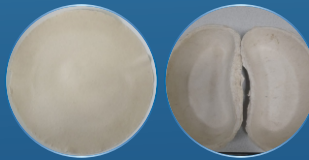


**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG TEKNOLOGI BIOPROSES**

**TEKNOLOGI KONVERSI
BIOMASSA UNTUK
PENGEMBANGAN BIOPRODUK
BERBASIS SELULOSA DAN LIGNIN
SEBAGAI SUMBER ENERGI
TERBARUKAN DAN MATERIAL
BERKELANJUTAN**



pulp biomedis



lignin daun tebu

**OLEH:
WIDYA FATRIASARI**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 25 NOVEMBER 2022**

**TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA UNTUK
PENGEMBANGAN BIOPRODUK BERBASIS
SELULOSA DAN LIGNIN SEBAGAI SUMBER
ENERGI TERBARUKAN DAN MATERIAL
BERKELANJUTAN**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

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



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (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/>



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG TEKNOLOGI BIOPROSES**

**TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA UNTUK
PENGEMBANGAN BIOPRODUK BERBASIS
SELULOSA DAN LIGNIN SEBAGAI SUMBER
ENERGI TERBARUKAN DAN MATERIAL
BERKELANJUTAN**

OLEH:
WIDYA FATRIASARI

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 25 NOVEMBER 2022**

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Teknologi Konversi Biomassa Untuk Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa dan Lignin
Sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Material Berkelanjutan/Widya Patriasari–Jakarta:
Penerbit BRIN, 2022.

xi + 100 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8052-26-4 (cetak)
978-623-8052-27-1 (e-book)

1. Konversi Biomassa
3. Lignin

2. Selulosa
4. Bioproduk




662.8

Copy editor : Mayasuri Presilla
Proofreader : Sarah Fairuz
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Cetakan : November 2022



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B. J. Habibie, Jl. M. H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: 0811-8612-369
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN
 Penerbit_BRIN
 penerbit_brin

BIODATA RINGKAS



Widya Fatriasari, lahir di Trenggalek, 8 Desember 1977, merupakan anak kedua dari Bapak Samsuri dan Ibu Istiyah (almh). Menikah dengan Subur Prayitno, S.E. dan dikaruniai empat orang anak, yaitu Arkananta Harya Pradyanegara, Audrey Belinda Pradyanegara, Aretha Nathania Pradyanegara, dan Ardhana Khafidz Pradyanegara.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 29/M/ Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional 317/I/HK/2022 tanggal 3 November 2022 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Kedunglurah I Trenggalek, Tahun 1990; Sekolah Menengah Pertama Negeri Pogalan Trenggalek, tahun 1993; dan Sekolah Menengah Atas Negeri Durenan Trenggalek, tahun 1996. Memperoleh gelar sarjana kehutanan dari Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 2001, gelar Magister Manajemen dari Magister Manajemen Agribisnis IPB tahun 2004, dan gelar Doktor bidang Teknologi Serat dan Komposit dari Sekolah Pasca Sarjana IPB tahun 2014.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya baik nasional dan internasional, antara lain pela-

tihan Jastip di Jepang (2016 dan 2017), pelatihan paten dasar dan lanjut di Serpong (2016 dan 2018), pelatihan penulisan ilmiah di Cisarua (2010), dan pelatihan analisis statistik di Cibinong (2016).

Pernah menjadi tim Perencanaan dan Monitoring (PME) tingkat Kedeputan Ilmu Pengetahuan Hayati (IPH)-LIPI (2017–2020) dan Ketua tim PME Pusat Penelitian (Puslit) Biomaterial LIPI (2020). Menjadi tim Penilai Jabatan Fungsional Peneliti (TP2U) Pusris Biomassa dan Bioproduk (2016–2021), tim asesor peneliti (2019–sekarang) dan tim *ad hoc* manajemen talenta BRIN (2022). Sejak tahun 2019 menjadi ketua kelompok penelitian di Pusris Biomassa dan Bioproduk BRIN.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Muda tahun 2009, Peneliti Ahli Madya IV/a tahun 2015, dan pada tahun 2020 memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama IV/d bidang Teknologi Bioproses.

Telah menghasilkan 152 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku nasional, buku internasional, jurnal internasional dan nasional, prosiding internasional dan nasional, publikasi lainnya, 20 paten terdaftar, satu hak cipta, satu desain industri, satu paten tesertifikasi, satu modul pelatihan, dan memiliki satu lisensi.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Pusris Biomaterial; pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Pakuan, Sekolah Tinggi MIPA, Institut Pertanian Bogor, Universitas Brawijaya, dan Universitas Jambi; pembimbing tesis (S-2) pada Institut Pertanian Bogor; pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas

Diponegoro dan Universitas Mulawarman; serta penguji disertasi (S-3) pada Institut Pertanian Bogor.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah sebagai anggota Masyarakat Perkelapasawitan Indonesia (MAKSI), Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI), Asosiasi Alumni JSPS Indonesia (JAAI), dan Himpenindo.

Menerima penghargaan dalam perolehan paten terbanyak tingkat LIPI periode 2020–2021 pada tahun 2021, penghargaan peneliti muda berprestasi (Himpenindo Award) pada tahun 2021, dan penghargaan Satyalancana Karya Satya X tahun dari Presiden RI pada tahun 2016.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
PRAKATA PENGUKUHAN	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
II. PERKEMBANGAN PENELITIAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA	4
2.1 Potensi, Jenis, dan Karakter Biomassa di Indonesia	4
2.2 Perkembangan Penelitian Konversi Biomassa	7
III. PENGEMBANGAN BIOPRODUK BERBASIS SELULOSA DAN LIGNIN	14
3.1 Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa	14
3.2 Pengembangan Bioproduk Berbasis Lignin	21
IV. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOPRODUK BERBASIS SELULOSA DAN LIGNIN	27
V. KESIMPULAN.....	31
VI. PENUTUP	32
UCAPAN TERIMAKASIH.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN	51
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	63
DAFTAR PATEN.....	82
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	85
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	86

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur kehadirat 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 (BRIN).

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

**“TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA UNTUK
PENGEMBANGAN BIOPRODUK BERBASIS
SELULOSA DAN LIGNIN SEBAGAI SUMBER ENERGI
TERBARUKAN DAN MATERIAL BERKELANJUTAN”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama dan bahan kimia dunia. Penurunan kontribusi energi berbasis bahan bakar fosil mendorong pemanfaatan energi terbarukan non fosil yang ramah lingkungan^{1,2}. Tercatat, kontribusi material dan bahan kimia dari bahan alam yang dapat diperbaharui sebesar 20% dari tahun 2005 sampai 2030¹. Pada tahun 2025 diperkirakan defisit bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia mencapai 67,956 juta barel² yang dipenuhi dengan impor³. Di sisi lain, pertumbuhan penduduk semakin mendorong peningkatan kebutuhan bahan bakar fosil. Berdasarkan situasi tersebut maka perlu dikembangkan sumber-sumber energi alternatif di Indonesia, seperti energi matahari, energi air, energi angin, energi panas bumi, dan energi biomassa. Biomassa merupakan sumber energi potensial yang ketersediaannya berlimpah. Selain sebagai sumber material, biomassa juga merupakan sumber bahan kimia berkelanjutan yang berperan untuk mengatasi krisis energi dunia. Namun, pemanfaatan biomassa menghadapi tantangan dari segi teknologi dan dukungan kebijakan. Teknik konversi biomassa menjadi energi terbarukan dan material berkelanjutan berperan penting dalam pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi bioproduk bernilai ekonomi di masa depan. Studi mengenai jenis biomassa, karakter, dan berbagai sifatnya sangat penting untuk mengetahui berbagai aspek keberlanjutan pemanfaatannya.

Peningkatan efisiensi proses konversi biomassa yang diusulkan adalah konsep kilang hayati. Menurut *International Energy Agency* (IEA), konsep kilang hayati yang merupakan pengolahan biomassa dari hulu, tengah, sampai ke hilir secara berkelanjutan melingkupi aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial dalam siklus hidup biomassa untuk menghasilkan sejumlah produk dan ener-

gi yang dapat dikomersialkan⁴. Konsep ini menyatakan bahwa selain hasil utama, hasil samping dari proses praperlakuan dapat dimanfaatkan menjadi bioproduk pendamping (Gambar 1). Kelebihan kilang hayati ini adalah dapat diproduksinya bioproduk dari limbah disamping produksi bioenergi generasi kedua, seperti bioetanol berbasis biomassa. Hal ini sejalan dengan arah pengembangan Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2015–2035⁵ yang menekankan bahwa industri hulu agro termasuk sebagai industri yang dikembangkan oleh pemerintah (Gambar 2). Biomassa berperan penting sebagai bahan baku di industri hulu agro. Jenis industri prioritas tahun 2020–2024 dari biomassa yang potensial dikembangkan, yaitu industri kemurgi termasuk bioetanol dari limbah biomassa, serta *aromatic building blocks* berbasis lignin. Untuk keberlangsung industri ini diperlukan integrasi dengan industri utamanya.

Dalam dua dekade terakhir, penelitian teknologi kilang hayati yang efektif terus tumbuh, yang bertujuan untuk meningkatkan rendemen, penciptaan teknologi lebih ramah lingkungan, dan penurunan aspek biaya. Tahapan penting dalam proses konversi biomassa menjadi bioproduk berbasis selulosa dan lignin adalah fraksionasi/praperlakuan, hidrolisis, fermentasi, dan peningkatan mutu. Fraksionasi merupakan pemecahan struktur kompleks biomassa untuk menghasilkan biopolimer selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Selulosa merupakan biopolimer terbesar dari biomassa yang melimpah sehingga mendorong terus tumbuhnya pengembangan bioproduk turunan selulosa sebagai energi terbarukan, sumber material baru, dan bahan kimia lainnya. Lignin merupakan biopolimer kedua terbesar setelah selulosa yang dapat diperoleh dari hasil samping fraksionasi biomassa yang potensial sebagai sumber biomaterial yang murah⁶. Namun, di Indonesia pemanfaatannya belum optimal karena 95%-nya dibakar sebagai sumber energi boiler dalam industri pulp dan kertas⁷.

Kompleksitas struktur, sifat, dan reaktivitas lignin yang terbatas memerlukan teknologi isolasi dan konversi lignin secara tepat.

Kontribusi pengembangan teknologi paperlakuan yang telah dikembangkan melalui pendekatan, berupa paperlakuan tunggal dan kombinasi. Paperlakuan kombinasi biologis dan gelombang mikro, teknologi hidrolisis gelombang mikro dengan karbon aktif yang diaktivasi, dan hidrolisis enzimatis dengan biosurfaktan, biopulping, dan pemasakan kimia termasuk ke dalam pendekatan teknologi yang telah dilakukan dalam konversi selulosa menjadi gula, bioetanol, pulp, kertas, papan serat berkerapatan sedang, dan pulp biomedis. Di sisi lain, teknologi ekstraksi lignin dengan rendemen dan kemurnian tinggi, modifikasi sintesis nano lignin, dan teknologi sintesis bioproduk berbasis lignin terus dilakukan. Sampai saat ini telah dilakukan perbaikan teknologi isolasi lignin, sintesis nano lignin, dan pengembangan sintesis biosurfaktan secara lebih sederhana untuk meningkatkan efektivitas kinerja hidrolisis enzimatis dan sintesis lignosulfonat sebagai material aditif tahan api dan aditif beton.

Dalam naskah orasi ini juga diuraikan biomassa sebagai bahan baku alternatif potensial untuk bioproduk berbasis selulosa dan lignin, serta sebagai sumber energi terbarukan dan biomaterial berkelanjutan melalui pendekatan konsep kilang hayati. Upaya ini dapat menjadi penguatan pemanfaatan hasil samping limbah industri dan meningkatkan nilai ekonomi limbah biomassa. Bioproduk berbasis lignin dan selulosa hasil konversi biomassa berpeluang sebagai substitusi produk berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan dan semakin menipis ketersediaannya.

II. PERKEMBANGAN PENELITIAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA

Teknologi konversi biomassa berperan penting dalam mengonversi biomassa menjadi bioproduk bernilai tambah. Bab ini mengungkapkan potensi, jenis, dan karakter biomassa di Indonesia dan perkembangan penelitian teknologi konversi biomassa untuk pengembangan bioproduknya.

2.1 Potensi, Jenis, dan Karakter Biomassa di Indonesia

Berbagai jenis biomassa lignoselulosa, baik dari tumbuhan berkayu maupun non kayu tersedia dengan berbagai jumlah, yang tersebar di berbagai lokasi di wilayah Indonesia. Tiga sumber biomassa utama berasal dari perkebunan, pertanian, dan kehutanan. Sumber biomassa dari hutan tanaman industri (HTI), seperti akasia, tersedia sebanyak 32,68 juta m³ untuk bahan baku industri pulp dan kertas⁸. Pada proses produksi pulp, diperoleh hasil samping berupa lindi hitam yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi di industri dan sebagian untuk bioproduk⁹. Sumber biomassa lain yang melimpah namun belum memanfaatkan secara optimum, salah satunya adalah bambu. Bambu merupakan tanaman yang termasuk dalam famili *gramineae* dengan kemampuan fotosintesis efisien dan cepat tumbuh, dengan produksi nasional mencapai 17 juta batang⁸ per tahun pada tahun 2019.

Biomassa residu pertanian, seperti tangkai, tunggul/bonggol singkong, tongkol jagung, dan batang jagung, serta jerami padi dengan jumlah sekitar 70,85 juta ton per tahun¹⁰ cukup potensial untuk dimanfaatkan. Biomassa residu perkebunan yang potensial, antara lain tandan kosong kelapa sawit (TKKS), daun tebu, bagas tebu, dan bagas sorghum. TKKS merupakan dari

hasil samping pengolahan pada industri kelapa sawit¹¹. Sekitar 17,6 juta ton TKKS basah atau 5,29 juta ton TKKS kering dapat diproduksi setiap tahun di Indonesia¹². Bioproduk dari TKKS yang telah dicoba dikembangkan, antara lain bioplastik, komposit, biogas, bioetanol, dan lain-lain. Tanaman tebu merupakan biomassa perkebunan yang terdiri dari 60% batang, 30% pucuk daun, dan 10% daun. Menurut FAO¹³, tercatat sebanyak 21,212 juta ton tebu diproduksi pada tahun 2017. Dari jumlah tersebut, bagas tebu yang potensial diperoleh adalah 1,91 juta ton. Daun tebu juga merupakan limbah biomassa yang jumlahnya mencapai 15% dari total biomassa ketika pemanenan atau sekitar 10–15 ton berat kering per hektarnya¹⁴, yang berpotensi dikonversi menjadi bioproduk, seperti bioetanol, komposit, pulp dan kertas, dan xilitol.

Beberapa jenis biomassa telah menunjukkan kelimpahannya, namun terkendala efisiensi pemanfaatan karena sebarannya, kecuali biomassa yang merupakan hasil samping industri, seperti TKKS dan bagas tebu. Hal ini menyebabkan diperlukannya tambahan biaya pengangkutan ke tempat pemrosesan. Selain itu, terjadi variabilitas kualitas dari biomassa³. Oleh karena itu, untuk menjamin ketersediaan secara kontinu maka perlu ditentukan jenis, lokasi, dan teknologi konversi yang lebih tepat. Integrasi aktivitas dengan industri target yang sudah berjalan merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan.

Dalam struktur biomassa, masing-masing komponen biomassa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin memiliki fungsi yang saling mendukung. Ketiga polimer tersebut saling berikatan secara kompleks sebagai struktur dasar tumbuhan¹⁵. Selulosa mendominasi sekitar 40–50% dengan ikatan rantai linier yang kuat melalui ikatan β (1 \rightarrow 4). Selulosa terdiri dari 2/3 bagian kristalin yang mikrofibrilnya memiliki ikatan yang

kuat dan teratur, serta bagian amorf yang tidak teratur sehingga mudah dihidrolisis pada proses konversi. Hemiselulosa memiliki struktur rantai bercabang, yang merupakan komponen ketiga terbesar (15–30%) setelah selulosa dan lignin. Keduanya berikatan dengan hemiselulosa atau LCC (*lignin carbohydrate complex*) sebagai perekat yang membentuk mikrofibril untuk meningkatkan stabilitas dinding sel. Kadar hemiselulosa yang tinggi berkorelasi positif terhadap serapan air dan biodegradasi¹⁶. Lignin merupakan polimer dengan struktur aromatik kompleks dengan ikatan dominan berupa ikatan arylglycerol- β -aryl ether hingga mencapai 50–60%. Di dalam dinding sel, lignin berikatan dengan hemiselulosa melalui ikatan ester dan berfungsi sebagai perekat sehingga tumbuhan dapat tegak berdiri.

Kadar komponen kimia biomassa bervariasi dalam satu famili¹⁷, bahkan dalam satu jenis yang sama¹⁸. Perbedaan lokasi, kondisi tempat tumbuh^{19,20}, faktor geografis, metode isolasi²¹, umur, serta posisi aksial²² dan lateral¹⁹ memengaruhi variasi kadar komponen tersebut. Tabel 1 menunjukkan kadar komponen kimia beberapa biomassa yang relatif banyak ditemukan di Indonesia serta estimasi potensi jumlah ketersediaan biomassa tersebut untuk menghasikan biopolimer dan bioproduk. Misalnya, untuk TKKS dengan jumlah produksi 2,9 juta ton akan diperoleh selulosa 1,25 juta ton, hemiselulosa 0,77 juta ton, dan lignin 0,55 juta ton. Melalui faktor konversi selulosa menjadi monomer gula sebesar 1,11 dan hemiselulosa ke monomer gula sebesar 1,14²³ maka potensi gula yang dapat diperoleh dari TKKS adalah 1,38 juta ton dari selulosa dan 0,88 juta ton dari hemiselulosa. Dengan demikian, jika semua dikonversi menjadi etanol, potensi yang dapat diproduksi dari masing-masing adalah sebesar 0,70 juta kL (kilo liter) dan 0,44 juta ton, dengan asumsi faktor konversi gula menjadi etanol 0,5. Secara umum, studi mengenai jenis, karakter, struktur, fungsi, dan potensi biomassa

lokal Indonesia, baik berupa limbah maupun non limbah belum banyak dilakukan.

2.2 Perkembangan Penelitian Konversi Biomassa

Konversi biomassa merupakan upaya untuk mengonversi atau mengubah biomassa sebagai sumber bahan baku menjadi bio-produk (baik produk antara maupun produk akhir) melalui de-konstruksi struktur dan fraksionasi biomassa, yang dilanjutkan dengan sintesis dan peningkatan karakteristik. Biomassa asal tumbuhan yang dapat menjadi sumber bahan baku dapat berupa biomassa berpati, bergula, dan biomassa berlignoselulosa. Secara umum, konversi biomassa berpati dan bergula memerlukan tahapan yang lebih pendek dibandingkan dengan biomassa berlignoselulosa. Hal ini terkait dengan struktur biomassa berlignoselulosa yang lebih kompleks dibandingkan dengan bahan berpati.

Beberapa jenis teknologi konversi untuk menghasilkan energi dan bioproduk²⁴ adalah (1) konversi dengan panas, dengan atau tanpa kehadiran oksigen, misalnya pembakaran langsung (kehadiran oksigen), pirolisis, dan torefikasi (tanpa atau dengan sedikit oksigen); (2) konversi biokimia yang melibatkan enzim, bakteri, dan mikroba untuk memecah biomassa menjadi gas atau cair, termasuk *digestion* anaerobik dan fermentasi; (3) konversi termokimia dengan proses pirolisis, gasifikasi, pembakaran, dan liquifikasi; (4) konversi fisika-kimia, yaitu ekstraksi (dengan esterifikasi); dan (5) konversi kimia menggunakan agen kimia untuk konversi biomassa ke fraksi cair. Pemilihan jenis teknologi yang digunakan dipengaruhi oleh jenis, jumlah, karakteristik bahan baku, target hasil praperlakuan, permintaan pengguna,

regulasi lingkungan, faktor ekonomi, lokasi, dan faktor-faktor spesifik proses²⁴.

Teknologi konversi biomassa umumnya untuk mentransformasi biomassa dari fase padat menjadi fase cair atau menjadi fase gas. Bioetanol merupakan hasil konversi fase padat menjadi fase cair. Gas sintetik (*syngas*) merupakan contoh transformasi biomassa fase padat menjadi gas untuk energi. Pada naskah ini, penelitian yang telah dilakukan difokuskan pada berbagai teknologi konversi biomassa menjadi bioproduk turunan selulosa dan lignin. Dalam konteks konversi biomassa, fraksinasi biomassa atau praperlakuan merupakan tahap awal yang penting dalam proses konversi biomassa menjadi bioenergi, bahan kimia, dan bioproduk lainnya. Praperlakuan yang telah dilaporkan sebelumnya, yaitu fisika, mekanis, kimia, biologis, atau kombinasi metode-metode tersebut^{4,25} dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing. Tabel 2 merangkum jenis praperlakuan biomassa, efek, keunggulan, dan kelemahannya.

Pada dasarnya praperlakuan ditujukan untuk membuka struktur kompleks lignoselulosa sehingga hambatan struktural dalam pemanfaatan polimer penyusunnya lebih mudah. Dalam skala laboratorium, berbagai pilihan proses penyediaan selulosa dapat dilakukan, namun yang telah diterapkan pada skala komersial adalah praperlakuan delignifikasi kimia, misalnya proses kraft dengan sumber bahan baku utama kayu daun lebar. Proses ini sudah diterapkan sejak lama di industri pulp dan kertas, dan mendominasi penyediaan 75% pulp kimia secara global²⁶. *Pulping* soda pernah diterapkan untuk produksi pulp dari jerami, namun saat ini sudah tidak berjalan secara komersial. Selain itu, praperlakuan dengan asam encer dan *steam explosion* (eksplosi uap) juga telah digunakan secara komersial²⁷. Hasil samping praperlakuan asam encer yang umum digunakan (asam

sulfat), seperti furfural dan 5-hydroxyl methyl furfural (5-HMF), berpotensi menghambat proses fermentasi, dapat menghasilkan zat yang dapat mencemari lingkungan, dan menimbulkan korosi pada peralatan proses³. Oleh karena itu, asam organik, seperti asam oksalat atau asam maleat, telah coba diterapkan sebagai alternatifnya^{11,12,14,28}.

Dari berbagai jenis teknologi praperlakuan tersebut, pemilihan jenis praperlakuan tergantung pada target akhir yang ingin diperoleh. Oleh karena itu, pemilihan jenis praperlakuan yang tepat menentukan proses selanjutnya. Keragaman sumber biomassa menyebabkan tidak semua praperlakuan cocok untuk keseluruhan. Dengan kata lain, tidak ada metode umum yang berlaku untuk seluruh biomassa⁴. Praperlakuan, seperti ultrasonifikasi, iradiasi sinar gamma, iradiasi gelombang mikro, dan hidrotermal *liquid hot water* (LHW), masih terus dikembangkan²⁹. Beberapa tahun terakhir, praperlakuan cenderung berupa kombinasi metode praperlakuan yang ada. Hal ini sebagai upaya memadukan keunggulan beberapa metode dan mengurangi kelemahan metode yang lain. Iradiasi gelombang mikro cukup menarik dikembangkan karena waktu proses yang singkat, melingkupi seluruh substrat, dan dapat menghindari *over heating* pada bagian permukaan substrat³⁰. Praperlakuan iradiasi gelombang mikro pada berbagai variasi waktu dan suhu tanpa katalis telah dicoba pada bambu betung. Kondisi praperlakuan yang semakin keras dapat menyebabkan peningkatan kehilangan karbohidrat, kadar siringil lebih rendah dibandingkan guaiasil, dan peningkatan kristalinitas pada biomassa³¹.

Pada produksi bioetanol, hidrolisis merupakan tahap selanjutnya setelah praperlakuan untuk memecah selulosa dari tahap praperlakuan menjadi selobiosa selanjutnya menjadi gula sederhana, yaitu glukosa. Hidrolisis dapat dilakukan secara enzimatis

dengan enzim, seperti selulase atau dengan asam, sehingga secara keseluruhan kebutuhan biaya proses cukup tinggi, yang mempengaruhi biaya produk akhir. Pada umumnya, produksi etanol lebih terkonsentrasi pada konversi selulosa menjadi etanol dengan enzim pendegradasi selulosa.

Metode hidrolisis asam umumnya menggunakan asam konsentrasi rendah/encer pada suhu dan tekanan tinggi dalam waktu singkat. Selain itu, bisa juga dilakukan hidrolisis asam konsentrasi tinggi pada suhu rendah dan tekanan tertentu untuk memompa bahan antar alat³² yang memerlukan waktu yang lebih lama⁴. Hidrolisis non-enzimatis tidak spesifik karena glukosa dapat menghasilkan produk samping senyawa furan, fenolik, dan asam asetat³³ yang perlu dihilangkan karena dapat mempengaruhi kinerja fermentasi. Berbagai upaya detoksifikasi bisa dilakukan, salah satunya dengan penambahan zat penjerap, seperti karbon aktif. Karbon aktif terbukti dapat menurunkan absorbansi senyawa coklat dalam fraksi cair hasil samping pra-perlakuan^{30,34}. Hidrolisis enzimatis yang lebih spesifik umumnya lebih disukai dibandingkan hidrolisis asam yang tidak spesifik dan menimbulkan zat inhibitor.

Fermentasi gula sederhana, yaitu glukosa yang dihasilkan pada tahap hidrolisis enzimatis merupakan tahapan proses selanjutnya setelah hidrolisis dalam proses sakarifikasi dan fermentasi secara terpisah (SHF). Satu unit glukosa menghasilkan dua molekul etanol dan dua molekul karbondioksida (CO₂)³⁵. Khamir *Saccharomyces cerevisiae* umumnya digunakan dalam proses fermentasi glukosa, sedangkan fermentasi xilosa menjadi etanol menggunakan khamir *Pichia stipitis* atau *Candida shehatae*³⁵. Selain SHF, juga dikenal hidrolisis dan fermentasi secara serentak (SSF) menggunakan enzim selulase atau mikroba berupa jamur penghasil enzim selulase (*Trichoderma reesei* atau *T.*

viride) dan khamir *S. cerevisiae*. Tingkat toleransi SSF terhadap senyawa *inhibitor* lebih tinggi dibandingkan dengan SHF³⁶. Proses fermentasi, SHF ataupun SSF, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan proses fermentasi.

Sampai saat ini, produksi bioetanol generasi kedua masih terkendala keekonomiannya. Pabrik bioetanol yang beroperasi pada berbagai negara belum sepenuhnya komersial⁴ karena panjangnya tahapan proses. Efisiensi biaya produksi dapat dilakukan melalui konsep kilang hayati dengan pemanfaatan hasil samping praperlakuan. Suatu upaya penerapan kilang hayati yang sedang dikembangkan adalah konversi biomassa daun tebu (skema proyek e-Asia). Dalam penerapan ini, daun tebu difraksionasi secara bertahap dengan asam, dilanjutkan dengan basa untuk produksi selulosa dengan fraksi cair kaya lignin sebagai hasil sampingnya. Lignin kemudian diisolasi dengan asam maupun dioksan, yang selanjutnya disintesis menjadi biosurfaktan dan ditambahkan dalam hidrolisis pulp hasil praperlakuan basa. Kajian lebih lanjut adalah tekno ekonomi dan pendekatan *Social Life Cycle Assessment (LCA)*.

Optimasi proses dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses hidrolisis dan fermentasi, seperti penambahan surfaktan komersial maupun biosurfaktan nonkomersial dalam proses hidrolisis. Biosurfaktan dapat meningkatkan rendemen gula pereduksi karena penurunan absorpsi nonproduktif enzim oleh lignin pada proses hidrolisis^{9,37,38}. Selain itu, dapat dilakukan *co-fermentation* simultan (SSF dikombinasikan dengan *co-fermentation* SSCF) bioproses terkonsolidasi (*consolidated bioprocessing/CBP*). Pada CBP, produksi enzim untuk menghidrolisis karbohidrat berlangsung secara terintegrasi dengan proses sakarifikasi dan fermentasi³⁹. Fermentasi dan

co-fermentation terjadi secara simultan dalam SSCF pada pentosa dan heksosa dalam satu reaktor. *S. cerevisiae* dan *Z. mobilis* umumnya digunakan untuk *co-fermentation* glukosa dan xilosa pada proses SSCF⁴⁰.

Penggunaan substrat dengan konsentrasi yang tinggi dilakukan untuk meningkatkan konsentrasi gula⁴¹, sedangkan pemanfaatan khamir semi toleran dilakukan untuk mempercepat SSF pada suhu optimum hidrolisis dan teknologi *arming yeast*⁴², di mana sakarifikasi dan fermentasi bisa dilakukan dalam satu tempat merupakan beberapa hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses hidrolisis dan fermentasi. Selain itu, integrasi hidrolisis dan separasi etanol dari *culture broth* juga dapat dilakukan³⁹.

Berbagai jenis biomassa lignoselulosa memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai bioetanol, namun perlu diperhatikan karakteristik komponen kimianya. Untuk pemanfaatan menjadi bioetanol, lebih disukai biomassa berkadar selulosa tinggi dengan lignin rendah. Pilihan proses praperlakuan, hidrolisis, bahkan fermentasi tergantung pada target akhir yang ingin diperoleh. Enzim sampai saat ini merupakan komponen biaya produksi terbesar dalam tahap hidrolisis. Enzim tersebut sebagian besar masih diimpor sehingga pengembangan enzim di dalam negeri ke depannya dapat berperan menurunkan biaya proses. Berbagai bioproduk dapat dikembangkan dari pengolahan hasil samping proses praperlakuan atau diaplikasikan langsung untuk meningkatkan efisiensi proses hidrolisis, seperti biosurfaktan berbasis lignin. Namun demikian, adaptasi terhadap kondisi sebenarnya dari hasil teknologi yang dikembangkan di laboratorium masih perlu dikaji karena perlu penyesuaian dengan kondisi riil. Komersialisasi bioproduk energi terbarukan dan material berkelanjutan berbasis biomassa masih menjadi

tantangan semua pihak yang terlibat dalam pengembangan teknologi konversi biomassa.

Teknologi konversi biomassa telah menunjukkan peranan penting dalam menghasilkan berbagai bioproduk, namun efisiensinya belum optimal. Penerapan konsep kilang hayati merupakan upaya meningkatkan efisiensi dengan dihasilkannya *co-product* bersamaan dengan bioetanol generasi dua. Perkembangan terbaru adalah penerapan konsep ekonomi sirkular pada kilang hayati berbasis biomassa, serat alam, sektor pertanian dengan prinsip mengurangi, menggunakan kembali, mengolah kembali, dan menggantikan produk yang ada^{43,44}. Konsep ini bermanfaat bagi keseimbangan lingkungan, ekonomi, aspek sosial masyarakat, dan mengurangi konsumsi energi selama proses pengolahan. Hal ini menjadi tantangan industri dan membuka kesempatan komersialisasi bioproduk berbasis biomassa sesuai permintaan konsumen⁴⁴⁻⁴⁶.

III. PENGEMBANGAN BIOPRODUK BERBASIS SELULOSA DAN LIGNIN

Berbagai bioproduk berbasis lignin dan selulosa telah dikembangkan melalui penerapan teknologi konversi biomassa. Teknologi isolasi lignin dan selulosa merupakan tahapan awal untuk menyediakan lignin dan selulosa sehingga siap dikonversi menjadi bioproduk turunannya.

3.1 Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa

Selulosa merupakan biopolimer utama dari biomassa lignoselulosa yang prospektif sebagai sumber energi terbarukan dan material berkelanjutan. Pada subbab ini diuraikan kontribusi pengembangan teknologi konversi biomassa yang telah dilakukan untuk mengisolasi selulosa dan pengembangan bioproduk berbasis selulosa.

3.1.1 Pengembangan Teknologi Isolasi Selulosa

Pada konversi biomassa untuk pulp, kertas, papan serat berkepadatan sedang, maupun bioetanol, komponen struktural yang dimanfaatkan adalah selulosa dan hemiselulosa sehingga kehadiran lignin perlu diminimalkan, kecuali ditujukan untuk kertas karton. Hal ini karena lignin dapat menyebabkan ikatan serat yang kurang baik pada proses pembuatan kertas yang menyebabkan kekakuan dan warna kuning pada kertas. Parameter umum untuk evaluasi kualitas pulp adalah bilangan kappa, rendemen pulp, dan selektivitas delignifikasi. Setelah praperlakuan, dilakukan evaluasi pengaruhnya terhadap perubahan struktur biomassa yang berperan dalam meningkatkan efektivitas proses

konversi. Lamanya waktu praperlakuan biologis masih menjadi tantangan untuk kelayakan penerapan pada skala lebih besar.

Beberapa teknologi ekstraksi selulosa yang telah dikembangkan untuk pembuatan pulp, kertas, dan papan serat berkepadatan sedang, antara lain biologis-kimia (jamur pelapuk putih kultur tunggal/campuran), kombinasi delignifikasi kimia (kraft/soda/soda panas terbuka), dan delignifikasi kimia (kraft, soda, dan soda panas terbuka). Praperlakuan untuk produksi gula dan bioetanol meliputi praperlakuan biologis dengan jamur pelapuk putih dan coklat, hidrotermal (gelombang mikro, LHW, autoklaf), fisika-kimia (*milling*-gelombang mikro, LHW, autoklaf), biologis-fisik kimia (jamur pelapuk putih-gelombang mikro), dan fisik-kimia (*milling*-gelombang mikro-katalis asam/basa, kraft, soda). Berdasarkan pemanasannya, terdapat dua metode, yaitu iradiasi gelombang mikro dan konvensional (digester, LHW, autoklaf).

Biopulping digunakan untuk produksi pulp dan kertas dengan mengombinasikan praperlakuan jamur pelapuk putih (kultur tunggal⁴⁷⁻⁵⁰ maupun campuran⁵¹) dengan praperlakuan kimia (kraft, soda, soda panas terbuka). Jamur pelapuk putih (*Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, dan *Schizophyllum commune*)⁴⁷⁻⁵⁵ menyekresikan enzim lignolitik untuk mendelignifikasi lignin sehingga kadar lignin menurun. Praperlakuan biologis dapat berperan menurunkan energi yang dibutuhkan dalam proses *pulping*. Meskipun energi yang dibutuhkan praperlakuan biologis relatif rendah, namun waktu kerja efektifnya cukup panjang, yaitu 15-45 hari. Kultur tunggal, *T versicolor*, memiliki selektifitas delignifikasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan jamur lainnya dengan waktu inkubasi 30 hari, yang memiliki sifat pulp kraft relatif baik^{48,49}. Untuk memperoleh pulp bio-semi kimia yang baik dari

proses soda panas terbuka diperlukan inkubasi 45 hari⁴⁷. Kultur campuran jamur pelapuk putih (*T.versicolor*, *P.ostreatus* dan *P.chrysosporium*) juga berperan meningkatkan kualitas pulp tanpa mengurangi waktu inkubasi yang optimum⁵¹. Namun, biopulping *S.communne* dengan proses soda panas terbuka tidak meningkatkan rendemen pulp, dan menurunkan bilangan kappa pulp bambu secara signifikan⁵⁰.

Praperlakuan dengan jamur dapat membantu meningkatkan efisiensi hidrolisis selulosa menjadi glukosa sebelum fermentasi menjadi etanol oleh khamir,³ misalnya pada praperlakuan *T. versicolor* yang dikombinasikan dengan iradiasi gelombang mikro^{55,56}. Jamur pelapuk putih ini juga dikombinasikan dengan jamur pelapuk coklat (*Fomitopsis polustris*)^{57,58} untuk produksi gula melalui proses hidrolisis berbantu gelombang mikro dan/atau hidrolisis enzimatis^{55,56}. Pengaruh praperlakuan biologis yang sejalan telah dilaporkan sebelumnya, yaitu penurunan kadar lignin yang tinggi dan selulosa yang minimal⁵⁹⁻⁶³. Praperlakuan *T.versicolor* pada bambu dengan atau tanpa kombinasi iradiasi gelombang mikro pada medium air dapat membantu proses pelarutan hemiselulosa dalam hidrolisat, meningkatkan kristalinitas biomassa, dan menimbulkan kerusakan struktur serat⁵⁶. Selain itu, absorbansi *siringil* lebih rendah dibandingkan dengan *guaiasil*, yang mengindikasikan kemudahan *siringil* terlarut⁵⁵. Transformasi struktur monoklinik dari triklinik diobservasi pada praperlakuan biologis dengan inkubasi 30 hari⁵⁴. Semakin lama waktu iradiasi, semakin besar tingkat kehilangan karbohidrat³⁰.

Peningkatan kinerja praperlakuan iradiasi gelombang mikro dapat dilakukan dengan penambahan asam organik, seperti asam oksalat⁶⁴ dan asam maleat⁶⁵. Selain itu, kombinasi gelombang mikro dengan asam anorganik, seperti asam sulfat^{28,65,66} dan asam fosfat²⁸ pada TKKS juga telah dilakukan. Praperlakuan asam

menghidrolisis hemiselulosa menjadi monomernya melalui perusakan ikatan polimer, meningkatkan kadar selulosa⁶⁷, dan merusak struktur morfologi serat. Praperlakuan uap air pada TKKS menggunakan reaktor *bench-scale* pada kondisi optimum menghilangkan kadar lignin dan hemiselulosa, masing-masing sebesar 34,9% dan 30,75%, namun kristalinitasnya meningkat⁶⁸. Praperlakuan asam tidak efektif dalam melarutkan lignin^{11,12,14,69}. Praperlakuan alkali (NaOH, Ca(OH)₂) dengan pemanasan konvensional, seperti autoklaf, reaktor LHW, maupun digester memiliki peran utama untuk mendegradasi lignin dan menyediakan selulosa. Degradasi lignin dengan NaOH mencapai 80% yang lebih efektif dibandingkan dengan Ca(OH)₂ sebesar 35,69%. Namun, kondisi praperlakuan yang terlalu keras dapat menurunkan rendemen gula pereduksi (RGP), yang mengakibatkan kerusakan struktur serat dan kemungkinan terjadinya rekristalisasi selulosa⁷⁰.

Praperlakuan NaOH dengan reaktor LHW menyebabkan kehilangan lignin maksimum sebesar 85,86% karena pemutusan ikatan eter dan ester pada struktur lignin dan kompleks karbohidrat lignin (*lignin carbohydrate complex/LCC*), serta ikatan ester dan ikatan antar karbon (C-C) pada lignin^{71,72}. Di samping itu, delignifikasi kraft menyebabkan penurunan lignin dan hemiselulosa, masing-masing berkisar 90% dan 50%⁷³. Proses soda panas terbuka pada alang-alang (*Imperata cylindrica*) menyebabkan kehilangan komponen kimia, namun tidak selektif, dengan penurunan lignin 95% dan α -selulosa 57,19%⁷⁴. Sementara itu, proses soda dan kraft kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) menurunkan lignin 89,95%⁷² dan 100%^{75,76}.

Sun dan Cheng⁷⁷ mengungkapkan bahwa pada praperlakuan alkali terjadi pelarutan dan saponifikasi ikatan ester yang terhubung dengan hemiselulosa dan lignin yang berkontribusi

terhadap peningkatan porositas biomassa³. Alkali konsentrasi tinggi dapat menyebabkan pengupasan gugus ujung, hidrolisis dan degradasi, serta dekomposisi akibat pelarutan polisakarida^{7, 8}. Perlakuan perendaman alkali pulp TKKS menyebabkan pengembangan diameter lumen dan menurunkan tebal dinding sel karena terlarutnya lignin⁷⁹. Pengembangan ini dapat meningkatkan luas permukaan bahan, menurunkan derajat polimerisasi dan kristalinitas bahan, serta memutuskan ikatan karbohidrat dan lignin³ sehingga enzim lebih mudah berpenetrasi dan memotong rantai polimer selulosa karena struktur biomassa yang lebih terbuka/berpori.

Praperlakuan asam cenderung menurunkan kadar hemiselulosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan lignin dan selulosa^{64,65}. Berdasarkan analisis keseimbangan massa (Gambar 3), praperlakuan asam maleat selain memproduksi gula juga menghasilkan produk degradasi sekunder. Asam organik cukup prospektif sebagai alternatif praperlakuan dari asam anorganik, seperti asam sulfat, karena penurunan produk degradasi sekunder gula yang dapat menghambat fermentasi. Praperlakuan asam maleat menghasilkan furfural 9,8 mM. Nilai ini 73,51% lebih rendah dibandingkan dengan furfural pada praperlakuan asam sulfat³. Praperlakuan iradiasi gelombang mikro menghasilkan senyawa inhibitor yang lebih sedikit dan memerlukan waktu proses yang lebih singkat (2–5 menit) dibandingkan dengan pemanasan konvensional^{12,65}.

3.1.2 Pengembangan Pembuatan Bioproduk Berbasis Selulosa

Selulosa yang telah diisolasi dari biomassa selanjutnya dikonversi menjadi bioproduk berbasis selulosa untuk energi terbarukan dan material berkelanjutan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, telah dikembangkan lima bioproduk berbasis

selulosa, yaitu pulp, kertas, pulp biomedis, gula, dan ioethanol. Tabel 3 menunjukkan teknologi konversi biomassa untuk pulp dan produk turunan pulp. Contoh prototipe produk turunan pulp adalah kertas dan pulp biomedis (Gambar 4a dan 4b). Dari berbagai proses biopulping yang telah dikembangkan, terdapat variasi karakteristik pulp yang dihasilkan, di mana secara umum metode biokraft pemasakan dengan *T. versicolor* selama 45 hari memberikan rendemen pulp yang relatif lebih tinggi dan bilangan kappa yang relatif lebih rendah dibandingkan kombinasi dengan proses soda atau soda panas terbuka. Pemasakan dengan cara kraft lebih maksimal menurunkan lignin dibandingkan proses soda panas terbuka sehingga menghasilkan karakteristik pulp yang lebih baik. Nanoselulosa bermuatan positif telah dikembangkan sebagai bahan kemasan antimikroba pada kertas kemasan berbasis pulp alang-alang^{80,81}.

Produksi gula dari biomassa hasil praperlakuan telah dilakukan dengan metode hidrolisis dalam medium air ataupun asam dengan atau tanpa penambahan karbon aktif serta dengan metode enzimatik. Hidrolisis asam konsentrasi rendah berpotensi sebagai alternatif yang cukup baik karena rendah biaya dan waktu proses yang cepat. Meskipun karbon aktif mampu menurunkan absorbansi senyawa coklat, namun tidak cukup efektif pengaruhnya terhadap peningkatan RGP. Perolehan variasi RGP dipengaruhi oleh metode praperlakuan yang digunakan sebelum hidrolisis.

Hidrolisis asam berbantu iradiasi gelombang mikro pada pulp kraft jabon menghasilkan RGP maksimum 49,2%⁷⁶ pada suhu 190°C. RGP 23% diperoleh dari hidrolisis asam sulfat TKKS dengan iradiasi gelombang mikro⁸². Produksi gula pada TKKS melalui hidrolisis enzimatik hasil iradiasi gelombang mikro dengan katalis asam sulfat menghasilkan RGP 25,09%–37,29%^{28,65,66}. Hidrolisis enzimatik pulp soda kayu jabon dengan

penambahan surfaktan komersial Tween 80 menghasilkan RGP optimum 42%. Pulp kraft bagas sorghum⁷³ dan TKKS hasil praperlakuan biologis⁵² efektif dihidrolisis secara enzimatik menjadi gula. Hal ini karena degradasi kadar lignin dan hemiselulosa meningkatkan aksesibilitas enzim dalam produksi monomer gula dari selulosa⁷³. Praperlakuan kombinasi *T. versicolor* dan *F. polustris* merupakan alternatif untuk meningkatkan derajat sakarifikasi pada proses hidrolisis asam⁵⁷.

Hidrolisis asam konsentrasi 1% pada bambu yang diberi praperlakuan *T. versicolor* dan dikombinasikan dengan iradiasi gelombang mikro 12,5 menit menghasilkan RGP tertinggi 17,06%^{53,58}. Hasil ini lebih rendah dibandingkan dengan hidrolisis asam dari bambu hasil praperlakuan gelombang mikro saja. RGP tertinggi (25,81%) diperoleh dari hidrolisis asam. Akan tetapi, penambahan karbon aktif dalam proses hidrolisis asam hanya berperan menurunkan absorbansi senyawa coklat tanpa menyebabkan terjadinya peningkatan RGP^{30,53,83}. Hasil ini sejalan dengan hidrolisis asam dengan pemanasan gelombang mikro pada ampas tapioka⁸⁴. Hermiati menyatakan bahwa karbon aktif mencerahkan warna hidrolisat karena lebih rendahnya senyawa hasil degradasi sekunder glukosa, yaitu 5-HMF³. Evaluasi perbandingan kinerja hidrolisis enzimatik dan asam pada bambu hasil praperlakuan tunggal maupun kombinasi menunjukkan bahwa hidrolisis asam merupakan alternatif yang lebih baik dibandingkan hidrolisis enzimatik berdasarkan RGP yang lebih tinggi³⁰.

Hidrolisis biomassa, seperti TKKS hasil praperlakuan asam organik maupun anorganik, juga meningkatkan RGP yang bervariasi hingga mencapai 202,43% dibandingkan TKKS tanpa perlakuan (15,61%)^{11,12,65}. Hidrolisis enzimatik TKKS hasil hidrolisis TKKS praperlakuan asam maleat dengan reaktor

LHW menghasilkan RGP sebesar 22,32% (meningkat 42,98%)¹³. Sementara itu, hidrolisis TKKS hasil praperlakuan asam oksalat dan asam maleat berbantu gelombang mikro menghasilkan RGP masing-masing sebesar 34,60% (meningkat 121,65%)¹⁴, dan 47,21% (meningkat 202,43%)⁶⁷.

Produksi bioetanol dari biomassa hasil praperlakuan telah dicoba dengan proses SSF dan SHF. Pulp kraft kayu jabon telah dikonversi menjadi bioetanol dengan proses SSF di mana pulp dengan kadar lignin 0% menghasilkan rendemen etanol tertinggi (16,4%)⁷⁵. Pada kondisi optimum, rendemen etanol pulp kraft jabon dengan penambahan Tween 80 dari proses SHF dan SSF adalah sebesar 6,88% dan 6,48%⁷². Hasil yang berbeda diperoleh pada produksi etanol dengan proses SSF dan SHF TKKS selama 72 jam dengan rendemen etanol 1,61%, dan 4,14%⁸⁵. Penambahan surfaktan polyethylene glycol (PEG) 4000⁸⁶ pada SSF dengan *Kluyveromyces marxianus* InaCC Y119 merupakan upaya peningkatan kadar etanol TKKS. Selain itu, penambahan biosurfaktan turunan lignin amphipilik (A-LD) pada proses SSF pulp kraft bagas sorgum dapat meningkatkan produksi etanol dan mempersingkat waktu fermentasi⁸⁷.

3.2 Pengembangan Bioproduk Berbasis Lignin

Lignin merupakan biopolimer terbesar setelah selulosa yang terkandung dalam hidrolisat hasil samping proses isolasi selulosa. Lignin memiliki struktur tiga dimensi dengan tiga unit fenil propane^{88,89} yang memiliki berbagai gugus fungsional aktif berupa gugus fenolik hidroksil, metoksil, dan karboksil pada rantai samping⁹⁰ yang dapat diaktivasi sehingga dapat dimanfaatkan secara luas menjadi berbagai bioproduk, seperti perekat, biosurfaktan, aditif tahan api, aditif mortar, kemasan, *seed coating*, dan lain-lain. Uraian terkait metode isolasi lignin dari lindi hitam

dan biomassa serta bioproduk berbasis lignin yang telah dikembangkan, diuraikan pada subbab 3.2.1 dan 3.2.2.

3.2.1 Pengembangan Teknologi Isolasi Lignin

Beberapa kandungan lignin dari berbagai biomassa lignoselulosa yang telah banyak dilaporkan menjadi dasar pertimbangan dalam memanfaatkan lignin sebagai bioproduk (Tabel 4). Berbagai metode praperlakuan biomassa telah dikembangkan dengan tujuan untuk mengisolasi atau memisahkan fraksi lignin dari selulosa dan hemiselulosa dalam matriks biomassa. *Pulping* kraft merupakan metode yang masih mendominasi di industri pulp dan kertas di dunia sebagai metode yang efektif dalam melarutkan lignin dari biomassa dan menghasilkan pulp kaya selulosa dengan kekuatan tinggi. Kondisi pemasakan berpengaruh terhadap kadar padatan total lignin yang terkandung dalam lindi hitam. Dengan kadar padatan total yang tinggi maka potensi lignin yang dapat diisolasi juga tinggi. Semakin tinggi konsentrasi alkali dan sulfiditas pada pemasakan kraft bagas sorgum, semakin cenderung meningkatkan kadar padatan totalnya⁹¹. Selain itu, praperlakuan basa, seperti NaOH maupun $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ⁷⁰ cukup efektif dalam melarutkan lignin ke dalam fraksi cair dan meninggalkan fraksi padat dengan kadar selulosa tinggi.

Untuk memperoleh lignin, berbagai metode isolasi lignin dari berbagai sumber, seperti lindi hitam, dan fraksi cair hasil samping praperlakuan telah dikembangkan. Pengembangan metode isolasi lignin yang pertama adalah dengan presipitasi asam kuat berkonsentrasi rendah secara satu dan dua tahap tanpa pengenceran lindi hitam, yang kemudian dibandingkan dengan perlakuan pengenceran lindi hitam sebelum isolasi^{37,92,93}. Untuk meningkatkan rendemen dan kemurnian lignin, serta menurunkan bahan pengotor maka dilakukan tahapan pencucian pada proses isolasi lignin⁹⁴ sesuai dengan Paten No. P00202104449⁹⁵.

Ekstraksi lignin dari daun tebu dengan asam kuat berkonsentrasi rendah pada lindi hitam hasil praperlakuan bertahap juga telah dikembangkan sesuai dengan Paten No. P00202103980⁹⁶. Lindi tersebut diperoleh dari pemanasan gelombang mikro dengan katalis asam maleat yang kemudian dilanjutkan dengan praperlakuan NaOH berbantu iradiasi gelombang mikro maupun pemanasan konvensional. Pengembangan selanjutnya adalah ekstraksi lignin dengan dioksan, baik sebelumnya dilakukan praperlakuan asam-*ball mill*-hidrolisis enzimatis maupun langsung dengan *ball mill*, sebagaimana telah didaftarkan Paten No. P00202106163⁹⁷.

Dari beberapa proses isolasi lignin yang telah dilakukan dari lindi hitam dan atau fraksi cair hasil samping praperlakuan, telah diperoleh prototipe lignin dan hasil karakterisasinya. Contoh lignin hasil ekstraksi disajikan pada Gambar 5. Perlakuan pengenceran dan lama penyimpanan lindi hitam *A. mangium* mempengaruhi karakteristik lignin yang dihasilkan. Selain itu, karakteristik lignin juga dipengaruhi oleh sumber asal lignin dan metode isolasi lignin⁹³. Lignin yang diisolasi melalui dua tahap memiliki kemurnian yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan lignin yang diisolasi melalui satu tahap, meskipun rendemennya menurun^{92,94}. Perlakuan pencucian sebanyak 6x pada proses isolasi lignin meningkatkan kemurnian lignin hingga ~99% yang mendekati kemurnian lignin komersial sebagai kontrolnya⁹⁴. Perbedaan konsentrasi asam dalam proses isolasi lignin dari daun tebu menyebabkan perbedaan karakteristik lignin, baik rendemen, kemurnian, berat molekul, sifat termal, maupun rasio monomer siringil/guaiasil (S/G). Secara garis

besar, rangkuman metode ekstraksi lignin yang telah dikembangkan dan karakterisasi lignin dirangkum pada Tabel 4.

3.2.2 Pengembangan Pembuatan Bioproduk Berbasis Lignin

Bioproduk berbasis lignin yang telah dan sedang dikembangkan meliputi biosurfaktan (Gambar 6a dan 6b), bio-poliuretan (Gambar 7), lignosulfonat (Gambar 8), dan aditif tahan api. Selain itu, lindi hitam dan lignin digunakan untuk meningkatkan keawetan kayu terhadap serangan mikroorganisme perusak. Lignin hasil isolasi dari lindi hitam juga dapat dimanfaatkan sebagai media selektif jamur pendegradasi lignin.

Terdapat tiga jenis biosurfaktan berbasis lignin yang dikembangkan untuk peningkatan kinerja hidrolisis enzimatis seperti pulp kraft bagas sorgum³⁷, yaitu A-LD, biosurfaktan turunan lignin hasil pencampuran lignin dengan polyvinyl alkohol (PVA), dan biosurfaktan hasil pencangkokan (*grafting*) lignin dan PVA. A-LD diperoleh melalui reaksi antara polyethylene glycol (PEDGE) terepoksilasi dan lignin. Optimasi proses sintesis A-LD dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum sintesis A-LD. Berdasarkan hasil sintesis ini, kondisi sintesis berpengaruh terhadap RGP. Kondisi sintesis A-LD lignin dua tahap lebih ringan dari segi jumlah PEDGE dan waktu⁹. Penambahan A-LD pada pulp kraft bagas sorgum meningkatkan RGP tertinggi, yaitu 81,33%³⁷.

Observasi lebih lanjut menunjukkan keefektifan penambahan A-LD pada substrat berkadar lignin rendah³⁸. A-LD menghasilkan RGP yang lebih tinggi dibandingkan dengan surfaktan komersial PEDGE 4000 pada optimasi hidrolisis enzimatis pulp kraft bagas sorgum. Hasil ini menunjukkan bahwa A-LD dapat berperan signifikan meningkatkan RGP⁹. A-LD berperan meningkatkan produksi etanol dan mempersingkat waktu fer-

mentasi⁸⁷. Evaluasi pengaruh jenis surfaktan (komersial berupa PEG 4000 dan A-LD) pada fermentasi pulp TKKS menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi gula pereduksi dan kadar etanol dibandingkan fermentasi pulp tanpa penambahan surfaktan. Penambahan surfaktan PEG 4000 dengan fermentasi 89 jam menghasilkan kadar etanol tertinggi (1,251 g/L)⁸⁶.

Lignin kraft *A. mangium* yang juga dicampurkan dengan larutan PVA sebagai polimer hidrofilik menghasilkan biosurfaktan turunan lignin. Biosurfaktan ini efektif dalam meningkatkan RGP pulp kraft bagas sorgum. Rasio PVA terhadap lignin pada proses pencampuran yang optimum adalah 1:2. Selain itu, dikembangkan metode pencangkakan dengan agen pengikat silang asam sitrat dan/atau asam oksalat. Biosurfaktan anionik ini memiliki kemampuan untuk menurunkan tegangan permukaan yang cukup baik⁹⁸.

Lignin kraft *A. mangium* juga digunakan untuk pembuatan dua jenis resin bio-poliuretan (Bio-PU) yang dibuat menggunakan fraksi cair lignin, yaitu L-EtAc and L-MeOH⁹⁹. Lignin alkali yang diisolasi, yang telah disulfonasi dan disintesis menjadi natrium lignosulfonate, dapat difungsikan sebagai bahan aditif pada produk semen, mortar, pupuk, dan kertas¹⁰⁰. Pengembangan lebih lanjut adalah optimasi metode sintesis natrium lignosulfonat yang akan direaksikan dengan fosfor sebagai aditif tahan api. Selain itu, lignin yang diisolasi dari lindi hitam basa (NaOH) TKKS diaplikasikan sebagai *water reducer* pada mortar¹⁰¹. Lignin hasil isolasi dari lindi hitam pemasakan biokraft dan biosoda dimanfaatkan sebagai indikator produksi enzim lignolitik jamur pelapuk putih yang ditandai dengan terbentuknya lapisan merah di sekitar tumbuhnya jamur¹⁰². Selain itu, pemanfaatan lindi hitam pada proses pengawetan kayu jabon meningkatkan ketahanan kayu terhadap serangan jamur dengan

menurunkan persentase kehilangan berat kayu hingga 88,07% dibandingkan kayu kontrol¹⁰³.

Pemanfaatan lignin hasil isolasi dari lindi hitam pabrik pulp dan kertas, serta hasil samping *pilot plant* bioetanol generasi kedua sedang dikembangkan untuk aditif tahan api, kemasan aktif, pelapis biji, dan tekstil antimikroba. Gugus fenolik dalam lignin dapat berperan sebagai agen antimikroba dan antioksidan. Sintesis lignin dalam ukuran submikron (100–1000 nm) dan nano (dibawah 100 nm) dilakukan mulai tahun 2020. Lignin dalam ukuran submikro dan nano akan memperbaiki sifat substansial dan memperluas aplikasinya karena peningkatan luas permukaan dan sifat ketercampurannya yang lebih baik dengan material lain⁸⁸.

IV. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOPRODUK BERBASIS SELULOSA DAN LIGNIN

Pemerintah telah menentukan kebijakan pengembangan industri nasional yang tertuang dalam RIPIN. Kebijakan tersebut menekankan bahwa sampai dengan tahun 2035, industri hulu agro yang dapat dikembangkan dari biomassa merupakan salah satu industri prioritas yang menjadi cetak biru pengembangan industri nasional. Oleh karena itu, kegiatan penelitian dan pengembangan yang difokuskan untuk menghasilkan bioproduk berbasis biomassa, khususnya dari lignin dan selulosa, sangat tepat.

Selulosa merupakan biopolimer yang terbarukan, yang jumlahnya terbesar di alam sehingga mampu mengurangi ketergantungan terhadap polimer dari bahan baku fosil. Selulosa diperkirakan tersedia hingga mencapai 10^9 – $1,5 \times 10^{12}$ ton/tahun¹⁰⁴. Pemahaman karakteristik selulosa secara komprehensif dapat berperan menentukan kondisi perlakuan yang tepat. Hasil fraksionasi biomassa berupa selulosa dapat dimanfaatkan untuk aplikasi, seperti pulp dan kertas, bioetanol generasi 2, nanoselulosa, *microfibrillated cellulose* (MFC), rayon, bioplastik, hidrogel, penjerap limbah, *nano paper*, komposit, material penyimpan energi, dan biomedis, dan lain-lain. Produk berbasis kertas dapat digunakan untuk tujuan konvensional maupun untuk kemasan pangan aktif yang sesuai dengan kebutuhan pasar. Pengembangan metode fraksionasi yang ramah lingkungan (ekoteknologi) dan relatif cepat, baik secara tunggal maupun kombinasi, merupakan tantangan menuju skala yang lebih besar. Selain itu, teknologi daur ulang produk berbasis selulosa, seperti kertas daur ulang, masih berpotensi untuk terus dikembangkan dengan menambahkan serat primer berupa serat panjang sebagai

penguat. Hal ini karena adanya kebutuhan serat panjang di industri yang cukup tinggi, yang pemenuhannya masih dilakukan melalui impor. Tahap praperlakuan yang efisien dengan rendemen selulosa tinggi, namun rendah produk degradasi sekunder, merupakan tantangan dalam pengembangan bioetanol generasi kedua. Penambahan biosurfaktan dalam hidrolisis enzimatis merupakan upaya berikutnya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas pemecahan selulosa menjadi gula.

Meskipun pemerintah telah berkomitmen mendukung penurunan emisi gas rumah kaca dengan penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan seperti bioetanol, namun keekonomian bioetanol sendiri belum tercapai hingga saat ini. Potensi bioetanol yang dapat diproduksi dari konversi biomassa adalah sebesar 4,4 juta kL, yang dapat mensubstitusi bensin sebesar 13%³. Oleh karena itu, perlu dilakukan terus pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi bioetanol yang efisien dan murah. Selain sebagai bahan bakar, penggunaan bioetanol dapat diperluas aplikasinya untuk berbagai kepentingan, seperti untuk farmasi, kosmetik, cat, deterjen, tinta, dan bahan kimia polimer³. Selain penguasaan teknologi konversi, hal lain yang juga perlu dipertimbangkan untuk *scale-up* produksi adalah kelimpahan dan ketersebaran biomassa. Untuk menekan biaya transportasi, proses produksi perlu didekatkan dengan sumber bahan baku dan perlu memilih biomassa dalam kategori “limbah” yang terintegrasi dengan bisnis proses pada industri utama. Seiring dengan hal itu, pemerintah dapat menggulirkan kebijakan-kebijakan sebagai insentif bagi industri agar industri mampu mandiri dan produknya dapat bersaing di pasar.

Pemanfaatan hasil samping proses konversi biomassa menjadi bioetanol dapat meningkatkan nilai ekonomi biomassa. Misalnya adalah pemanfaatan sebagian lignin sebagai hasil

samping praperlakuan basa di industri pulp dan kertas selama ini untuk bahan baku boiler. Lignin merupakan polimer dengan struktur kompleks yang keberadaannya di alam diprediksi mencapai 50–70 juta ton per tahun^{18,88,89}. Lignin dapat dimanfaatkan untuk perekat nonformaldehida dengan memanfaatkan gugus fungsionalnya¹⁰⁵, mengingat kecenderungan tuntutan pembatasan jumlah emisi pada bioproduk. Lignin memiliki sifat termal yang baik dan memiliki kemampuan tinggi dalam memproduksi arang yang dapat dimanfaatkan sebagai aditif tahan api⁸⁸. Produk berbasis lignin yang telah dikembangkan adalah lignosulfonat^{100,101} untuk aditif mortar. Lignosulfonat di pasar internasional memiliki prospek yang cukup baik sehingga layak untuk terus dikembangkan, seperti lignosulfonat hasil sintesis lignin kraft. Oleh karena itu, saat ini sedang dikembangkan aditif tahan api berbasis lignosulfonat dan fosfor untuk mensubsstitusi aditif tahan api halogen.

Aplikasi lignin sebagai biosurfaktan anionik telah dikembangkan dengan berbagai metode sintesis tanpa dan dengan pemurnian^{98,106,107}. Proses isolasi untuk menghasilkan lignin dengan rendemen dan kemurnian yang tinggi menjadi tantangan sehingga metode isolasi lignin secara sederhana dan mudah perlu terus dikembangkan^{95,96}. Produk biosurfaktan ini baru digunakan untuk meningkatkan produksi gula^{38,108} dan bioetanol^{186,87}. Produksi biosurfaktan dalam negeri sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga perlu dilakukan impor sebanyak 44,5 ton⁹. Surfaktan yang tersedia di pasar saat ini adalah yang berbahan baku fosil sehingga terbuka peluang pengembangan biosurfaktan untuk konsumsi dalam negeri. Produk biosurfaktan berbasis lignin ini juga perlu dikembangkan untuk aplikasi lain, seperti aditif semen. Penggunaan

lain dari aplikasi lignin adalah untuk tekstil antimikroba, pelapis biji (*seed coating*), serat karbon, dan komposit berbasis lignin.

Teknologi nano (selulosa dan lignin) merupakan teknologi masa depan untuk memperluas aplikasi dan menyediakan produk dengan karakteristik unggul. Kendala komersialisasi produk-produk berbasis biomassa ini dapat diatasi melalui kerja sama penelitian dengan industri calon pengguna. Proses pengembangan yang dilakukan perlu disesuaikan dengan kebutuhan mitra industri. Bioproduk berbasis lignin dan selulosa ini merupakan salah satu bentuk upaya meningkatkan nilai tambah biomassa yang dapat meningkatkan nilai ekonomi produk dibandingkan dengan penggunaan biomassa secara langsung. Integrasi kerja sama multipemangku kepentingan diharapkan dapat mewujudkan terciptanya kegiatan riset dan pengembangannya secara tuntas. Dukungan kebijakan pemerintah perlu terus dilakukan agar tercipta produk-produk dalam negeri sesuai harapan pasar.

V. KESIMPULAN

Indonesia memiliki potensi biomassa lignoselulosa yang tinggi namun belum optimal pemanfaatannya. Teknologi konversi biomassa berkontribusi penting dalam penyediaan energi terbarukan dan material berkelanjutan berbasis selulosa dan lignin. Untuk mendukung hal tersebut, telah dikembangkan teknologi ekstraksi selulosa dan lignin dari biomassa untuk menghasilkan berbagai bioproduk, seperti pulp dan kertas, papan serat berkepadatan sedang, pulp biomedis, gula dan bioetanol dari selulosa serta biosurfaktan, nano lignin, dan lignosulfonat berbasis lignin. Teknologi praperlakuan secara biologis yang ramah lingkungan perlu dikombinasikan dengan praperlakuan kimia dan fisik, seperti iradiasi gelombang mikro agar proses dapat berlangsung lebih cepat dan rendemen selulosa meningkat. Hidrolisis asam dengan kombinasi iradiasi gelombang mikro dengan karbon aktif dan hidrolisis enzimatis berbasis biosurfaktan berperan memperbaiki produksi gula. Teknologi ekstraksi lignin dengan asam kuat berkonsentrasi rendah, enzimatis, dan dioksan berperan penting dalam menyediakan lignin untuk sintesis biosurfaktan anionik dan bioproduk lainnya dengan proses yang lebih sederhana. Lignosulfonat dibuat untuk aplikasi mortar dan aditif tahan api dengan modifikasi proses sintesis. Teknologi nano lignin memperluas target aplikasi dengan perbaikan karakteristik produknya. Teknologi yang dikembangkan berkontribusi dalam penerapan konsep kilang hayati untuk menyediakan energi terbarukan dan biomaterial berkelanjutan secara ekonomis.

VI. PENUTUP

Teknologi konversi biomassa telah menunjukkan peranan penting dalam pemanfaatan biomassa menjadi bioetanol dan bioproduk melalui riset yang telah dilakukan di laboratorium. Bioproduk diharapkan dapat menjadi substitusi produk berbasis fosil yang bersifat tidak terbarukan. Akan tetapi, untuk sampai dimanfaatkan oleh industri, masih diperlukan tahapan pembesaran skala dan adaptasi kondisi lingkungan sebenarnya. Inovasi yang sudah diperoleh pada skala laboratorium merupakan modal awal bagi langkah-langkah selanjutnya untuk komersialisasi produk hasil riset. Konsep kilang hayati dalam produksi bioetanol dan bioproduk sebaiknya diterapkan sebagai salah satu upaya meningkatkan efisiensi biaya produksi. Konsep rumah program dalam kegiatan riset dapat dimanfaatkan untuk menjalin sinergi antarlembaga riset yang berkelanjutan bagi penciptaan produk inovasi nasional berbasis biomassa. Pengembangan bioproduk berbasis selulosa dan lignin telah sesuai dengan arah pengembangan industri nasional, khususnya industri hulu agro yang tertuang dalam RIPIN 2015–2035. Meskipun demikian, diperlukan kehadiran kebijakan pemerintah yang ramah riset dan inovasi untuk mendukung penciptaan bioproduk nasional berbasis biomassa. Integrasi riset teknologi konversi biomassa dapat dilakukan dari hulu ke hilir dengan melibatkan berbagai pihak terkait, termasuk industri. Indonesia sebagai negara dengan tingkat keragaman hayati sangat tinggi tentu memiliki potensi besar dalam pengembangan teknologi konversi biomassa yang ramah lingkungan, ekonomis, dan kompetitif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pertama, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo. Selanjutnya, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M. Agr.; dan Sekretaris Majelis, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani. Terima kasih kepada Tim Penilai Naskah Orasi Ilmiah: Prof. Dr. Subyakto, Prof. Dr. Euis Hermiati, Prof. Dr. Dwi Susilaningsih, dan Prof. Dr. Wasrin Syafii, M. Agr.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Kepala Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan BRIN, Iman Hidayat, Ph.D. dan Kepala Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk–Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Akbar Hanif Dawam A., M.T., sebagai penambah semangat untuk menulis naskah orasi ini.

Penghargaan saya sampaikan kepada pembimbing skripsi (alm.) Prof. Dr. Fauzi Febrianto, M. Si.; Prof. Dr. Imam Wahyudi; dan Dr. Han Roliadi; serta pembimbing tesis (alm.) Prof. Dr. E. Gumbira Sa'id, M.A. Dev. dan Dr. Ir. Harianto. Penghormatan dan apresiasi juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Wasrin Syafii, M. Agr., Prof. Nyoman Wistara, Ph.D., Prof. Dr. Khaswar Syamsu, dan Prof. Dr. Bambang Prasetya sebagai pembimbing disertasi S-3; Prof. Dr. Euis Hermiati yang memberikan masukan dalam proses penelitian saya; serta kepada para guru dan dosen lainnya.

Terima kasih saya sampaikan kepada seluruh rekan kerja di Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk BRIN di Cibinong, 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 almarhumah ibunda Istiyah dan ayahanda Samsuri yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan dukungan tidak terbatas kepada saya. Kepada kakakku, dr. Diana Arwati, Sp.Pk., saya ucapkan terima kasih atas segala bantuannya selama ini. Terima kasih pada suami saya, Subur Prayitno, S.E. yang telah memberi kepercayaan, kesempatan, dan dukungan kepada saya untuk tetap bekerja di profesi yang saya cintai. Terkhusus untuk anak-anakku: Arkananta Harya Pradyanegara, Audrey Belinda Pradyanegara, Aretha Nathania Pradyanegara, dan Ardhana Khafidz Pradyanegara, terimakasih atas kasih sayang, dukungan, dan pengertian kalian.

Terakhir, saya sampaikan terima kasih kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah yang telah berusaha agar 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

1. Perlack RD, Wright LL, Turhollow AF, Graham RL, Stokes BJ, Erbach DC. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply. Oak Ridge, TN, USA: USDA (U.S. Department of Agriculture), U.S. Department of Energy [Internet]. 2005. <https://sungrant.ok-state.edu/site-files/documents/us-doe-billion-ton-study.pdf>
2. Sa'adah AF, Fauzib A, Juanda B. Peramalan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak Indonesia dengan model sistem dinamik. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia* [Internet]. 2017; 17:118–113. <http://dx.doi.org/10.21002/jepi.v17i2.661>
3. Hermiati E. Pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi bioetanol dan bioproduk sebagai substitusi produk berbahan baku fosil. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI); 2019. 74 hlm.
4. Hermiati E, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 2010;29:121–130.
5. Perindustrian PKP-K. Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015–2035. Jakarta: Pusat Komunikasi Publik-Kementerian Perindustrian; 2015.
6. Hussin MH, Appaturi JN, Poh NE, Latif NHA, Brosse N, Ziegler-Devin I, Vahabi H, Syamani FA, **Fatriasari W**, Solihat NN, Karimah A, Iswanto AH, Sekeri SH, Ibrahim MNM. A recent advancement on preparation, characterization and application of nanolignin. *International Journal of Biological Macromolecules* [Internet]. 2022;200:303–326. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.007>

7. Tribot A, Amer G, Abdou Alio M, de Baynast H, Delattre C, Pons A, Mathias J-D, Callois J-M, Vial C, Michaud P, Dussap C-G. Wood-lignin: Supply, extraction processes and use as bio-based material. *European Polymer Journal* [Internet]. 2019;112:228-240. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
8. Kehutanan SS. Statistik Produksi Kehutanan 2019. 2019:80.
9. **Fatriasari W**, Hamzah FN, Pratomo BI, Fajriutami T, Ermawar RA, Falah F, et al. Optimizing the synthesis of lignin derivatives from *Acacia mangium* to improve the enzymatic hydrolysis of kraft pulp sorghum bagasse. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2020;9:227–235.
10. Andini A, Rousset P, Hasanudin U, Bonnet S. Assessment of the proportion of crop residues subject to open burning available as energy feedstock in Indonesia. SEE 2016 in conjunction with ICGSI 2016 and CTI 2016 on “Energy & Climate Change: Innovating for a Sustainable Future”. 2016;1–4.
11. **Fatriasari W**, Ulwan W, Aminingsih T, Sari FP, Fitria, Suryanegara L, et al. Optimization of maleic acid pretreatment of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) using response surface methodology to produce reducing sugars. *Industrial Crops and Products* [Internet]. 2021;171:113971. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113971>
12. Anita SH, Fitria, Solihat NN, Sari FP, Risanto L, **Fatriasari W**, Hermiati E. Optimization of microwave-assisted oxalic acid pretreatment of oil palm empty fruit bunch for production of fermentable sugars. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2020;11:2673–2687. DOI: 10.1007/s12649-018-00566-w
13. Nations FaAOotU [Internet]. FAOSTAT 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
14. Hermiati E, Laksana RPB, **Fatriasari W**, Kholida LN, Thantowi A, Yopi, et al. Microwave-assisted acid pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of sugarcane trash. *Biomass Conversion and Biorefinery* [Internet]. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00971-z>

15. **Fatriasari W**, Masruchin N, Hermiati E. *Selulosa: Karakteristik dan pemanfaatannya*. Jakarta: LIPI Press; 2019.
16. Joseph PV, Rabello MS, Mattoso LHC, Joseph K, Thomas S. Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites Science and Technology* [Internet]. 2002;62:1357–1372. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(02\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(02)00080-5)
17. **Fatriasari W**, Hermiati E. Analisis morfologi serat dan sifat fisika-kimia pada enam jenis bambu sebagai bahan baku pulp dan kertas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 2008;1:67–72.
18. Karimah A, Ridho MR, Munawar SS, Adi DS, Ismadi, Damayanti R, Subiyanto B, **Fatriasari W**, Fudholi A. A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations. *Journal of Materials Research and Technology* [Internet]. 2021;13:2442–2458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.014>
19. Li X. Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College; 2004.
20. Iswanto AH, Siregar YS, Susilowati A, Darwis A, Hartono R, Wirjosentono B, Rachmat HH, Hidayat A, **Fatriasari W**. Variation in chemical constituent of *Styrax sumatrana* wood growing at different cultivation site in North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas* [Internet]. 2019; 20:448–452. DOI: 10.13057/biodiv/d200221
21. Hamidon MH, Sultan MTH, Ariffin AH, Shah AUM. Effects of fibre treatment on mechanical properties of kenaf fibre reinforced composites: a review. *Journal of Materials Research and Technology* [Internet]. 2019;8:3327–3337. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.04.012>

22. Iswanto AH, Tarigan FO, Susilowati A, Darwis A, **Fatriasari W**. Wood chemical compositions of Raru species originating from Central Tapanuli, North Sumatra, Indonesia: effect of differences in wood species and log positions. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* [Internet]. 2021;49:1–14. <http://korea-science.or.kr/article/JAKO202028260970616page> DOI: 10.5658/WOOD.2021.49.5.1
23. Pramasari DA, Haditjaroko L, Sunarti TC, Hermiati E, Syamsu K. The effectiveness of physical and alkali hydrothermal pretreatment in improving enzyme susceptibility of sweet sorghum bagasse. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan* [Internet]. 2017;6:117–131. DOI: 10.15294/jbat.v6i2.9910
24. Adams P, Bridgwater T, Lea-Langton A, Ross A, Watson I. Biomass conversion technologies. In: Thornley P, Adams P, editors. *Greenhouse gas balances of bioenergy systems*. Academic Press; 2018. p. 107–139.
25. **Fatriasari W**, Hermiati E. Lignocellulosic biomass for bioproduct: its potency and technology development. *Journal Lignocellulose Technology*. 2016;01:1–14.
26. Bajpai P. *Biotechnology for pulp and paper processing*. Biotechnology for pulp and paper processing. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.; 2018.113–147.
27. Kapoor M, Semwal S, R.Gaur, Kumar R, RP.Gupta, Puri S. The pretreatment technologies for deconstruction of lignocellulosic biomass. In: Singhania R, Agarwal R, Kumar R, Sukumaran R, editors. *Waste to wealth (energy, environment, and sustainability)*. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd; 2018. 395–421.
28. Anita SH, Risanto L, Hermiati E, **Fatriasari W**. Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) using microwave irradiation. *Proceedings of the 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society*. Yogyakarta, 3–4 November 2011:348–354.

29. Hassan SS, Williams GA, Jaiswal AK. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* [Internet]. 2018;262:310–318. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.099>
30. **Fatriasari W**. Produksi gula pereduksi melalui rekayasa proses pra-perlakuan bambu betung (*Dendrocalamus asper* (Schult.f)). Bogor Teknologi Serat dan Komposit, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor; 2014.
31. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B. Lignin and cellulose changes of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) pretreated microwave heating. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2016;6:186–195.
32. Demirbas A. Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass. *Energy Sources* [Internet]. 2005;27:327–337. <https://doi.org/10.1080/00908310390266643>
33. Chandel AK, Kapoor RK, Singh A, Kuhad RC. Detoxification of sugarcane bagasse hydrolysate improves ethanol production by *Candida shehatae* NCIM 3501. *Bioresource Technology* [Internet]. 2007;98:1947–1950. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.047>
34. Hermiati E. Rekayasa proses hidrolisis ampas tapioka menggunakan pemanasan gelombang mikro untuk produksi etanol. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor; 2012.
35. Hahn-Hägerdal B, Galbe M, Gorwa-Grauslund MF, Lidén G, Zacchi G. Bio-ethanol—the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends in Biotechnology* [Internet]. 2006;24:549–556. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2006.10.004>
36. Öhgren K, Bura R, Saddler J, Zacchi G. Effect of hemicellulose and lignin removal on enzymatic hydrolysis of steam pretreated corn stover. *Bioresource Technology* [Internet]. 2007;98:2503–2510. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.003>

37. **Fatriasari W**, Adi DTN, Laksana RPB, Fajriutami T, Raniya R, Ghozali M, Hermiati E. The effect of amphiphilic lignin derivatives addition on enzymatic hydrolysis performance of kraft pulp from sorghum bagasse. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science Bogor, Maret; 2018.
38. **Fatriasari W**, Nurhamzah F, Raniya R, Laksana RPB, Anita SH, Iswanto AH, Hermiati E. Enzymatic hydrolysis performance of biomass by the addition of a lignin based biosurfactant. Journal of the Korean Wood Science and Technology [Internet]. 2020;48:651–665. <http://koreascience.or.kr/article/JAKO202028260970616page> <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.5.651>
39. Cardona CA, Sánchez OJ. Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. Bioresource Technology [Internet]. 2007;98:2415–57. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.01.002
40. Phwan CK, Ong HC, Chen W-H, Ling TC, Ng EP, Show PL. Overview: Comparison of pretreatment technologies and fermentation processes of bioethanol from microalgae. Energy Conversion and Management [Internet]. 2018;173:81–94. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.054>
41. Rosgaard L, Andric P, Dam-Johansen K, Pedersen S, Meyer AS. Effects of substrate loading on enzymatic hydrolysis and viscosity of pretreated barley straw. Applied Biochemistry Biotechnology [Internet]. 2007;143:27–40. DOI: 10.1007/s12010-007-0028-1.
42. Kuroda K, Ueda M. Arming technology in yeast—novel strategy for whole-cell biocatalyst and protein engineering. Biomolecules [Internet]. 2013;3. DOI: 10.3390/biom3030632
43. Shanmugam V, Mensah RA, Försth M, Sas G, Restás Á, Addy C, Xu Q, et al. Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. Composites Part C: Open Access [Internet]. 2021;5:100138. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100138>

44. Awasthi MK, Sarsaiya S, Patel A, Juneja A, Singh RP, Yan B, et al. Refining biomass residues for sustainable energy and bio-products: An assessment of technology, its importance, and strategic applications in circular bio-economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Internet]. 2020;127:109876. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109876>
45. Martina RA, Oskam IF. Practical guidelines for designing recycling, collaborative, and scalable business models: A case study of reusing textile fibers into biocomposite products. *Journal of Cleaner Production* [Internet]. 2021;318:128542. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128542>
46. Karimah A, Ridho MR, Munawar SS, Ismadi, Amin Y, **Fatriasari W**, et al. A comprehensive review on natural fibers: technological and socio-economical aspects. *Polymers* [Internet]. 2021;13:10. DOI: 3390/polym13244280
47. **Fatriasari W**, Ermawar RA, Falah F, Yanto DHY, Hermiati E. Pulping soda panas terbuka bambu betung dengan praperlakuan fungi pelapuk putih (*Pleurotus ostreatus* dan *Trametes versicolor*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 2009;2:45–50.
48. **Fatriasari W**, Ermawar RA, Falah F, Yanto DH, Adi DT, Anita SH, Hermiati E. Kraft and soda pulping of white rot pretreated betung bamboo. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2011;9:42–55.
49. Falah F, **Fatriasari W**, Ermawar RA, Nugroho DT, Hermiati E. Effect of corn steep liquor on bamboo biochemical pulping using *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2011;9:112–125.
50. Fitria, Ermawar RA, **Fatriasari W**, Fajriutami T, Yanto DHY, et al. Biopulping of bamboo using white-rot fungi *Schizophyllum commune*. *Proceedings the 2nd International Symposium for Sustainable Humanosphere*. Bandung, 2013:8–13.

51. **Fatriasari W**, Anita SH, Falah F, Adi DTN, Hermiati E. Biopulping bambu betung menggunakan kultur campur jamur pelapuk putih (*Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, dan *Phanerochaete chrysosporium*). *Berita Selulosa*. 2010;45:44–56.
52. Risanto L, Anita SH, **Fatriasari W**, Prasetyo KW. Biological pretreatment of oil palm empty fruit bunch by mixed culture two white rot fungi. *Proceeding of the 5th Indonesia Biotechnology Conference*. Mataram, 2012:550–558.
53. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B. Digestibility of betung bamboo fiber following fungal pretreatment. *Makara Journal of Technology* [Internet]. 2014;18:51–58. DOI: 10.7454/mst.v18i2.2941
54. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B. The characteristic changes of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) pretreated by fungal pretreatment. *International Journal of Renewable Energy Development* [Internet]. 2014;3:133–143. DOI: 10.14710/ijred.3.2.133–143
55. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B, Lubis M. A novel microwave-biological pretreatment effect on cellulose and lignin changes of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*). *Proceedings of ASEAN Conference on Science and Technology 2014*. Bogor, 2014:219–230.
56. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B, Anita SH, Risanto L. Fiber disruption of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) by combined fungal and microwave pretreatment. *Biotropia* [Internet]. 2015;22:81–94. <https://doi.org/10.11598/btb.2015.22.2.363>
57. **Fatriasari W**, Anita SH. Evaluation of two-stage fungal pretreatment for the microwave hydrolysis of betung bambo *Proceedings*

the 2nd Korea-Indonesia workshop and international symposium on bioenergy from biomass. Serpong, 2012: 95–100.

58. **Fatriasari W**, Anita SH. Two-stage fungal pretreatment for improved enzymatic hydrolysis of betung bamboo. Proceedings of the 12th Sciences Council of Asia (SCA) Conference and International Symposium. Bogor, 2013:315–332.
59. Samsuri M, Prasetya B, Hermiati E, Idiyanti T, Okano K, Syafwina, et al. Effect of fungal treatments on ethanol production from bagasse by simultaneous saccharification and fermentation. Proceedings of the Fifth International Wood Science Symposium 17 – 19 September 2004. 2004: 317–323.
60. Ermawar RA, Yanto DHY, Fitria, Hermiati E. Biodegradation of lignin in rice straw pretreated by white-rot fungi. *Widyariset*. 2006;9:197–202.
61. Ermawar RA, Yanto DHY, Fitria. Lignin degradation content in rice straw pretreated by white-rot fungi. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium. Denpasar Bali 29–31 Agustus 2005: 300–304.
62. Ermawar RA, Fajriutami T, Hermiati E. Viability testing of inocula of lignin degrading white-rot fungi using alkali-lignin medium. Proceedings of The 4th Indonesian Biotechnology Conference. Bogor, 5–7 August 2008: 693–702.
63. Anita SH, Hermiati E, Laksana RPB. Pengaruh perlakuan pendahuluan dengan kultur campuran jamur pelapuk putih (*Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*) terhadap kadar lignin dan selulosa bagas. *Jurnal Selulosa*. 2011;1:81–88.
64. Solihat NN, Sari FP, Risanto L, Anita SH, Fitria, **Fatriasari W**, Hermiati E. Disruption of oil palm empty fruit bunches by microwave-assisted oxalic acid pretreatment. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*. 2017;49:255–268.

65. **Fatriasari W**, Raniya R, Oktaviani M, Hermiati E. The improvement of sugar and bioethanol production of oil palm empty fruit bunches (*Elaeis guineensis* Jacq) through microwave-assisted maleic acid pretreatment. *BioResources* [Internet]. 2018;13:4378–4403. DOI: 10.15376/biores.13.2.4378-4403
66. **Fatriasari W**, Anita S, Risanto L. Microwave assisted acid pretreatment of oil palm empty fruit bunches (EFB) to enhance its fermentable sugar production. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2016;8:379–391. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9573-6>
67. Keskin T, Nalakath Abubackar H, Arslan K, Azbar N. Biohydrogen production from solid wastes. In: Pandey A, Mohan SV, Chang J-S, Hallenbeck PC, Larroche C, editors. *Biohydrogen* (Second Edition). Elsevier; 2019. p 321–346.
68. Sari FP, Falah F, Anita SH, Ramadhan KP, Laksana RPB, **Fatriasari W**, Hermiati E. Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) at bench-scale high temperature-pressure steam reactor for enhancement of enzymatic saccharification. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2021;10:157–169.
69. Wang Z, Shao S, Zhang C, Lu D, Ma H, Ren X. Pretreatment of vinegar residue and anaerobic sludge for enhanced hydrogen and methane production in the two-stage anaerobic system. *International Journal of Hydrogen Energy* [Internet]. 2015;40:4494–4501. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.02.029>
70. Fajriutami T, **Fatriasari W**, Hermiati E. Pengaruh praperlakuan basa pada ampas tebu terhadap karakterisasi pulp dan produksi gula pereduksi. *Jurnal Riset Industri*. 2016;19:147–161.
71. Kim JS, Lee YY, Kim TH. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* [Internet]. 2016;199:42–48. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.085>

72. Nababan MYS, **Fatriasari W**, Wistara NJ. Response surface methodology for enzymatic hydrolysis optimization of jabon alkaline pulp with Tween 80 surfactant addition. *Biomass Conversion and Biorefinery* [Internet]. 2020;10. DOI: 1007/s13399-020-00807-w
73. Solihat NN, Fajriutami T, Adi DTN, **Fatriasari W**, Hermiati E. Reducing sugar production of sweet sorghum bagasse kraft pulp. *International Symposium on Applied Chemistry (ISAC) 2016*. Serpong, 2017.
74. Sari FP, Ghozali M, Damayanti R, **Fatriasari W**, Hermiati E. Peranan serat alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai penguat kertas daur ulang. *Majalah Polimer Indonesia*. 2018;21:1–19.
75. Wistara NJ, Pelawi R, **Fatriasari W**. The Effect of lignin content and freeness of pulp on the bioethanol productivity of Jabon wood. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2016;7:1141–1146. DOI: 10.1007/s12649-016-9510-8
76. **Fatriasari W**, Fajriutami T, Laksana RPB, Wistara NJ. Microwave assisted-acid hydrolysis of jabon kraft pulp. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2019;10:1503–1517. DOI: 10.1007/s12649-017-0182-9
77. Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* [Internet]. 2002;83:1–11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
78. Hendriks ATWM, Zeeman G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* [Internet]. 2009;100:10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
79. Roliadi H, **Fatriasari W**. Kemungkinan pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan papan serat berkerapatan sedang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 2002;23:

80. Zulfiana D, Karimah A, Anita SH, Masruchin N, Wijaya K, Suryanegara L, **Fatriasari W**, et al. Antimicrobial Imperata cylindrica paper coated with anionic nanocellulose crosslinked with cationic ions. International Journal of Biological Macromolecules [Internet]. 2020;164:892–901. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.102>
81. Masruchin N, Suryanegara L, **Fatriasari W**, Zulfiana D, Anita SH, Hermiati E, et al. Pelapisan kertas dengan kation dan penggunaannya untuk kemasan pangan. Paten terdaftar no P00201708601. 23 Juli 2020.
82. Fajriutami T, **Fatriasari W**, Hermiati E. Sengon pulp hydrolysis by dilute acid under microwave irradiation. Proceedings of the 2nd Korea-Indonesia Workshop and International Symposium on Bioenergy from Biomass. 13–15 June 2012; 2012: 83–86.
83. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B. Hidrolisis enzimatis dan microwave bambu betung (*Dendrocalamus asper* (Schult.f.)) setelah kombinasi perlakuan pendahuluan secara biologis dan microwave. Jurnal Teknologi Industri Pertanian. 2015;25:164–173.
84. Hermiati E, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Microwave-assisted acid hydrolysis of starch polymer in cassava pulp in the presence of activated carbon. Procedia Chemistry [Internet]. 2012;4:238–244. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.06.033>
85. Anita SH, Fitria, Solihat NN, Sari FP, Oktaviani M, **Fatriasari W**, et al. Optimasi pretreatment tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan asam oksalat berbantu gelombang mikro menggunakan rancangan RSM untuk produksi bioetanol. Laporan Teknik Puslit Biomaterial LIPI 2017. Cibinong: Pusat Penelitian Biomaterial LIPI; 2017.
86. Anita SH, Ashrianis DN, **Fatriasari W**. Pengaruh penambahan surfaktan pada fermentasi tandan kosong kelapa sawit dengan praperlakuan uap air panas bertekanan dengan katalis asam maleat. Jurnal Riset Kimia [Internet]. 2021;12:65–74. <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i1.379>

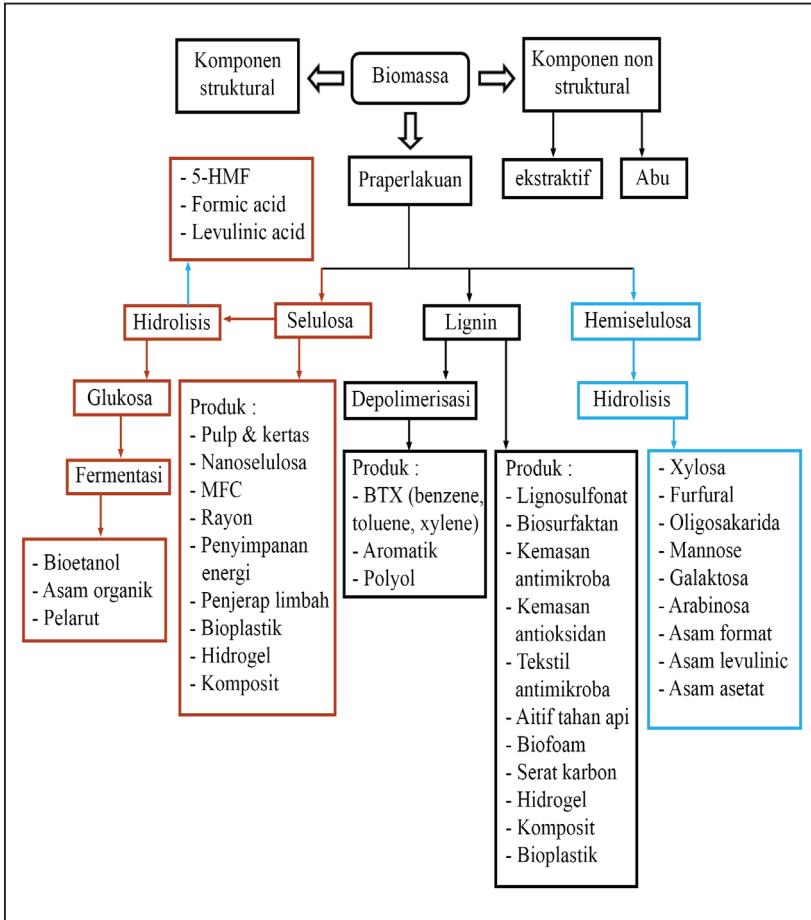
87. **Fatriasari W**, Karimah A, Falah F, Anita SH. Effect of amphiphilic lignin derivatives (A-LD) surfactant addition on the fermentation process of sorghum bagasse kraft pulp for bioethanol production. 2020/11/11; 012002.
88. Vahabi H, Brosse N, Latif NA, **Fatriasari W**, Solihat NN, Hashim R, et al. Nanolignin in materials science and technology—does flame retardancy matter? In: Kanwar SS, Kumar A, Nguyen TA, Sharma S, Slimani Y, editors. Biopolymeric Nanomaterials: Fundamentals and Applications 2021. Elsevier; 2021.
89. Solihat NN, Sari FP, Falah F, Ismayati M, Lubis MAR, **Fatriasari W**, Santoso EB, Syafii W. Lignin as an active biomaterial: A review. *Jurnal Sylva Lestari*. 2020;9:1–22.
90. Li Y, Li F, Yang Y, Ge B, Meng F. Research and application progress of lignin-based composite membrane. *Journal of Polymer Engineering [Internet]*. 2021;41:245–258. DOI: 10.1515/polyeng-2020-0268
91. **Fatriasari W**, Suprianto, Iswanto AH, Falah F. Karakteristik lindi hitam hasil samping pemasakan kraft bagas sorghum (*Sorghum bicolor* L Moench). Prosiding Seminar Nasional Lignoselulosa 2019. Cibinong, Bogor, 30 Oktober 2019; 2019: 47–52.
92. Hermiati E, Risanto L, Lubis MAR, Laksana RPB, Dewi AR. Chemical characterization of lignin from kraft pulping black liquor of *Acacia mangium*. AIP Conference Proceedings. Tangerang, 3–5 Oktober 2016; 2017:020005.
93. Arinal RNS. Perbandingan metode isolasi lignin terhadap karakteristik lignin dari pabrik pulp. Bogor: Departemen Kimia Sekolah Tinggi MIPA, 2020.
94. Solihat NN, Santoso EB, Karimah A, Madyaratri EW, Sari FP, Falah F, et al. Physical and chemical properties of *Acacia mangium* lignin isolated from pulp mill byproduct for potential application in wood composites. *Polymers* 2022;14. DOI: 10.3390/polym14030491

95. Solihat NN, **Fatriasari W**, Sari FP, Falah F, Fitria, Risanto L, Santoso EB. Metode pemisahan lignin dari lindi hitam sisa produksi pulp. Paten terdaftar no P00202104449.13 Juni 2021.
96. **Fatriasari W**, Hermiati E, Lubis MAR, Ismayati M, Solihat NN, Falah F, et al. Metode ekstraksi lignin daun tebu menggunakan asam konsentrasi rendah dan produk yang dihasilkannya. Paten terdaftar no P00202103980. 29 Mei 2021.
97. **Fatriasari W**, Hermiati E, Lubis MAR, Ismayati M, Solihat NN, Falah F, et al. Metode ekstraksi lignin daun tebu menggunakan dioksan dan enzim serta produk yang dihasilkannya. Paten terdaftar no P00202106163. 6 Agustus 2021.
98. **Fatriasari W**, Laksana RPB, Sondari D, Solihat NN, Falah F, Ningrum RS, Ghozali M, Triwulandari E. Biosurfaktan anionik berbasis lignin alkali dan proses pembuatannya. Paten terdaftar no P00202005413.23 Juli 2020.
99. Aristri MA, Lubis MAR, Laksana RBP, Falah F, **Fatriasari W**, Ismayati M, et al. Bio-Polyurethane resins derived from liquid fractions of lignin for the modification of ramie fibers. *Jurnal Sylva Lestari*. 2021;9:223–238.
100. Fitria, Fajriutami T, Falah F, **Fatriasari W**, Hermiati E. Karakterisasi sodium lignosulfonate dari lindi hitam ampas tebu dengan perlakuan alkali. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI)*. Malang, 6 Februari 2016; 2016:B33–B88.
101. Falah F, Triastuti, **Fatriasari W**, Sari FP. Utilization of lignin from the waste of bioethanol production as a mortar additive. *Jurnal Sylva Lestari*. 2020;8:326–339.
102. Anita SH, Yanto DHY, **Fatriasari W**. Pemanfaatan lignin hasil isolasi dari lindi hitam proses biopulping bamboo betung (*Dendrocalamus asper*) sebagai media selektif jamur pelapuk putih. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan [Internet]*. 2011;29:312–321. <https://doi.org/10.20886/jpjh.2011.29.4.312-321>

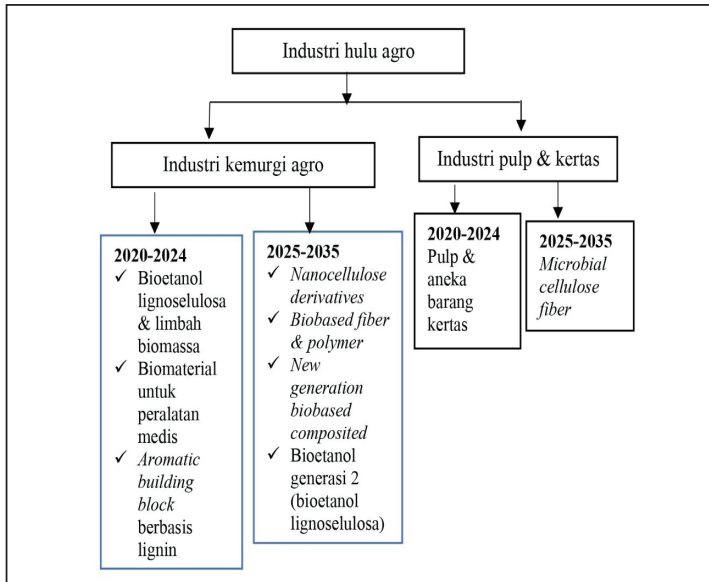
103. Anita SH, **Fatriasari W**, Zulfiana D. Utilization of biopulping black liquor as preservative to fungal attack on Jabon wood (*Anthocaphalus cadamba* Miq.). *Teknologi Indonesia*. 2014;37:147–153.
104. Klemm D, Heublein B, Fink HP, Bohn A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition Engl* [Internet]. 2005;44:3358–93. DOI: 10.1002/anie.200460587
105. **Fatriasari W**. Potensi lignin dari limbah biomassa pada sektor kehutanan dan perkebunan sebagai bahan baku perekat alami. *Buletin Hasil Hutan*. 2011;171:11–123.
106. **Fatriasari W**, Watanabe T, Adi DTN, Hermiati E, Fajriutami T, Laksana RPB, et al. Produk biosurfaktan turunan lignin dan proses pembuatannya. Paten tersertifikasi no IDP000072734.13 November 2020.
107. **Fatriasari W**, Adi DTN, Hermiati E, Fajriutami T, Laksana RPB, Ghozali M, Solihat NN. Formulasi biosurfaktan turunan lignin amphiphilik dari lignin *Acacia mangium* dan proses pembuatannya. Paten terdaftar no P00201702048. 31 Maret 2017.
108. Solihat NN, Raniya R, Fajriutami T, Iswanto AH, **Fatriasari W**, Fudholi A. Design and performance of amphiphilic lignin derivatives in enzymatic hydrolysis of sweet sorghum bagasse for bioethanol production *BioResources* [Internet]. 2021;16:5875–5889. DOI: 10.15376/biores.16.3.5875-5889
109. Risanto L, Fitria, Fajriutami T, Hermiati E. Enzymatic Saccharification of liquid hot water and dilute sulfuric acid pretreated oil palm empty fruit bunch and sugarcane bagasse. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 2018. Bogor, 24–25 July 2017; 2018.
110. Hermiati E, Risanto L, Anita SH, Aristiawa Y, Sudiyani Y, Hanafi A, Abimanyu H. Sakarifikasi serat tandan kosong dan pelepah kelapa sawit setelah pretreatment menggunakan kultur campuran jamur pelapuk putih *Phanerochaete chrysosporium* dan *Trametes versicolor*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 2014;32:111–122.

111. **Fatriasari W**, Supriyanto, Iswanto AH. The kraft pulp and paper properties of sweet sorghum bagasse (*Sorghum bicolor* L Moench). *Journal Engineering and Technological Sciences*. 2015;47:149–159.
112. Balasubramaniam MK, Rajarathinam R. Implementation of white rot fungal pretreated rice straw for sustainable bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2013;2:4047–4053.
113. Astuti FW. Kandungan lignoselulosa hasil fermentasi limbah sayur dan jerami padi menggunakan inokulum kotoran sapi dengan variasi lama inkubasi. Surakarta: Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Muhammadiyah Surakarta; 2016.
114. Sutiya B, Wiwin T, Adi R. Kandungan kimia dan sifat serat alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai gambaran bahan baku pulp dan kertas. *Bioscientiae*. 2012;9:8–19.
115. Kassim ASM, Aripin AM, Ishak N, Zainulabidin MH. Cogon grass as an alternative fibre for pulp and paper-based industry: On chemical and surface morphological properties. *Applied Mechanics and Materials*. 2015;773–774:1242–1245.
116. Kassim A, Aripin A, Hatta Z, Daud Z. Exploring non-wood plants as alternative pulps: from the physical and chemical perspectives. *ICGSCE 2014*; 2015.
117. **Fatriasari W**, Falah F, Yanto DHY, Hermiati E. Optimasi pemasakan proses soda terbuka dan penggilingan pulp bambu betung dan bambu kuning. *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI*. Pontianak, Kalimantan Barat, 9–11 Agustus 2007; 2007:560–567.
118. **Fatriasari W**, Risanto L. Sifat pulp kraft kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*): perbedaan konsentrasi bahan pemasak dan tahap pemutihan. *Widyariset*. 2011;14:589–598.
119. Rahmi M DN. Pengaruh kadar alkali aktif, fraksi NaOH, dan waktu pemasakan terhadap karakteristik pulp tandan kosong kelapa sawit. Bogor: Departemen Hasil Hutan, IPB; 2020.
120. **Fatriasari W**, Masruchin N, Hermiati E. *Selulosa: Karakteristik dan pemanfaatannya*. Jakarta: LIPI Press; 2019. 166 hal.

LAMPIRAN



Gambar 1. Konsep kilang hayati berbasis biomassa lignoselulosa yang telah dan sedang dikembangkan [diadaptasi dari ^{3,11,25}]



Gambar 2. Proyeksi pengembangan industri prioritas dalam lingkup industri hulu agro berbasis biomassa [diadaptasi dari ⁵]

Tabel 1. Kadar komponen kimia beberapa biomassa di Indonesia

Sumber biomassa	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Tandan kosong kelapa sawit ^{11,109,110}	41,23–44,22	26,50–26,55	17,54–23,62
Bagas tebu ^{70,109}	34,48–36,53	27,04–27,48	22,45–25,42
Bagas sorgum ^{23,73,111}	33,53–43,66	30,67–35,63	17,53–25,25
Bambu betung ^{17,54}	44,77	18,71	28,01–30,20
Jerami padi ^{112,113}	19–40,56	21	17–20,14
Alang-alang ^{74,114-116}	34,36–40,22	18,40–36,23	5,67–31,29
Kayu cepat tumbuh (5 jenis) ⁷²	40,28–42,92	12,12–30,45	25,20–30,21

Tabel 2. Jenis perlakuan biomassa, keunggulan, dan kelemahannya

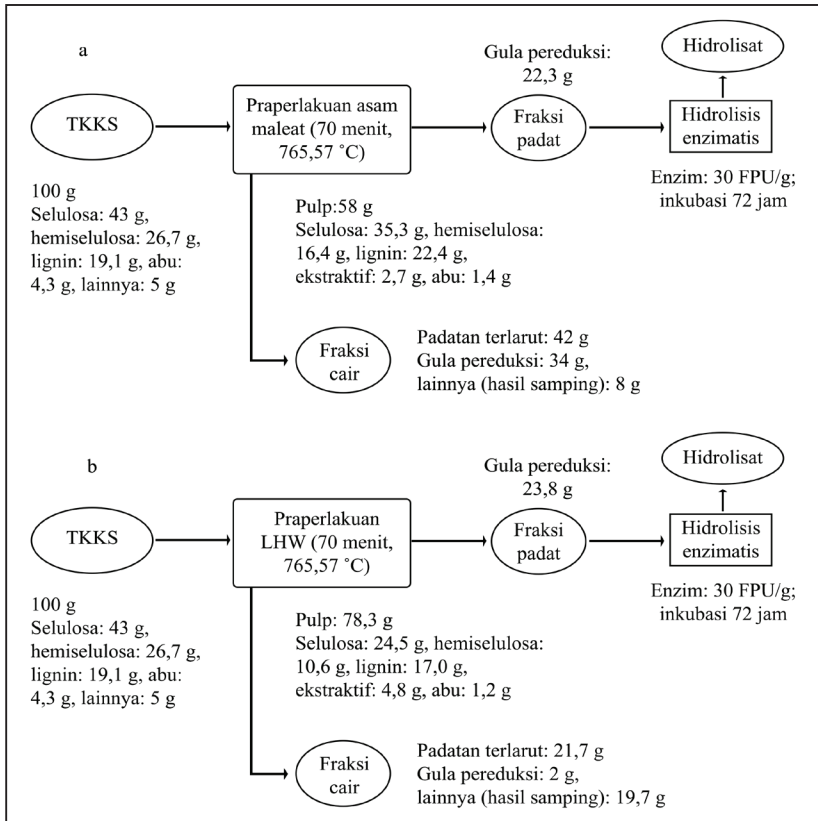
Jenis pra-perlakuan	Contoh	Tujuan	Keunggulan	Kelemahan
Fisika	Pencacahan, penggilingan secara mekanis, pirolisis, torefikasi	Menurunkan ukuran partikel untuk meningkatkan luas permukaan dan menurunkan kristalinitas	Sederhana peralatan dan prosesnya	Konsumsi energi tinggi, mahal untuk komersialisasi
Kimia	Pulping/delignifikasi dengan agen kimia, seperti alkali, asam, organosolv ozonolysis, delignifikasi oksidatif	Peningkatan luas permukaan, degradasi lignin dan hemiselulosa, penurunan kristalinitas, perusakan struktur lignin dan ikatan struktural lignin dan karbohidrat, <i>ozonolysis</i> tidak menimbulkan senyawa toksik	Relatif mudah dan cepat, toleran terhadap biomassa dari kayu daun lebar, rumput-rumputan dan residu pertanian, dapat diterapkan skala komersial	Menghasilkan senyawa inhibitor, dapat menciptakan limbah, korosi, proses mahal jika menggunakan ozon

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Jenis pra-perlakuan	Contoh	Tujuan	Keunggulan	Kelemahan
Fisik-mekanis	<i>steam explosion, ammonia fiber explosion (AFEX), dan CO₂ explosion</i>	Memecah struktur biomassa, tranformasi lignin, dan degradasi hemiselulosa untuk produksi selulosa	Cocok untuk residu pertanian, kayu daun lebar. Tidak mendegradasi gula	Kurang efektif untuk kayu daun jarum dekonstruksi sebagian fraksi xylan, kerusakan tidak sempurna pada kompleks lignin-karbohidrat AFEX: perlu netralisasi, tidak efektif untuk biomassa dengan lignin tinggi. Energi tinggi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Jenis pra-perlakuan	Contoh	Tujuan	Keunggulan	Kelemahan
Biologis	praperlakuan dengan mikroorganisme (jamur pelapuk putih, coklat, atau jamur pelunak lainnya)	degradasi lignin dan hemiselulosa	relatif ramah lingkungan dan tidak menimbulkan hasil samping, konsumsi energi rendah, tidak perlu netralisasi, suhu dan tekanan proses rendah	waktu proses lama, perlu kondisi proses yang steril, laju hidrolisis rendah
Kombinasi	Fisik-kimia-biologi, seperti <i>microwave</i> -jamur pelapuk putih atau jamur pelapuk putih- <i>microwave</i> , Fisik-kimia: LHW-asam, autoklaf basa	Pembukaan struktur biomassa untuk degradasi lignin dan hemiselulosa	Kondisi proses dapat diatur/ diakselerasi sesuai target	Dapat menghasilkan hasil samping senyawa inhibitor

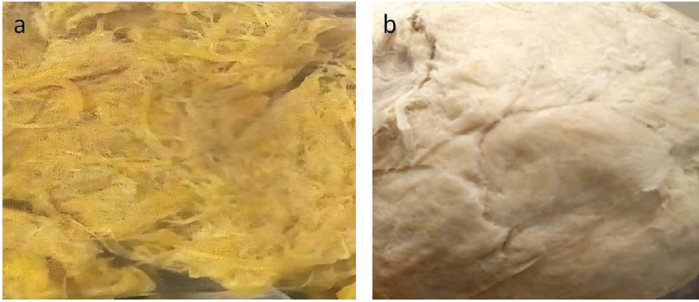


Gambar 3. Keseimbangan massa praperlakuan asam maleat (a) dan praperlakuan LHW (b) ¹¹

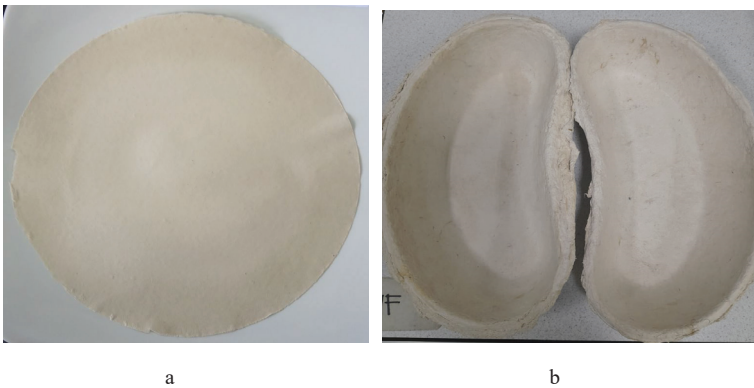
Tabel 3. Pemanfaatan selulosa untuk pulp dan kertas dan teknologi yang dikembangkan

Jenis biomassa	Teknologi delignifikasi	Bioproduk
Bambu ⁴⁷⁻⁵¹	<i>Bio-chemical pulping</i> dengan jamur pelapuk putih	Pulp
Bambu ¹¹⁷	Semi kimia (soda panas terbuka)	Pulp
Bagas sorgum ¹¹¹	Kraft <i>pulping</i>	Pulp dan kertas
Kayu sengon ¹¹⁸	Kraft <i>pulping</i>	Pulp
Alang-alang ⁸⁰	Semi kimia (soda panas terbuka)	Pulp dan kertas kemasan aktif
Kertas bekas ⁷⁴	Soda <i>pulping</i> Penguatan serat panjang pada daur ulang kertas bekas	Kertas daur seni
Tandan kosong kelapa sawit ⁷⁹	Soda panas terbuka	Papan serat berkerapatan sedang (MDF)
Tandan kosong kelapa sawit ¹¹⁹	Sodium carbonate <i>pulping</i>	Pulp
Kayu jabon ⁷²	Soda <i>pulping</i>	Pulp
Jerami padi	Soda dan soda panas terbuka	<i>Biomedical pulp</i> *

*Sedang dikembangkan



Gambar 4a. Pulp hasil *pulping* soda panas terbuka sebelum (a) dan setelah pemutihan (b)¹²⁰



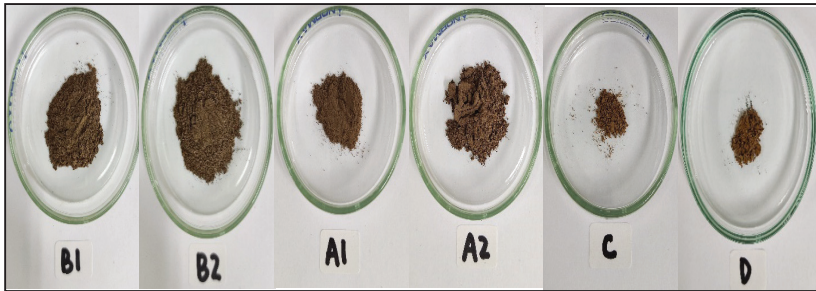
Sumber: Widya Fatriasari

Gambar 4b. Prototipe produk berbasis pulp (a) kertas, dan (b) pulp biomedis

Tabel 4. Metode ekstraksi lignin dari lindi hitam dan daun tebu

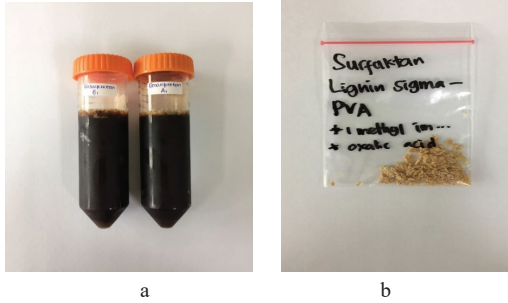
Sumber lignin	Metode ekstraksi	Rendemen %	Kemurnian (%)
Lindi hitam proses kraft <i>A mangium</i> dengan pengenceran ⁹³	Presipitasi asam 1 tahap dan pencucian 3x	74,34	82,66
	Presipitasi asam 2 tahap pencucian 3x	84,55	52,15
Lindi hitam proses kraft <i>A mangium</i> ⁹⁴	Presipitasi asam 1 tahap dan pencucian 6x	35,39	99,47
	Presipitasi asam 2 tahap dan pencucian 6x	16,35	98,06
Lindi hitam proses kraft <i>A mangium</i> ⁹²	Presipitasi asam 1 tahap dan pencucian 1x	45,76	60,34
	Presipitasi asam 2 tahap dan pencucian 1x	7,38	66,75
Lindi hitam proses biokraft dan biosoda <i>pulping</i> ¹⁰²	Presipitasi asam dan penambahan EDTA-2Na ⁺ dan dimurnika dengan larutan dioksan-air 9:1	0,665–9,584g	-
Daun tebu (Praperlakuan asam-basa berbantu <i>microwave</i>) ⁹⁶	Presipitasi asam 2 M	27,80	82,67
	Prseipitasi asam 1 M	28,75	72,12
Daun tebu (Praperlakuan asam-basa berbantu <i>autoclave</i>) ⁹⁶	Presipitasi asam 2 M	34,51	73,33
	Presipitasi asam 1 M	30,65	71,34

Sumber lignin	Metode ekstraksi	Rendemen %	Kemurnian (%)
Daun tebu (praperlakuan asam- <i>ball mill</i> -hidrolisis enzimatis) ⁹⁷	Ekstraksi dioksan 3 x	9,47	73,47
Daun tebu (praperlakuan <i>ball mill</i>) ⁹⁷	Ekstraksi dioksan 3x b	5,21	61,04



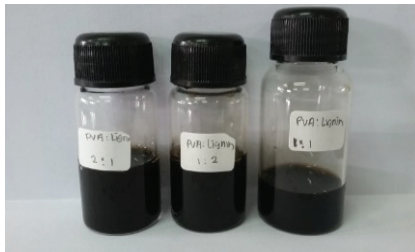
Sumber: Widya Fatriasari

Gambar 5. Lignin hasil ekstraksi daun tebu yang diisolasi dengan asam konsentrasi rendah



Sumber: Widya Fatriasari

Gambar 6a. Biosurfaktan berbasis lignin hasil sintesa dengan metode pencangkakan lignin dan PVA (a) sebelum dan (b) setelah dimurnikan



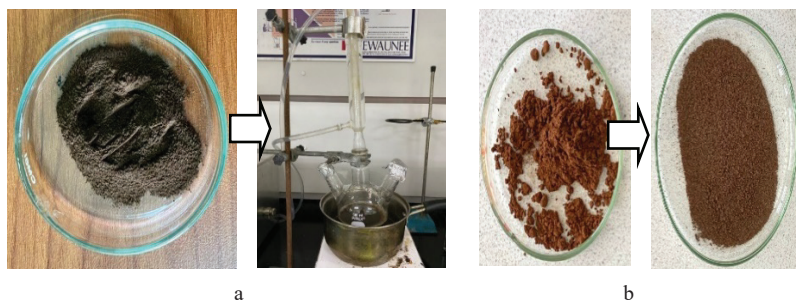
Sumber: Widya Fatriasari

Gambar 6b. Biosurfaktan berbasis lignin dari pencampuran larutan Lignin-PVA dengan variasi rasio volume



Sumber: Widya Fatriasari

Gambar 7. Produk bio-poliuretan berbasis lignin



Sumber: Elvara Windra Madyaratri

Gambar 8. Sintesis lignin (a) menjadi lignosulfonat (b) dari hasil isolasi

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku

1. **Fatriasari W**, Masruchin N, Hermiati E. *Selulosa: Karakteristik dan pemanfaatannya*. Jakarta: LIPI Press; 2019. 166 hal.
2. Kusumah SS, Susilaningsih D, **Fatriasari W**, Wahyuni, Setiawan KH, Fijiridiyanto IA, et al. 111 Inovasi dan Inovasi dari Keane-karagaman Hayati Indonesia. Jakarta: Kedepuitan Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI; 2019.
3. Pudjiastuti TN, Syukri AF, Haryomo A, Pramono AW, Dhurorudin M, Pinandito M, Rochman NT, Satriani S, Fizzanty T, **Fatriasari W**. 50 Tahun Kiprah LIPI untuk Bangsa [Internet]. Jakarta: LIPI Press; 2017. <https://lipipress.lipi.go.id/detailpost/50-tahun-kiprah-lipi-untuk-bangsa>
4. Vahabi H, Brosse N, Abdul Latif NH, **Fatriasari W**, Solihat NN, Hashimd R, et al. Nanolignin in materials science and technology-does flame retardancy matter? In: *Biopolymeric Nanomaterials: Fundamental and Applications*. Elsevier. 2021. 978-0-12-824364-0. B978-0-12-824364-0.00003-4

Jurnal Internasional

5. Madyaratri EW, Ridho MR, Aristri MA, Lubis MAR, Iswanto AH, Nawawi DS, Antov P, Kristak L, Majlingová A, **Fatriasari W**. Recent advances in the development of fire-resistant biocomposites: A review. *Polymers* [Internet]. 2022; 14:362. <https://doi.org/10.3390/polym14030362>
6. Agustiany EA, Ridho MR, Rahmi D.N M, Windra Madyaratri EW, Falah F, Lubis MARL, Solihat NN, Syamani FA, Karungameye P, Sohail A, Nawawi DS, Prianto AH, Iswanto AH, Ghozali M, Restu WK, Juliana I, Antov P, Kristak L, **Fatriasari W**, Fudholi A. Recent developments in lignin modification and its application in lignin-based green composites: A review. *Polymer composites* [Internet]. 2022; 43(8), 4848. DOI: 10.1002/pc.26824

7. Ewe WE, Fudholi A, Sopian K, Solomin E, Yazdi MH, Asim N, Fatima N, Pikra G, Sudibyo H, **Fatriasari W**, et al. Jet impingement cooling applications in solar energy technologies: systematic literature review. *Thermal Science and Engineering Progress* [Internet]. 2022;34:101445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101445>
8. Iswanto AH, Madyaratri EW, Hutabarat NS, Zunaedi ER, Darwis A, Hidayat W, Susilowati A, Adi DS, Lubis MAR, Sucipto T, **Fatriasari W**, et al. Chemical, physical, and mechanical properties of belangke bamboo (*Gigantochloa pruriens*) and its application as a reinforcing material in particle board manufacturing. *Polymers* [Internet]. 2022; 14(15):3111. <https://doi.org/10.3390/polym14153111>
9. Akbar Z, Saleh DR, Kartika, YA, **Fatriasari W**, Krisnadhi, AA, Nawawi DS. Automatic generation of temporal data provenance from biodiversity information systems. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management* [Internet]. 2022;17:361-385. <https://doi.org/10.28945/5003>
10. **Fatriasari W**, Ridho MR, Karimah A, Sudarmanto, Ismadi, Amin Y, Ismayati M, Lubis MAR, Solihat NS, Sari FP, Adi DS, Falah F, Iswanto AH, Ahmad F, Wistara NJ, Purawiardi I, Fudholi A. Characterization of Indonesian banana species as an alternative cellulose fibers. *Journal of Natural Fibers* [Internet]. 2022. DOI: 10.1080/15440478.2022.2064394
11. Triwulandari E, **Fatriasari W**, Iswanto AH, Septiyanti M, Umam EF, Ghozali M. Effect of reaction time on the molecular weight distribution of polyurethane modified epoxy and its properties. *Journal of Materials Research and Technology* [Internet]. 2022;19:2204–2214. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.185>
12. Bhakri S, Ghozali M, Cahyono E, Triwulandari E, Restu WK, Solihat NS, Iswanto AH, Antov P, Savov V, Hua LS, Agustiany EA, Kristak L, **Fatriasari W**. Development and characterization of eco-friendly non-isocyanate urethane monomer from *Jatropha curcas* oil for wood composite applications. *Journal of Renewable Materials* [Internet]. 2022. DOI: 10.32604/jrm.2022.023151

13. Solihat NN, Hidayat AF, Taib MNAM, Hussin MH, Hua LS, Ghani MAA, Al Edrus SSO, Vahabi H, **Fatriasari W**. Recent developments in flame-retardant lignin-based biocomposite: Manufacturing and characterization. *Journal of Polymers and the Environment* [Internet]. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02494-2>
14. Hua LS, Chen LW, Geng BJ, Kristak L, Antov P, Pędzik M, Rogoziński T, Taghiyari HR, Rahandi Lubis MA, **Fatriasari W**, et al. Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. *Journal of Materials Research and Technology* [Internet]. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>
15. Hussin MH, Appaturi JN, Poh NE, Latif NHA, Brosse N, Ziegler-Devin I, Vahabi H, Syamani FA, **Fatriasari W**, et al. A recent advancement on preparation, characterization and application of nanolignin. *International Journal of Biological Macromolecules* [Internet]. 2022; 200:303–326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.007>
16. Solihat NN, Santoso EB, Karimah A, Madyaratri EW, Sari FP, Falah F, Iswanto AH, Ismayati M, Lubis MAR, **Fatriasari W**, et al. Physical and chemical properties of *Acacia mangium* lignin isolated from pulp mill byproduct for potential application in wood composites. *Polymers* [Internet]. 2022;14. DOI:10.3390/polym14030491
17. Setiawan AV, Pratama BR, Sabtiningtias N, **Fatriasari W**. Impact of climate change on farmer adaptation and tobacco productivity in Temanggung Regency. Accepted for publication in *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2022;44 (1):119–126.
18. Ali MQ, Chew SC, Iftikhar S, **Fatriasari W**, Naeem K, Arif MR, et al. Effect of storage on physico-chemical, microbial and sensory evaluation of sweet based dairy products. *Journal of Xi'an Shiyou University* [Internet]. 2022; 65(01): 8–23. DOI: 10.17605/OSF.IO/K85MA

19. Ridho MR, Agustiany E, Rahmi DN M, Madyaratri E, Ghozali M, Restu WK, Falah F, Lubis M, Syamani FA, Nurhamiyah Y, Hidayati S, Sohail A, Karungameye P, Nawawi DS, Iswanto AI, Othman N, Aini N, Hussin MH, Sahakaro K, Hayeemasae N, Ali M, **Fatriasari W**. Lignin as green filler in polymer composites: Development methods, characteristics, and potential applications. *Advances in Materials Science and Engineering* [Internet]. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1363481>
20. Karimah A, Ridho MRR, Munawar SS, Ismadi, Amin Y, Damayanti D, Lubis MAR, Wulandari AP, Nurindah, Iswanto AI, Fudholi A, Asrofi M, Saedah E, Sari NH, Pratama BR, **Fatriasari W**, et al. A Comprehensive review on natural fibers: Technological and socio-economical aspects. *Polymers* [Internet]. 2021;13:4280. <https://doi.org/10.3390/polym13244280>
21. Aristri MA, Lubis MAR, Iswanto AH, **Fatriasari W**, Sari RK, Antov P, Gajtanska M, Papadopoulos AN, Pizzi A. Bio-based polyurethane resins derived from tannin: Source, synthesis, characterisation, and application. *Forests* [Internet]. 2021; 12(11):1516. <https://doi.org/10.3390/f12111516>
22. Lubis MAR, Falah F, Harini D, Sudarmanto, Kharisma A, Tjahyono B, **Fatriasari W**, et al. Enhancing the performance of natural rubber latex with polymeric isocyanate as cold-pressing and formaldehyde free adhesive for plywood. *The Journal of Adhesion* [Internet]. 2021. DOI: 10.1080/00218464.2021.1999233
23. **Fatriasari W**, Ulwan W, Aminingsih T, Sari FP, Fitria, Suryanegara L, et al. Optimization of maleic acid pretreatment of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) using response surface methodology to produce reducing sugars. *Industrial Crops and Products* [Internet]. 2021;171:113971. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113971>
24. Lubis MAR, Sari FP, Laksana RBP, **Fatriasari W**, Hermiati E. Ambient curable natural rubber latex adhesive cross-linked with polymeric isocyanate for bonding wood *Polymer Bulletin* [Internet]. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03845-0>

25. Sari FP, Falah F, Anita SH, Ramadhan KP, Laksana RPB, **Fatriasari W**, Hermiati E. Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) at bench-scale high temperature-pressure steam reactor for enhancement of enzymatic saccharification. *International Journal of Renewable Energy Development* [Internet]. 2021;10(2):157–169. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.32343>
26. Suryanegara L, **Fatriasari W**, Zulfiana D, Anita, SH, Masruchin M, Gutari S, Kemala T. Novel antimicrobial bioplastic based on PLA-chitosan by addition of TiO₂ and ZnO. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* [Internet]. 2021. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00614-z>
27. Aristri MA, Lubis MAR, Yadav SM, Antov P, Papadopoulos AN, Pizzi A, **Fatriasari W**, et al. Recent developments in lignin-and tannin-based non-isocyanate polyurethane resins for wood adhesives: A review. *Applied Science* [Internet]. 2021;11:4242. <https://doi.org/10.3390/app11094242>
28. Karimah A, Ridho MR, Munawar S.M, Adi DS, Damayanti R, Subiyanto B, **Fatriasari W**, et al. A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: Characteristics, and utilizations. *Journal of Materials Research and Technology* [Internet]. 2021;13:2442–245. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.014>
29. Solihat NN, Raniya R, Fajriutami T, Iswanto AH, **Fatriasari W**, Fudholi A. Design and performance of amphiphilic lignin derivatives in enzymatic hydrolysis of sweet sorghum bagasse for bioethanol production. *BioResources* [Internet]. 2021;16(3):5875–5889. DOI: 10.15376/biores.16.3.5875-5889
30. Iswanto, AH, Oktaviani F, Susilowati A, Darwis A, Fatriasari W. Analysis of the chemical compositions and log positions of local raru species originating from Central Tapanuli, North Sumatra, Indonesia. *Journal Korean Wood Science Technology* [Internet]. 2021;49(5):416–429. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2021.49.5.416>

31. Zulfiana D, Karimah A, Anita SH, Masruchin M, Wijaya K, Suryanegara L, **Fatriasari W**, Fudholi. Antimicrobial *Imperata cylindrica* paper coated with anionic nanocellulose crosslinked with cationic ions. *International Journal of Biological Macromolecules* [Internet]. 2020; 164:892–901. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.102> 0141-8130
32. **Fatriasari W**, Hamzah FN, Pratomo BI, Fajriutami T, Ermawar RA, Falah F, et al. Optimizing the synthesis of lignin derivatives from *Acacia mangium* to improve the enzymatic hydrolysis of kraft pulp sorghum bagasse. *International Journal of Renewable Energy Development* [Internet]. 2020;9(2):227–235. <https://doi.org/10.14710/ijred.9.2.227-235>
33. Ghozali M, Fahmiati S, Triwulandari E, Restu WK, Farhan D, Wulansari M, **Fatriasari W**. PLA/metal oxide biocomposites for antimicrobial packaging application. *Polymer-Plastics Technology and Materials* [Internet]. 2020;59(12):1–11. <https://doi.org/10.1080/25740881.2020.1738475>
34. Hermiati E, Laksana RPB, **Fatriasari W**, Kholida LN, Thantowi A, Yopi, et al. Microwave-assisted acid pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of sugarcane trash. *Biomass Conversion and Biorefinery* [Internet]. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00971-z>
35. Nababan MY, **Fatriasari W**, Wistara NJ. Response surface methodology for enzymatic hydrolysis optimization of jabol alkaline pulp with Tween 80 surfactant addition. *Biomass Conversion Biorefinery* [Internet]. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00807-w>
36. Anita SH, Fitria, Solihat NN, Sari FP, Risanto L, **Fatriasari W**, Hermiati E. Optimization of microwave-assisted oxalic acid pretreatment of oil palm empty fruit bunch for production of fermentable sugars. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2020;11(6):2673–2687. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00566-w>

37. **Fatriasari W**, Nurhamzah F, Raniya R, Laksana RPB, Anita SH, Iswanto AH, Hermiati E. Enzymatic hydrolysis performance of biomass by the addition of a lignin based biosurfactant. *Journal Korean Wood Science Technology* [Internet]. 2020;48:651–665. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.5.651>
38. **Fatriasari W**, Fajriutami T, Laksana RPB, Wistara NJ. Microwave assisted-acid hydrolysis of jabon kraft pulp. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2019;10:1503–1517. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0182-9>
39. Iswanto AH, Siregar YS, Susilowati A, Darwis A, Hartono R, Wirjosentono B, Rachmat HH, Hidayat A, **Fatriasari W**. Variation in chemical constituent of *Styrax sumatrana* wood growing at different cultivation site in North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas* [Internet]. 2019;20(2):448–452. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200221>
40. Iswanto AH, Munthe R, Darwis A, Azhar I, Susilowati A, Prabuningrum DS, **Fatriasari W**. Effect of several exterior adhesive types on dimensional stability of bamboo-oriented particleboard. *Korean Journal of Materials Research* [Internet]. 2019;29(5):277–281. <https://doi.org/10.3740/MRSK.2019.29.5.277>
41. Iswanto AH, Febrianto F, Hadi YS, Ruhendi S, Hermawan D, **Fatriasari W**. Effect of particle pre-treatment on properties of jatropha fruit hulls particleboard. *Journal Korean Wood Science Technology* [Internet]. 2018;46(2):155–165. DOI: 10.5658/WOOD.2018.46.2.155
42. **Fatriasari W**, Raniya R, Oktaviani M, Hermiati E. The improvement of sugar and bioethanol production of oil palm empty fruit bunches (*Elaeis guineensis* Jacq) through microwave-assisted maleic acid pretreatment. *BioResources* [Internet]. 2018; 13(2): 4378–4403. DOI: 10.15376/biores.13.2.4378-4403
43. Solihat NS, Sari FP, Risanto L, Anita SH, Fitria, **Fatriasari W**, Hermiati E. Disruption of oil palm empty fruit bunches by microwave-assisted oxalic acid pretreatment. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences* [Internet]. 2017; 49(3):255–268. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2017.49.3.3>

44. Iswanto AH, Simarmata J, **Fatriasari W**, Azhar I, Sucipto T, Hartono R. Physical and mechanical properties of three-layer particleboards bonded with UF and UMF adhesives. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* [Internet]. 2017;45(6):787–796. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2017.45.6.787>
45. Iswanto AH, Aritonang W, Azhar I, Supriyanto, **Fatriasari W**. The physical, mechanical and durability properties of sorghum bagasse particleboard by layering surface treatment. *Journal of the Indian Academy of Wood Science* [Internet]. 2016;14(1):1–8. <https://doi.org/10.1007/s13196-016-0181-7>
46. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B. Lignin and cellulose changes of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) pretreated microwave heating. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* [Internet]. 2016;6(2):186–195. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.6.2.688>
47. **Fatriasari W**, Anita SH, Risanto L. Microwave assisted acid pretreatment of oil palm empty fruit bunches (EFB) to enhance its fermentable sugar production. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2016;8:379–391. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9573-6>
48. Iswanto AH, Susilowati A, Azhar I, Riswan, Supriyanto, Tarigan JE, **Fatriasari W**. Physical and mechanical properties of local styrax woods from North Tapanuli in Indonesia. *Journal Korean Wood Science Technology* [Internet]. 2016;44(4):539–550. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2016.44.4.539>
49. Wistara NJ, Pelawi R, **Fatriasari W**. The Effect of lignin content and freeness of pulp on the bioethanol productivity of jabon wood. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2016;7(5):1141–1146. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9510-8>
50. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B, Anita SH, Risanto L. Fiber disruption of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) by combined fungal and microwave pretreatment. *Biotropia* [Internet]. 2015;22(2):81–94. <https://doi.org/10.11598/btb.2015.22.2.363>

51. **Fatriasari W**, Supriyanto, Iswanto AH. The kraft pulp and paper properties of sweet sorghum bagasse (*Sorghum bicolor* L Moench). *Journal of Engineering and Technological Sciences* [Internet]. 2015;47(2):149–159. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.2.4>
52. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara NJ, Syamsu K, Prasetya B. The characteristic changes of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) pretreated by fungal pretreatment. *International Journal of Renewable Energy Development* [Internet]. 2014;3(2):133–143. <https://doi.org/10.14710/ijred.3.2.133-143>
53. Hartati S, Sudarmonowati E, **Fatriasari W**, Hermiati E, Dwi-anto W, Kaida R, Baba K, Hayashi T. Wood characteristic of superior sengon collection and prospect of wood properties improvement through genetic engineering. *Wood Research Journal*. 2010;1(2):103–105.

Jurnal Nasional

54. Salsabila RN, Falah F, Pradiani W, Karimah A, Solihat NN, Sari FP, **Fatriasari W**. Pengaruh lama penyimpanan dan pengenceran lindi hitam terhadap karakteristik lignin kraft *Acacia mangium*. *Jurnal Riset Kimia*. 2022;13(1):138–151.
55. Purwanty Y, Solihat NN, **Fatriasari W**, Nawawi DS. Natural and synthetic antimicrobial agent for textile: A review. *Jurnal Industri Perkebunan*. 2021;17(2): 33–48.
56. Arsyad A, Istikowati WT, Sunardi, Yanto DHY, **Fatriasari W**, Adi DS. Karakteristik anatomi kulit batang sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) untuk bahan baku pulp dan kertas. *Bioscientea* [Internet]. 2021;4(6):1021–1026. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i6.4577>
57. Sari FP, Solihat NN, Sholeh M, Risanto L, Fitria, Falah F, **Fatriasari W**. The effect of adsorbent agents: Silica, andisol, LECA, anthracite, and activated carbon on pollutant uptake in the Citarum River. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* [Internet]. 2021;5(2):105–120. <https://doi.org/10.20886/jp-pdas.2021.5.2.105-120>

58. Lubis MAR, Manohar SY, Laksana RBP, **Fatriasari W**, Ismayati M, Falah F, Soliha, NN, Sari FP, Hidayat H. The removal of cured urea-formaldehyde adhesive towards sustainable medium density fiberboard production: A review. *Jurnal Sylva Lestari*. 2021;9(1):23–24.
59. Aristri MA, Lubis MAR, Laksana RBP, Falah F, **Fatriasari W**, Ismayati M, Wulandari AP, Nurindah, Ridho MR. Bio-Polyurethane resins derived from liquid fractions of lignin for the modification of ramie fibers. *Jurnal Sylva Lestari* [Internet]. 2021;9(2):223–238. <http://dx.doi.org/10.23960/jsl29223-238>
60. Anita SH, Ashrianis DN, **Fatriasari W**. Pengaruh penambahan surfaktan pada fermentasi tandan kosong kelapa sawit dengan praperlakuan uap air panas bertekanan dengan katalis asam maleat. *Jurnal Riset Kimia* [Internet]. 2021;12(1):65–74. <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i1.379>
61. Solihat NN, Sari FP, Falah F, Ismayati M, Lubis MAR, **Fatriasari W**, et al. Lignin as an active biomaterial: A review. *Jurnal Sylva Lestari* [Internet]. 2021;9(1):1–22. <http://dx.doi.org/10.23960/jsl191-22>
62. Falah F, Lubis MAR, Triastuti, **Fatriasari W**, Sari FP. Utilization of lignin from the waste of bioethanol production as a mortar additive. *Jurnal Sylva Lestari* [Internet]. 2020; 8(3):326–339. <http://dx.doi.org/10.23960/jsl38326-339>
63. Sari FP, Ghozali M, Damayanti R, **Fatriasari W**, Hermiati E. Peranan serat alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai penguat kertas daur ulang. *Majalah Polimer Indonesia*. 2018; 21(1): 1–19.
64. Sari FP, **Fatriasari W**, Laksana RPB, Darmawan T, Jayadi, Hermiati E. Tekno-ekonomi produksi perekat aqueous polymer isocyanate berbasis lateks karet alam. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2016;14(2):102–113.
65. Fajriutami T, **Fatriasari W**, Hermiati E. Pengaruh praperlakuan basa pada ampas tebu terhadap karakterisasi pulp dan produksi gula pereduksi. *Jurnal Riset Industri*. 2016; 19(3): 147–161.

66. **Fatriasari W**, Hermiati E. Lignocellulosic biomass for bioproduct: Its potency and technology development. *Journal of Lignocellulose Technology* [Internet]. 2016; 1(1):1–14.
67. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya, B. Hidrolisis enzimatis dan *microwave* bambu betung (*Dendrocalamus asper* (Schult.f.)) setelah kombinasi perlakuan pendahuluan secara biologis dan *microwave*. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 2015;25(2): 64–173.
68. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara NJ, Syamsu K, Prasetya B. Digestibility of betung bamboo fiber following fungal pretreatment. *Makara Journal of Technology* [Internet]. 2014; 18(2):51–58. <https://doi.org/10.7454/mst.v18i2.2941>.
69. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara NJ, Syamsu K, Prasetya B. Performance of microwave pretreatment on enzymatic and microwave hydrolysis of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*). *Teknologi Indonesia*. 2014; 37(3):162–167.
70. Anita SH, **Fatriasari W**, Zulfiana D. Utilization of biopulping black liquor as preservative to fungal attack on Jabon wood (*Anthocaphalus cadamba* Miq.). *Teknologi Indonesia*. 2014; 37(3):147–153.
71. **Fatriasari W**, Damayanti R, Anita SH. Fiber qualities of pretreated betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) by mixed culture of white-rot fungi with respect to its use for pulp/paper. *Indonesian Journal of Forestry Research* [Internet]. 2013;10(2):89–99. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2013.10.2.89-99>
72. **Fatriasari W**, Risanto L. Sifat pulp kraft kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*): Perbedaan konsentrasi bahan pemasak dan tahap pemutihan. *Widya Riset*. 2011;14(3): 589–598.
73. **Fatriasari W**, Ermawar RA, Falah F, Yanto DHY, Adi DTN, Anita SH, Hermiati E. Kraft and soda pulping of white rot pretreated betung bamboo. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2011; 9(1): 42–55.

74. Anita SH, Yuli Yanto DH, **Fatriasari W**. Pemanfaatan lignin hasil isolasi dari lindi hitam proses biopulping bambu betung (*Dendrocalamus asper*) sebagai media selektif jamur pelapuk putih. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* [Internet]. 2011;29(4):312–321. <https://doi.org/10.20886/jphh.2011.29.4.312-321>
75. **Fatriasari, W**. Potensi lignin dari limbah biomassa pada sektor kehutanan dan perkebunan sebagai bahan baku perekat alami. *Buletin Hasil Hutan*. 2011;17(2):11–123.
76. **Fatriasari W**, Anita SH, Falah F, Adi DTN, Hermiati E. Biopulping bambu betung menggunakan kultur campuran jamur pelapuk putih (*Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, dan *Phanerochaete chrysosporium*). *Berita Selulosa*. 2010;45(2):44–56.
77. **Fatriasari W**, Ruhendi S. Fortifikasi perekat lateks karet alam-stirena dengan isosianat: Karakteristik dan aplikasinya pada kayu. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2010;8(2):121–132.
78. **Fatriasari W**, Ermawar RA, Falah F, Yanto DHY, Hermiati E. Pulping soda panas terbuka bambu betung dengan praperlakuan fungsi pelapuk putih (*Pleurotus ostreatus* dan *Trametes versicolor*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 2009;2(2):45–50.
79. Fatriasari W, **Hermiati E**. Analisis morfologi serat dan sifat fisis-kimia pada enam jenis bambu sebagai bahan baku pulp dan kertas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 2008;1(2):67–72.
80. Yanto DHY, **Fatriasari W**, Hermiati E. Fortifikasi Deernol 33E dan PI-120 pada perekat lateks karet alam–stirena. *Widya Riset*. 2006;9:49–54.
81. Hermiati E, **Fatriasari W**, Falah F. Effects of synthesis conditions on bond strength of plywood adhered with natural rubber latex–styrene adhesive. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2006;4(1):33–38.
82. Hermiati E, **Fatriasari W**, Falah F. Effects of several synthesis conditions on bond strength of plywood adhered with natural rubber latex–styrene adhesive. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2004;(1):33–38.

83. Roliadi H, **Fatriasari W**. Kemungkinan pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan papan serat berkerapatan sedang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 2002;23(2)101–109.

Prosiding Internasional

84. Hidayat Taufiq RS, Marjani, Nurindah, Ridho MR, Cynthia Hertianti CL, **Fatriasari W**. Developing of secondary selection characters of Indonesian kenaf (*Hibiscus cannabinus* L) germplasm for developing superior varieties. AIP Conference Proceedings Series [Internet]. Bogor, 24–25 Mei 2022. 2022;020022:2462. <https://doi.org/10.1063/5.0075716>
85. Farobie O, Anis AL, Nurcahyani PR, Hartulistiyoso E, Rahman DY, **Fatriasari W**, Nafisyah AL, Amrullah A, Aziz M. Extraction of bio-pigments from the green microalgae *Chlorella pyrenoidosa* under different solvent ratios. Accepted for Publication in IOP Proceedings of International Conference on Biomass and Bioenergy 2022 (ICBB 2022); 2022.
86. Ridho MR, Madyaratri, EW, Ismadi, Adi DS, Iswanto, AH, Murianingrum M, Hidayat T, Nurindah, Anggraini R, **Fatriasari W**. The effect of harvesting time on the fiber quality of kenaf and roselle. Accepted for publication in Proceedings of the 10th International Symposium for Sustainable Humanosphere: ISSH 2021. Bogor, 13–14 September 2021; 2021.
87. Sari FP, Purwanti T, Solihat NN, **Fatriasari W**. Conversion oil palm empty fruit bunch into reducing sugar by liquid hot water assisted sulfuric acid pretreatment. Accepted for publication in Proceedings of the 1st International Conference of Lignocellulose: ICON-LIG 2021. Bogor, 13–14 September 2021; 2021.
88. Mahmudah A, Kusuma IW, Kuspradini H, **Fatriasari W**, Rosamah E. Bioactivities and phytochemicals of some frens from East Kalimantan, Indonesia. Proceedings of the 10th International Symposium for Sustainable Humanosphere: ISSH 2021. Bogor, 13–14 September 2021; 2021.

89. Ismayati M, Lubis MAR, Fatriasari W, Sudarmanto, Sari^{FP} Falah F, Solihat NN, Karimah A, Wulandari AP, Rahman A, Kusmoro J, Irawan B, Suryana. Chemical and thermal properties of different type of Indonesian ramie fibers. Accepted for publication in Proceedings of the 1st International Conference of Lignocellulose: ICON-LIG 2021. Bogor, 13–14 September 2021; 2021.
90. Munawar SM, Purnomo D, Subiyanto B, Ismadi, **Fatriasari W**, Syahrir A, Akbar F, Aida N, Argo BD, Sutan SM, Kosasih DP. The effect of sorghum bagasse particles and composite density on the physical, mechanical and morphological proerties frigid polyurethane foam composite. Accepted for publication in Proceedings of the 5th Internasional Symposium on Green Technology for Value Chains 2021. Online, 11–12 October 2021; 2021.
91. Ermawar RA, Hartati NS, Harmoko R, Sunandar AD, **Fatriasari W**, Damayanti R, Darmawan S. Propagation of high-density carbon bamboo to support smart ecotourism at the Lake Toba, North Sumatera. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) 591 [Internet]. Tangerang, 24 October 2019. 2020:012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/591/1/012001>
92. **Fatriasari W**, Karimah A, Falah F, Anita SH. Effect of amphiphilic lignin derivatives (A-LD) surfactant addition on the fermentation process of sorghum bagasse kraft pulp for bioethanol production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) 591 [Internet]. Tangerang, 24 October 2019. 2020:012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/591/1/012002>
93. Hermiati E, **Fatriasari W**, Risanto L, Darmawan T, Sari FP, Laksana RPB, Akbar F. Optimization of application of natural rubber-based API adhesive for the production of laminated wood. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [Internet]. Medan, 18–19 October 2018. 2019;374(1):012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012007>

94. Dwianto W, Kusumah SS, Darmawan T, Amin Y, Bahanawan A, Pramasari DA, Lestari E, Himmi KS, Hermiati E, **Fatriasari W**, et al. Anatomical observation and characterization on basic properties of Agarwood (Gaharu) as an Appendix II CITES. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 74 [Internet]. Medan, 18–19 October 2018. 2019:012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012062>
95. Ghozali M, Triwulandari E, Meliana Y, Fahmiati S, **Fatriasari W**, Laksana RPB, et.al. Thermal properties of polylactic acid/zinc oxide biocomposite films. AIP Conference Proceedings [Internet]. 2018; 2024(1):020032. <https://doi.org/10.1063/1.5064318>
96. **Fatriasari W**, Adi DTN, Laksana RPB, Fajriutami T, Raniya R, Ghozali M, Hermiati E. 2018. The effect of amphiphilic lignin derivatives addition on enzymatic hydrolysis performance of kraft pulp from sorghum bagasse. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 141 [Internet]. Bogor, 24–25 July 2017. 2018:012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012005>
97. Yusuf S, Syamani FA, **Fatriasari W**, Subyakto. Review on bamboo utilization as biocomposites, pulp, and bioenergy. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 141 [Internet]. Bogor, 24–25 July 2017. 2018:012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012039>
98. Iswanto AH, Supriyanto, **Fatriasari W**, Susilowati A. Effect of particle treatment and adhesive type on physical, mechanical, and durability properties of particleboard made from sorghum bagasse. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 126 [Internet]. 2018:012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/126/1/012016>
99. Iswanto AH, Sucipto T, Nadeak SSD, **Fatriasari W**. Post-treatment effect of particleboard on dimensional stability and durability properties of particleboard made from sorghum bagasse. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Internet]. 2017;180(1):012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012015>

100. Solihat NN, Fajriutami T, Adi DTN, **Fatriasari W**, Hermiati E. Reducing sugar production of sweet sorghum bagasse kraft pulp. AIP Conference Proceedings [Internet]. 2017:1803(1). DOI: 10.1063/1.4973139
101. **Fatriasari W**, Sari FP, Laksana RPB, Mulyaningsih E, Hermiati E. Processing of waste papers for art paper in biovillage concept perspective. Proceedings of the 6th International Symposium on Sustainable Humanosphere, Bogor, 15–16 November 2016. 2017:303-311.
102. Solihat NN, Fajriutami T, Adi DTN, **Fatriasari W**, Hermiati E. Reducing sugar production of sweet sorghum bagasse kraft pulp. AIP Conference Proceedings 1803 International Symposium on Applied Chemistry (ISAC) 2016. Serpong, 3–5 Oktober 2016. 2017:020012-1–020012-8. DOI: 10.1063/1.4973139
103. Hermiati E, **Fatriasari W**, Yanto DHY, Falah F, Risanto L. Natural rubber-based wood adhesive to support green buildings. Proceedings of the Third International Symposium for Sustainable Humanosphere. Bengkulu, 17–18 September 2013. 2014:187-194.
104. **Fatriasari W**, Syafii W, Wistara N, Syamsu K, Prasetya B, Lubis MAR. A novel microwave-biological pretreatment effect on cellulose and lignin changes of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*). Proceedings of ASEAN Conference on Science and Technology 2014-9th ASEAN Science and Technology Week (ASTW-9). Bogor, 18–19 August 2014. 2014:219–230.
105. Fitria, Ermawar RA, **Fatriasari W**, Fajriutami T, Yanto DHY, Falah F, Hermiati E. Biopulping of bamboo using white-rot fungi *Schizophyllum commune*. Proceedings the 2nd International Symposium for Sustainable Humanosphere. Bandung, 29 August 2012. 2013:8–13.
106. **Fatriasari W**, Anita SH. Two-stage fungal pretreatment for improved enzymatic hydrolysis of betung bamboo. Proceedings of the 12th Sciences Council of Asia (SCA) Conference and International Symposium. Bogor, 10–12 July 2012. 2013:315-332.

107. Hermiati E, **Fatriasari W**, Yanto DHY, Falah F, Risanto L. Natural rubber-based adhesive to support green buildings. Proceeding of the 3rd International Symposium for sustainable Humansphere. Bengkulu, 17–18 September 2013. 2014:187–194.
108. **Fatriasari W**, A S, AH, FA. The resistance of polystyrene treated-*Sandoricum koetjape* and *Durio zibethinus* woods against decaying fungi and termite. Proceedings the 2nd International Symposium for Sustainable Humansphere. 29 August 2012. 2013:14–22.
109. Risanto L, Anita SH, **Fatriasari W**, Prasetyo KW. Biological pretreatment of oil palm empty fruit bunch by mixed culture two white rot fungi. Proceeding of the 5th Indonesia Biotechnology Conference, Mataram, 4–7 July 2012. 2012:550–558.
110. **Fatriasari W**, Anita SH. Evaluation of two-stage fungal pretreatment for the microwave hydrolysis of betung bamboo. Proceedings the 2nd Korea-Indonesia Workshop and International Symposium on Bioenergy from Biomass. Serpong, 13–15 June 2012. 2012:95–100.
111. Fajriutami T, **Fatriasari W**, Hermiati E. 2012. Sengon pulp hydrolysis by dilute acid under microwave irradiation. Proceedings of the 2nd Korea-Indonesia Workshop and International Symposium on Bioenergy from Biomass. Serpong, 13–15 June 2012. 2012:83–86.
112. Syamani FA, **Fatriasari W**, Risnasari I, Saleh ERM. Hexane-ethyl acetate fraction of nutmeg fruit (*Myristica fragran*) oil from bogor. Proceedings of the 1st International Symposium for Sustainable Humansphere. Ambon, 3 October 2011. 2011:63–71.
113. Anita SH, Risanto L, Hermiati E, **Fatriasari W**. Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) using microwave irradiation. Proceedings of the 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society. Yogyakarta, 3–4 November 2011. 2012:348–354.

114. Falah F, **Fatriasari W**, Hermiati E. Quality changes of wood adhesive made of natural rubber latex-styrene during storage. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium. Denpasar, 29–31 August 2005. 2005:215–219.

Prosiding Nasional

115. Lubis MAR, **Fatriasari W**, Ismayati M, Laksana RBP, Falah F, Solihat NN, Sari FP. Influence of formaldehyde to urea mole ratios on molecular weight distribution of low molar ratio urea-formaldehyde resins. Prosiding Seminar Lignoselulosa 2020. Bogor, 23 November 2020. 2020:81–82.
116. **Fatriasari W**, Supriyanto, Iswanto AH, Falah F. Karakteristik lindi hitam hasil samping pemasakan kraft bagas sorghum (*Sorghum bicolor* L Moench). Prosiding Seminar lignoselulosa 2019. Cibinong, Bogor, 30 Oktober 2019. 2019:47–52.
117. Sari FP, **Fatriasari W**. Studi tekno-ekonomi dan analisa kelayakan produksi kertas seni dari kertas bekas di Cibinong Science Center-Botanical Garden (CSC-BG). Prosiding Seminar Lignoselulosa. Bogor, 6 Oktober 2016. 2016: 52–62.
118. Fitria, Fajriutami T, Falah F, **Fatriasari W**, Hermiati E. Karakterisasi sodium lignosulfonate dari lindi hitam ampas tebu dengan perlakuan alkali. Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI) (1). Malang, 6 Februari 2016. 2016:B33–B88.
119. Budiansyah A, Sari PS, **Fatriasari W**. Analisis swot pengembangan produk perekat kayu berbasis lateks karet alam berkapasitas terbatas. Prosiding seminar nasional technopreneurship dan alih teknologi 1(1). Bogor, 12–13 November 2016. 2016:600–610.
120. Syamani FA, Budiman I, **Fatriasari W**. Sifat fisis-mekanis dan elektrik dari kayu durian (*Durio Zibethinus* Murr.) dan kayu kecap (*Sandoricum Koetjape* Merr.) ter-impregnasi polistirena.

Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) XIV. Jogjakarta, 2 Novemebr 2011. 2012:38–45.

121. **Fatriasari W**, Lestari AS, Tarmadi D. Ketahanan jamur dan rayap dari kayu lapis sengon hasil fortifikasi perekat LKA-ST/isosianat. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) XVI. Jogjakarta, 2 November 2011. 2012:240–248.
122. **Fatriasari W**, Falah F, Yanto DHY, **Hermiati E**. Optimasi pemasakan proses soda terbuka dan penggilingan pulp bambu betung dan bambu kuning. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) X. Pontianak, 9–11 Agustus 2007. 2007:560–567.
123. **Fatriasari W**, Hermiati E, Falah F. Sifat dan daya rekat perekat pati dan campurannya selama masa penyimpanan. Prosiding Seminar Nasional VIII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI). Tenggarong, 3–5 September 2005. 2005:B92–B95.
124. Falah F, Hermiati E, **Fatriasari W**. Pengaruh penambahan serbuk kulit kayu akasia pada lateks karet alam stirena terhadap keteguhan rekat kayu lapis. Prosiding Seminar Nasional VIII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI). Tenggarong, 3–5 September 2005. 2005:B85–B91.
125. **Fatriasari W**, Hermiati E, Falah F. Perubahan kualitas perekat kayu lapis dari bahan dasar pati selama masa penyimpanan. Prosiding Seminar Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) VIII. 2005:B92–B95.
126. Hermiati E, **Fatriasari W**, Prianto AH. 2004. Sifat dan daya rekat campuran lateks karet alam–stirena dan melamin formaldehida sebagai perekat kayu lapis tipe eksterior. Prosiding Seminar Nasional VII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI). Makasar, 5–6 Agustus 2004. 2004:B64–B69.

DAFTAR PATEN

Patent Registered

1. Restu WK, Wulandari E, Ghozali M, Devy YA, Sampora Y, Septiyanti M, Aryana N, Muryanto, Meliana Y, Sondari D, **Fatriasari W**. Formulasi emulsi asam nonanoat dengan zat pembawa lignin dan proses pembuatannya. P00202206996. 29 Juni 2022.
2. Solihat NN, Fatriasari W, Zulfiana D, Oktaviani M, Purwanti T. Proses pelapian lignin *Acacia crassicarpa* sebagai agen antibakteri pada tekstil serat alam dan metode pengujiannya. P00202208992. 26 Agustus 2022.
3. **Fatriasari W**, Solihat NN, Ridho MR, Juliana I. Metode pembuatan pulp pelepah pinang dengan praperlakuan ekstraksi air panas dan produk yang dihasilkannya. P00202206871. 27 Juni 2022.
4. **Fatriasari W**, Yusron M, Ardhana A. Metode pembuatan pulp dari jerami padi dan produk yang dihasilkannya. P00202206874. 27 Juni 2022.
5. **Fatriasari W**, Madyaratri EW, Iswanto AH. Metode isolasi lignin *Eucalyptus sp* dari lindi hitam dan produk yang dihasilkannya. P00202205548. 18 Mei 2022.
6. **Fatriasari W**, Madyaratri EW, Lubis MAR, Iswanto AH, Nawawi DS. Metode sintesis lignosulfonat dari lignin kraft dan produk yang dihasilkannya. P00202206965. 27 Juni 2022
7. Akbar Z, Saleh DR, Kartika YA, **Fatriasari W**, Karimah A, Lubis MA, Ermawar RA, Amin Y, Ismayati M, Adi DS, Ismadi, Ridho MR, Sari FP, Solihat NN, Falah F, Yulita KD, Andriyani M, Nawawi DS. Metode penyimpanan data adaptif untuk validasi data karakter serat alam. P00202205477. 16 Mei 2022.
8. Akbar Z, Saleh DR, Kartika YA, Manik TrLP, **Fatriasari W**, Adi DS, Ridho MR, Solihat NN, Falah F, Lubis MAR. Metode klasifikasi jenis serat alam dengan menggunakan augmentasi data dan Deep Neutral Network (DNN). P00202106102. 5 Agustus 2021.

9. Lubis MAR, **Fatriasari W**, Ridho MRR. Metode pembuatan perekat urea-formaldehida beremisi rendah dan produk yang dihasilkannya. P00202106099. 4 Agustus 2021.
10. **Fatriasari W**, Hermiati E, Lubis MAR, Ismayati M, Solihat NN, Falah F, Sari FP, Iswanto AH, Nawawi DS, Ghozali M, Karimah A, Hani IK. Metode ekstraksi lignin daun tebu menggunakan dioksan dan enzim serta produk yang dihasilkannya. P00202106163. 6 Agustus 2021.
11. **Fatriasari W**, Hermiati E, Lubis MAR, Ismayati M, Solihat NN, Falah F, Sari FP, Laksana RPB, Karimah A. Metode ekstraksi lignin daun tebu menggunakan asam konsentrasi rendah dan produk yang dihasilkannya. P00202103980. 29 Mei 2021.
12. Lubis MAR, Aristri MA, **Fatriasari W**, Laksana RBP, Ismayati M, Falah F. Proses pembuatan resin bio-poliuretan berbahan dasar fraksi cair lignin. P00202104448. 13 Juni 2021.
13. Solihat NN, **Fatriasari W**, Sari FP, Falah F, Fitria, Risanto L, Santoso EB. Metode pemisahan lignin dari lindi hitam sisa produksi pulp. P00202104449. 13 Juni 2021.
14. Ghozali M, Supriadi D, **Fatriasari W**, Lubis MAR, Sudarmanto, Ridho MR. Papan partikel rendah emisi formaldehida berbahan baku pelepah pinang. P00202104450. 13 Juni 2021.
15. **Fatriasari W**, Laksana RPB, Sondari D, Solihat, NN, Falah, F, Ningrum, RS, Ghozali, M, Triwulandari, E. Biosurfaktan anionik berbasis lignin alkali dan proses pembuatannya. P00202005413. 23 Juli 2020.
16. Masruchin N, Suryanegara L, **Fatriasari W**, Zulfiana D, Anita SH, Hermiati E, Ardilah SN, Karimah A. Pelapisan kertas dengan kation dan penggunaannya untuk kemasan pangan. P00201708601. 23 Juli 2020.
17. Lubis MAR, Falah F, **Fatriasari W**, Ismayati M, Solihat NN, Sari FP, Park B-D. Proses pembuatan perekat kayu lapis non-formaldehida berbahan dasar pati dialdehida dan produk yang dihasilkannya. P00202007227. 2 Oktober 2020.

18. Sondari D, Sampora Y, **Fatriasari W**, Jenie SNA, Septevani AA. Komposisi lapisan layak makan berbasis pati sagu. S00201902706. 29 Maret 2019.
19. **Fatriasari W**, Adi DTN, Hermiati E, Fajriutami T, Laksana RPB, Ghozali M, Solihat NN. Formulasi biosurfaktan turunan lignin amphiphilik dari lignin *Acacia mangium* dan proses pembuatannya. P00201702048. 31 Maret 2017.
20. Hermiati E, **Fatriasari W**, Risanto L, Darmawan T, Laksana RPB, Sari FP, Lubis MAR, Sudarmanto, Jayadi, Akbar F. Formulasi dan proses pembuatan perekat kayu aqueous polymer isocyanate berbasis lateks karet alam. P00201507466. 19 November 2015.

Hak Cipta

21. Akbar, Z, Saleh DR, Kartika YA, **Fatriasari W**, Adi DS, Ridho MR, Karimah, A, Murianingrum M, Ermawar RA, Ardiyani M, Hidayat, T, Sari FP, Dewi CLH, Wulandari AP, Anggraini N, Ismayati M. Sistem identifikasi serat menggunakan gambar makroskopi penampang serat berbasis mobile. EC00202137992. 10 Agustus 2021.

Desain Industri

22. **Fatriasari W**, Ardana A, Ismayati M, Falah F, Sudarmanto, Purnomo D, Ismadi, Syahrir A, Tuwalaid B, Yusron M. Nampan medis sekali pakai yang dapat terurai. A00202202855. 24 Agustus 2022.

Paten Tersertifikasi

23. **Fatriasari W**, Watanabe T, Adi DTN, Hermiati E, Fajriutami T, Laksana RPB, Ghozali M, Solihat NN, Pramasari DA. Produk biosurfaktan turunan lignin dan proses pembuatannya. IDP000072734. 13 November 2020.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Fatriasari W.** Produksi gula pereduksi melalui rekayasa proses praperlakuan bambu betung (*Dendrocalamus asper* (Schult.f)). Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor; 2014.
2. **Fatriasari W.** Formulasi strategi pengembangan komoditas unggulan agribisnis di Kabupaten Trenggalek Jawa Timur. Bogor: Manajemen Agribisnis, Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor; 2004.
3. **Fatriasari W.** Pengaruh perlakuan alkali pada tandan kosong kelapa sawit terhadap sifat fisis mekanis papan serat. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor; 2001.
4. **Fatriasari W.** Modul pelatihan teknologi kertas daur ulang. Bogor: Pusat Penelitian Biomaterial LIPI; 2016.
5. Anita SH, Fitria, Solihat NN, Sari FP, Oktaviani M, **Fatriasari W**, Hermiati E. Optimasi pretreatment tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan asam oksalat berbantu gelombang mikro menggunakan rancangan RSM untuk produksi bioetanol. Laporan Teknik Puslit Biomaterial LIPI 2017. Cibinong: Pusat Penelitian Biomaterial LIPI; 2017.
6. Ermawar RA, Ramadhan KP, **Fatriasari W**, Anita SH, Sari FP, Laksana RP, Hermiati E, Andriani A, Kholida LN, Thantowi A, Yopi. Produksi bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan praperlakuan asam oksalat dan proses sakarifikasi dan fermentasi serentak menggunakan *S. cerevisiae* BTCC3. Laporan Teknik Puslit Biomaterial LIPI 2018. Cibinong: Pusat Penelitian Biomaterial LIPI; 2017.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Widya Fatriasari
Tempat, Tanggal Lahir	: Trenggalek, 8 Desember 1977
Anak ke	: 2 dari 2 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Perempuan
Nama Ayah Kandung	: Samsuri
Nama Ibu Kandung	: Istiyah
Nama Suami	: Subur Prayitno, S.E.
Jumlah Anak	: 4 (empat) orang
Nama Anak	: 1. Arkananta Harya Pradyanegara 2. Audrey Belinda Pradyanegara 3. Aretha Nathania Pradyanegara 4. Ardhana Khafidz Pradyanegara
Nama Instansi	: Pusat Riset Biomaterial BRIN
Judul Orasi	: Teknologi Konversi Biomassa untuk Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa dan Lignin sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Material Berkelanjutan
Bidang Keahlian	: Teknologi Bioproses
No. SK Pangkat Terakhir	: SK Kepala LIPI No. 1386/J.3-c/2020, tanggal 10 September 2020, TMT 1 Oktober 2020
No. SK Peneliti Ahli Utama	: Keppres No. 3/M Tahun 2022, tanggal 19 Januari 2022, TMT 1 Oktober 2021

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SD Kedunglurah I	Trenggalek	1990
2.	SMP	SMP Negeri Pogalan	Trenggalek	1993
3.	SMA	SMA Negeri Durenan	Trenggalek	1996
4.	S-1	Institut Pertanian Bo- gor	Bogor	2001
5.	S-2	Institut Pertanian Bo- gor	Bogor	2004
6.	S-3	Institut Pertanian Bo- gor	Bogor	2014

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Diklat paten dasar dan lanjut	Serpong	2008, 2017
2.	Training Jastip	Kyoto, Jepang	2016, 2017
3.	Diklat penulisan ilmiah	Cisarua, Bogor	2010
4.	Diklat analisa statistik	Cibinong, Bo- gor	2016

D. Jabatan Struktural

-

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Muda III/c	1 Maret 2009
2.	Peneliti Ahli Madya IV/a	1 September 2015
3.	Peneliti Ahli Utama IV/d	13 April 2020
4.	Peneliti Ahli Utama IV/d	1 Oktober 2022

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

-

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Seminar Nasional VII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Makassar	2004
2.	Seminar Development of Molded Composites from Wood and Plastic	Peserta	Cibinong	2005
3.	The Sixth International Wood Science Symposium	Peserta	Jakarta	2005
4.	Workshop Status Pengembangan Sorgum di Indonesia Saat Ini	Penyaji oral	Bogor	2012
5.	The 5 th Indonesia Biotechnology Conference: An International Forum	Penyaji poster	Mataram	2012
6.	International Symposium on Sustainable Humanosphere	Peserta	Cibinong	2006
7.	Seminar MAPEKI XVI	Penyaji oral	Yogyakarta	2011
8.	The 3 rd International symposium of IWORS	Peserta	Yogyakarta	2011

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
9.	The 2 nd International Symposium of Sustainable Humano-sphere	Penyaji Poster	Bandung	2012
10.	Workshop on Advancing 2 nd Generation Bioethanol Production through Industry-Research Collaboration	Peserta	Serpong	2016
11.	The 6 th International Symposium for Sustainable Humano-sphere (ISSH)	Penyaji poster	Bogor	2016
12.	The 1 st Korea-Indonesia Workshop on Bio-energy from Biomass	Peserta	Jakarta	2011
13.	Seminar Lignoselulosa 2016	Penyaji oral	Bogor	2016
14.	Seminar Ekspose Hasil Penelitian dan Pengembangan Bio-material	Penyaji oral	Cibinong	2012
15.	12 th Science Council of Asia Conference and International Symposium	Penyaji poster	Bogor	2012
16.	Seminar Perkembangan Kegiatan Penelitian dan Kelembagaan UPT Balai Litbang Biomaterial 2013	Peserta	Cibinong	2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
17.	Bioresources LIPI Seminar	Peserta	Bogor	2014
18.	The 1 st International Symposium on Integrated Biorefinery (ISIBio)	Penyaji poster	Bogor	2014
19.	Seminar Nasional XVII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Peserta	Medan	2014
20.	The 6 th International Seminar of Indonesian Wood Research Society	Penyaji oral	Medan	2014
21.	Humanosphere Science School 2012	Peserta	Bandung	2012
22.	International Symposium on Sustainable Use of Tropical Rainforest with the Intensive Forest Management and Advanced Utilization of Forest Resources	Peserta	Jakarta	2012
23.	The 4 th International Symposium for Sustainable Humano-sphere (ISSH): A Forum of Humanosphere Science School (HSS) 2014 and Humano-sphere Symposium No. 266.	Peserta	Bandung	2014

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
24.	Seminar Nasional XVIII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Bandung	2015
25.	The 7 th International Seminar of Indonesian Wood Research Society	Penyaji oral	Bandung	2015
26.	Humanosphere Science School (HSS) 2015	Peserta	Jakarta	2015
27.	The 5 th International Symposium of Sustainable Humanosphere	Peserta	Jakarta	2015
28.	Humanosphere Science School (HSS) 2016	Peserta	Bogor	2016
29.	The 3 rd International Symposium on Integrated Biorefinery (ISIBIO)	Peserta	Bogor	2016
30.	JASTIP WP3 Kick-off Symposium, Collaborative Bioresources, and Biodiversity Studies for the ASEAN Region	Penyaji oral	Jakarta	2016

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
31.	Workshop of Biore-sources and Biodi-versity Research in JASTIP & Interna-tional Premeeting of Humanosphere Asia Research Node on Biomass Utilization	Penyaji oral	Kyoto, Jepang	2016
32.	RISH International Seminar: Chemistry and Biotechnology for Lignocellulose	Penyaji oral	Kyoto, Jepang	2016
33.	International Sym-posium on Applied Chemistry (ISAC)	Penyaji oral	Serpong	2016
34.	Seminar Lignoselulo-sa 2016	Penyaji poster	Cibinong	2016
35.	Seminar Lignoselulo-sa 2017	Peserta	Cibinong	2017
36.	The 4 th International Symposium Innova-tive Bioproduction In-donesia 2017 (ISIBio 2017)	Peserta	Bogor	2017
37.	Humanosphere Sci-ence School 2017 & the 360th Symposium on Sustainable Hu-manosphere	Peserta	Bogor	2017

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
38.	The 7 th International Symposium of Sustainable Humano-sphere	Penyaji poster	Bogor	2017
39.	General Assembly and the 1 st International Symposium of JSPS Alumni Association of Indonesia	Penyaji poster	Cibodas	2017
40.	The International Symposium on Bio-economics of Natural Resources Utilization	Penyaji poster	Bogor	2017
41.	The 2 nd International Conference on Bio-mass	Penyaji oral	Bogor	2017
42.	2 nd JASTIP biore-sources and biodiversity lab workshop	Penyaji oral	Kyoto, Jepang	2017
43.	Seminar Nasional MAPEKI XX	Penyaji oral	Bali	2017
44.	Satreps meeting	Penyaji oral	Cibinong	2017
45.	Seminar Lignoselulo-sa 2018	Peserta	Cibinong	2018
46.	General Assembly and the 2 nd International Symposium of JSPS Alumni Association of Indonesia	Peserta	Bogor	2018

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
47.	The 5 th International Symposium on Innovative Bio-Production Indonesia (ISIBio)	Peserta	Bogor	2018
48.	The 8 th International Symposium for Sustainable Humano-sphere (ISSH). The 384 th symposium on sustainable humano-sphere	Penyaji poster	Medan	2018
49.	The 6 th Japan-ASEAN Science, Technology, and Innovation Platform Symposium	Peserta	Serpong	2018
50.	1 st International Symposium on Chemistry and Material Science 2020	Penyaji oral	Online	2020
51.	Workshop Pengembangan dan Penerapan Alsin Pemroses Produk Samping Padi	Penyaji oral	Online	2020
52.	International Conference on Forest Products (ICFP) 2020: 12 th International Symposium of IwoRS	Peserta	Online	2020
53.	Seminar Nasional Tekstil 2020 (SNT 2020)	Peserta	Online	2020

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
54.	International Virtual Conference on Bio-Based Adhesives	Peserta	online	2020
55.	International Conference the Future of Wood Science & Technology Education (FWSTE 2021)	Peserta	Online	2021
56.	Webinar 2 nd Generation of Bioethanol from Lignocellulose Materials	Peserta	Online	2021
57.	The 13 th International Symposium of Indonesian Wood Research Society (IWoRS)	Penyaji Oral	Online	2021

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Journal of Lignocellulose Technology	Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI	Editor	2016–sekarang

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	5
2.	Bersama Penulis Lainnya	147
	Total	152

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	54
2.	Bahasa Inggris	98
3.	Bahasa Lainnya	-
	Total	152

J. Pembinaan Kader Ilmiah

-

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Faizatul Falah	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2009- sekarang
2.	Sita Heris Anita	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2011, 2014, 2020- 2021
3.	Maulida Okta- viani	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2018
4.	Riksafardini A. Ermawar	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2019- 2020
5.	Nissa Nurfajrin Solihat	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2015- sekarang
6.	Fahriya Puspita Sari	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2015- sekarang
7.	Kharisma Panji Ramadan	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2019
8.	Fenny Clara A	P2 Biomaterial- LIPI	Pembimbing	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
9.	Oktan Dwi Nurhayat	P2 Biomaterial-LIPI	Pembimbing	2019
10.	Riska Suryaningrum	P2 Biomaterial-LIPI	Pembimbing	2019
11.	Deni Zulfiana	P2 Biomaterial-LIPI	Pembimbing	2014; 2020
12.	Fahriya Puspita Sari	P2 Biomaterial-LIPI	Pembimbing	2015–sekarang
13.	Andi Budiansyah	Pusinov-LIPI	Pembimbing	2015
14.	Fitria	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2013, 2016, 2021
15.	Triyani Fajriutami	P2 Biomaterial-LIPI	Pembimbing	2016
16.	Muhammad Adly Rahandi Lubis	P2 Biomaterial	Pembimbing	2020–2021

Mahasiswa

No	Nama	PT/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Rospita B. Palawi	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2011–2012
2.	Tiara K. Wardani	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2017
3.	Eva Purawningsih	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2017–2018
4.	Yan Steward Nababan	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2016
5.	Devy Nury Nursanti	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2018

No	Nama	PT/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
6.	Azizatul Karimah	Universitas Gadjah Mada	Pembimbing 2	2018, 2020–sekarang
7.	Wildan Ulwan	Universitas Pankuan	Pembimbing 2	2017–2019
8.	Fajar Nurhamzah	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2017
9.	Rikna Naila Salsabilla	Sekolah Tinggi MIPA, Bogor	Pembimbing 2	2020
10.	Izdihar Khosani Hani	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2021
11.	Elvara Windra Madyaratri	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2021
12.	Muslimatul Rahmi DN	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2020–2021
13.	Rowilson Sianturi	Universitas Brawijaya	Pembimbing 2	2021
14.	Andita Maria	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2020
15.	Rika Raniya	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2016–2017
16.	Fazriana Maretha	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2014
17.	Muhammad Rasyidur Ridho	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2021
18.	Erika Ayu Kristiany	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2022
19.	Muhammad Yusron	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2022
20.	Ika Yuliandari	Universitas Jambi	Pembimbing 2	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No	Nama	PT/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
22	Feby Savva Kharisma	Universitas Jambi	Pembimbing 2	2022
23	Antalina Florida Br Marpaung	Universitas Jambi	Pembimbing 2	2022
24	Jatnika	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2022
25	Haniif Prasetiawan	Universitas Diponegoro	Pembimbing 3	2022
26	Netty Maria Naibaho	Universitas Mulawarman	Pembimbing 3	2022

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)	2004–2017
2.	Anggota	Masyarakat Perkelapa- sawi- tan Indononesia (MAKSI)	2012–2014
3.	Anggota	Asosiasi Alumni JSPS Indo- nesia (JAAI)	2021–sekarang
5.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo)	2014–sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden RI	2016
2.	Peneliti terproduktif	Kepala Pusat Penelitian Bio- material LIPI	2013

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
3.	Peneliti dengan capaian terbaik	Kepala Pusat Penelitian Bio-material LIPI	2019
4.	Ketua kelompok penelitian dengan performa terbaik	Kepala Pusat Penelitian Bio-material LIPI	2019
5.	Peneliti dengan jumlah pendanaan eksternal terbanyak	Kepala Pusat Penelitian Bio-material LIPI	2019
6	Peneliti dengan performa terbaik kedua Pusat Riset Biomaterial 2020	Kepala Pusat Penelitian Bio-material LIPI	2020
7	Kelompok Penelitian Terbaik Pusat Riset Biomaterial 2021	Kepala Pusat Penelitian Bio-material LIPI	2020
6.	Penghasil paten terbanyak di LIPI 2020-2021	LIPI	2021
7	Peneliti muda berprestasi bidang teknologi	Himpenindo	2021
8	Periset dengan capaian Hak Kekayaan Intelektual dan Lisensi terbanyak 2021	Kepala Pusat Riset Biomaterial BRIN	2022
9	Periset dengan capaian Jumlah Publikasi Terbanyak Kedua Kategori Reputasi Menengah atau Tinggi 2021	Kepala Pusat Riset Biomaterial BRIN	2022
10	Periset Terbaik Kedua Pusat Riset Biomaterial 2021 "Man of The Year 2021"	Kepala Pusat Riset Biomaterial BRIN	2022
11	Kelompok Penelitian Terbaik kedua Pusat Riset Biomaterial 2021	Kepala Pusat Riset Biomaterial BRIN	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung BJ Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: 0811-8612-369
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.709



Buku ini tidak diperjualbelikan.