uni Eropa	130,83	n.d.
Brazil	125,65	1.600
Total	1.390,49	

n.d. = tidak ada data

Sumber:*(UNCTAD, 2016); **(Voegele, 2024)

Sampai saat ini belum ada bioetanol G2 skala komersial di Indonesia. Permasalahan yang ada adalah proses *pretreatment* yang kurang ekonomis; produk yang dihasilkan terbatas dan kurang terintegrasi; serta enzim yang masih tergantung impor. Dengan demikian, diperlukan inovasi teknologi untuk menjawab tantangan ini.

Biomassa lignoselulosa, selain untuk *biofuel*, juga memiliki potensi sebagai bahan baku kimia terbarukan dan dapat mengurangi impor bahan kimia. Selulosa, sebagai polimer alami yang melimpah, memainkan peran penting dalam produksi berbagai bahan kimia bernilai tinggi dan produk turunannya.

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat nilai impor bahan kimia organik mencapai US\$ 558.7 juta atau sekitar 2 kali nilai ekspor pada bulan Maret 2024 (Statistik, 2024a). Selulosa kemurnian tinggi, atau *dissolving pulp*, mengandung lebih dari 90% selulosa (Salaghi et al., 2018). Selulosa telah dimanfaatkan secara luas untuk industri kertas. Pangsa pasar industri kertas

global dan pulp diprediksi akan meningkat 1,07% mencapai US\$387,54 miliar atau sekitar Rp6.058,2 triliun di tahun 2023 dibandingkan US\$348,32 miliar di tahun 2022. Angka ini didasari perhitungan *compound annual growth rate* (Indonesia, 2023).

Kebutuhan bahan kimia di Indonesia sangat beragam dan mencakup berbagai sektor industri penting. Bahan kimia yang masih bergantung impor dapat menimbulkan risiko terhadap stabilitas harga dan pasokan. Hal ini menumbuhkan peluang pengembangan industri kimia domestik untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan meningkatkan kemandirian industri. Selain itu, inovasi bahan kimia hijau berbasis biomassa, seperti selulosa dan derivatifnya akan mendorong potensi pengembangan bahan kimia yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan serta dapat membuka peluang baru di pasar domestik dan internasional.

II. POTENSI LIGNOSELULOSA BIOMASSA INDONESIA

Lignoselulosa merupakan sumber biomassa yang melimpah tidak hanya di Indonesia, tetapi juga di dunia. Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang besar, diantaranya sektor kehutanan, perkebunan, dan pertanian. Sementara itu, riset konversi biomassa, baik di Indonesia maupun di dunia menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Jumlah biomassa per tahun di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 146,7 ton (Dani & Wibawa, 2018). Berdasarkan hasil konversi senyawa kimia penyusunannya, produk turunan biomassa dapat dikelompokkan menjadi *biofuel*, yang salah satunya adalah bioetanol serta bahan kimia berbasis selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Bioetanol dapat dibagi menjadi empat generasi berdasarkan bahan bakunya. Bioetanol berbahan baku karbohidrat disebut bioetanol generasi pertama (G1); berbahan baku lignoselulosa disebut bioetanol G2; berbahan baku biomassa dari laut, khususnya mikro dan makroalga disebut bioetanol G3; dan yang menerapkan rekayasa genetika disebut bioetanol G4 (Sudiyani et al., 2019).

A. Bioetanol Generasi Pertama (G1)

Bahan Baku Bioetanol Generasi Pertama (G1) adalah sumber yang mengandung karbohidrat sederhana atau pati yang mudah dihidrolisis menjadi gula *fermentable*. Pemanfaatan bahan tanaman pangan, seperti jagung, tebu dan singkong telah dikembangkan cukup lama menjadi bioetanol (Maryana &

Wahono, 2012). Sejarah bioetanol sendiri telah dimulai jauh sebelum bahan bakar berbasis fosil menjadi dominan. Pada tahun 1908, Henry Ford merancang Model T, mobil yang dapat menggunakan etanol ataupun bensin sebagai bahan bakar. Akan tetapi, pada tahun 1950 hingga 1960, dengan melimpahnya minyak bumi pasca-Perang Dunia II, minat terhadap bioetanol sebagai bahan bakar mengalami penurunan, terutama di negara-negara industri (Aprobi, 2024; Sudiyani et al., 2019). Sementara itu, pada sekitar tahun 2000, kenaikan harga minyak dan kekhawatiran tentang perubahan iklim menyebabkan peningkatan kembali produksi dan penggunaan bioetanol secara global. Produksi bioetanol meningkat secara signifikan di Amerika Serikat, Brasil, dan negara-negara lain.

B. Bioetanol generasi kedua (G2)

Bioetanol G2 berasal dari biomassa lignoselulosa dan limbah organik yang tidak bersaing dengan sumber pangan. Biomassa ini mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin sehingga membutuhkan perlakuan awal sebelum dihidrolisis menjadi gula *fermentable* dan difermentasi menjadi bioetanol. Dimulai sekitar tahun 2010, penelitian dan pengembangan bioetanol G2, yang menggunakan limbah pertanian dan biomassa lignoselulosa mulai mendapatkan perhatian secara luas. Bioetanol G2 menggunakan biomassa, seperti jerami, hasil samping pertanian dan perkebunan, seperti bagas tebu dan TKKS (Maryana, et al., 2022; Muryanto et al., 2015; Sudiyani et al., 2013).

C. Bahan kimia dari biomassa

Biomassa lignoselulosa terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang dapat dikonversi menjadi berbagai bahan kimia bernilai tinggi. Bahan kimia ini dihasilkan dari proses *biorefinery* biomassa yang saat ini terus berkembang. Pemanfaatan selulosa

yang sudah dikenal luas adalah dalam industri pulp dan kertas serta industri tekstil. Selain itu, selulosa dapat diolah menjadi senyawa kimia, seperti glukosa, *carboxymethyl cellulose* (CMC), selulosa asetat, asam levulinat, dan berbagai polimer yang berfungsi sebagai bahan baku dalam produksi plastik, pelarut, dan bahan bakar terbarukan. Senyawa seperti asam laktat dan selulosa asetat telah dilaporkan dihasilkan dari biomassa padi dan ranting kayu putih (Maryana, et al., 2020).

D. Berbagai jenis biomassa di Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari 17.504 pulau dibagi menjadi 38 provinsi. Indonesia juga adalah negara tropis yang dilintasi garis khatulistiwa dengan luas sawah sekitar 10,2 juta hektar dan 372 juta hektar lahan perkebunan dengan potensi limbah biomassa yang sangat besar (Statistik, 2024c). Sumber daya biomassa, antara lain jerami padi, biomassa dari limbah perkebunan kelapa sawit seperti tandan kosong, batang dan pelepah sawit, kelapa, perkebunan karet, kopi, kakao, tebu, teh, jagung, singkong, dan kayu. Pada Tabel 2.1, disajikan luas tanam perkebunan di Indonesia pada tahun 2023 (Statistik, 2024b). Dari berbagai biomassa yang dihasilkan dari sektor perkebunan, pertanian, dan kehutanan, limbah pabrik kelapa sawit adalah yang paling potensial untuk dimanfaatkan pada proses *biorefinery* karena ketersediaannya yang melimpah, salah satunya adalah produksi bioetanol (Maryana et al., 2021). Tidak hanya karena jumlahnya yang besar, keberadaannya yang sudah terkumpul di pabrik kelapa sawit sebagai hasil samping produksi, memudahkan untuk *storage and supply*. Adapun luas tanam perkebunan di Indonesia disampaikan pada Tabel 2.1.

Status terkini komersialisasi bioetanol di Indonesia telah disampaikan oleh tim bioetanol Pusat Riset Kimia (Sudiyani et al., 2024). Tinjauan tersebut mencakup kebijakan pemerintah

dan pendekatan teknis produksi bioetanol terkait metode produksinya yang efisien.

Tabel 2.1 Luas Tanam Perkebunan Tahun 2023 Sebagai Potensi Sumber Biomassa di Indonesia

Provinsi	Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi (Ribu Hektar)							
	Kelapa Sawit	Kelapa	Karet	Kopi	Kakao	Tebu	Teh	Tembakau
	2023							
ACEH	478,1	102,6	100	114	93,4	0	0	2,3
SUMATERA UTARA	1.371,9	111,4	373,1	98,6	53,4	7,6	3,5	1,9
SUMATERA BARAT	444,1	85,3	130,7	23,8	64,8	0	2,9	0,1
RIAU	2.869,3	437,8	240,4	4,3	3,5	0	0	0
JAMBI	1.062,4	115,6	408,5	31,5	2,5	0	1,8	0,3
SUMATERA SELATAN	1.162,7	69,3	883,3	267,2	10	31,6	1,5	0,1
BENGKULU	416,9	8,8	101,8	91,2	5,6	0	0,9	0
LAMPUNG	199,5	89,7	174,5	155,2	77	141,2	0	0,5
KEP. BANGKA BELITUNG	250,8	8,6	45,8	0,3	0,6	0	0	0
KEP. RIAU	7,6	33,5	23,6	0	0	0	0	0
DKI JAKARTA	0	0	0	0	0	0	0	0
JAWA BARAT	15,8	144,6	44,7	53,2	5,1	13,9	78,5	8
JAWA TENGAH	0	200,1	28,4	49	4,6	48,8	8,9	50
DI YOGYAKARTA	0	38,8	0,1	1,8	4,9	2,3	0,1	0,4
JAWA TIMUR	0	228,4	19	91,4	39	227	1,6	90,6
BANTEN	18,2	74,6	15,5	6,2	7,6	0	0,1	0
BALI	0	70,1	0	33,8	13,6	0	0	0,3
NUSA TENGGARA BARAT	0	58	0	13,9	7,7	3,8	0	34,3
NUSA TENGGARA TIMUR	0	136,3	0	76,8	63,4	2,6	0	1,5
KALIMANTAN BARAT	2.200,8	94,2	326,4	7,5	4,2	0	0	0
KALIMANTAN TENGAH	2.196,3	37,1	312,8	2,1	3	0	0	0
KALIMANTAN SELATAN	516,7	36,7	208,9	2,2	0,4	0	0	0
KALIMANTAN TIMUR	1.328,5	20,1	76,2	1,4	7,8	0	0	0
KALIMANTAN UTARA	242,4	1,3	2,6	1	2,5	0	0	0
SULAWESI UTARA	0	273,4	0	7,7	16	0	0	0
SULAWESI TENGAH	143,3	218,1	5,8	11,3	274	0	0	0,1
SULAWESI SELATAN	53,1	91,5	8,5	79,4	175,5	12,9	0	1,5
SULAWESI TENGGARA	62	61,7	0,8	9,6	225,4	3,1	0	0
GORONTALO	15,4	71,3	0	1,3	13	9,8	0	0
SULAWESI BARAT	147,3	43,1	0	16,5	142	0	0	0
MAIUKU	10,2	116,8	6,2	1,3	24,2	0	0	0
MAIUKU UTARA	5,6	204	0	0,4	22,3	0	0	0
PAPUA BARAT	73,3	22,9	0	0,3	11,2	0	0	0
PAPUA BARAT DAYA	0	0	0	0	0	0	0	0
PAPUA	143,6	25,7	8,7	14,7	32,9	0	0	0
PAPUA SELATAN	0	0	0	0	0	0	0	0
PAPUA TENGAH	0	0	0	0	0	0	0	0
PAPUA PEGUNUNGAN	0	0	0	0	0	0	0	0
INDONESIA	15.435,7	3.331,6	3.546,2	1.268,9	1.410,9	504,8	99,8	191,8

Sumber: (Statistik, 2023)

Molase merupakan satu-satunya bahan baku bioetanol G1 yang digunakan untuk komersialisasi di Indonesia sampai saat ini. Potensinya sekitar 1,3 hingga 1,6 juta ton per tahun dan hanya sekitar 40 persen yang digunakan untuk produksi bioetanol. Saat ini, kondisi eksisting produksi bioetanol G1 adalah sekitar 63 ribu kL/tahun. Jumlah ini masih jauh dari kebutuhan apabila blending 5% (E5) diterapkan. Kebutuhan bensin sendiri sekitar 36 juta kilo liter per tahun. Oleh karena itu, untuk mencukupi kebutuhan tersebut, bioetanol G1 dan G2 dapat menjadi alternatif yang potensial.

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), pada akhir tahun 2022, luas perkebunan kelapa sawit mencapai 16,8 juta hektar. Areal perkebunan kelapa sawit tersebar di 26 provinsi, yaitu seluruh provinsi di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Selain itu, Provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Gorontalo, Maluku, Maluku Utara, Papua, Papua Barat, Jawa Barat, dan Banten. Provinsi dengan luas area terbanyak adalah Riau dengan luas 2,87 juta hektar atau 18,70% dari total luas perkebunan kelapa sawit dan menghasilkan 8,74 juta ton *crude palm oil* (CPO) (Statistik, 2023). BPS menyebutkan produksi CPO Indonesia adalah 46,8 juta ton, sedangkan jumlah potensi tandan kosong kelapa sawit adalah 1,1 kali dari CPO atau sekitar 50,6 juta ton pada tahun 2022.

Pada Tabel 2.2 menunjukkan jumlah potensi selulosa dan bioetanol yang dapat dihasilkan dari TKKS. Secara kimia, selulosa merupakan polisakarida yang terdiri dari rantai panjang molekul glukosa, yang merupakan senyawa kimia antara utama untuk menghasilkan bioetanol. Molekul selulosa dan komponen penyusun biomassa ditampilkan pada Gambar 2.1.

Apabila diasumsikan TKKS yang dihasilkan per tahun adalah 50 juta ton dengan kadar air 70%, maka potensi selulosa adalah 5,25 juta ton dan potensi etanol adalah 1,66 juta ton per tahun.

Tabel 2.2 Jumlah Potensi Selulosa dan Etanol Per Tahun Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*

	Jumlah (juta ton)	Keterangan
Tandan kosong kelapa sawit	50,00	kadar air 70%
Selulosa	5,25	kandungan selulosa 35%
Glukosa	4,33	efisiensi proses 75%; faktor konversi 1.1
Etanol	1,66	efisiensi proses 75%; faktor konversi 0.51

Ket.: *Hasil perhitungan

Setiap 20–25 tahun tanaman sawit perlu diperbaharui dengan cara *re-planting*. Apabila diasumsikan luas area *re-planting* 0,5% dari total luas tanam, per tahun, potensi tambahan selulosa adalah 720 ribu ton dan etanol 227,205 ribu ton seperti disampaikan pada Tabel 2.3. Menariknya, selain biomassa, batang sawit menghasilkan sap (nira) batang kelapa sawit. Sap memiliki potensi besar sebagai bahan baku bioetanol karena kandungan gula yang cukup tinggi, terutama sukrosa, glukosa, dan fruktosa. Selama proses *re-planting*, batang sawit yang biasanya dianggap limbah dapat diekstraksi dengan perpaduan metode *grinding dan pressing* untuk memperoleh sap yang kaya akan gula *fermentable*. Potensi bioetanol dari sap dapat disimulasikan sebagai berikut: Dari satu pokok (pohon) berat 1.000 kg, mengandung 700 liter sap (kadar air 70%) dan apabila dapat diekstrak 50% nya atau 350 liter maka dengan asumsi kandungan gula pereduksi 8% atau 28 liter, potensi bioetanol adalah 14 liter per pokok.

Tabel 2.3 Jumlah Potensi Etanol Per Tahun Dari Batang Kelapa Sawit*

	Jumlah	Keterangan
Luas area re-planting (ha)	80,000	0,5% dari luas area tanam 16 juta ha
Berat biomassa batang sawit (ton)	1	ton/pohon; diasumsikan 1 ha terdiri dari 100 pokok
Total biomassa (ton)	8,000,000	
Selulosa batang sawit (ton)	720,000	kadar air 70%; kadar selulosa 30%
Glukosa batang sawit (ton)	594,000	efisiensi proses 75%; faktor konversi 1,1
Etanol batang sawit (ton)	227,205	efisiensi proses 75%; faktor konversi 0,5

*Hasil perhitungan

Keuntungan utama dari bioetanol G2 meliputi (Sudiyani et al., 2024):

- 1) Sumber bahan baku tidak bersaing dengan pangan.
- 2) Keberlanjutan lingkungan, yaitu pengurangan emisi gas rumah kaca.
- 3) Diversifikasi energi.
- 4) Pengembangan teknologi, yang meliputi inovasi proses perkembangan teknologi baru untuk pemrosesan biomassa, termasuk teknik pretreatment, enzimatik, dan fermentasi yang lebih efisien.
- 5) Manfaat sosial dan ekonomi seperti penciptaan lapangan kerja.

Selain dari industri perkebunan kelapa sawit, potensi selulosa dan berbagai senyawa turunannya, dapat berasal dari jerami padi, tebu, teh, dan kayu putih (Maryana, Muryanto, et al., 2022).

III. TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA: PERLAKUAN AWAL DAN REAKTOR

Teknologi konversi biomassa bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan seluruh komponen biomassa lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) sehingga lebih efisien dan berkelanjutan. Delignifikasi adalah proses pemisahan lignin dari biomassa lignoselulosa untuk meningkatkan aksesibilitas terhadap selulosa dan hemiselulosa dalam proses produksi bioetanol, *dissolving pulp*, atau bahan kimia berbasis biomassa. Sementara itu, lignin merupakan polimer hidrofobik dan resisten terhadap degradasi sehingga memerlukan perlakuan khusus untuk memisahkannya dari struktur biomassa. Metode delignifikasi yang efektif tidak hanya memisahkan lignin, tetapi juga menjaga kualitas selulosa dan hemiselulosa. Dengan demikian, memungkinkan produksi biofuel dan bahan kimia yang lebih efisien dan berkelanjutan. Pemilihan metode delignifikasi yang tepat bergantung pada berbagai faktor termasuk jenis biomassa, skala operasi, biaya, dan dampak lingkungan. Inovasi dan penelitian terus berkembang dalam bidang ini untuk menemukan metode yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis untuk penghilangan lignin dari biomassa.

A. Perlakuan Awal Adalah Kunci

Perlakuan awal atau *pretreatment* merupakan tahap kunci dalam pengolahan biomassa. Proses *pretreatment* bertujuan untuk memecah struktur kompleks biomassa lignoselulosa menjadi komponen utamanya (selulosa, hemiselulosa, dan lignin). Tujuan proses ini supaya komponen kimia biomassa lebih mudah

diakses dan diubah menjadi produk yang diinginkan, seperti selulosa, gula sederhana, bioetanol dan lignin. Pada umumnya, *pretreatment* ini bertujuan untuk memisahkan lignin, proses ini dikenal pula sebagai delignifikasi.

Biomassa lignoselulosa memiliki struktur yang sangat kompleks dan tahan terhadap degradasi. Lignin bertindak sebagai penghalang fisik dan kimia yang melindungi selulosa dan hemiselulosa dari degradasi enzimatik. *Pretreatment* memecah ikatan lignin dan hemiselulosa, membuka struktur, dan meningkatkan kemampuan enzim untuk mengakses, serta menghidrolisis selulosa.

Beberapa metode *pretreatment* memerlukan biaya operasional yang tinggi. Selain itu, *pretreatment* kimia dapat menghasilkan limbah yang perlu dikelola dengan benar untuk mencegah dampak terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengembangkan metode *pretreatment* yang lebih efisien dan ekonomis.

Proses *pretreatment* terus dikembangkan dengan mempertimbangkan konsumsi energi, efektivitas biaya, persentase penghilangan lignin, pemanfaatan lebih lanjut selulosa, hemiselulosa, lignin, serta proses ramah lingkungan yang diterapkan.

Proses *pretreatment* menggunakan basa seperti yang sudah diterapkan pada skala industri, saat ini terus dioptimalkan. Pengembangan lainnya mencakup teknologi *pretreatment* terkini yang menerapkan *pretreatment* dengan berbagai bahan kimia; pendekatan fisikokimia; perlakuan awal biologis; dan energi radiasi tinggi. Studi yang telah dilakukan oleh tim kami bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai teknologi *pretreatment* untuk mengembangkan konsep *biorefinery* yang mendukung pembangunan berkelanjutan

pemanfaatan biomassa lignoselulosa (Maryana, Triwahyuni, et al., 2024).

Pretreatment kimia umumnya dibagi menjadi *pretreatment* basa dan asam. *Pretreatment* basa menggunakan NaOH, Ca(OH)_2 , KOH, atau alkali peroksida, dan kombinasi NaOH dan H_2O_2 . Mekanisme *pretreatment* basa adalah saponifikasi ikatan ester antarmolekul yang menghubungkan xilan dan komponen lainnya (Sun & Cheng, 2002). Namun, *pretreatment* dengan basa memiliki beberapa kelemahan, seperti waktu *pretreatment* yang lama, lebih banyak air dibutuhkan untuk pencucian biomassa, dan biaya *treatment* limbah yang mahal. Sementara itu, *pretreatment* asam menggunakan asam mineral konsentrasi rendah, seperti asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl) dapat menghasilkan produk inhibitor, sulit dipisahkan, dan bersifat korosif yang merupakan kelemahan *pretreatment* asam. Oleh karena itu, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan menggunakan pelarut ramah lingkungan dalam proses delignifikasi ini. Cairan ionik (*ionic liquid*) adalah garam cair yang seluruhnya terdiri dari ion dan tetap berbentuk cair pada suhu rendah (sering di bawah 100°C), banyak dikembangkan karena ramah lingkungan dibandingkan pelarut konvensional (Pena-Pereira & Namieśnik, 2014) (Utami et al., 2025). Namun, cairan ionik masih mahal sebagai bahan kimia dalam *pretreatment*. Salah satu contoh cairan ionik yang dipakai dalam proses delignifikasi adalah 1-Etil-3-metilimidazolium asetat ([EMIM][OAc]).

Pelarut organik juga dikembangkan dalam proses delignifikasi. Pelarut, seperti metanol, etanol, aseton, etilen glikol, dan tetrahidrofurfuril alkohol umumnya digunakan sebagai bahan kimia *pretreatment* dalam metode *organosolv*. Selain itu, katalis seperti asam salisilat dan asam organik umumnya digunakan dalam metode ini (Cheah et al., 2020).

Deep eutectic solvent (DES) adalah jenis pelarut hijau yang banyak digunakan dalam delignifikasi biomassa sebagai alternatif lebih ramah lingkungan dibandingkan pelarut konvensional, seperti asam, basa, atau *organosolv* (Muryanto et al., 2023). DES adalah pelarut yang terdiri dari campuran garam titik leleh tinggi (yaitu akseptor ikatan hidrogen atau HBA) dengan molekul donor ikatan hidrogen (HBD) dalam perbandingan tertentu untuk membentuk cairan. DES mempunyai sifat seperti cairan ionik, meskipun kandungan ion DES lebih rendah (Halder & Purkait, 2021; Maryana, R., Triwahyuni, E., et al., 2024). Contoh dari DES yang sering digunakan untuk delignifikasi adalah Choline chloride - Urea (ChCl-Urea) (Francisco et al., 2012).

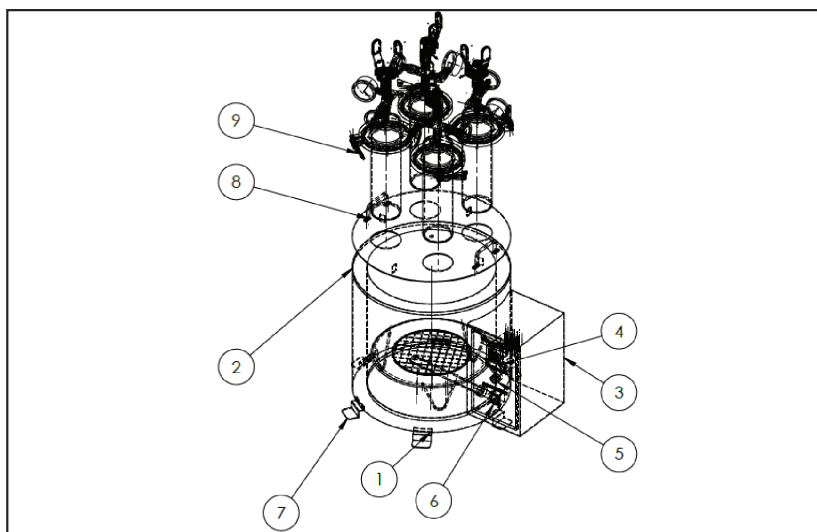
Perlakuan awal secara fisikokimia yang penggabungan *treatment* fisik dan kimia diyakini dapat menyebabkan penghilangan lignin lebih baik dan penurunan kristalinitas (Zhao et al., 2022). *Pretreatment* fisikokimia yang paling banyak digunakan melibatkan air panas (*liquid hot water*), ledakan uap (*steam explosion*), ledakan alkali (*alkali explosion*), atau pretreatment alkali-panas, dan ekspansi serat menggunakan amonia (*amonia fiber expansion*) (Elliston et al., 2015).

Dalam proses delignifikasi ini, beberapa reaktor, berdasarkan skalanya telah kami pergunakan. Reaktor skala laboratorium, dengan jumlah sampel < 100 g; reaktor *bench scale* dengan jumlah sampel < 1 kg; dan skala pilot untuk sampel lebih dari 1 kg terdapat di Pusat Riset Kimia BRIN. Reaktor ini, memungkinkan periset untuk mengeksplorasi dan mengoptimalkan berbagai parameter proses sebelum diterapkan dalam skala industri. Kemampuan untuk mengontrol kondisi eksperimen dengan akurat, menguji berbagai parameter proses, dan memvalidasi hasil, menjadikan reaktor sebagai alat yang sangat diperlukan dalam upaya mengembangkan teknologi konversi biomassa yang efektif.

B. Reaktor skala laboratorium dan reaktor *bench scale*

Pemilihan reaktor yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi, kualitas produk, dan pengendalian proses yang optimal dalam delignifikasi. Reaktor delignifikasi adalah perangkat atau sistem tempat berlangsungnya proses penghilangan lignin dari biomassa lignoselulosa.

“Reaktor Portabel Skala Laboratorium Untuk Menurunkan Kadar Lignin Dari Biomassa”, telah dipatenkan dengan No S00201911243 (Maryana et al., 2019). Reaktor ini didesain untuk jumlah sampel sekitar 25 gram. Invensi yang dipatenkan ini berhubungan dengan reaktor penurun kadar lignin. Reaktor ini terdiri dari tabung reaktor bertekanan serta sebuah bak pemanas minyak. Reaktor ini dapat menampung hingga 4 jenis biomassa berbeda secara paralel, di mana reaktor berukuran relatif kecil dan mudah dipindahkan sehingga dapat diaplikasikan untuk jumlah sampel yang sedikit dan mudah dipindahkan. Reaktor ini mempunyai panel pengontrol yang dilengkapi dengan penunjuk temperatur, lampu indikator panel, tombol *on-off*, dan penutup yang berlubang. Tutup tabung reaktor bertekanan dilengkapi dengan termometer, pembaca tekanan, dan katup pengaman. Reaktor ini telah diuji dan efektif untuk mengurangi lignin dari biomassa seperti ditampilkan pada Gambar 3.1.



Keterangan gambar: Reaktor portabel skala laboratorium untuk menurunkan kadar lignin dari biomassa yang terdiri dari: selubung reaktor (1) yang mengitari di bagian luar bak pemanas minyak (2); yang berfungsi untuk menampung tabung reaktor bertekanan (9), yang terhubung dengan panel pengontrol (3) yang dilengkapi dengan penunjuk temperatur (4), lampu indikator panel (5), dan tombol on-off (6); penutup (8) memiliki 4 buah lubang, untuk meletakkan 4 buah tabung reaktor bertekanan (9).

Sumber: Maryana et al., (2019)

Gambar 3.1 Reaktor Portabel untuk Delignifikasi

Penutup ini berfungsi untuk mencegah percikan minyak pemanas keluar pada saat dipanaskan. Hasil percobaan dengan menggunakan reaktor ini ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penurunan Kadar Lignin Dengan Menggunakan Reaktor Portabel

Jenis biomassa		Selulosa	Hemiselulosa	Lignin
		(%)		
Jerami padi	bahan mentah	29,55	25,35	9,99
	setelah proses	75,68	8,52	4,64
Tandan kosong sawit	bahan mentah	42,56	20,27	15,36
	setelah proses	68,20	11,91	10,09
Bagas tebu	bahan mentah	42,31	20,74	18,61
	setelah proses	82,71	4,87	2,24
Ranting kayu putih	bahan mentah	31,94	17,99	27,51
	setelah proses	63,93	10,71	9,78

Sumber: Maryana et al., (2019)

Reaktor *bench scale*

Reaktor *bench scale* (skala bangku) merupakan peningkatan dari skala laboratorium untuk proses delignifikasi. Reaktor ini memiliki kapasitas 5 L bertekanan sekitar 4 bar terdapat di PR Kimia BRIN. Riset dengan menggunakan bagas sorgum 250 g dan pelarut NaOH 10% (kg/L) dengan variasi suhu 110, 130, dan 150°C selama 10, 20, dan 30 menit telah dilakukan. Rasio padatan terhadap cairan adalah 1:5. Hasil menunjukkan penurunan kadar lignin dari 24.8 ke 3.5% pada kondisi optimal. Sedangkan, kadar selulosa naik dari 39,5 ke 86,4 % (Sudiyani et al., 2017).

Hasil riset tim kami lainnya dengan menggunakan reaktor ini, yaitu *pretreatment* TKKS dengan 500 g TKKS menggunakan 2500 mL NaOH 10% pada suhu 150°C, tekanan 4 bar dengan

waktu reaksi 30 menit. Fraksi padatan (*pulp*) diperoleh setelah dicuci 5 kali menggunakan air kemudian dicuci sampai netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam (Maryana, Bardant, Santi, et al., 2022).

Dalam percobaan lainnya dengan metoda impregnasi katalis CO₂. Pada riset ini, TKKS dimasukkan ke dalam kantong plastik, dan CO₂ disuplai dari tabung gas pada tekanan atmosfer. Gas CO₂ ditambahkan sebanyak 3% b/b berdasarkan kadar air TKKS, kadar air TKKS yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10% b/b. (Triwahyuni et al., 2023).

C. *Scale up* proses delignifikasi skala pilot

Pilot plant biorefinery adalah fasilitas skala menengah yang dirancang untuk menguji dan mengoptimalkan proses produksi pengolahan biomassa sebelum diimplementasikan dalam skala industri. Fasilitas ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara penelitian laboratorium, *bench scale*, dan produksi komersial. Reaktor skala ini memungkinkan para periset untuk menguji efisiensi, mengidentifikasi masalah, dan mengoptimalkan proses pada skala yang lebih besar daripada laboratorium tetapi lebih kecil dari skala pabrik.

Pilot plant sistem *batch* digunakan untuk pengolahan biomassa menjadi bioetanol G2 pertama di Indonesia berada di Pusat Riset Kimia dengan kapasitas 10 liter bioetanol *fuel grade* per hari (Sudiyani et al., 2013).

Selain *pretreatment* sistem *batch*, tim Bioetanol PR Kimia BRIN telah mengembangkan pula reaktor *pretreatment* kontinu. Reaktor kontinu ini bertujuan untuk meningkatkan proses efisiensi dan input bahan baku berkelanjutan (Maryana, Bardant, Ihsan, et al., 2022). Proses *pretreatment* kontinu telah

menghasilkan dua buah paten, yaitu P00202107075 dengan judul “Reaktor Kontinu Tipe Ulir Dengan Pemanas Jaket Ganda Untuk Delignifikasi” (Irawan et al., 2021) dan paten no. S00202308267 dengan judul “Proses Delignifikasi Tandan Kosong Sawit Secara Kontinu Menggunakan Reaktor Ulir Sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol” (Maryana, Muryanto, et al., 2023).

Pretreatment kontinu ini menggunakan sistem *screw* ekstruksi seperti ditampilkan pada Gambar 3.2. Ekstruksi dapat dianggap sebagai *pretreatment* jenis baru dan cukup menjanjikan karena menggabungkan metode fisika dan kimia. Pada proses ini, biomassa diproses dengan menggabungkan panas, gesekan, dan tekanan (Jeon et al., 2014). Ekstruksi adalah metode *pretreatment* yang memperlihatkan banyak keuntungan, antara lain destrukturisasi biomassa karena gaya gesekan melalui kontak dengan sekrup putar. Beberapa metode ekstruksi telah digunakan untuk mengkaji produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa dengan menggunakan biomassa bonggol jagung pada kecepatan dan suhu yang berbeda (Karunanithy & Muthukumarappan, 2011). Dalam penelitian lain, ekstruder sekrup ganda telah digunakan untuk *pretreatment* jerami secara kontinu dengan menggunakan Natrium hidroksida (Han et al., 2013).

Reaktor *pretreatment* kontinu skala pilot atau *screw continuous reactor* (SCR) telah dirancang oleh tim riset bioetanol Pusat Riset Kimia BRIN. Dengan spesifikasi yaitu panjang dan diameter reaktor masing-masing 2.000 mm dan 89,6 mm, dan diameter *screw* adalah 30 mm. Kapasitas reaktor adalah 12,5 kg biomassa per jam dan suhu maksimum 200°C. Suhu ini dikendalikan oleh *heating oil*. Alat ini berupa reaktor kontinu tipe ulir dengan pemanas jaket ganda yang dapat beroperasi secara kontinu. Unit reaktor ini terdiri dari dua silinder, silender

pertama yang pada bagian luarnya dilapisi oleh silinder yang berisi oli pemanas. Didalam silender pertama terdapat pipa berulir yang berputar dengan kecepatan tertentu yang dapat diubah dengan menggunakan motor listrik. Reaktor kontinu ditampilkan pada Gambar 3.2.

Pengujian efektivitas reaktor kontinu telah dilakukan menggunakan bahan baku TKKS dengan katalis natrium hidroksida pada suhu rendah, yaitu 100°C. Pada saat proses, TKKS dan larutan NaOH dimasukan secara bersamaan dan searah. Kecepatan sekrup yang digunakan, konsentrasi NaOH, rasio padatan terhadap cairan dan waktu tinggal berturut-turut adalah 5 rpm, 2,5 M, 1:6, 45 menit dengan penurunan kadar lignin maksimal 46,8% (Maryana, Bardant, Ihsan, et al., 2022). Diagram alir proses delignifikasi biomassa secara kontinu ditampilkan dalam Gambar 3.3.



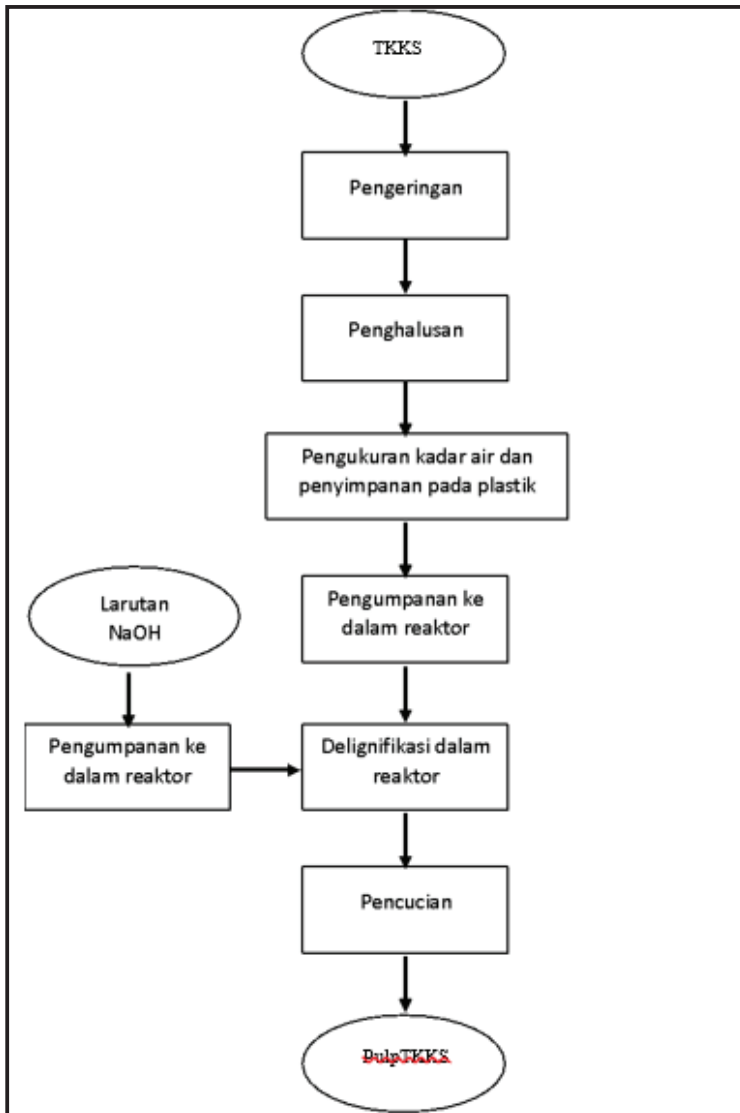
(a) *Screw continuous reactor* untuk *pretreatment* biomassa lignoselulosa secara kontinu



(b) Reaktor tempat terjadinya proses delignifikasi

Sumber: Maryana, Bardant, Ihsan, et al., (2022)

Gambar 3.2 Unit *screw continuous reactor* untuk delignifikasi biomassa (a); Reaktor tempat terjadinya kontak biomassa dan bahan kimia (NaOH) (b).



Sumber: Maryana, Muryanto, et al., (2023)

Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Delignifikasi Biomassa Secara Kontinu

IV. BIOMASSA LIGNOSELULOSA SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN

Pemanfaatan biomassa lignoselulosa untuk energi terbarukan dan bahan kimia memiliki potensi besar untuk dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan bahan kimia impor. Selulosa, sebagai polimer alami paling melimpah di bumi, dapat dikonversi menjadi berbagai bahan kimia dan produk bernilai tinggi yang digunakan dalam industri farmasi, tekstil, makanan, energi, dan material. Bahan-bahan kimia berbasis selulosa di antaranya bioetanol, *dissolving pulp*, turunan selulosa, seperti selulosa asetat dan karboksimetil selulosa. Dengan memahami karakteristik dan manfaat dari bahan-bahan kimia tersebut, kita dapat mendukung transisi menuju ekonomi berbasis bio yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan melalui produksi bahan kimia berkelanjutan.

A. Bioetanol dan *dissolving pulp*

Selulosa adalah komponen terbesar pada biomassa. Hasil proses *pretreatment* biomassa dapat menghasilkan selulosa yang dapat digunakan sebagai bahan baku bioetanol dan *dissolving pulp*.

1. Bioetanol

Indonesia, sebagai negara dengan potensi besar dalam sumber daya alam biomassa, memiliki peluang yang signifikan untuk pengembangan bioetanol, khususnya bioetanol G2 sebagai sumber energi alternatif.

Riset bioetanol G1 yang berbasis molasis dan amilosa telah dilakukan (Maryana & Wahono, 2009, 2012). Sementara itu, riset bioetanol G2, untuk mengevaluasi *pretreatment* alkali terhadap komposisi kimia dan struktur kimia bagas tebu dilakukan pada reaktor 12 L telah menggunakan variasi konsentrasi Natrium hidroksida dan variasi waktu. Karakteristik bagas tebu sebelum dan sesudah *pretreatment*, dianalisis dengan Difraksi Sinar-X dan Spektrometer Infra Merah Transformasi Fourier. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar lignin terendah (7,16%) adalah pada *pretreatment* menggunakan NaOH 1N selama 30 menit (Maryana, Ma'rifatun, et al., 2014).

Selain itu, tiga jenis metode *pretreatment* untuk produksi bioetanol telah dibandingkan, yaitu metode asam sulfit, metode soda-antrakuinon (soda-AQ), dan metode alkali sulfit-antrakuinon (AS-AQ) untuk delignifikasi bagas tebu dan TKKS. Kandungan lignin dari pulp bagas tebu AS-AQ adalah 0,2%, yang terendah di antara ketiga metode *pretreatment*. Kandungan lignin terendah pada pulp TKKS adalah 2,6% yang diperoleh dengan metode *pretreatment* soda-AQ (Maryana, Oktaviani, et al., 2014). Produksi bioetanol juga telah dilakukan dengan memanfaatkan karbon dioksida pada proses *pretreatment*. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dampak penambahan CO₂ sebagai agen impregnasi dalam metode *steam explosion* pada TKKS. Percobaan ini mengkaji dampak dari perlakuan terhadap sifat-sifat EFB, hidrolisis enzimatis, dan fermentasi EFB. Percobaan *steam explosion* dilakukan dengan memasukkan CO₂, dan waktu impregnasi CO₂ dan divariasikan 0, 30, 60 menit. Hasil yang didapatkan bahwa penambahan CO₂ selama *steam explosion* menyebabkan peningkatan luas permukaan, luas pori, dan volume pori TKKS. Selain itu, perlakuan ini memungkinkan produksi glukosa dan etanol dengan hasil masing-masing 84,14% dan 56,01%, setelah 60 menit waktu impregnasi CO₂.

Temuan yang diperoleh ini lebih unggul daripada hasil glukosa dan etanol dari sampel yang mengalami steam explosion tanpa CO₂ (Triwahyuni et al., 2021).

Dalam tahap *pretreatment*, jumlah lignin telah diketahui akan memengaruhi efektivitas delignifikasi. Namun, struktur monomer lignin juga memberikan pengaruh pada proses *pretreatment* (Maryana, Nakagawa-izumi, Ohi, et al., 2017). Pengaruh struktur lignin yang dinyatakan sebagai rasio *syringaldehyde* terhadap *vanillin* (S/V) akan berdampak pada laju sakarifikasi enzimatik sebagai langkah kunci dalam produksi bioetanol. Metode *pretreatment* alkali sulfit-antrakuinon (AS-AQ) dan soda-AQ telah digunakan pada delignifikasi bagas tebu dan batang kelapa sawit (*oil palm trunk*/OPT), kemudian sampel pulp yang dihasilkan dilakukan sakarifikasi enzimatik. Rasio S/V sisa lignin dalam pulp ditentukan dengan metode oksidasi nitrobenzena. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode AS-AQ lebih cocok untuk delignifikasi SB dibandingkan metode soda-AQ. Pulp SB menghasilkan lebih banyak glukosa dibandingkan pulp OPT pada kondisi *pretreatment* dan sakarifikasi yang sama. Penurunan bilangan kappa (sisa kandungan lignin) secara signifikan dapat meningkatkan laju sakarifikasi. Dalam perbandingan sampel pulp AS-AQ pada nomor kappa yang sama (20), pulp SB dengan rasio S/V yang lebih rendah, menghasilkan laju sakarifikasi yang lebih tinggi. Sementara itu, pulp OPT (rasio S/V: 2,56) menghasilkan tingkat sakarifikasi yang lebih rendah. Dalam perbandingan SB dan OPT, kami menemukan bahwa lignin kaya *syringyl* yang terdapat dalam pulp menghasilkan laju sakarifikasi yang lebih rendah pada sampel pulp dengan metode *pretreatment* AS-AQ. Komposisi kimia bagas tebu dan batang sawit ditampilkan pada Tabel 4.1.

Delignifikasi dengan larutan NaOH dan ozonisasi telah dilakukan pada suhu kamar untuk menghemat energi dan dengan konsentrasi NaOH rendah, 3,2%. Larutan ozonisasi yaitu NaOH dengan 500 ppm H₂O₂ menghasilkan radikal hidroksil (OH[•]), yang merupakan suatu oksidator. Hasil yang didapatkan bahwa delignifikasi optimal terjadi pada NaOH 0,4 M atau 1,6%, sedangkan lignin menurun dan holoselulosa meningkat masing-masing sebesar 30,8% dan 27,17% (Prasetyo et al., 2023).

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Bagas Tebu dan Batang Sawit

	Material		Prehydrolysate ^a	
	Bagas tebu	Batang sawit	Bagas tebu	Batang sawit
Komposisi kimia (%)				
Lignin tak larut asam	22,3	20,9	0,2	1,1
Lignin larut asam	1,8	2,3	0,1	0,5
Glukan	42,5	37,7	0,4	1,3
Xylan	19,5	18,5	5,3	2,5
Gula lainnya	3,1	6,1	0,8	1,2
Extractives	1,6	3,1	-	-
Abu	4,9	1,3	0,5	0,5
Senyawa organik lainnya	4,4	10,1	3,7	6,6
Yield (%) ^b	100	100	11	13,7
Hasil oksidasi Nitrobenzene (%)				
Vanillin	10,8	10,2	-	-
Syringaldehyde	10,8	23,6	-	-
Total ^c	21,6	33,8	-	-
S/V molar ratio	0,83	1,93	-	-

a. Kondisi Prehydrolysis 150°C ± 2 C, 90 min.

b. Berbasis berat bahan baku

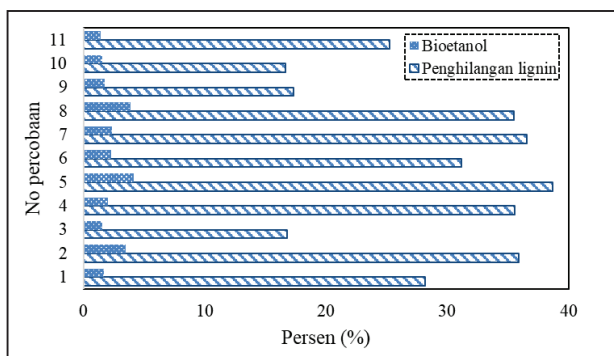
c. Berbasis lignin tak larut asam

Sumber: Maryana, Nakagawa-izumi, Ohi, et al., (2017)

Efektivitas produksi bioetanol dari TKKS dalam bentuk pulp telah dibandingkan dengan TKKS dalam bentuk mikrokristalinnya dengan menerapkan metode hidrolisis dan fermentasi terpisah (*separate hydrolysis and fermentation*/SHF). Proses tersebut dilakukan dengan pretreatment menggunakan alkali untuk kedua bahan dan kemudian dilakukan proses pemutihan dengan menggunakan H_2O_2 10% untuk TKKS mikrokristalin. Selanjutnya, baik pulp maupun mikrokristalinnya dihidrolisis secara enzimatik dengan selulase 30 FPU/g untuk memutus rantai lignoselulosa menjadi gula sederhana. Tahap terakhir adalah proses fermentasi untuk mengubah glukosa menjadi etanol dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Hasil konversi gula setelah hidrolisis oleh enzim adalah 79,77% untuk mikrokristalin dan 66,76% untuk pulp. Sementara itu, kadar etanol pada mikrokristalin lebih tinggi dibandingkan kadar etanol pada pulp (Ariyanti et al., 2024; Maryana, Bardant, Santi, et al., 2022).

Optimalisasi pretreatment untuk produksi bioetanol G2 dengan bahan baku TKKS telah dilakukan dengan metoda permukaan respons (*response surface methodology*/RSM). Rasio padatan terhadap NaOH 1:5, suhu maksimum 100 °C pada tekanan atmosfer. Hasil delignifikasi menunjukkan bahwa lignin removal sebesar 38,7–46,8 %, gula pereduksi 8,3%, dan konsentrasi bioetanol sebesar 4,1% (Maryana, Bardant, Ihsan, et al., 2022).

Persentase bioetanol yang dihasilkan dan pengurangan jumlah lignin ditampilkan pada Gambar 4.1 dan perbandingan hasil produksi bioetanol menggunakan pretreatment secara kontinu ditampilkan pada Tabel 4.2.



Sumber: Maryana, Bardant, Ihsan, et al., (2022)

Gambar 4.1 Perolehan Bioetanol dan Pengurangan Lignin

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Produksi Bioetanol Menggunakan Pretreatment Secara Kontinu

Material	Perlakuan awal	Kondisi	Penghilangan lignin (%)	Dosis hidrolisis enzimatik	Gula pereduksi (%)	Bioetanol	Referensi
TKKS	Reaktor batch	NaOH 2,5M, 100°C	25,3	20 FPU/g substrat	6,7	3,1	Studi ini
	Reaktor kontinu-single extruder	NaOH 2.5 M, 100°C, SL rasio 6, 5 rpm	24		5,9	2,5	
<i>Mischantus</i> atau <i>silver grass</i>	Twin-screw extruder	NaOH 2,5 M, 140°C, SL ratio 6, 5 rpm	46,8		n.a.	n.a.	[36]
		NaOH 0.72 M, 95°C, SL rasio 5, waktu 70 menit	43,5	30 FPU/g selulosa	-	2,4	
TKKS	Twin-screw extruder	NaOH 1.6% (w/v), 170°C, SL ratio 8, 5 rpm	56,55	30 FPU/g substrat	Digestibilitas: 92,4		[37]
<i>Eucalyptus grandis</i>	Twin-screw extruder	NaOH 20% (g NaOH/g biomass), 100°C, SL ratio 1,2 dan 250 rpm	31,15 sampai 30,32 %	15 FPU/g berat kering material	12 g/100 g extrudate		[38]

Sumber: Maryana et al., (2022)

2. *Dissolving pulp*

Dissolving pulp adalah selulosa kemurnian tinggi dengan kandungan selulosa diatas 90%, banyak digunakan untuk produksi rayon (Harsono et al., 2016). Bahan kimia turunan dari selulosa, antara lain ester selulosa (asetat, nitrat), eter selulosa (karboksimetil selulosa), dan kopolimer selulosa yang digunakan dalam bidang farmasi, makanan, dan industri lainnya.

Impor *dissolving pulp* di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Tahun 2016, impor *dissolving pulp* mencapai 488.625 ton dengan nilai US\$ 422,69 juta, yang naik dari tahun 2009, yaitu 204.197 ton dengan nilai US\$ 160,5 juta. Saat ini kapasitas terpasang industri pulp nasional 12,13 juta ton per tahun dan menempatkan Indonesia pada peringkat kedelapan dunia (Perindustrian, 2018). Akan tetapi, untuk menjadi *dissolving pulp*, pulp ini perlu proses lebih lanjut dan masih diperlukan pengembangan lanjut.

Riset tentang produksi *dissolving pulp* dengan bahan baku *non-wood*, yaitu dari limbah pertanian telah dilakukan (Maryana, Nakagawa-izumi, Kajiyama, et al., 2017) dan (Salaghi et al., 2018). Penelitian ini berfokus pada peningkatan kualitas *dissolving pulp* dari bagas tebu (*sugarcane bagasse*/SB) dan tandan kosong kelapa sawit (*empty fruit bunch*/EFB). Bahan *non-wood* yang diolah dengan metode *pretreatment* dan rangkaian *bleaching* bebas klorin dengan metode *totally chlorine free*/TCF. Pengaruh kondisi prahidrolisis dan soda-antrakuinon (AQ) terhadap tingkat kecerahan dan viskositas pulp telah dipelajari terlebih. Kemudian, rangkaian proses pemutihan atau *bleaching* TCF lima tahap, yang menggunakan pemutihan oksigen (O), perlakuan asam peroksimonosulfat (Psa), dan ekstraksi alkali dengan hidrogen peroksida (Ep) dalam rangkaian O-Psa-Ep-Psa-Ep diterapkan pada SB pulp.

Kualitas maksimum kecerahan: 89,1% ISO, viskositas: 6,4 cP, kandungan glukran: 95,7%, dan kadar abu: 0,12% telah memenuhi persyaratan standar SNI. Pemutihan TCF yang dipelajari ini menunjukkan potensi sebagai metode pemutihan untuk menghasilkan dissolving pulp berkualitas tinggi. Kondisi dan hasil proses bleaching disampaikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter Pulp yang Telah di Bleaching Dengan Metode TCF

	Urutan bleaching	Brightness (% ISO)	Viskositas (cP)	Glucran (%)	Xilan (%)	Abu (%)
SB 1	O-Psa-Ep-Psa-Ep	88,9 ±0,7	6,9 ±0,1	95,4 ±0,6	4,1 ±0,1	0,26 ±0,05
SB 3	O-Psa-Ep-Psa-Ep	89,1 ±1,3	6,4 ±0,1	95,7 ±0,5	4,0 ±0,1	0,12 ±0,02
SB 4	O-Psa-Ep-Psa-Ep	88,3 ±0,2	6,3 ±0,1	96,4 ±0,8	3,5 ±0,1	0,13 ±0,02
SB 5	O-Psa-Ep-Psa-Ep	89,6 ±0,4	5,6 ±0,1	96,2 ±0,6	3,6 ±0,1	0,17 ±0,05
SB 2	O-Psa-Ep-D	88,8 ±0,3	8,9 ±0,1	94,7 ±0,7	4,4 ±0,1	0,11 ±0,02
EFB 1	O-Psa-Ep-Psa-Ep	79,1 ±0,3	8,9 ±0,1	80,4 ±1,6	18,5 ±0,1	0,83 ±0,06
EFB 2	O-Psa-Ep-Psa-Ep	81,6 ±0,2	7,0 ±0,1	82,4 ±1,5	16,8 ±0,1	0,52 ±0,04

Ket.:*SB: *Sugarcane bagas*/bagas tebu (1-5 menunjukan perbedaan dosis pada tahap oksigen bleaching)

EFB: *Empty fruit bunch*/TKKS

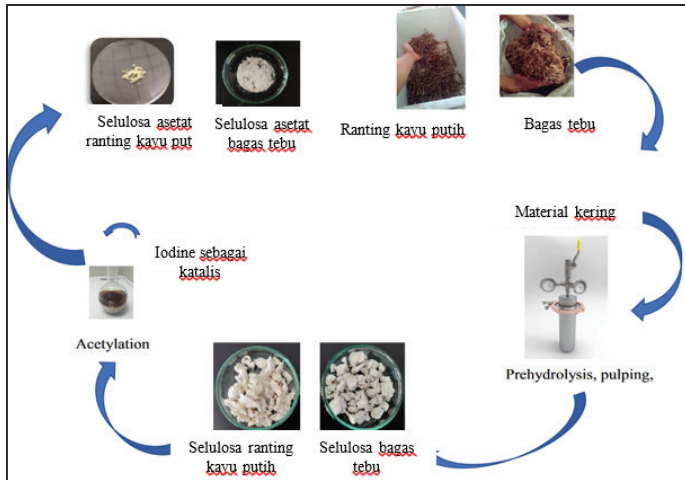
Sumber: Maryana et al., 2017

B. Selulosa asetat

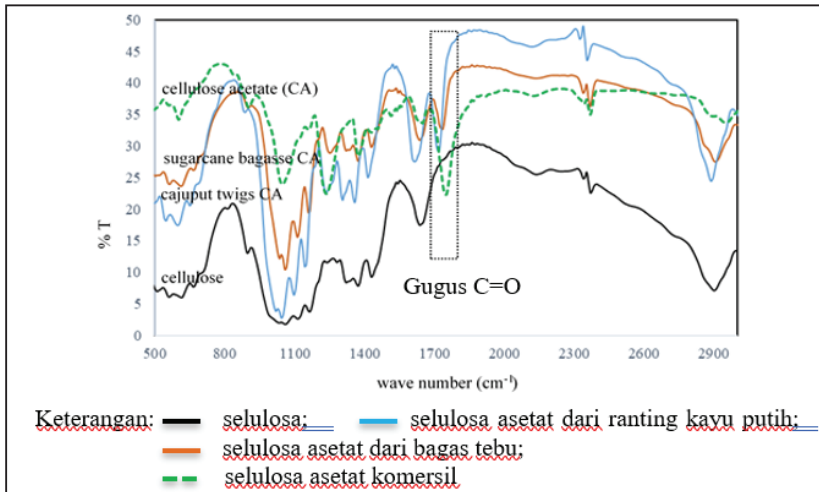
Senyawa turunan lanjut dari *dissolving pulp* adalah selulosa asetat. Selulosa asetat adalah senyawa kimia turunan selulosa yang diperoleh melalui proses asetilasi, di mana gugus hidroksil (-OH) pada molekul selulosa digantikan oleh gugus asetat (-OCOCH₃) (Maryana, Anwar, Suwanto, et al., 2020). Proses

ini melibatkan reaksi selulosa dengan anhidrida asetat dan asam asetat dalam kehadiran katalis asam. Selulosa asetat digunakan secara luas dalam industri, terutama untuk produksi serat tekstil, film fotografi, dan bahan plastik.

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui potensi selulosa asetat dari ranting kayu putih (*Melaleuca leucadendron*) dan bagas tebu (*Saccharum officinarum*) dengan menggunakan katalis *Iodine* yang ramah lingkungan (Maryana, Anwar, Hasanah, et al., 2020; Maryana, Anwar, Suwanto, et al., 2020; Maryana, Bardant, & Muryanto, 2023; Maryana, Muryanto, et al., 2022). Pada awalnya, selulosa diekstraksi dari ranting kayu putih dan bagas tebu melalui prahidrolisis diikuti dengan pembuatan pulp (NaOH) dan *bleaching* dengan metode *elementary chlorine free* (ECF). Selulosa yang diekstraksi kemudian diasetilasi menggunakan Iodium (I) sebagai katalis yang ramah lingkungan dibandingkan katalis asam. Selulosa asetat yang diperoleh dikarakterisasi dengan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR), resonansi magnetik nuklir (NMR), analisis gravimetri termal (TGA), pemindaian dengan mikroskop elektron (SEM), dan difraksi sinar-X. Analisis FTIR dan NMR membuktikan adanya penggantian gugus OH (hidroksil) bebas oleh gugus asetil. Derajat substitusi (*degree of substitution/DS*) menunjukkan kemampuan asetilasi selulosa yang diekstraksi dari ranting kayu putih dan bagas tebu. Proses pembuatan selulosa asetat dari ranting kayu putih dan bagas tebu ditampilkan pada Gambar 4.2. Spektra *Infra Red* dari selulosa, selulosa asetat ranting kayu putih dan bagas tebu ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Proses Pembuatan Selulosa Asetat dari Ranting Kayu Putih dan Bagas Tebu



Sumber: Maryana, Muryanto, et al., (2022)

Gambar 4.3 Spektra Infra Red dari Selulosa, Selulosa Asetat Ranting Kayu Putih (*Cajuput Twigs*), Selulosa Asetat Bagas Tebu, dan Selulosa Asetat Komersial

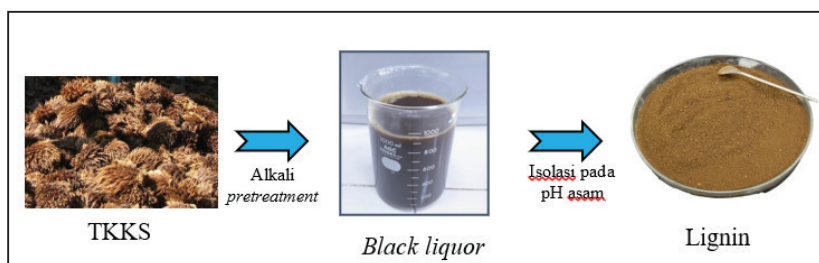
C. Lignin

Komponen utama biomassa terbesar kedua setelah selulosa adalah lignin. Lignin adalah polimer kompleks yang terdiri dari unit fenil propanoid. Bahan kimia ini berfungsi sebagai pengikat antara serat selulosa dan hemiselulosa dalam dinding sel tumbuhan serta memberikan kekuatan serta ketahanan. Lignin berperan penting dalam memberikan kekakuan dan kekuatan pada biomassa, serta melindungi selulosa dari serangan mikroba dan enzim. Lignin sering digunakan dalam industri sebagai bahan baku untuk produksi bahan kimia aromatik, bahan bakar, dan bahan aditif untuk produk komposit.

Lignin adalah polimer alam paling melimpah kedua dan dianggap sebagai sumber senyawa aromatik terbarukan. Lignin berfungsi sebagai bahan baku alternatif untuk produksi bahan kimia dan polimer. Akan tetapi, hingga saat ini, dalam skala industri, lignin baru digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler.

Lignin dapat dihasilkan dari proses *pretreatment* bioetanol G2 menggunakan metode alkali. Pretreatment dilakukan menggunakan 50 kg TKKS dengan 250 liter NaOH 10% pada suhu 150°C dan tekanan 6–8 bar. Selanjutnya, produksi bioetanol menggunakan reaktor 450 liter. Cairan hitam atau *black liquor* yang kaya lignin diisolasi dengan metode presipitasi pada pH 2 dengan menggunakan dua jenis asam yang berbeda, yaitu HCl dan CH₃COOH. Kedua lignin yang berbeda kemudian dianalisis dengan menggunakan pirolisis terintegrasi dan spektrometri massa kromatografi gas (*Py-GC MS*). Hasilnya menunjukkan bahwa lignin HCl kaya akan oksazolidin, 2,2-dietil-3-metil- dan fenol, 2,6-dimetoksi. Sementara itu, lignin CH₃COOH kaya akan 2,6-dimetoksi-fenol dan fenol. Selanjutnya, analisis gravimetri termal (TGA) dan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR) telah digunakan untuk menganalisis stabilitas sifat termal dan gugus fungsi dari kedua lignin. Lignin HCl menunjukkan

stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan lignin CH_3COOH . Namun, senyawa fenol tersedia melimpah di lignin CH_3COOH . Lignin sebagai produk samping dari bioetanol G2 merupakan biomaterial yang sangat menjanjikan. Penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi kimia dan sifat lignin bergantung pada metode isolasinya. Sifat-sifat tersebut sangat penting untuk menentukan pemanfaatan lebih lanjut. Proses isolasi lignin pada kondisi asam ditampilkan pada Gambar 4.4.



Sumber: Aji et al., (2024)

Gambar 4.4 Proses Isolasi Lignin dari TKKS dengan Metode Asam

Isolasi lignin dengan cara modifikasi proses pencucian untuk meningkatkan kemurnian lignin telah dilakukan. Keterbaruan dari penelitian ini adalah adanya kombinasi isolasi bahan yang tidak larut dan bahan yang terlarut dalam lindi hitam untuk meningkatkan efisiensi isolasi. Proses isolasi lignin dari cairan soda hitam dilakukan terlebih dahulu dengan aerasi selama 14 hari. Kemudian, bahan yang tidak larut dipisahkan dan dicuci. Selama proses pencucian, lignin terlebih dahulu dilarutkan dan diperoleh kembali dengan penambahan HCl 10%. Proses pemurnian kemudian dilakukan dengan mencuci lignin menggunakan air dengan metode filtrasi kontinu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lignin dapat diisolasi tidak

hanya dari fraksi yang larut dalam soda hitam tetapi juga dari fraksi yang tidak larut setelah proses aerasi dengan rendemen sebesar 12,18%. Proses pencucian berhasil meningkatkan kemurnian lignin yang diperoleh kembali dengan HCl dari 47,91% pada lignin yang tidak dicuci menjadi 91% pada lignin yang dimurnikan (Maryana, Bardant, Umam, et al., 2023).

1. Pemanfaatan lignin sebagai adsorben

Lignin alkali dapat dimodifikasi dan digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan timbal (Pb) dalam perairan. Lignin alkali terfungsionalisasi (*functionalized alkali lignin*/ FAL) salah satunya dapat dibuat melalui reaksi *Mannich* dengan formaldehida dan dimetilamin, kemudian di esterifikasi. Hasil pada studi ini menunjukkan bahwa lignin alkali telah berhasil dimodifikasi menggunakan amina dan karbon disulfida. Studi adsorpsi menunjukkan bahwa konsentrasi timbal berkurang hingga 93,7% setelah 2 jam kontak dengan FAL. Kapasitas adsorpsi FAL adalah 0,44 mmol/g timbal (Dahnum et al., 2022; Maryana, Dahnum, et al., 2024).

Studi potensi antioksidan dari lignin yang telah di iradiasi juga telah dipelajari. Lignin yang digunakan diisolasi dari cairan hitam atau *black liquor*. Potensi antioksidan lignin diamati setelah diradiasi dengan sumber gamma dosis 50 dan 75 kGy dan diperiksa dengan 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) dalam kondisi homogen menggunakan spektrofotometri UV-VIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan lebih tinggi untuk lignin yang diradiasi dibandingkan lignin yang tidak diradiasi. Nilai Konsentrasi Penghambatan (IC50) yang diperoleh dari 0 (tidak diiradiasi), 50 dan 75 kGy masing-masing adalah 113,03, 74,70, dan 33,33 g/mL. Keberadaan radikal fenoksi telah dikonfirmasi oleh resonansi spin elektron

(ESR). Peningkatan radikal lignin yang diiradiasi terjadi dengan peningkatan dosis iradiasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa iradiasi menghasilkan pemutusan rantai lignin. Sifat termal lignin yang tidak diiradiasi dan diiradiasi juga dievaluasi dengan menggunakan kalorimetri pemindaian diferensial. Suhu transisi kaca lignin meningkat seiring dengan peningkatan dosis radiasi (Oktaviani et al., 2024).

V. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA

Teknologi konversi biomassa dengan memanfaatkan potensi biomassa yang melimpah di Indonesia merupakan langkah strategis untuk sekaligus mengurangi ketergantungan impor dan mengurangi dampak lingkungan. Teknologi ini merupakan usaha mendukung riset dan inovasi nasional yang tercantum dalam UU Nomor 11 Tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Sisnas Iptek) ditetapkan untuk memperkuat ekosistem riset dan inovasi di Indonesia. Kontribusi inovatif pemanfaatan biomassa lignoselulosa yang telah dilakukan tim PR Kimia disajikan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kontribusi Inovatif Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa

Aspek	Deskripsi kontribusi inovatif
Teknologi Pretreatment	- Reaktor <i>batch</i> skala laboratorium untuk <i>pretreatment</i> paralel - Reaktor untuk <i>pretreatment</i> secara kontinu
Jenis Pelarut Pretreatment	- Pelarut konvensional: basa - Pelarut baru: <i>Deep Eutectic Solvent</i> (DES) dan <i>Ionic Liquid</i>
Keterbaruan data	- Pengaruh residual lignin pada proses <i>pretreatment</i> - Penggunaan katalis ramah lingkungan dan aplikasi TCF bleaching
Produk Hasil Konversi Biomassa	Bioetanol, dissolving pulp, selulosa asetat, lignin amina

Pemanfaatan teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan bioetanol G2, selulosa dan turunannya seperti

selulosa asetat, karboksimetil selulosa memiliki prospek yang sangat menjanjikan. Upaya-upaya perbaikan teknologi yang dilakukan adalah pembuatan reaktor *pretreatment* kontinu (*screw continuous reactor*) dan pembuatan reaktor *pretreatment* portable skala laboratorium yang dapat digunakan secara paralel untuk meningkatkan efisiensi proses *pretreatment*.

Salah satu pemanfaatan biomassa paling potensial adalah menggabungkan proses produksi bioetanol G1 dan G2. Sebagai contoh, penggabungan pada industri kelapa sawit, di mana bioetanol G1 dapat dihasilkan dari sap (nira) batang sawit. Sementara itu, bioetanol G2 dihasilkan dari TKKS dan biomassa batang sawit yang dihasilkan dari proses *re-planting* (usia pohon mencapai 20–25 tahun).

Perpres No. 40 tahun 2023 mengatur mengenai upaya Pemerintah untuk melakukan percepatan swasembada gula nasional dan penyediaan bioetanol sebagai bahan bakar nabati (*biofuel*) dalam rangka mewujudkan swasembada gula nasional serta meningkatkan ketahanan energi dan pelaksanaan energi bersih.

Proses integrasi bioetanol G2 dari bagas tebu dan bioetanol G1 yang dihasilkan dari molasis dan nira tebu, sangat potensial. Proses integrasi ini diharapkan menambah volume bioetanol yang dihasilkan. Bioetanol, saat ini telah mulai dimanfaatkan untuk substitusi bensin dalam campuran 5% etanol dan bioetanol G2 akan terus berkembang dimasa depan karena keterbatasan bahan baku G1. Bioetanol juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia untuk produksi etilena dan produk kimia lainnya.

Sementara itu, untuk pemanfaatan selulosa, saat ini selulosa dalam skala industri telah digunakan sebagai bahan baku kertas dan kemasan. Dengan semakin banyaknya biomassa lignoselulosa

selain dari kayu, industri kertas dapat memanfaatkan selulosa dari limbah pertanian untuk produksi kertas dan bahan kemasan yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan selulosa sebagai bahan dasar untuk kemasan *biodegradable*, seperti selulosa asetat dapat mengurangi limbah plastik dan memenuhi permintaan pasar yang semakin meningkat untuk kemasan berkelanjutan.

Sementara itu, produksi turunan selulosa seperti selulosa asetat dan karboksimetil selulosa (CMC) dapat digunakan dalam industri pertanian. CMC dapat digunakan sebagai bahan baku produksi hidrogel dan pemanfaatannya dalam sebagai bahan *slow release fertilizer*. Selain itu, CMC digunakan secara luas dalam industri makanan, farmasi, dan kosmetik sebagai pengental dan pengemulsi. Turunan selulosa lainnya, yaitu selulosa asetat digunakan dalam pembuatan serat tekstil, film fotografi, dan bahan filter telah berhasil juga disintesis dengan memanfaatkan limbah pertanian dan perkebunan.

Potensi ekonomi dan lingkungan dalam teknologi konversi biomassa juga sangat potensial. Konversi limbah pertanian menjadi produk bernilai tinggi dapat meningkatkan pendapatan petani dan komunitas pedesaan. Selain itu, akan tercipta industri baru berbasis biomassa yang dapat memberikan peluang kerja dan menggerakkan ekonomi lokal. Teknologi ini juga dapat berdampak positif terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi karbon. Menggunakan biomassa sebagai bahan baku membantu mengurangi emisi karbon dan mendukung tujuan mitigasi perubahan iklim. Pemanfaatan limbah pertanian dapat mengurangi masalah pembuangan limbah dan polusi lingkungan dari sektor ini.

Pemanfaatan teknologi konversi biomassa berbasis limbah pertanian menjadi selulosa, turunan selulosa, dan senyawa

kimia adi memiliki prospek yang sangat baik dalam skala industri. Dengan dukungan kebijakan yang tepat, investasi dalam infrastruktur dan teknologi, serta komitmen terhadap keberlanjutan, sektor ini dapat menjadi pilar penting dalam pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan di Indonesia dan global.

Dalam 10 tahun ke depan, pemanfaatan teknologi konversi biomassa seperti teknologi pretreatment menggunakan *screw continuous reactor* dan pelarut ramah lingkungan seperti *deep eutectic solvent* (DES) dan *ionic liquid* (IL) diperkirakan akan mengalami peningkatan adopsi industri karena kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi delignifikasi sekaligus menurunkan dampak lingkungan. Diharapkan proses ini tidak hanya berada di skala laboratorium, tetapi juga akan berkembang ke skala pilot dan industri, khususnya di sektor bioenergi dan bioproduk.

Di Indonesia, riset konversi biomassa dan biopolimer menunjukkan tren positif dengan dukungan dari lembaga riset, universitas, sektor swasta dan inisiatif pemerintah. Meskipun ada tantangan, seperti biaya produksi yang tinggi dan keterbatasan infrastruktur, peluang yang ada sangat besar, terutama dengan meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan dan dukungan kebijakan yang kuat.

Pemanfaatan lebih lanjut teknologi konversi biomassa saat ini membutuhkan dukungan pemerintah, seperti peraturan perundangan-undangan, subsidi dan insentif fiskal. Selain itu, penting pula pengembangan program R&D dan kolaborasi antar *stakeholder* yang mencakup pengembangan *handling* biomassa, proses konversi biomassa dan pengolahan limbah dengan dampak lingkungan yang minimal.

VI. KESIMPULAN

Pengembangan dan penerapan teknologi konversi biomassa dari limbah perkebunan dan pertanian telah menjadi bagian penting dalam upaya mewujudkan keberlanjutan energi, bahan kimia dan pengelolaan limbah yang efisien. Teori dasar di balik teknologi konversi biomassa melibatkan pemahaman tentang reaksi kimia yang dapat mengubah biomassa menjadi produk energi dan bahan kimia bernilai tinggi. Konsep ini menekankan pentingnya keberlanjutan dalam penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dan bahan kimia berkelanjutan yang dapat menggantikan bahan bakar fosil, bahan kimia berbasis fosil, mengurangi emisi karbon dan mengurangi ketergantungan terhadap impor.

Dalam riset teknologi konversi biomassa, kontribusi inovatif yang telah berhasil di pelajari, antara lain:

- 1) Teknologi produksi bioetanol G2 dengan menggunakan bahan baku biomassa limbah lignoselulosa, seperti biomassa kelapa sawit dan bagas tebu. Selain itu, potensi integrasi produksi bioetanol G1 dan G2.
- 2) Reaktor *pretreatment* portable skala laboratorium yang dapat digunakan secara paralel untuk beberapa biomassa dan reaktor *pretreatment* kontinu (*screw continuous reaktor*) untuk meningkatkan efisiensi pemisahan komponen-komponen biomassa.
- 3) Pemisahan senyawa kimia penyusun biomassa dan interaksinya untuk menentukan perlakuan awal yang tepat, serta penghilangan *residual lignin* dengan metode *bleaching* yang ramah lingkungan, yaitu *totally chlorine free* (TCF).

Kualitas pulp yang dihasilkan dengan metode TCF, dapat memenuhi persyaratan standar SNI.

- 4) Ekstraksi selulosa dan pembuatan selulosa asetat dengan katalis yang ramah lingkungan.
- 5) Isolasi dan pemanfaatan lignin sebagai adsorber logam berat.

Aplikasi praktis teknologi ini dalam industri *biofuel*, meliputi produksi bioetanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih bersih. Produksi bahan kimia bernilai tinggi, seperti *dissolving pulp*, selulosa asetat, karboksimetil selulosa dan lignin amina membuka peluang baru dalam industri kimia hijau. Teknologi ini juga memiliki potensi untuk meningkatkan pendapatan petani dengan menciptakan pasar untuk limbah perkebunan mereka.

Pemanfaatan biomassa lignoselulosa sebagai sumber energi terbarukan dan bahan kimia berkelanjutan sangat berperan penting untuk kemandirian nasional. Biomassa merupakan sumber daya yang belum dimanfaatkan secara optimal yang dapat memainkan peran kunci dalam transisi energi terbarukan dan bahan kimia. Teknologi konversi biomassa dapat memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, peningkatan ketahanan energi dan bahan kimia, serta pengelolaan limbah biomassa dalam kerangka ekonomi sirkular.

VII. PENUTUP

Pemanfaatan biomassa lignoselulosa yang telah dilakukan, bukan hanya sekadar langkah inovatif dalam penyediaan energi dan bahan kimia berkelanjutan, melainkan juga merupakan komitmen terhadap lingkungan. Biomassa lignoselulosa yang berlimpah dan terbarukan menawarkan alternatif konkret sebagai *substitusi* bahan bakar dan bahan kimia berbasis fosil. Pemanfaatan biomassa ini tidak hanya akan membantu mengurangi emisi karbon, tetapi juga memperkuat ketahanan energi dan bahan kimia serta membuka peluang ekonomi baru.

Peningkatan efisiensi proses konversi biomassa menjadi energi terbarukan dan bahan kimia berkelanjutan adalah tantangan utama. Hal ini mencakup pengembangan proses *pretreatment* dengan metode yang tepat, seperti peningkatan efisiensi dengan reaktor kontinu; integrasi proses untuk menghasilkan berbagai produk, enzim yang lebih efektif dan ekonomis; serta pemanfaatan hasil sampingnya seperti pemanfaatan lignin untuk berbagai material dan penyerap logam berat.

Untuk mewujudkan visi besar pemanfaatan biomassa ini, kita perlu melangkah bersama, mendorong inovasi, riset lintas disiplin, dan kolaborasi antar lembaga serta industri. Investasi dalam pengembangan teknologi dan dukungan kebijakan adalah kunci keberhasilannya. Dengan langkah-langkah ini, kita dapat menjadikan biomassa lignoselulosa sebagai pilar utama menuju masa depan yang lebih hijau, lebih bersih, dan berkelanjutan bagi generasi mendatang. Terima kasih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Bapak Jenderal TNI (Purn) H. Prabowo Subianto. Selanjutnya, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Presiden RI ke-7 H. Joko Widodo atas penugasan sebagai peneliti ahli utama di BRIN; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc., Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng., Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D., Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc. Selanjutnya, kami ucapkan terima kasih kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah Prof. Dr. Yanni Sudiyani; Prof. Dr. Nina Artanti, Prof. Dr.-Ing. Ir. Misri Gozan, M.Tech. dari Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia. Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material Prof. Dr. Nurul Taufiqu Rochman.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Sekretaris Utama BRIN, Kepala BOSDM BRIN, Kepala Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material BRIN, Prof. Dr. Ratno Nuryadi dan Kepala Pusat Riset Kimia BRIN, Prof. Dr. Yenny Meliana, yang menyemangati untuk menulis naskah orasi ini. Penghargaan saya sampaikan kepada pembimbing skripsi Prof. Dr. Jarnuzi Gunlazuardi; serta pembimbing tesis Prof. Dr. Shigeru Tanaka. Penghormatan dan apresiasi juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Hiroshi Ohi sebagai pembimbing disertasi S-3; serta kepada para guru dan dosen lainnya.

Terima kasih saya sampaikan kepada seluruh rekan kerja di Pusat Riset Kimia BRIN Serpong. Para senior, Prof. Dr. Ir. Anny Sulaswatty, M.Eng., Prof. Dr. Silvester Tursiloadi, Ir. Aspiyanto, Ir. Rakhman Sarwono, M.Eng., Siti Nurul Aisyiyah Jenie, Ph.D., Ir. Agustin Susilowati M.M. Terima kasih untuk teman-teman tim Kelris Senyawa Kimia Bio dan Kimia Adi Prof. Dr. Yanni Sudiyani, Dr. Sri Sugiwati, Eka Triwahyuni S.T., M.Sc., Teuku Beuna Bardant, M.Eng, Dr. Muryanto, M. Arifuddin F, M.Eng. (2024), Dr. Dieni Mansur, Dr. Vivi S, Dr. L. Hauli, Dr. Joni Prasetyo (2024) dan Dr. Erik Budi S. Tim PME PR Kimia 2025 dan 2024, Dr. Muryanto, Dr. Latifah Hauli, Dr. Hafizh Prasetya, Dr. Muhammad Al Muttaqii. Tim bioetanol: Yan Irawan, M.Si, Dr. Deliana D, Dr. Nino Rinaldi, Edi Supriadi, S.T. Tasrikin Agustianto, S.T, dan semuanya. Terima kasih kepada semua Koordinator kelompok riset dan semua sivitas PR Kimia. Rekan-rekan eks BPTBA LIPI Satriyo Krido Wahono, S.T., Ph.D., Anastasia Wheni Indrianingsih, Ph.D., Prof. Ahmad Sofyan, Ph.D., Dr Hernawan, Wahyu Anggo Rizal, S.T., M. Eng., Dr. Hardi Julendra, S.Pt., M.Sc., Hendra Herdian, M.Sc dan semuanya. Mitra industri Bapak Muhammad Surur, M.M, Dr. Audrey Stephanie dan lainnya. Serta kepada seluruh rekan kerja di dalam dan di luar lingkungan Badan Riset dan Inovasi Nasional yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Penghormatan dan terima kasih tak terhingga saya sampaikan kepada almarhum ayahanda alm. Bapak Romli dan ibunda Yati Maryati yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan dukungan tidak terbatas kepada saya. Terima kasih pada Bapak mertua pak Surat Markasan dan almh. ibu Sunarti. Terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada istri saya, Oktaviani, Ph.D. yang telah memberi kepercayaan, kesempatan, dan dukungan kepada saya untuk tetap bekerja di profesi yang saya tekuni ini. Terkhusus untuk anak-anakku: Rafid, Raziq

dan Rasya, terimakasih atas dukungan, dan pengertian kalian. Terima kasih pula untuk kakak-kakak saya Santi Susanthi, S.E., Noviana Astuti, S.E., Septi Silawati, M.M., dan semua keluarga besar saya.

Terakhir, saya sampaikan terima kasih kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah yang telah berusaha sehingga acara pengukuhan dapat terselenggara dengan baik, lancar, dan khidmat. Terima kasih juga kepada para undangan yang telah berkenan hadir dan mengikuti acara pengukuhan profesor riset ini. Mohon maaf jika ada hal-hal yang kurang berkenan.

Wabillaahittaufiq wal hidayah. Wassalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, E. T., Hasanudin, H., Das, A. K., & **Maryana, R.** (2024). Efficient integrated production of bioethanol and lignin from oil palm empty fruit bunch biomass using chemical steam explosion method. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06058-3>
- Aprobi. (2024). *Bioetanol: Perjalanan Bahan Bakar Masa Depan*. <https://www.aprobi.or.id/bioetanol-perjalanan-bahan-bakar-masa-depan/>
- Ariyanti, D., Adi Sasongko, N., **Maryana, R.**, Agung Nugroho, R., Thamrin, S., Rimantho, D., Wahyono, Y., Kumar Das, A., Yansa Garia, O., & Tayon, F. (2024). Alkaline pretreatment of Durio sp. residual biomass enhances cellulose accessibility for efficient bioethanol production. *International Journal of Ambient Energy*, 45(1). <https://doi.org/10.1080/01430750.2024.2378016>
- Cheah, W. Y., Sankaran, R., Show, P. L., Ibrahim, T. N. B. T., Chew, K. W., Culaba, A., & Jo-Shu, C. (2020). Pretreatment methods for lignocellulosic biofuels production: current advances, challenges and future prospects. *Biofuel Research Journal*, 7(1), 1115.
- Dahnum, D., Agustian, E., Triwahyuni, E., Kristiani, A., **Maryana, R.**, & Sudiyani, Y. (2022). Functionalized Alkaline Lignin for Removal of Lead in Aqueous Solution. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 25(5), 192–196. <https://doi.org/10.14710/jksa.25.5.192-196>
- Dani, S., & Wibawa, A. (2018). *Challenges and policy for biomass energy in Indonesia*. *International Journal of Business, Economics and Law*.

- Elliston, A., Wilson, D. R., Wellner, N., Collins, S. R. A., Roberts, I. N., & Waldron, K. W. (2015). Bioresource Technology Effect of steam explosion on waste copier paper alone and in a mixed lignocellulosic substrate on saccharification and fermentation. *Bioresource Technology*, 187, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.089>
- Erin Voegele. (2024). *Raizen celebrates opening of new cellulosic ethanol plant*. Ethanol Producer Magazine. <https://ethanolproducer.com/articles/raizen-celebrates-opening-of-new-cellulosic-ethanol-plant>
- Francisco, M., Van Den Bruinhorst, A., & Kroon, M. C. (2012). New natural and renewable low transition temperature mixtures (LTTMs): Screening as solvents for lignocellulosic biomass processing. *Green Chemistry*, 14(8), 2153–2157. <https://doi.org/10.1039/c2gc35660k>
- Haldar, D., & Purkait, M. K. (2021). A review on the environment-friendly emerging techniques for pretreatment of lignocellulosic biomass: Mechanistic insight and advancements. *Chemosphere*, 264, 128523. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128523>
- Han, M., Kang, K. E., Kim, Y., & Choi, G. W. (2013). High efficiency bioethanol production from barley straw using a continuous pretreatment reactor. *Process Biochemistry*, 48(3), 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.01.007>
- Harsono, H., Putra, A. S., **Maryana, R.**, Rizaluddin, A. T., H'ng, Y. Y., Nakagawa-izumi, A., & Ohi, H. (2016). Preparation of dissolving pulp from oil palm empty fruit bunch by prehydrolysis soda-anthraquinone cooking method. *Journal of Wood Science*, 62(1). <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1526-3>
- Indonesia, C. (2023). *Konsumsi Kertas Dunia Diramal Tembus Rp6.000 T, Ini Pemicunya*. 2023. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20231006105116-4-478447/konsumsi-kertas-dunia-diramal-tembus-rp6000-t-ini-pemicunya>

- Irawan, Y., Ramdani, D., **Maryana, R.**, Triwahyuni, E., Muryanto, M., Bardant, T. B., & Sudiyani, Y. (2021). *REAKTOR KONTINU TIPE ULIR DENGAN PEMANAS JAKET GANDA UNTUK DELIGNIFIKASI* (P00202107075).
- Jacquet, N., Maniet, G., Vanderghem, C., Delvigne, F., & Richel, A. (2015). Application of Steam Explosion as Pretreatment on Lignocellulosic Material: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. <https://doi.org/10.1021/ie503151g>
- Jeon, H., Kang, K. E., Jeong, J. S., Gong, G., Choi, J. W., Abimanyu, H., Ahn, B. S., Suh, D. J., & Choi, G. W. (2014). Production of anhydrous ethanol using oil palm empty fruit bunch in a pilot plant. *Biomass and Bioenergy*, 67, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.022>
- Karunanithy, C., & Muthukumarappan, K. (2011). Optimization of alkali soaking and extrusion pretreatment of prairie cord grass for maximum sugar recovery by enzymatic hydrolysis. *Biochemical Engineering Journal*, 54(2), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.02.001>
- Maryana, R.**, Anwar, M., Hasanah, S. U., Fitriana, E., Suwanto, A., & Rizal, W. A. (2020). Cellulose acetate production from paddy rice straw and oil palm empty fruit bunch : trichloroacetate catalyst Cellulose acetate production from paddy rice straw and oil palm empty fruit bunch : trichloroacetate catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012054>
- Maryana, R.**, Anwar, M., Suwanto, A., Hasanah, S. U., & Fitriana, E. (2020). *Comparison Study of Various Cellulose Acetylation Methods from its IR Spectra and Morphological Pattern of Cellulose Acetate as a Biomass Valorisation*. <https://pdfs.semanticscholar.org/8fa3/b9f2acb656dc0cb1ec4ebca143580709dccc.pdf>

- Maryana, R.,** Bardant, T. B., Ihsan, D. M., Das, A. K., Irawan, Y., Rizal, W. A., Triwahyuni, E., Muryanto, Utami, A. R. I., & Sudiyani, Y. (2022). Reducing sugars and bioethanol production from oil palm empty fruit bunch by applying a batch and continuous pretreatment process with low temperature and pressure. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03138-0>
- Maryana, R.,** Bardant, T. B., & Muryanto, M. (2023). *Lignin isolation and characterization as co-products from pilot plants of second generations bioethanol Lignin Isolation and Characterization as Co-Products from Pilot Plants of Second Generations Bioethanol*. 040016(March).
- Maryana, R.,** Bardant, T. B., Santi, E. L., Triwahyuni, E., Muryanto, Oktaviani, & Dahnum, D. (2022). Bioethanol production process with SHF method from EFBs pulp and its microcrystalline. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012021>
- Maryana, R.,** Bardant, T. B., Umam, E. F., Irawan, Y., Triwahyuni, E., Muryanto, Dahnum, D., Hada Putri, A. M., Rinaldi, N., Oktaviani, Prasetyo, J., & Sudiyani, Y. (2023). Lignin Isolation from both Soluble and Insoluble Material of Soda Black Liquor. *AIP Conference Proceedings*, 2902(1). <https://doi.org/10.1063/5.0173137>
- Maryana, R.,** Dahnum, D., Triwahyuni, E., Muryanto, M., Bardant, T. B., Das, A. K., Rizal, W. A., Oktaviani, O., & Sudiyani, Y. (2024). Synthesis of lignin- amine from the waste of pilot plant bioethanol as a green bioadsorbent for lead removal R. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13762-024-06026-4>
- Maryana, R.,** Ma'rifatun, D., Wheni, I. A., K.w., S., & Rizal, W. A. (2014). Alkaline pretreatment on sugarcane bagasse for bioethanol production. *Energy Procedia*, 47, 250–254.

- Maryana, R.,** Muryanto, M., Irawan, Y., Triwahyuni, E., Bardant, T. B., & Sudiyani, Y. (2023). *PROSES DELIGNIFIKASI TANDAN KOSONG SAWIT SECARA KONTINU MENGGUNAKAN REAKTOR ULIR SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUKSI BIOETANOL* (S00202308267).
- Maryana, R.,** Muryanto, Triwahyuni, E., Bardant, T., Y. I., & Sudiyani, Y. (2021). Potency and Challenges in The Commercialisation of Bioethanol First and Second Generation in Indonesia. *The 5th SATREPS Conference, May*, 79–84. <https://publikasikr.lipi.go.id/index.php/satreps/article/view/643/592>
- Maryana, R.,** Muryanto, Triwahyuni, E., Oktaviani, O., Prasetya, H., Das, A. K., & Sudiyani, Y. (2022). Extraction of Cellulose Acetate from Cajuput (*Melaleuca leucadendron*) Twigs and Sugarcane (*Saccharum officinarum*) Bagasse by Environmentally Friendly Approach. *Waste and Biomass Valorization*, 13(3), 1535–1545. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01610-y>
- Maryana, R.,** Nakagawa-izumi, A., Kajiyama, M., & Ohi, H. (2017). Environment-Friendly Non-Sulfur Cooking and Totally ChlorineFree Bleaching for Preparation of Sugarcane Bagasse Cellulose. *Journal of Fiber Science and Technology*, 73(8), 182–191. <https://doi.org/10.2115/fiberst.2017-0025>
- Maryana, R.,** Nakagawa-izumi, A., Ohi, H., & Nakamata, K. (2017). Dependence of Enzymatic Saccharification on Residual Lignin Structure in Sugarcane. *Japan Tappi Journal*, 71(6), 679–687. <https://doi.org/10.2524/jtappij.1608>
- Maryana, R.,** Oktaviani, K., Tanifuji, K., & Ohi, H. (2014). Comparison-between-Acid-Sulfite-and-Soda-AQ-Delignification-Methods-for-Effective-Bio-ethanol-Production-from-Sugarcane-Bagasse-and-Oil-Palm-Empty-Fruit-Bunch.pdf. *Pan Pacific Conference*, 7. https://www.researchgate.net/profile/Roni-Maryana/publication/262646680_Comparison_between_Acid_Sulfite_and_Soda-AQ_Delignification_Methods_for_Effective_Bio-ethanol_Production_from_Sugarcane_Bagasse_and_Oil_Palm_Empty_Fruit_Bunch/links/0a85e5385b0d8e4b5d

- Maryana, R.,** Rizal, W. A., & et al. (2019). *REAKTOR PORTABEL SKALA LABORATORIUM UNTUK MENURUNKAN KADAR LIGNIN DARI BIOMASSA* (S00201911243).
- Maryana, R.,** Triwahyuni, E., Muryanto, M., Oktaviani, O., & et al. (2024). Current Progress on Biomass Pretreatment: The Key for Its Valorization. In *Biomass Conversion and Biorefinery* (Vol. 12, Issue 10). <https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7>
- Maryana, R.,** & Wahono, S. K. (2009). Production and purification of bioethanol from molasses and cassava. *AIP Conference Proceedings*, 1169. <https://doi.org/10.1063/1.3243248>
- Maryana, R.,** & Wahono, S. K. (2012). *Bioethanol potency: Development of small business based on cassava in Gunungkidul region, Yogyakarta. October*, 16–18.
- Muryanto, M., Sudiyani, Y., Darmawan, M. A., Handayani, E. M., & Gozan, M. (2023). Simultaneous Delignification and Furfural Production of Palm Oil Empty Fruit Bunch by Novel Ternary Deep Eutectic Solvent. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(12), 16359–16371. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08211-y>
- Muryanto, Wahyuni, E. T., Abimanyu, H., Cahyono, A., Cahyono, E. T., & Sudiyani, Y. (2015). Alkaline delignification of oil palm empty fruit bunch using black liquor from pretreatmnet. *Procedia Chemistry*, 16, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.032>
- Nguyen, T.-A. D., Kim, K.-R., Han, S. J., Cho, H. Y., Kim, J. W., Park, S. M., Park, J. C., & Sim, S. J. (2010). Pretreatment of rice straw with ammonia and ionic liquid for lignocellulose conversion to fermentable sugars. *Bioresource Technology*, 101(19), 7432–7438. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.053>
- Oktaviani, O., Yunus, A. L., Bic, M. Y. Y., Rahmaena, I. J., Nuryanthi, N., Syahputra, A. R., **Maryana, R.,** & Rahmawati, R. (2024). Study of potential antioxidant of irradiated lignin. *AIP Conference Proceedings*, 3053(1). <https://doi.org/10.1063/5.0199789>

- Pena-Pereira, F., & Namieśnik, J. (2014). Ionic liquids and deep eutectic mixtures: Sustainable solvents for extraction processes. *ChemSusChem*, 7(7), 1784–1800. <https://doi.org/10.1002/cssc.201301192>
- Perindustrian, K. (2018). *Diversifikasi Pulp Bakal Pangkas Impor US\$ 500 Juta*. 22 January 2018. [https://www.kemenperin.go.id/artikel/18681/Diversifikasi-Pulp-Bakal-Pangkas-Impor-US\\$-500-Juta](https://www.kemenperin.go.id/artikel/18681/Diversifikasi-Pulp-Bakal-Pangkas-Impor-US$-500-Juta)
- Prasetyo, J., Dahnum, D., Murti, G. W., Sugiarto, A. T., **Maryana, R.**, & Machsun, A. L. (2023). Delignification of Palm Oil Empty Fruit Bunch by ozonization and its physicochemical effect. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(13), 13721–13730. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03719-z>
- Rimantho, D., Ariyanti, D., & **Maryana, R.** (2024). Environmentally Friendly Strategies for Recycling Agricultural Waste to Produce Renewable Energy: A Case Study of Durian Fruit. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 7(2), 294–312. <https://doi.org/10.31181/dmame7220241138>
- Salaghi, A., Putra, A. S., **Maryana, R.**, Kajiyama, M., & Ohi, H. (2018). Preparation of Dissolving Pulp by Totally Chlorine-free Bleaching : Roles of Hardwood Syringyl and Guaiacyl Lignins. *Japan Tappi Journal*, 72(10), 1167–1175. <https://doi.org/10.2524/jtappij.72.1167>
- Statistik, B. P. (2023). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022* (05100.2312). <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/11/30/160f211bfc4f91e1b77974e1/statistik-kelapa-sawit-indonesia-2022.html>
- Statistik, B. P. (2024a). *Data Ekspor Impor Nasional*. <https://www.bps.go.id/id/exim>

- Statistik, B. P. (2024b). *Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017-2022*. 2024. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTcxNiMx/luas-kawasan-hutan-dan-kawasan-konservasi-perairan-indonesia-berdasarkan-surat-keputusan-menteri-lingkungan-hidup-dan-kehutanan--2017-2022.html>
- Statistik, B. P. (2024c). *Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi, 2021-2023*. 1 March 2024. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQ5OCMy/luas-panen--produksi--dan-produktivitas-padi-menurut-provinsi.html>
- Statistik, B. P. (2024d). *Volume Ekspor dan Impor Migas (Berat bersih: ribu ton) 1996-2023*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTAwMyMx/volume-ekspor-dan-impor-migas--berat-bersih-ribu-ton--1996-2023.html>
- Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiyarmanto, Sembiring, K. C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., & Han, M. H. (2013). Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot - Scale unit. *Energy Procedia*, 32, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.005>
- Sudiyani, Y., Syahrul, A., & Mansur, D. (2019). *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*. Lipi Press, 2019.
- Sudiyani, Y., Triwahyuni, E., Sugiwati, S., **Maryana, R.**, Muryanto, Bardant, T. B., & Fitriady, M. A. (2024). TRANSISI ENERGI: MERACIK FORMULA INOVATIF ETANOL UNTUK MASA DEPAN TERANG. *Buletin Pertamina Energi Institute*, 93–106. [https://www.pertamina.com///Media/File/Buletin PEI Vol 10 No 1 Tahun 2024 \(ONLINE\).pdf](https://www.pertamina.com///Media/File/Buletin PEI Vol 10 No 1 Tahun 2024 (ONLINE).pdf)
- Sudiyani, Y., Waluyo, J., Triwahyuni, E., Burhani, D., Muryanto, Primandaru, P., Riandy, A. P., & Novia, N. (2017). Optimization pretreatment condition of sweet sorghum bagasse for production of second generation bioethanol. *AIP Conference Proceedings*, 1803. <https://doi.org/10.1063/1.4973142>

- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production : a review q. *Bioresource Technology*, 83(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Triwahyuni, E., Miftah, A. K., Muryanto;, **Maryana, R.**, & Sudiyani, Y. (2021). Effect of CO₂-added Steam Explosion on Oil Palm Empty Fruit Bunch for Bioethanol Production. *CELLULOSE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY*, 55(7–8), 839–847.
- Triwahyuni, E., Miftah, A. K., Muryanto, M., **Maryana, R.**, & Sudiyani, Y. (2023). Conversion of oil palm empty fruit bunch into bioethanol through pretreatment with CO₂ as impregnating agent in alkali explosion. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 452. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04102-2>
- UNCTAD. (2016). Second generation biofuel markets. *Second Generation Biofuel Markets: State of Play, Trade and Developing Country Perspectives*, 1–69. <https://unctad.org/publication/second-generation-biofuel-markets-state-play-trade-and-developing-country-perspectives>
- Utami, A. R. I., Sugiwati, S., **Maryana, R.**, Darus, L., Mel, M., Maulidin, I., Erawan, F., Yupaldi, N., & Zhafran, A. L. (2025). Predictive Modelling of Ethanol Production from Biomass Pretreated with Ionic Liquids Using SuperPro Designer. *Journal of Physics: Conference Series* 2942 012048, 1–8. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2942/1/012048/pdf>
- Wang, K., Chen, J., Sun, S., & Sun, R. (2015). Steam Explosion. In *Pretreatment of Biomass*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800080-9.00006-2>
- Zhao, L., Sun, Z. F., Zhang, C. C., Nan, J., Ren, N. Q., Lee, D. J., & Chen, C. (2022). Advances in pretreatment of lignocellulosic biomass for bioenergy production: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, 343(October 2021), 126123. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126123>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. **Maryana, R.** et al. (2024). Current Progress on Biomass Pretreatment: The Key for Its Valorization. In: Lubis, M.A.R., et al. Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery. Green Energy and Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7_1
2. Sudiyani Y, Prastya M E, **Maryana R** et al. (2021). The Budding Yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a Valuable Model Organism for Investigating Anti-Aging Compounds. IntechOpen. Published: 04 March 2021. DOI: 10.5772/intechopen.96662
3. Sudiyani Y, **Maryana R.** et al. (2021). Glutathione Extraction from Oil Palm Empty Fruit Bunch Fermentation as Co-Product of Bioethanol Production. Research Trends in Chemical Sciences (Volume - 12), 2021, 154 page (59-74)
4. **Maryana R.** (2013). Sains dan Teknologi 6: Berbagai ide untuk menjawab tantangan dan kebutuhan. Ministry of Research of the Republic of Indonesia. Division of public relation and law. xviii-250 pages ISBN: 978-602-14900-1-3

Jurnal Internasional

5. **Maryana, R.,** Bardant, T.B., Ihsan, D.M. et al. (2024). Reducing sugars and bioethanol production from oil palm empty fruit bunch by applying a batch and continuous pretreatment process with low temperature and pressure. Biomass Conv. Bioref. 14, 11155–11164. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03138-0>

6. Halim, A., Ramadhani, F. L., Wahyudi, L., **Maryana, R.**, Ismayati, M., Muharja, M., ... & Ihsanpuro, S. I. (2024). Expanded polystyrene waste valorization as a hydrophobic coating II: packaging application. *South African Journal of Chemical Engineering*, 49, 114–121.
7. Prasetyo, J., Dahnum, D., Murti, G. W., Sugiarto, A. T., **Maryana, R.**, & Machsun, A. L. (2024). Delignification of Palm Oil Empty Fruit Bunch by ozonization and its physicochemical effect. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(13), 13721–13730.
8. Hasanudin, H., Asri, W. R., Rahmawati, R., Riyanti, F., **Maryana, R.**, Al Muttaqii, M., ... & Novia, N. (2024). Conversion of Isopropanol to Diisopropyl Ether over Cobalt Phosphate Modified Natural Zeolite Catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 19(2), 275–284.
9. Ariyanti, D., Adi Sasongko, N., **Maryana, R.**, Agung Nugroho, R., Thamrin, S., Rimantho, D., ... & Tayon, F. (2024). Alkaline pretreatment of Durio sp. residual biomass enhances cellulose accessibility for efficient bioethanol production. *International Journal of Ambient Energy*, 45(1), 2378016.
10. Rimantho, D., Ariyanti, D., & **Maryana, R.** (2024). Environmentally Friendly Strategies for Recycling Agricultural Waste to Produce Renewable Energy: A Case Study of Durian Fruit. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 7(2), 294–312. <https://doi.org/10.31181/dmame7220241138>
11. Prasetyo, J., Akbar, M.A.B., **Maryana R.**, et al. (2024) Optimizing for modified simultaneous saccharification and fermentation to produce bio-ethanol from environmentally friendly delignification of oil palm empty fruit bunch. *Biomass Conv. Bioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05435-2>

12. MJ Hossain, RK Ghosh, AK Das, **Maryana R.**, et al. (2024). Chemical composition and solubility properties of *Bambusa bambos* at different ages and height positions. *Advances in Bamboo Science*. Volume 6, February 2024, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100062>
13. Setiawan, A.A.R., Bardant, T.B., **Maryana R.** et al. (2024). Influence of avoided biomass decay on a life cycle assessment of oil palm residues-based ethanol. *Energ. Ecol. Environ.* <https://doi.org/10.1007/s40974-024-00317-9>
14. J Prasetyo, D Dahnum, GW Murti, **Maryana R.** (2023). Delignification of palm oil empty fruit bunch by hydroxyl radical of microwave radiation under alkaline condition. *Wood Research*. 68(1): 2023 167–182 pp. doi.org/10.37763/wr.1336-4561/68.1.167182
15. FAW Fatika, M Anwar, DJ Prasetyo, **Maryana R** et al., (2023) Facile fabrication of chitosan Schiff bases from giant tiger prawn shells (*Penaeus monodon*) via solvent-free mechanochemical grafting. *International Journal of Biological Macromolecules*. Volume 247, 30 August 2023, 125759. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125759>
16. Mansur, D., Sugiwati, S., **Maryana R.**, et al. (2023) Pyrolysis of cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks to produce liquid smoke-containing fine chemicals for antibacterial agent application. *Biomass Conv. Bioref.* 13, 10561–10574. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01896-x>
17. Muryanto, M., Chasanah, E., **Maryana R.**, et al. (2023). Characterization of solid waste biomass of agar processing plants and scale-up production of bioethanol. *Biomass Conv. Bioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04464-7>

18. Setiawan, AAR; Putri, AMH; **Maryana, R.** (2023). A Comparison of EFB to Ethanol Production by Integrating Between RBD Palm Oil and EFB Pulping Plant: An Assessment for Energy, Environmental and Economical Advantages. *International Journal of Technology*, 2023, Vol 14, Issue 4, p877. 10.14716/ijtech.v14i4.6015
19. H Hasanudin, WR Asri, A Mara, M Al Muttaqii, **Maryana R.** (2023). Enhancement of catalytic activity on crude palm oil hydrocracking over SiO₂/Zr assisted with potassium hydrogen phthalate. *ACS Omega* 2023, 8, 23, 20858–20868. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01569>.
20. Hasanudin, H., Asri, W.R., **Maryana R.**, et al. (2023) Catalytic dehydration of 2-propanol over nickel phosphide immobilized on natural bentonite. *Reac Kinet Mech Cat* 136, 727–740. <https://doi.org/10.1007/s11144-023-02373-4>
21. Triwahyuni, E., Miftah, A.K., Muryanto, M. **Maryana R.**, et al. (2023). Conversion of oil palm empty fruit bunch into bioethanol through pretreatment with CO₂ as impregnating agent in alkali explosion. *Biomass Conv. Bioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04102-2>
22. Putri, Q.U., Hasanudin, H., Asri, W.R. **Maryana R.**, et al. (2023). Production of levulinic acid from glucose using nickel phosphate-silica catalyst. *Reac Kinet Mech Cat* 136, 287–309. <https://doi.org/10.1007/s11144-022-02334-3>
23. Prasetyo, J., Dahnum, D., Murti, G.W. **Maryana R.**, et al. (2023) Delignification of Palm Oil Empty Fruit Bunch by ozonization and its physicochemical effect. *Biomass Conv. Bioref.* . <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03719-z>
24. H Hasanudin, WR Asri, U Permatahati, **Maryana R.** (2023). Conversion of crude palm oil to biofuels via catalytic hydrocracking over NiN-supported natural bentonite. *AIMS Energy*. Volume 11, Issue 2: 197–212. doi: 10.3934/energy.2023011

25. AK Das, MN Islam, RK Ghosh, **R Maryana**. (2023). Cellulose-based bionanocomposites in energy storage applications-A review. *Heliyon* 9 (2023) e13028. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13028>
26. H Hasanudin, WR Asri, Z Fanani, **Maryana R.**, et al. (2022). Facile fabrication of SiO₂/Zr assisted with EDTA complexed-impregnation and templated methods for crude palm oil to biofuels conversion via catalytic hydrocracking. *Catalysts* 2022, 12(12), 1522; <https://doi.org/10.3390/catal12121522>
27. Hasanudin H, **Maryana R.**, et al. (2022) Kinetic Parameters Investigation for The Esterification of Free Fatty Acid from Coconut Oil Mill Waste using Montmorillonite-Sulfonated Carbon from Glucose Composite Catalyst. *Molekul, [S.l.]*, v. 17, n. 3, p. 355-364, nov. ISSN 2503-0310. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2022.17.3.5925>.
28. MJ Hossain, RK Ghosh, AK Das, **R Maryana**, et al., (2022). Effect of age and height on the chemical properties of Muli bamboo (*Melocanna baccifera*). *ACS Omega* 2022, 7, 43, 39370–39374. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05684>
29. Windarsih, A., Indrianingsih, A.W., **Maryana, R.** et al. (2022) Gold modified bacterial cellulose from coconut water waste and its antibacterial activity. *Waste Biomass Valor* 13, 4157–4164. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01769-y>
30. **Maryana, R.**, Muryanto, Triwahyuni, E. et al. (2022) Extraction of Cellulose Acetate from Cajuput (*Melaleuca leucadendron*) Twigs and Sugarcane (*Saccharum officinarum*) Bagasse by Environmentally Friendly Approach. *Waste Biomass Valor* 13, 1535–1545 (. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01610-y>
31. H Hasanudin, WR Asri, IS Zulaikha, **Maryana R.**, et.al. (2022) Hydrocracking of crude palm oil to a biofuel using zirconium nitride and zirconium phosphide-modified bentonite. *RSC Adv.*, 2022, 12, 21916–21925 DOI: 10.1039/D2RA03941A

32. TB Bardant, E Triwahyuni, Muryanto, **R Maryana** et al. (2021) Simulation for integrating bioethanol production in existing commercial agar extraction plant toward zero waste technology. *Agriculture and Natural Resources*, 31 October 2021, Vol. 55, No. 5, 893–903 ref. 40 ref. 10.34044/j.anres.2021.55.5.20
33. E Triwahyuni, AK Miftah, M Muryanto, **R Maryana** et al (2021) *Cellulose Chem. Technol.*, 55 (7-8), 839-847
34. T Anindyawati, E Triwahyuni, **R Maryana**, Y Sudiyani (2020) *International Journal of Agricultural Technology* 2020 Vol. 16(3): 529-544
35. **R Maryana**, M Anwar, A Suwanto, et al (2020) Comparison study of various cellulose acetylation methods from its IR spectra and morphological pattern of cellulose acetate as a biomass valorization. *Nature Environment and Pollution Technology* Vol. 19, No. 2. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.v19i02.021>
36. A Salaghi, AS Putra, **R Maryana**, M Kajiyama, H Ohi (2018) Preparation of dissolving pulp by totally chlorine-free bleaching: Roles of hardwood syringyl and guaiacyl lignins. *Japan TAPPI Journal*. Vol 72 No10 p. 1167–1175 <https://doi.org/10.2524/jtappij.72.1167>
37. **R Maryana**, A Nakagawa-izumi, M Kajiyama, H Ohi (2017) Environment-friendly non-sulfur cooking and totally chlorinefree bleaching for preparation of sugarcane bagasse cellulose. *Journal of Fiber Science and Technology* 73 No 8 p 182–191 <https://doi.org/10.2115/fiberst.2017-0025>
38. LT Mulyantara, H Harsono, **R Maryana**, et al (2017) Properties of thermomechanical pulps derived from sugarcane bagasse and oil palm empty fruit bunches. *Industrial Crops and Products* Volume 98, April 2017, Pages 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.003>

39. **Maryana, R.** Nakagawa-izumi, H Ohi, K Nakamata (2017) Dependence of Enzymatic Saccharification on Residual Lignin Structure in Sugarcane. Japan TAPPI Journal. Vol 71 No 6 p. 679-687 DOI <https://doi.org/10.2524/jtappij.1608>
40. A Nakagawa-Izumi, YY H'ng, LT Mulyantara, **Maryana R** (2017) Characterization of syringyl and guaiacyl lignins in thermomechanical pulp from oil palm empty fruit bunch by pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry using ion intensity calibration. Industrial Crops and Products. Volume 95, January 2017, Pages 615-620. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.030>
41. LT Mulyantara, **R Maryana**, VT Do et al. (2017) Modified operation of a laboratory refiner for obtaining dried thermomechanical pulp from sugarcane bagasse and oil palm empty fruit bunch as non-wood fibers. Japan TAPPI Journal. Vol 71 No 2 p. 182–190 DOI <https://doi.org/10.2524/jtappij.1606>
42. Harsono, H., Putra, A.S., **Maryana, R.** et al. Preparation of dissolving pulp from oil palm empty fruit bunch by prehydrolysis soda-anthraquinone cooking method. J Wood Sci 62, 65–73 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1526-3>
43. Poeloengasih, C.D., Bardant, T.B., **Maryana R.** et al. Coastal community empowerment in processing *Kappaphycus alvarezii*: a case study in Ceningan Island, Bali, Indonesia. J Appl Phycol 26, 1539–1546 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0153-x>

Jurnal Nasional

44. WA Rizal, R Suryani, M Anwar, **Maryana R** (2022). Efektivitas Pemurnian Asap Cair Biomassa Serbuk Gergaji dengan Distilasi, Adsorpsi Zeolite dan Karbon Aktif. Jurnal Selulosa. Vol 12, No 01. <http://dx.doi.org/10.25269/jsel.v12i01.353>

45. DJ Prasetyo, NE Fitriana, WA Rizal, **Maryana R.** (2022). Utilization of Peroxide Bleached Sugar Palm (*Arenga pinnata*) Fibre Waste into Cellulose Nano Crystal. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran*. Vol. 13 No. 1.
46. WA Rizal, R Suryani, **R. Maryana**, et al. (2022) Coconut shell waste treatment technology for a sustainable waste utilization: A case study of the SMEs in Bohol Village, Indonesia. *ASEAN J. of Community Engagement*. Vol. 6. No. 2
47. D Dahnum, E Agustiana, E Triwahyuni, **R. Maryana**, et al., (2022). Functionalized Alkaline Lignin for Lead Removal in Aqueous Solution. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 25 (5)192–196. <https://doi.org/10.14710/jksa.25.5.192-196>
48. A Ditia, TB Bardant, ARI Utami, **R. Maryana**, et al (2021). Telaah Potensi Penerapan Teknologi Terkini pada Hidrolisis Selulosa dengan Sistem Pengendalian Terintegrasi dalam Proses Bioetanol G2. *Jurnal Selulosa*. Vol 11, No 01. <http://dx.doi.org/10.25269/jsel.v11i01.320>
49. VT Rosyida, SN Hayati, AW Indrianingsih, **R. Maryana**, et al., (2018) Enzim Selulase Kasar *Aspergillus niger* FNCC 6018 untuk Produksi Bioetanol melalui Proses Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak. *Jurnal Mikologi Indonesia*. Vol 2 No 2

Prosiding Internasional

50. O Oktaviani, AL Yunus, **Maryana R.**, et al. (2024). Study of potential antioxidant of irradiated lignin. Volume 3053, Issue 1. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0199789>
51. AL Yunus, N Nuryanthi, **Maryana R.**, et al (2024). Study of gamma irradiation and temperature storage effect on the stability of free radicals in lignin. *AIP Conference Proceedings*. Volume 2967, Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0195709>

52. M Anwar, A Suwanto, SK Wahono, **Maryana R.**, et al. (2024). Synthesis and characterization of cellulose acetate from fiber waste of sugar palm stem (*Arenga pinnata* Sp). AIP Conference Proceedings .Volume 2957, Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0183967>
53. E Triwahyuni, M Muryanto, **R. Maryana**, Y Sudiyani et al. (2023). Conversion of cellulosic biomass through consolidated bioprocessing method using *Clostridium thermocellum*. AIP Conference Proceedings. Vol 2972 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0183371>
54. F Erawan, ARI Utami, S Sugiwati, **R.. Maryana** et al. (2023). Potential Development and Economic Analysis of Bioethanol Fabrication Design from Oil Palm Biomass with Ionic Liquid Choline Acetate Using SuperPro Designer (SPD) Software. Journal of Physics: Conference Series. Vol 2673. DOI 10.1088/1742-6596/2673/1/012024
55. I Maulidin, ARI Utami, S Sugiwati, **Maryana R.** et al (2023). Development and Economic Analysis of Bioethanol Production from Palm (*Arenga Pinatta*) Biomass with Ionic Liquid Pretreatment Using SuperPro Designer Software. Journal of Physics: Conference Series 2673. DOI 10.1088/1742-6596/2673/1/012027
56. Y Sudiyani, NC Kusnadi, H Mulyani, E Triwahyuni, **Maryana R.**, et al. (2023). Antioxidant activity of scrub from yeast fermentation extract as co-product of second generation bioethanol from oil palm empty fruit bunch. AIP Conference Proceedings. Vol 2902 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0172766>
57. **R. Maryana**, TB Bardant, EF Umam, et al., (2023). Lignin isolation from both soluble and insoluble material of soda black liquor. AIP Conference Proceedings Vol 2902 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0173137>

58. M Muryanto, F Amelia, MN Izzah, **Maryana R.**, et al. (2023). Utilization of green solvent for furfural production from oil palm empty fruit bunch. AIP Conference Proceedings, Vol 2902 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0173139>
59. J Prasetyo, D Dahnum, GW Murti, **Maryana R.**, et al. (2023). Delignification of palm oil empty fruit bunch by microwave radiation under alkaline with H₂O₂ addition. AIP Conference Proceedings. Vol 2902 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0173426>
60. **R. Maryana**, TB Bardant, M Muryanto, E Triwahyuni, et al. (2023). Lignin isolation and characterization as co-products from pilot plants of second generations bioethanol. AIP Conference Proceedings. Vol 2568 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0116214>
61. AP Asmara, C Nuzlia, H Hernawan, **R. Maryana** , et al. (2023). Physicochemical, fatty acid profile and antioxidant properties of mahogany (*Swietenia humilis* Zucc.) seeds oil. AIP Conference Proceedings, Vol 2583 Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0115800>
62. BS Agustina, E Triwahyuni, M Muryanto, **R. Maryana**, et al. (2023). Extraction of glutathione involved in yeast fermentation as co-product of second generation bioethanol from oil palm empty fruit bunch. AIP Conference Proceedings, vol 2606 issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0118734>
63. S Sugiwati, D Mansur, WA Rizal, R Suryani, **R. Maryana**. (2022). Antioxidant activity of liquid smoke fractions from cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks. AIP Conference Proceedings, vol 2493 issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0115927>
64. M Muryanto, **R Maryana**, E Triwahyuni, Y Sudiyani et al (2022) Furfural production using aqueous deep eutectic solvent. AIP Conference Proceedings. Vol 2708 issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0122673>
65. M Muryanto, F Amelia, MN Izzah, **R Maryana**, et al. (2022). Delignification of empty fruit bunch using deep eutectic solvent

for biobased-chemical production. IOP Conference Series: Earth and Environmental 1108 012013 DOI 10.1088/1755-1315/1108/1/012013

66. E Triwahyuni, AR Alfianti, TB Bardant, **Maryana R**, et al. (2022). Study of washing method of oil palm empty fruit bunch-treated with alkali explosion in lignocellulosic bioethanol production. IOP Conference Series: Earth and Environmental 1108 012022 DOI 10. 1088/1755-1315/1108/1/012022
67. **R Maryana**, TB Bardant, EL Santi, et al. (2022). Bioethanol production process with SHF method from EFBs pulp and its microcrystalline. IOP Conference Series: Earth and Environmental 1108 012021 DOI 10.1088/1755-1315/1108/1/012021
68. **R Maryana**, E Triwahyuni, TB Bardant, et al. (2021). Potency and challenges in the commercialization of bioethanol first and second generation in Indonesia. Proceedings The SATREPS Conference, Vol 3 issue 1. P 79-84
69. H Prasetya, N Annisa, R Riduan, **R Maryana**. (2021). The dispersion pattern of PM10 and SO2 on Highway Kuin Utara and Kuin Selatan Banjarmasin City based on GIS spatial model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1011 012011 DOI 10.1088/1757-899X/1011/1/012011
70. WARizal, **R Maryana**, et al. (2020). Chemical composition of liquid smoke from coconut shell waste produced by SME in Rongkop Gunungkidul. IOP Conference Series: Earth and Environmental. 462 012057 DOI 10.1088/1755-1315/462/1/012057
71. **R Maryana**, M Anwar, SU Hasanah, E Fitriana, et al. (2020). Cellulose acetate production from paddy rice straw and oil palm empty fruit bunch: trichloroacetate catalyst. IOP Conference Series: Earth and Environmental 462 012054 DOI 10.1088/1755-1315/462/1/012054

72. WA Rizal, **R Maryana**, DJ Prasetyo, et al. (2020). Alkaline pretreatment of sugarcane bagasse on pilot scale reaktor. IOP Conference Series: Earth and Environmental. 462 012056 DOI 10.1088/1755-1315/462/1/012056
73. AP Asmara, C Nuzlia, **R Maryana**, et al. (2019). Antibacterial bioactivity of n-hexane extract from Mahogany (*Swietenia humilis* Zucc.) seed and its fatty acid compound identification. IOP Conference Series: Earth and Environmental 251 012016 DOI 10.1088/1755-1315/251/1/012016
74. DJ Prasetyo, **R Maryana**, TH Jatmiko, et al. (2019). Optimization of Cellulose Isolation from *Melaleuca leucadendron* Twigs by Box-Behnken Design. IOP Conference Series: Earth and Environmental 251 012002 DOI 10.1088/1755-1315/251/1/012002
75. **R Maryana**, TH Jatmiko, DJ Prasetyo, et al. (2019). Evaluation of high purity cellulose production from pretreated various agricultural biomass wastes. IOP Conference Series: Earth and Environmental 251 012001 DOI 10.1088/1755-1315/251/1/012001
76. SK Wahono, **R Maryana**, D Pratiwi. (2015). Modification of Gunungkidul natural zeolite as bioethanol dehydrating agents. Energy Procedia, 2015 vol 65. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.042>
77. VT Rosyida, AW Indrianingsih, **R Maryana**, SK Wahono. (2015). Effect of temperature and fermentation time of crude cellulase production by *Trichoderma reesei* on straw substrate. Energy Procedia, vol 65. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.065>
78. **R Maryana**, K Oktaviani, K Tanifuji, H Ohi. (2014). Comparison between acid sulfite and soda-AQ delignification methods for effective bio-ethanol production from sugarcane bagasse and oil palm empty fruit bunch. Proceedings of Pan Pacific Conference. P 21–23.

79. SK Wahono, C Darsih, VT Rosyida, **R Maryana**, et al. (2014). Optimization of cellulose enzyme in the simultaneous saccharification and fermentation of sugarcane bagasse on the second-generation bioethanol production technology. *Energy Procedia* vol 47. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.224>
80. **R Maryana**, D Ma'rifatun, AI Wheni, et al. (2014). Alkaline pretreatment on sugarcane bagasse for bioethanol production. *Energy Procedia* vol 47. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.221>
81. **R Maryana**, SK Wahono (2009). Production and Purification of Bioethanol from Molasses and Cassava. *AIP Conference Proceedings*. AIP Conf. Proc. 1169, 174–178 <https://doi.org/10.1063/1.3243248>
82. S Krido Wahono, **R Maryana**, M Kismurtono, (2009). Biogas purification process to increase Gen—Set Efficiency. *AIP Conference Proceedings*. AIP Conf. Proc. 1169, 185–189. <https://doi.org/10.1063/1.3243250>

Prosiding Nasional

83. SK Wahono, **R Maryana**, M Kismurtono (2010) Modifikasi zeolit lokal Gunungkidul sebagai upaya peningkatan performa biogas untuk pembangkit listrik. SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES, 4–5 Agustus 2010, Teknik Kimia Fak.Teknik UNDIP Semarang
84. AW Indrianingsih, C Darsih, **R Maryana** (2013) Pewarna Alam dari Ekstrak Tanaman dan Aplikasinya di Usaha Kecil Menengah Tekstil Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia V. PKIM FKIP UNS* Pages 682–691
85. **R Maryana**, SK Wahono (2012) Bioethanol potency: Development of small business based on cassava in Gunungkidul region, Yogyakarta. *Proceeding of International Seminar Enhancing Grassroots Innovation Competitiveness for Poverty Alleviation (EGICPA)* Yogyakarta, Indonesia, 16–18th October 2012

86. SK Wahono, A Febrisiantosa, **R Maryana**. (2008). Pemanfaatan Teknologi Biogas Terintegrasi dengan Pengelolaan UMKM Industri Tahu dan Peternakan Sapi di Gunungkidul–Yogyakarta. Yogyakarta, 27 November 2008 ISBN 9-793-688893-9
87. Ema Damayanti, Hardi Julendra, Ahmad Sofyan, **R Maryana**. (2008). Komposisi asam amino dan daya hambat tepung cacing tanah (*Lumbricus rubellus*) terhadap *Salmonella pullorum*. Seminar Nasional 2008. Yogyakarta, 27 November 2008 ISBN 9-793-688893-9
88. SK Wahono, **R Maryana**, M Kismurtono. (2008). Peningkatan Kemurnian Metana dalam Biogas Menggunakan Larutan KOH di Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta. Prosiding Seminar BAPEDA DIY–LIPI
89. **R Maryana**, KW Satriyo, M Kismurtono. (2008). Proses pemurnian metana dari biogas menggunakan larutan NaOH dan KOH. Seminar Nasional Fundamental Dan Aplikasi Teknik Kimia, Surabaya. ITS ISSN 1410-5667
90. A Indrianingsih, K Nisa, S Wahono, **R Maryana** et al. (2007). Analisis Residu Pestisida dalam Tanah dan Umbi Bawang Merah di Lahan Pasir Sanden, Bantul, Yogyakarta dengan Kromatografi Gas. Nasional Rekayasa Kimia Dan Proses. ISSN : 1411–4216

Paten

91. Komposisi bahan baku piroteknik dari pati sagu dan produk yang dihasilkannya. P00202311481. Paten terdaftar
92. Sintesis nitroselulosa berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit (tkks) dan produk yang dihasilkannya. P00202311482. Paten terdaftar
93. Komposisi dan proses pembuatan nitroselulosa berbahan dasar serat pisang. P00202314700. Paten terdaftar.

94. Proses pembuatan asam laktat dari tandan kosong kelapa sawit melalui metode konsolidasi bioproses dengan menggunakan konsorsium bakteri *clostridium thermocellum* dan *lactobacillus delbrueckii*. P00202309779. Terdaftar
95. Proses delignifikasi tandan kosong sawit secara kontinu menggunakan reaktor ulir sebagai bahan baku produksi bioetanol. S00202308267. Paten sederhana, terdaftar
96. Proses depolimerisasi lignin menjadi senyawa monomer aromatik menggunakan katalis Ru-Ni/TiO₂. P00202204464. Terdaftar.
97. Proses delignifikasi tandan kosong sawit menggunakan deep eutectic solvent berbasis asam oksalat dan etilen glikol. P00202211646. Terdaftar
98. Reaktor kontinu tipe ulir dengan pemanas jaket ganda untuk delignifikasi. P00202107075. Terdaftar
99. Biodelignifikasi tongkol jagung menggunakan enzim lakase (lac) dari *Cerrenasp*. P00202004986. Terdaftar
100. Reaktor portabel skala laboratorium untuk menurunkan kadar lignin dari biomassa. S00201911243. Paten sederhana, terdaftar.
101. Proses Pembuatan Selulosa Asetat dari Limbah Agro Industri Kayu Putih (*Melaleuca Lacadendron*) dan Bagas Tebu (*Saccharum Officinarum*). P00201910642. Terdaftar
102. Sediaan Pembalut Luka Berbahan Dasar Bioselulosa Terimpregnasi Perak (AG) Dan Proses Pembuatannya. IDP000079370. Tersertifikasi.
103. Metoda Dan Alat Untuk Meningkatkan Kadar Methana Dalam Biogas. IDP000038082. Tersertifikasi
104. Metode memperoleh biomassa sakarifikasi dengan cairan ionik 1-buthyl 3-metilimidazolium klorida. S00202306716. Paten sederhana, terdaftar
105. Metode menghasilkan biomassa hidrolisis menggunakan cairan ionik cholin acetat. S00202306625. Paten sederhana, terdaftar.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. Anugerah Yuka Asmara, **Roni Maryana**, Parwa Oryzanti, et al. (2021). Mengubah peta jalan produksi bahan bakar bioetanol berbasis tebu di indonesia. Policy Brief BRIN. No 2021-07. ISSN 2502-5015

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama : Roni Maryana
Tempat, Tanggal Lahir : Ciamis, 7 November 1979
Anak ke : 2 dari 2 Bersaudara
Jenis Kelamin : Laki-laki
Nama Ayah Kandung : Drs. H. Romli Syarif, M.M.
Nama Ibu Kandung : Yati Maryati
Nama Istri : Oktaviani
Jumlah Anak : 3 (tiga)
Nama Anak : 1. Rafid Syakir Ogawana
2. Raziq Afham Waldan
3. Rasyada Khaira Shafwa
Nama Instansi : Pusat Riset Kimia, Organisasi Riset
Nanoteknologi dan Material - BRIN
Judul Orasi : Inovasi Teknologi Konversi Biomassa
Lignoselulosa sebagai Sumber Energi
Terbarukan dan Bahan Kimia
Berkelanjutan
Ilmu : Teknik Kimia
Bidang : Teknologi Bioproses
Bidang Kepakaran : Teknologi Konversi Biomassa dan
Biopolimer
No. SK Pangkat
Terakhir : Keputusan Kepala BRIN 232/II.2.3/
KP/2024, tanggal 1 Maret 2024
No. SK Peneliti Ahli
Utama : Keppres No 38/M tahun 2023,
18 September 2023

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN Galuh XXIX	Ciamis/Jawa Barat	1992
2.	SMP	SMP N 2 Ciamis	Ciamis/Jawa Barat	1995
3.	SMA	Sekolah Menengah Analis Kimia	Bogor/Jawa Barat	1999
4.	S1	Universitas Indonesia	Jakarta/Indonesia	2005
5.	S2	Keio University	Tokyo/Japan	2012
6.	S3	University of Tsukuba	Tsukuba/Japan	2017

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama	Bogor, Indonesia	2007
2.	Cleaner Production Technology for Sustainable Development	Shah Alam, Selangor, Malaysia. Organized by SIRIM Berhad	2008
3.	Project Management and Leadership Training for Climate Change	Bogor, Indonesia. Organized by British Council	2008
4.	Training audit internal quality management system for testing/calibration laboratory based on SNI ISO 17025	Yogyakarta, Indonesia. Puslit SMTP LIPI	2017

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
5.	LIPI-NRF (National Research Foundation) exchange program 2018	Hosted by Green Technology Center (GTC), Seoul, Korea	2018
6.	Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Tingkat Lanjutan	Bogor, Indonesia	2018

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
-	-	-	-
-	-	-	-

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	01-01-2010
2.	Peneliti Ahli Muda	01-06-2013
3.	Peneliti Ahli Madya	01-01-2021
4.	Peneliti Ahli Utama	10-10-2023

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Mengikuti training di Malaysia: Cleaner Production Technology for Sustainable Development	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	2008
2.	Melakukan pertukaran periset dengan National Research Foundation di Korea Selatan	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	2017

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	2nd International Conference on Natural Products and Bioresource Sciences	Co-Chairperson	BPTBA LIPI, Yogyakarta, Indonesia	2018
2.	Konferensi Internasional Indonesia Science Expo 2020	General Chair I	LIPI	2020
3.	International Webinar Series Bioethanol Lipi In Collaboration With Mipcon.	Ketua Pelaksana	Puslit Kimia LIPI	2021
4.	Dewan Juri pada National Young Inventors Award (NYIA) ke-14	Anggota	LIPI	2021
5.	Dewan Juri pada National Young Inventors Award (NYIA) ke-15	Ketua	BRIN	2022
6.	Dewan juri Lomba Karya Cipta Teknologi TNI AD	Anggota	TNI AD	2023

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
7.	Dewan Juri Indonesia Research and Innovation Fair	Anggota	BRIN	2024

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Jurnal Selulosa	BBPK Kemenperin	Dewan Redaksi/ Penyunting	2020
2.	Indonesian Journal of Materials Science, JUSAMI	BRIN	Editor	2023– 2024

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Tim kami	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	0
2.	Bersama Penulis Lainnya	90
	Total	90

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	8
2.	Bahasa Inggris	80
3.	Bahasa Lainnya (Jepang)	2
	Total	90

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Dwi Joko Prasetyo, S.T.	Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam LIPI	Ekstraksi selulosa dari biomassa	2019
2.	Eka Triwahyuni, S.T. M.Sc	Pusat Penelitian Kimia LIPI	Pemanfaatan selulosa	2021

Mahasiswa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Eka Fitriana	Universitas Negeri Semarang	Pembimbing tugas akhir S-1	2019
2.	S.U. Hasanah	Universitas Negeri Semarang	Pembimbing tugas akhir S-1	2019
3.	Dede Muhammad Ihsan	UIN Syarif Hidayatullah Jakarta	Pembimbing tugas akhir S-1	2021
4.	Putri Shidatul K	Universitas Brawijaya	Pembimbing tugas akhir S-1	2022
5.	St. Shofiah Aghnani Alfi Laila Fq aghnani	Universitas Brawijaya	Pembimbing tugas akhir S-1	2022
6.	Syifa Luthfia Awwali	Universitas Sebelas Maret, Surakarta	Pembimbing tugas akhir S-1	2022

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
7.	Nanda Sekar Harjanti	Universitas Sebelas Maret, Surakarta	Pembimbing tugas akhir S-1	2022
8.	Muhammad Ghees Labib	Universitas Pertamina	Pembimbing tugas akhir S-1	2022
9.	Farhan Abdurrahman	Universitas Pertamina	Pembimbing tugas akhir S-1	2022
10.	Ina Monica Firsty	Universitas Sebelas Maret, Surakarta	Pembimbing tugas akhir S-2	2022
11.	Mhika Nakashima	Universitas Sriwijaya	Pembimbing tugas akhir S-1	2023
12.	Eja Trio Aji	Universitas Sriwijaya	Pembimbing tugas akhir S-1	2023
13.	Felix Tayon	Universitas Pertahanan	Pembimbing MBKM	2023
14.	Ori Yansa Garia	Universitas Pertahanan	Pembimbing MBKM	2023
13.	Ihsan Maulidin	Telkom University	Pembimbing tugas akhir S-1	2023

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
14.	Hasna Arya Fadilla	Institut Teknologi Sepuluh November	Pembimbing PKL	2023
15.	Wahyu Suradi Pranata Pranata	Universitas Padjajaran	Pembimbing Tugas Akhir S-3	2023
16.	Ardelia Devina	Universitas Pertahanan	Pembimbing tugas akhir S-1	2024
17.	Tasrikin Agustianto	Universitas Indonesia	Pembimbing tugas akhir S-2	2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia	2013–2014
2.	Anggota	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	2018–2019
3.	Anggota	Himpenindo/Persatuan Periset Indonesia	2018–sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Best 2nd Bachelor thesis	Dept. Chemistry FMIPA - University of Indonesia	2005
2.	International Climate Champion Project - British Council	British council	2009

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
3.	Inventor Award atas paten no IDP000038082	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	2015
4.	Juara I Lomba Karya Tulis Inovatif 2022 Tingkat Nasional	Pemerintah Kota Tangerang	2022
5.	Peneliti terbaik Pusat Riset Kimia- BRIN untuk jenjang Peneliti Ahli Utama	Pusat Riset Kimia BRIN	2023
6	Juara ke-2 PPI Researcher Award untuk kategori peneliti tahun 2024	PPI	2024

Orasi ini berfokus pada pengembangan senyawa berbasis biomassa lignoselulosa sebagai sumber energi terbarukan dan bahan kimia berkelanjutan. Pengembangan ini menawarkan prospek yang menjanjikan untuk masa depan serta mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya dalam bidang energi bersih, industri berkelanjutan, dan perubahan iklim. Dengan inovasi dalam teknologi pemrosesan, pengembangan senyawa berbasis lignoselulosa tidak hanya membuka peluang ekonomi hijau tetapi juga mendorong transformasi industri menuju masa depan yang lebih ramah lingkungan.

Ada tiga poin penting yang dibahas dalam orasi ini. Pertama, tahap perlakuan awal pada biomassa. Tahap ini sangat penting sebelum biomassa dikonversi menjadi produk bernilai tinggi, seperti bioetanol, *dissolving pulp*, selulosa asetat, dan senyawa turunan lignin. Teknologi perlakuan awal yang berkembang saat ini, seperti metode fisik, kimia, biologis serta kombinasinya, membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi proses delignifikasi.

Kedua, jumlah lignin di dalam proses delignifikasi. Lignin telah diketahui menjadi faktor penting yang menentukan efektivitas pemisahan komponen biomassa. Selain itu, ternyata jenis monomer penyusunnya memainkan peran penting dalam pemisahan dan konversi biomassa. Proses penghilangan *residual lignin* dengan metode *bleaching* menggunakan *Totally Chlorine Free* (TCF) merupakan langkah lanjut dari proses *Elementary Chlorine Free* (ECF) dan menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan untuk ekstraksi selulosa.

Ketiga, pemilihan reaktor yang tepat. Hal ini sangat penting untuk memastikan efisiensi, kualitas produk, dan pengendalian proses yang optimal. Reaktor portabel skala laboratorium untuk menurunkan kadar lignin secara paralel pada beberapa biomassa dan reaktor *pretreatment* kontinu yang menggunakan sistem *screw* ekstruksi merupakan *state of the art* naskah orasi ini.

