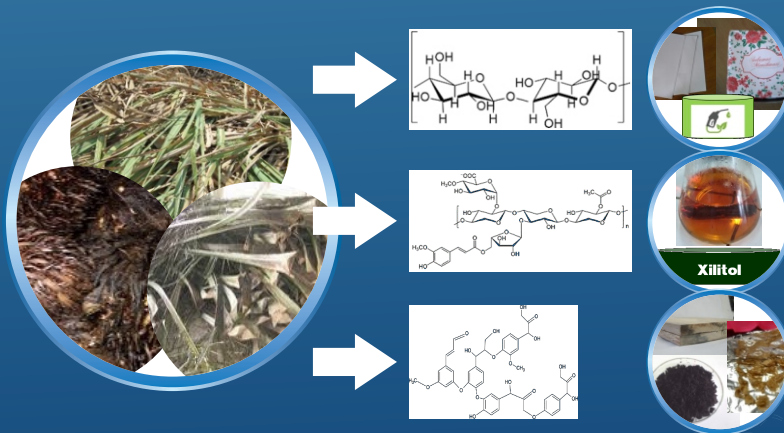




ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG TEKNOLOGI BIOPROSES

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOETANOL DAN BIOPRODUK SEBAGAI SUBSTITUSI PRODUK BERBAHAN BAKU FOSIL



OLEH:
EUIS HERMIATI

LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 4 DESEMBER 2019

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KONVERSI
BIOMASSA MENJADI BIOETANOL
DAN BIOPRODUK SEBAGAI SUBSTITUSI
PRODUK BERBAHAN BAKU FOSIL**

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

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

All Rights Reserved



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG TEKNOLOGI BIOPROSES**

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI
KONVERSI BIOMASSA MENJADI
BIOETANOL DAN BIOPRODUK
SEBAGAI SUBSTITUSI PRODUK
BERBAHAN BAKU FOSIL**

**OLEH:
EUIS HERMIATI**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 4 DESEMBER 2019**

© 2019 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Biomaterial

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengembangan Teknologi Konversi Biomassa Menjadi Bioetanol dan Bioproduct sebagai Substitusi Produk Berbahay Baku Fosil/Euis Hermiti. Jakarta: LIPI Press, 2019.

ix + 74 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-100-8 (cetak)
978-602-496-101-5 (e-book)

1. Konservasi Biomassa 2. Bioetanol dan Bioproduct

662.88

Copy editor : Noviasuti Putri Indrasari
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : Rusli Fazi

Cetakan : Desember 2019



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp.: (021) 573 3465
e-mail: press@mail.lipi.go.id
website: lipipress.lipi.go.id

 LIPI Press
 @lipi_press

BIODATA RINGKAS



Euis Hermiati lahir di Jakarta pada 23 September 1960, adalah anak pertama dari Bapak Suherman (alm.) dan Ibu Anisah (almh.). Menikah dengan Drs. Asronald Siregar dan dikaruniai 3 orang anak, yaitu Marina Nurrahmani Siregar, M.Psi., Psikolog, Abdurrahman Ma'ruf Siregar, S.Sos. dan Abdurrahim Makarim Siregar, S.Kesos.

Berdasarkan Keputusan Presiden RI Nomor 124/M TAHUN 2014 tanggal 2 September 2014 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Utama terhitung mulai tanggal 1 September 2013.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 261/A/2019 tanggal 20 November 2019 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Cilandak 1, Jakarta tahun 1972, Sekolah Menengah Pertama Negeri 13, Jakarta tahun 1975, Sekolah Menengah Atas Negeri 11, Jakarta tahun 1979. Memperoleh gelar sarjana bidang Teknologi Hasil Pertanian dari Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 1983, gelar Master of Science bidang *Food Science* dari Rutgers University, AS tahun 1989, dan gelar Doktor bidang Teknologi Industri Pertanian dari IPB tahun 2012.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain *JSPS Invitation for Research on Hydrolysis of Biomass Using Microwave Irradiation*, Program

Pemagangan Kementerian Riset dan Teknologi di Kyoto University, Jepang (2010), dan *Multidisciplinary Experiential Training* di Skotlandia, Inggris (2016).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Seksi Pengembangan Teknologi pada UPT Balai Penelitian dan Pengembangan (Balai Litbang) Biomaterial LIPI (2002–2008) dan Kepala Bagian Tata Usaha pada Pusat Penelitian (Puslit) Biomaterial LIPI (2014–2016).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Muda tahun 1989, Ajun Peneliti Muda tahun 1991, Peneliti Muda tahun 2002, Peneliti Madya golongan IV/a tahun 2006, Peneliti Madya golongan IV/b tahun 2007, Peneliti Madya golongan IV/c tahun 2012, Peneliti Utama golongan IV/d tahun 2013, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/e bidang Teknologi Bioproses tahun 2018.

Menghasilkan 110 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri (5) maupun bersama penulis lain (105) dalam bentuk buku nasional (1), jurnal internasional (8), jurnal nasional (37), prosiding internasional (36), dan prosiding nasional (28) serta 5 paten yang terdiri atas 3 paten terdaftar dan 2 paten tersertifikasi.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Puslit Biomaterial LIPI, pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Muhammadiyah Palembang, Universitas Winaya Mukti, Sekolah Tinggi MIPA, Universitas Pakuan, dan IPB, pembimbing tesis (S-2) pada Institut Pertanian Bogor dan Universitas Indonesia serta penguji disertasi (S-3) pada Institut Pertanian Bogor .

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai bendahara Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia/MAPEKI (2003–2006), anggota MAPEKI (1998–sekarang), Perhimpunan Polimer

Indonesia (2011–sekarang), dan Himpunan Peneliti Indonesia (2014–sekarang).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2004), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (tahun 2014) dari Presiden RI.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
PRAKATA PENGUKUHAN	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
II. PERKEMBANGAN PENELITIAN KONVERSI DAN FRAKSIONASI BIOMASSA	4
2.1 Potensi Biomassa di Indonesia	4
2.2 Perkembangan Penelitian Konversi Biomassa	5
III. PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOETANOL DAN BIOPRODUK	10
3.1 Pengembangan Teknologi Praperlakuan dan Fraksionasi Biomassa	10
3.2 Pengembangan Teknologi Hidrolisis dan Fermentasi	14
3.3 Pengembangan Formulasi dan Teknologi Sintesis Bioproduk Berbasis Lignin	17
IV. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOETANOL DAN BIOPRODUK	18
V. KESIMPULAN	22
VI. PENUTUP	23
UCAPAN TERIMA KASIH	24
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	37
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH	43
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA	58
DAFTAR PATEN	60
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	61

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 ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

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

**“PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KONVERSI
BIOMASSA MENJADI BIOETANOL DAN BIOPRODUK
SEBAGAI SUBSTITUSI PRODUK
BERBAHAN BAKU FOSIL”**

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan dan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia terus mengalami peningkatan, dari 67,5 juta kL pada 2015 menjadi 74 juta kL pada 2018¹ (Gambar 1), dan sekitar 30% dipenuhi dari impor. Sementara itu, sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi, termasuk BBM, selama ini semakin terkuras karena sebagian besar sumber energi saat ini berasal dari sumber daya alam yang tidak terbarukan, misalnya minyak, gas, dan batu bara. Sekitar 82% kebutuhan energi dunia saat ini dipenuhi dari sumber daya asal fosil². Demikian juga dengan berbagai produk polimer, banyak yang berasal dari turunan minyak bumi. Di sisi lain, Indonesia mempunyai sumber daya biomassa yang melimpah. Biomassa adalah bahan biologis yang berasal dari makhluk atau organisme hidup. Limbah pertanian, perkebunan dan kehutanan, ataupun industri pengolahan komoditas pertanian, perkebunan dan kehutanan, dan lain-lain merupakan sumber yang potensial untuk menghasilkan energi dan berbagai bioproduk.

Penelitian pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi dan bioproduk intensif dilakukan selama dua dekade terakhir. Salah satu produk energi yang utama adalah bioetanol yang diharapkan dapat menggantikan bahan bakar minyak, dalam hal ini bensin, untuk kendaraan bermotor. Energi lain yang dapat dihasilkan dari biomassa adalah biogas, *syngas*, dan biopellet yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan panas ataupun listrik. Upaya pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi sejalan dengan kebijakan pemerintah untuk mengurangi penggunaan energi yang berasal dari fosil. Pada Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP21) yang diselenggarakan tahun 2015 di Paris,

pemerintah Indonesia berkomitmen untuk menggunakan energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 23% pada 2025. Disamping itu, pemerintah Indonesia melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) No. 12 tahun 2015 menargetkan 10% substitusi bensin dengan bioetanol untuk sektor transportasi dan industri komersial pada 2020 (Tabel 1). Di antara kendala yang dihadapi dalam pencapaian target substitusi bensin dengan bioetanol adalah teknologi yang belum siap, terutama untuk skala komersial, dan harga bioetanol yang lebih mahal daripada harga bahan bakar konvensional, seperti Pertamina 92. Kementerian ESDM menetapkan harga indeks pasar bioetanol yang dihasilkan dari tetes tebu (bioetanol generasi 1) pada Oktober 2019 sebesar Rp10.273 per liter³. Pada saat yang sama harga Pertamina 92 adalah Rp9.850 per liter. Di Amerika Serikat, harga bioetanol dari jagung pada Juni 2017 sekitar Rp5.200 per liter, sedangkan harga bioetanol dari bahan lignoselulosa (bioetanol generasi 2) lebih tinggi, yaitu sekitar Rp11.610 per liter⁴. Dengan demikian, teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan bioetanol masih perlu terus dikembangkan, mulai dari tahapan praperlakuan sampai dengan proses fermentasi. Upaya lain yang dapat dilakukan untuk menghasilkan bioetanol dengan harga yang lebih kompetitif adalah dengan menerapkan konsep *biorefinery* atau kilang hayati. Dengan menggunakan konsep ini, bukan hanya energi yang dihasilkan sebagai produk utama, tetapi juga dihasilkan berbagai ko-produk yang mempunyai nilai tambah atau bernilai ekonomis, dan sekaligus juga dapat menyubstitusi bahan berbasis fosil.

Oleh karena itu, telah dilakukan serangkaian kegiatan penelitian terkait konversi biomassa menjadi bioetanol dan bioproduk yang berfokus pada konversi biomassa hasil samping industri pertanian atau perkebunan, baik berupa bahan berpati (ampas tapioka) maupun bahan berlignoselulosa (bagas tebu,

bagas sorgum, tandan kosong kelapa sawit, dan pelepah kelapa sawit), menjadi etanol. Proses konversi diawali dengan praperlakuan, dilanjutkan dengan hidrolisis dan fermentasi. Proses praperlakuan dilakukan menggunakan proses fisik, mekanik, kimia, biologis ataupun kombinasinya. Proses ini bertujuan untuk memberikan akses kepada enzim selulase untuk menghidrolisis selulosa. Hidrolisis dilakukan secara enzimatik maupun termokimia, dan fermentasi menggunakan khamir. Dalam rangkaian konversi biomassa menjadi etanol, komponen utama yang digunakan untuk menghasilkan etanol adalah pati atau selulosa. Komponen hemiselulosa dan lignin dapat digunakan untuk menghasilkan ko-produk, misalnya xilitol dari xilosa; perekat, lignosulfonat dan biosurfaktan dari lignin. Pada awalnya, penelitian difokuskan pada proses praperlakuan. Seiring berjalannya waktu, penelitian juga dilakukan pada proses hidrolisis dan fermentasi serta pembuatan ko-produk.

Dalam naskah orasi ini diuraikan kebutuhan akan bahan bakar dan bahan kimia yang semakin meningkat, sementara ketersediaan bahan bakunya yang berasal dari fosil semakin menipis. Oleh karena itu, diperlukan penelitian dan pengembangan teknologi konversi biomassa agar dihasilkan bahan bakar dan bioproduk untuk menyubstitusi bahan bakar dan bahan kimia asal fosil tersebut.

II. PERKEMBANGAN PENELITIAN KONVERSI DAN FRAKSIONASI BIOMASSA

2.1 Potensi Biomassa di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber bahan lignoselulosa, baik jenis maupun jumlahnya. Namun, potensi yang besar tersebut masih belum sepenuhnya dapat dimanfaatkan karena terkendala oleh beberapa hal. Salah satunya adalah karena lokasi keberadaan bahan yang tersebar, kecuali untuk beberapa bahan lignoselulosa yang merupakan hasil samping industri, misalnya tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan bagas tebu. Lokasi bahan yang tersebar memerlukan biaya ekstra untuk transportasi bahan tersebut ke tempat pengumpulan atau tempat pengolahan bahan. Kendala lain yang biasanya dihadapi adalah kualitas bahan yang tidak seragam serta kesinambungan pasokan bahan tersebut. Gambaran potensi tanaman sumber biomassa yang potensial disajikan pada Tabel 2. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa sampai dengan saat ini biomassa yang paling potensial dari segi ketersediannya adalah yang berasal dari kelapa sawit.

Komponen utama yang terdapat di dalam biomassa lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ketiganya membentuk suatu ikatan kimia yang kompleks yang menjadi bahan dasar dinding sel tumbuhan. Selulosa adalah senyawa kerangka yang menyusun 40–50% bagian kayu dalam bentuk selulosa mikrofibril, sedangkan hemiselulosa adalah senyawa matriks yang berada di antara mikrofibril-mikrofibril selulosa. Sementara itu, lignin adalah senyawa keras yang menyelimuti dan mengeraskan dinding sel. Peranan ketiga komponen kimia ini dalam dinding sel dapat dianalogikan seperti bahan konstruksi yang terbuat dari beton bertulang, yang mana selulosa, lignin

dan hemiselulosa masing-masing berperan sebagai rangka besi, semen dan bahan penguat yang memperbaiki ikatan di antara mereka⁵.

Kandungan ketiga senyawa utama dalam bahan lignoselulosa berbeda-beda tergantung dari sumbernya. Pada Tabel 3 dapat dilihat kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada beberapa biomassa limbah pertanian dan perkebunan yang banyak terdapat di Indonesia, sedangkan pada Tabel 4 kandungan pati pada beberapa biomassa sumber pati di Indonesia. Dengan mengetahui kandungan karbohidrat dan lignin yang terdapat dalam bahan lignoselulosa, dapat diperkirakan berapa banyak etanol dan/atau ko-produk yang dapat dihasilkan dengan menggunakan asumsi-asumsi tertentu terkait keefektifan setiap tahapan proses yang dilalui. Dari perhitungan dengan asumsi-asumsi tersebut, potensi etanol yang dapat dihasilkan di Indonesia adalah 4,4 juta kL, xilitol 1,4 juta ton, dan lignin 3,8 juta ton (Gambar 2).

2.2 Perkembangan Penelitian Konversi Biomassa

Penggunaan sumber daya terbarukan dari tumbuhan dan hewan untuk penerangan dan energi sudah lama dilakukan manusia, misalnya penggunaan minyak jarak atau minyak hewan untuk lampu, dan penggunaan kayu bakar untuk memasak. Oleh karena itu, bahan bakar dari sumber daya terbarukan sebetulnya sudah lebih dulu dikenal sebelum adanya bahan bakar dari fosil. Bahan bakar ini tidak lagi banyak digunakan sejak sekitar 1860 ketika dihasilkan bahan bakar asal fosil, seperti minyak tanah dan bensin yang harganya jauh lebih murah. Penelitian terkait konversi biomassa untuk bahan bakar (*biofuel*) terus berkembang sejak satu abad yang lalu⁶. Penelitian yang dilakukan meliputi optimasi produksi sumber daya pertanian, kehutanan dan perairan, perbaikan proses konversi biomassa nira, pati, dan selulosa melalui proses mikrobiologis dan proses termal serta pengujian

penggunaan *biofuel* untuk kompatibilitas mesin dan pemodelan emisinya⁷. Terkait bahan baku, terjadi perkembangan dari penggunaan nira dan pati, dikenal dengan bioetanol generasi pertama; penggunaan bahan lignoselulosa atau limbah rumah tangga, dikenal dengan bioetanol generasi kedua; sampai dengan penggunaan biomassa alga, dikenal dengan bioetanol generasi ketiga.

Proses konversi biomassa tidak terlepas dari proses fraksionasi. Fraksionasi biomassa komersial yang sudah lama dilakukan adalah proses pembuatan pulp, atau dikenal dengan istilah "*pulping*". Pada proses ini hemiselulosa dan lignin dihilangkan melalui proses mekanika, fisika, kimia dan/atau biologis untuk mendapatkan pulp selulosa yang akan digunakan sebagai bahan baku kertas. Hemiselulosa dan lignin yang terpisah dari selulosa terdapat dalam fraksi cair yang biasanya disebut lindi hitam. Proses fraksionasi biomassa yang selanjutnya berkembang adalah dalam rangkaian proses konversi biomassa menjadi etanol (Gambar 3), dikenal dengan istilah "*pretreatment*" atau praperlakuan. Pada proses ini hemiselulosa dan lignin dipisahkan dari selulosa yang akan dihidrolisis menjadi glukosa dan selanjutnya glukosa difermentasi menjadi etanol. Proses yang digunakan adalah proses mekanika, fisika, kimia, biologis atau kombinasinya^{8,9}. Proses praperlakuan jauh lebih bervariasi daripada proses *pulping* dan masih terus berkembang karena belum diperoleh proses yang benar-benar ekonomis untuk menunjang produksi bioetanol dari biomassa yang sangat beragam.

Praperlakuan yang sudah digunakan secara komersial adalah praperlakuan menggunakan larutan asam encer dan eksplosi uap (*steam explosion*)¹⁰. Walaupun sudah dalam tahap komersialisasi, perlakuan pendahuluan menggunakan larutan asam kuat encer memiliki kelemahan karena berpotensi menghasilkan produk samping seperti furfural dan hidroksi metil furfural (HMF) yang dapat menghambat proses fermentasi, mencemari

lingkungan, misalnya menghasilkan residu berupa gipsum, serta memerlukan alat-alat proses yang terbuat dari bahan yang tahan terhadap kondisi asam dan suhu tinggi¹¹. Penggunaan asam organik, seperti asam oksalat atau asam maleat^{12,13,14} diharapkan dapat dijadikan alternatif dalam mengatasi kelemahan penggunaan asam sulfat. Adapun beberapa kelemahan proses eksplosif adalah degradasi parsial hemiselulosa, terbentuknya hasil samping yang menghambat proses konversi selanjutnya, diperlukan SO₂ atau asam sulfat untuk beberapa biomassa seperti kayu daun jarum, berkurangnya rendemen gula karena pencucian sebelum hidrolisis enzimatis, dan diperlukan detoksifikasi untuk menghilangkan senyawa inhibitor¹⁵. Teknologi praperlakuan lain, seperti penggunaan pelarut organik, cecair ion, iradiasi gelombang mikro, ultrasonikasi, sinar gamma, iradiasi sinar elektron, medan listrik berpulsa (*pulse-electric field*), tekanan hidrostatik tinggi, dan homogenisasi tekanan tinggi, masih dalam tahap pengembangan¹⁶.

Proses hidrolisis dan fermentasi dapat dilakukan secara bertahap, dikenal dengan proses hidrolisis dan fermentasi terpisah (*separate hydrolysis and fermentation*/SHF), yaitu seluruh atau sebagian besar karbohidrat terlebih dulu dihidrolisis oleh enzim selulase dan xilanase menjadi glukosa dan xilosa, baru kemudian glukosa difermentasi menjadi bioetanol menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae*⁸. Proses hidrolisis dan fermentasi dapat pula dilakukan secara serentak, dikenal dengan proses sakarifikasi dan fermentasi simultan (*simultaneous saccharification and fermentation*/SSF). Proses SSF memiliki keunggulan dibandingkan proses SHF, di antaranya 1) meningkatkan kecepatan hidrolisis dengan mengonversi gula yang terbentuk dari hasil hidrolisis selulosa yang menghambat aktivitas enzim selulase, 2) mengurangi kebutuhan enzim, 3) meningkatkan rendemen produk, 4) mengurangi kebutuhan kondisi steril

karena glukosa langsung dikonversi menjadi etanol, 5) waktu proses lebih pendek, dan 6) volume reaktor lebih kecil karena hanya digunakan satu reaktor¹⁷. Beberapa kendala yang perlu diatasi pada proses SSF adalah 1) suhu hidrolisis dan fermentasi yang tidak sama, 2) toleransi mikroorganisme terhadap etanol, 3) penghambatan kerja enzim oleh etanol¹⁷, dan 4) kesulitan memisahkan sel khamir dari sisa lignin dan serat yang dapat mengakibatkan kebutuhan khamir meningkat sehingga menurunkan produksi etanol¹⁸.

Beberapa upaya yang dilakukan dalam meningkatkan efisiensi proses sakarifikasi dan fermentasi, antara lain dengan penggunaan surfaktan, penggunaan enzim oksidatif/pendegradasi polisakarida (*lytic polysaccharide monooxygenases/LPMO*), sakarifikasi dengan konsentrasi substrat tinggi, proses bioproses terkonsolidasi (*consolidated bioprocessing/CBP*), proses sakarifikasi dan ko-fermentasi simultan (*simultaneous saccharification, and co-fermentation/SSCF*), penggunaan khamir termotoleran, dan penggunaan *arming yeast*. Penggunaan surfaktan pada proses sakarifikasi berfungsi mencegah absorpsi nonproduktif enzim oleh lignin selama proses sakarifikasi¹⁹. Penambahan LPMO ke dalam enzim selulase komersial yang biasa digunakan pada hidrolisis enzimatis bahan lignoselulosa dapat meningkatkan efisiensi sakarifikasi karena LPMO mampu mengatalisis hidroksilasi karbon C1 dan/atau C4 pada ikatan glikosidik yang menghubungkan unit-unit glukosa dalam selulosa. Proses hidroksilasi ini mengakibatkan destabilisasi dan pemecahan ikatan glikosidik serta mengganggu struktur kristalin selulosa sehingga mempermudah proses degradasi selulosa²⁰. Penggunaan proses CBP meningkatkan efisiensi proses sakarifikasi dan fermentasi karena produksi enzim untuk menghidrolisis karbohidrat dalam biomassa dilakukan secara terintegrasi dengan proses sakarifikasi dan fermentasi²¹. Pada

proses SSCF, xilosa yang terbentuk difermentasi oleh khamir seperti *Pichia stipitis* atau *Candida shehatae* menjadi bioetanol²². Penggunaan khamir yang bersifat termotoleran memungkinkan proses SSF berlangsung lebih cepat pada suhu optimum hidrolisis enzimatis (sekitar 50°C). Penggunaan *arming yeast* dengan berbagai enzim amilase, selulase dan/atau hemiselulase di permukaannya, memungkinkan terjadinya proses sakarifikasi dan fermentasi dalam satu wadah dan meningkatkan rendemen produk bioetanol²³.

Pabrik bioetanol generasi kedua sudah berdiri dan beroperasi di beberapa negara selama kurun dekade terakhir, tetapi tampaknya belum benar-benar komersial sehingga kemudian banyak di antaranya yang tutup. Dengan demikian, perlu dicoba untuk menerapkan konsep kilang hayati pada industri bioetanol generasi kedua. Konsep kilang hayati pada produksi bahan bakar dari biomassa sebetulnya bukan merupakan suatu hal yang benar-benar baru, karena sudah banyak diterapkan pada industri kertas, pati, dan gula²⁴. Definisi kilang hayati atau *biorefinery* menurut International Energy Agency (IEA) adalah pengolahan biomassa secara berkelanjutan untuk menghasilkan sejumlah produk dan energi yang dapat dipasarkan. Pengolahan meliputi proses pengolahan di hulu, tengah maupun hilir. Pengolahan harus memenuhi aspek berkelanjutan yang meliputi aspek lingkungan, ekonomi dan sosial dalam keseluruhan siklus kehidupan suatu biomassa. Biomassa dapat berasal dari kegiatan kehutanan, pertanian, akuakultur, peternakan, atau berupa limbah industri dan limbah rumah tangga. Produk yang dihasilkan dapat berupa produk antara maupun produk akhir, meliputi produk pangan, pakan, material, dan bahan kimia, sedangkan produk energi meliputi bahan bakar, listrik, dan/atau panas. Volume dan harga produk saat ini dan di masa mendatang harus mempunyai daya saing di pasar.

III. PENGEMBANGAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOETANOL DAN BIOPRODUK

3.1 Pengembangan Teknologi Praperlakuan dan Fraksionasi Biomassa

Teknologi fraksionasi biomassa yang telah dikembangkan meliputi proses menggunakan jamur pelapuk putih; proses hidrotermal menggunakan air atau uap air panas; dan proses termokimia yang melibatkan penggunaan bahan kimia, baik asam maupun alkali dan pemanasan, baik pemanasan konvensional maupun pemanasan gelombang mikro. Adapun biomassa yang digunakan berupa bagas tebu, daun tebu, tandan kosong kelapa sawit, pelepah kelapa sawit, jerami padi, bagas sorgum, dan tongkol jagung.

Penggunaan jamur pelapuk putih pada proses pembuatan pulp untuk kertas maupun pulp untuk bioetanol, terutama berpengaruh pada penurunan kadar lignin dari biomassa, sehingga dapat mengurangi energi yang dibutuhkan pada proses pemasakan pulp secara termokimia ataupun memudahkan proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa pada rangkaian proses konversi biomassa menjadi etanol. Beberapa jamur pelapuk putih yang telah dicoba digunakan adalah *Pleurotus ostreatus*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *Lentinus edodes*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Coriolus (Trametes) versicolor*, *Schizophyllum commune*, dan *Pycnoporus sanguineus*^{25,26,27,28,29}. Jamur-jamur ini dikenal bersifat cukup selektif, yaitu mendegradasi lignin sebesar mungkin dan mendegradasi selulosa sesedikit mungkin. Walaupun bersifat ramah lingkungan, proses menggunakan jamur ini mempunyai kelemahan karena memakan waktu yang cukup lama dan masih harus dikombinasikan dengan perlakuan

panas menggunakan uap panas pada pembuatan pulp untuk gula dan bioetanol serta menggunakan NaOH dan/atau Na₂S pada pembuatan pulp untuk kertas. Pada tahap awal penelitian, jamur yang digunakan berupa kultur tunggal dan percobaan inkubasi dilakukan sampai dengan 8 minggu. Berdasarkan parameter penurunan kadar komponen kimia, terutama lignin dan selulosa, waktu inkubasi yang optimum adalah 4 minggu^{30,31,32,33,34}. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dengan jamur dapat menurunkan bilangan kappa pada pulp bambu yang dimasak dengan proses *kraft*, tetapi tidak pada proses pulp bambu yang diperoleh dari proses pemasakan soda panas terbuka³⁵. Adapun kehilangan lignin dari biomassa pada praperlakuan bagas tebu dan jerami padi dengan jamur dapat mencapai sekitar 20%^{30,33}. Jamur yang cukup potensial untuk digunakan pada kedua proses tersebut adalah *T. versicolor* dan *P. ostreatus*. Kedua mikroorganismenya tersebut juga mempunyai viabilitas yang baik³⁶. Konsentrasi etanol yang diperoleh dari proses sakarifikasi dan fermentasi serentak pulp bagas tebu yang diberi praperlakuan jamur *P. ostreatus* dapat mencapai 15,2 g/L³⁷.

Upaya untuk mengurangi waktu inkubasi dilakukan dengan cara menggunakan kultur campur jamur pelapuk putih, misalnya campuran antara *P. ostreatus*, *T. versicolor*, dan *P. chrysosporium*, dengan harapan terjadi simbiosis atau sinergi pada proses degradasi lignin dalam biomassa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kultur campur pada pembuatan pulp untuk kertas tidak dapat menurunkan waktu inkubasi, tetapi dapat meningkatkan kualitas pulp, dalam hal bilangan kappa, selektivitas delignifikasi, dan rendemen²⁷. Pada pembuatan pulp untuk menghasilkan gula dan bioetanol, waktu inkubasi 2 minggu telah memberikan hasil yang cukup efektif dalam penurunan kadar lignin bagas tebu, dengan kehilangan minimal pada komponen selulosa²⁹ serta dihasilkan rendemen gula yang

tinggi dari hasil sakarifikasi tandan kosong kelapa sawit dan pelepah kelapa sawit³⁸. Dengan waktu inkubasi yang semakin singkat, peluang penerapan praperlakuan secara biologis menggunakan jamur pelapuk putih menjadi semakin besar.

Larutan alkali, seperti NaOH, Ca(OH)₂ dan Na₂S merupakan bahan kimia yang dapat digunakan untuk mendegradasi lignin dan hemiselulosa dalam biomassa lignoselulosa. Adapun larutan asam lebih banyak mendegradasi hemiselulosa dan hanya sedikit saja mendegradasi lignin dan selulosa. Proses pembuatan pulp untuk kertas metode soda panas hanya menggunakan larutan NaOH, sedangkan metode *kraft* menggunakan larutan NaOH dan Na₂S sehingga pada proses *kraft* lebih banyak lignin yang didegradasi atau dihilangkan. Proses praperlakuan pada biomassa untuk konversi menjadi bioetanol telah dicoba dilakukan menggunakan larutan NaOH dan Ca(OH)₂^{39,40} ataupun kombinasi NaOH dan hidrogen peroksida (H₂O₂)⁴¹ serta larutan asam, baik asam anorganik (asam sulfat dan asam fosfat)^{42,43} maupun asam organik (asam maleat dan asam oksalat)^{12,13,14,44,45}. Semua proses menggunakan bantuan pemanasan, baik pemanasan konvensional menggunakan autoklaf dan *thermostirrer reactor*, maupun pemanasan dengan gelombang mikro.

Mekanisme yang terjadi pada proses praperlakuan alkali adalah saponifikasi ikatan ester di antara molekul-molekul yang berikatan silang dan molekul lainnya, seperti lignin dan hemiselulosa¹⁷. Hilangnya ikatan silang ini mengakibatkan peningkatan porositas bahan. Praperlakuan dengan larutan alkali encer juga mengakibatkan terjadinya pengembangan bahan sehingga meningkatkan luas permukaan bahan, menurunkan derajat polimerisasi dan kristalinitas bahan serta memutuskan ikatan antara karbohidrat dan lignin.

Dari hasil studi, dapat diketahui bahwa praperlakuan ampas tebu dengan menggunakan NaOH 3% pada suhu 121°C selama 60 menit mampu mengurangi kadar lignin sampai dengan 80%³⁹. Praperlakuan NaOH menghasilkan 66,4% gula pereduksi, sedangkan praperlakuan Ca(OH)₂ menghasilkan sekitar 41,3% gula pereduksi dari jumlah maksimal gula pereduksi yang bisa dikonversi dari ampas tebu³⁹. Sakarifikasi dan fermentasi selama 72 jam terhadap ampas tebu yang diberi perlakuan NaOH 1% dapat menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi 22,64 g/L, atau setara dengan nilai rendemen etanol sebesar 29,2% per bobot kering ampas tebu⁴⁰.

Mekanisme yang terjadi pada praperlakuan menggunakan larutan asam adalah hidrolisis hemiselulosa menjadi oligomer dan monomernya sehingga komponen ini larut ke dalam larutan. Dengan larutnya komponen hemiselulosa, terbentuk rongga-rongga pada permukaan biomassa yang memungkinkan enzim selulase lebih mudah mengakses komponen selulosa dalam biomassa sehingga proses hidrolisis selulosa dapat berlangsung dengan lebih cepat.

Penelitian yang dilakukan memperlihatkan bahwa praperlakuan dengan asam anorganik maupun asam organik sangat berpengaruh terhadap penurunan kadar hemiselulosa dan sedikit saja berpengaruh terhadap kadar selulosa dan lignin pada biomassa. Penurunan kadar hemiselulosa dapat mencapai 70–73%, sedangkan penurunan kadar lignin dan selulosa masing-masing hanya sekitar 20–25 dan 10–20%^{13,43}. Rendemen gula pereduksi yang diperoleh setelah sakarifikasi pulp hasil praperlakuan asam organik sebanding dengan yang diperoleh dari proses menggunakan asam anorganik, yaitu dapat mencapai sekitar 50% berdasarkan bobot bahan awal^{12,13,14}. Adapun kelebihan penggunaan asam organik adalah dapat menekan

proses degradasi lebih lanjut gula menjadi senyawa dengan bobot molekul lebih rendah, seperti furfural, hidroksimetil furfural, asam asetat, dan asam format, yang dapat menghambat proses fermentasi gula menjadi bioetanol atau produk lain seperti xilitol. Praperlakuan dengan asam sulfat 1% pada suhu 180°C selama 60 menit menghasilkan 37 mM furfural dan 0,03 mM HMF, sedangkan dengan asam maleat 1% pada suhu dan waktu yang sama menghasilkan 9,8 mM furfural dan 0,01 mM HMF.

Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa praperlakuan menggunakan iradiasi gelombang mikro menghasilkan lebih sedikit senyawa inhibitor dibandingkan pemanasan konvensional, namun dapat diperoleh gula yang sebanding setelah sakarifikasi karena pemanasan dengan gelombang mikro berlangsung lebih cepat, sekitar 2–5 menit, sedangkan pemanasan secara konvensional memakan waktu sekitar 30–60 menit^{12,13,14}.

Penelitian praperlakuan menunjukkan bahwa penggunaan pemanasan gelombang mikro yang dikombinasikan dengan asam, khususnya asam organik memberikan hasil yang terbaik dalam hal perolehan gula dibandingkan metode praperlakuan lainnya. Disamping itu, prosesnya berlangsung dalam waktu yang singkat, hanya sekitar 3–5 menit serta diperoleh fraksi turunan hemiselulosa yang dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan produk seperti furfural dan xilitol.

3.2 Pengembangan Teknologi Hidrolisis dan Fermentasi

Teknologi hidrolisis untuk menghasilkan gula yang dikembangkan meliputi proses hidrotermal dengan pemanasan gelombang mikro dan karbon aktif, proses termokimia dengan asam, karbon aktif dan pemanasan gelombang mikro serta proses enzimatik dengan penambahan surfaktan. Proses hidrolisis dilakukan, baik terhadap biomassa lignoselulosa yang sudah diberi praperlakuan maupun biomassa berpati.

Studi yang dilakukan memperlihatkan bahwa dengan menggunakan proses hidrotermal, bahan berpati—seperti tepung tapioka dan ampas tapioka—dapat dikonversi menjadi glukosa, masing-masing pada suhu 240°C selama 5 menit dengan rendemen 69%, dan pada suhu 230°C selama 5 menit dengan rendemen 27% dari bobot awal bahan⁴⁶. Dengan penambahan karbon aktif dapat diperoleh glukosa dari tepung tapioka dengan rendemen 72% dan hal ini diperoleh menggunakan suhu yang jauh lebih rendah, yaitu 200°C selama 5 menit, sedangkan dari ampas tapioka dapat diperoleh rendemen glukosa sebesar 52% menggunakan suhu 210°C dan lama pemanasan 15 menit⁴⁷. Manfaat lain dari penambahan karbon aktif pada hidrolisis ini adalah warna hidrolisat yang lebih terang dan lebih rendahnya senyawa HMF yang terbentuk (Gambar 4). Penemuan ini membuka peluang untuk memproduksi maltodekstrin dari pati dengan cara yang lebih sederhana dan cepat dibandingkan proses enzimatik yang selama ini digunakan⁴⁸.

Pada hidrolisis secara termokimia menggunakan asam dan pemanasan gelombang mikro, penambahan karbon aktif kurang berperan dalam meningkatkan rendemen glukosa dari ampas tapioka karena sebagian maltooligosakarida yang terbentuk akibat hidrolisis oleh asam teradsorpsi di permukaan karbon aktif sehingga tidak terhidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa⁴⁹.

Pada hidrolisis enzimatik dicoba ditambahkan surfaktan, misalnya pada hidrolisis pulp *kraft* bagas sorgum, yang ternyata berhasil meningkatkan perolehan gula pereduksi, dengan peningkatan sebesar 20% dibandingkan tanpa penambahan surfaktan¹⁹. Hasil penelitian hidrolisis ampas tapioka secara termokimia menunjukkan bahwa kombinasi asam dan pemanasan gelombang mikro dapat menghasilkan rendemen gula yang cukup tinggi dalam waktu yang relatif singkat (5–10 menit),

yaitu masing-masing 78% dan 81% jika digunakan kombinasi pemanasan gelombang mikro dengan asam oksalat dan asam sulfat^{49,50,51} dan hanya 29% jika digunakan kombinasi pemanasan gelombang mikro dan air⁴⁴. Demikian juga halnya hidrolisis pulp sengon dan TKKS menggunakan asam sulfat 1% dan pemanasan gelombang mikro (daya 50%) selama 15 menit, dapat diperoleh rendemen masing-masing 23% dan 30%^{52,53}.

Dari beberapa metode hidrolisis yang telah dikembangkan, hidrolisis pati atau biomassa berpati menggunakan pemanasan gelombang mikro dan karbon aktif berpotensi sebagai alternatif metode hidrolisis enzimatik karena sama-sama bersifat ramah lingkungan, tetapi mempunyai kelebihan utama dalam hal kecepatan waktu hidrolisis. Untuk proses hidrolisis bahan lignoselulosa, walaupun penggunaan surfaktan pada proses hidrolisis terbukti dapat meningkatkan perolehan gula, perlu dipertimbangkan pula tambahan biaya surfaktan.

Hidrolisat yang mengandung glukosa selanjutnya difermentasi menjadi etanol menggunakan khamir *S. cerevisiae*. Hasil fermentasi (Gambar 5) menunjukkan bahwa rendemen dan produktivitas etanol yang berasal dari hidrolisat bahan berpati lebih tinggi daripada yang berasal dari bahan berlignoselulosa^{13,54}. Teknologi fermentasi telah dicoba dikembangkan, khususnya pada proses fermentasi xilosa menjadi xilitol, yaitu menggunakan teknik adaptasi sel khamir (*Candida tropicalis*) dalam media yang mengandung hidrolisat hasil hidrolisis biomassa menggunakan asam dan pemanasan gelombang mikro. Setelah proses adaptasi, khamir tersebut digunakan pada proses fermentasi hidrolisat dari praperlakuan menggunakan pemanasan gelombang mikro dan asam maleat daun tebu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa melalui proses adaptasi khamir, diperoleh rendemen xilitol yang lebih tinggi (55%) dibandingkan yang diperoleh dari khamir yang tidak diadaptasi terlebih dulu (50%)⁵⁵.

3.3 Pengembangan Formulasi dan Teknologi Sintesis Bioproduk Berbasis Lignin

Formulasi dan sintesis bioproduk berbasis lignin yang telah dikembangkan adalah dalam pembuatan perekat, sodium ligno-sulfonat, dan biosurfaktan (Gambar 6). Perekat diformulasikan dari bahan lateks karet alam dan lignin yang dijadikan bahan polimer dasar pada sistem perekat *aqueous polymer isocyanate* (API). Polimer dasar ini perlu diberi agen pengikat silang yang mengandung gugus diisosiyanat agar terjadi proses perekatan yang baik. Perekat digunakan untuk pembuatan produk kayu lapis dan kayu lamina dengan proses kempa panas maupun dingin. Penambahan lignin ke dalam formulasi perekat API ini hanya dapat dilakukan dalam persentase yang kecil dan belum berhasil menyubstitusi poli vinil alkohol sebagai sumber gugus hidroksil pada sistem perekat tersebut^{56,57}. Melalui proses sulfonasi, lignin yang diisolasi dari lindi hitam praperlakuan alkali ampas tebu dapat disintesis menjadi natrium lignosulfonat yang dapat digunakan sebagai bahan aditif pada produk semen, pupuk, dan kertas⁵⁸. Adapun biosurfaktan berbahan dasar lignin yang disintesis berupa *amphiphatic lignin derivatives* (ALD)^{59,60} dan melalui proses *grafting* antara lignin dan polimer larut air. Biosurfaktan berupa ALD ini berhasil meningkatkan rendemen gula pereduksi pada proses sakarifikasi pulp biomassa¹⁹. Biosurfaktan dari proses *grafting* lignin dan polimer larut air masih dalam tahap penelitian.

IV. PROSPEK PEMANFAATAN TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOETANOL DAN BIOPRODUK

Teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan bioetanol dan bioproduk menjadi semakin penting, terutama untuk menyubstitusi produk-produk yang sebelumnya diperoleh dari bahan baku fosil, seperti bahan bakar minyak, polimer, dan bahan kimia lainnya. Bioetanol dapat digunakan untuk substitusi bensin, yang dapat diperoleh melalui proses konversi biomassa yang mengandung nira, pati, ataupun selulosa. Selain untuk substitusi bensin, bioetanol juga bermanfaat untuk industri lain, seperti industri farmasi, kosmetika, cat, detergen, tinta, dan polimer. Bioproduk lain yang dapat dihasilkan dari biomassa di antaranya asam laktat yang selanjutnya disintesis menjadi poli asam laktat, lignin yang selanjutnya dapat disintesis menjadi perekat, lignosulfonat, dan biosurfaktan serta xilitol yang dapat dimanfaatkan untuk bahan pemanis.

Teknologi konversi biomassa menjadi bioetanol dari biomassa penghasil karbohidrat jenis pati atau sukrosa, seperti ubi kayu, jagung, tetes tebu, dan nira (aren, tebu, sorgum manis) atau dikenal sebagai bioetanol generasi pertama sudah cukup mapan dan dilakukan pada skala komersial, terutama di Brasil dan Amerika Serikat^{61,62}. Pada konversi biomassa menjadi bioetanol dari bahan lignoselulosa, kondisinya agak berbeda karena dalam bahan lignoselulosa terdapat lignin dan hemiselulosa yang terlebih dulu harus didegradasi atau dipisahkan dari selulosa. Di samping itu, di dalam senyawa selulosa terdapat bagian yang berstruktur kristal yang agak sulit didegradasi oleh mikroorganisme atau enzim selulase⁸. Hal ini menjadikan proses konversi biomassa lignoselulosa menjadi bioetanol lebih panjang dan

produk bioetanolnya lebih mahal (harga di AS sekitar Rp5.200 untuk bioetanol generasi 1 dan Rp11.610 per liter untuk bioetanol generasi 2⁴) dan kurang ekonomis sehingga sulit bersaing dengan bahan bakar komersial asal fosil.

Upaya peningkatan efisiensi produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa dapat dilakukan melalui perbaikan proses praperlakuan, sakarifikasi, fermentasi, distilasi, dan pemurnian etanol⁸. Proses konversi perlu diupayakan yang bersifat efisien dalam penggunaan energi dan ramah lingkungan. Upaya lain yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi produksi bioetanol dari biomassa lignoselulosa adalah dengan cara menerapkan konsep kilang hayati (*biorefinery*), di antaranya dengan cara memanfaatkan sebanyak mungkin komponen yang terkandung dalam bahan lignoselulosa untuk menghasilkan produk yang bermanfaat dan mempunyai nilai tambah²⁴. Jadi, selain proses konversi utama selulosa menjadi glukosa dan selanjutnya menjadi bioetanol, proses konversi dua komponen utama yang lain, yaitu lignin dan hemiselulosa menjadi aneka bioproduk, seperti perekat, lignosulfonat, biosurfaktan, antioksidan, dan bahan pendisperi dari lignin serta senyawa xilo-oligosakarida dan xilitol dari hemiselulosa, terutama senyawa xilan, sangatlah penting. Selain bioproduk yang telah disebutkan di atas, masih banyak lagi bioproduk yang dapat dihasilkan sebagai ko-produk dari proses konversi biomassa lignoselulosa menjadi bioetanol, di antaranya furfural, HMF, sorbitol, asam laktat, asam suksinat dari karbohidrat pentosa dan heksosa serta berbagai senyawa fenolik dari lignin. Ko-produk yang dihasilkan dalam rangkaian proses produksi bioetanol ini dapat membantu menekan harga bioetanol yang dihasilkan sehingga dapat lebih bersaing dengan bahan bakar asal fosil. Terlebih jika dapat dihasilkan bioproduk yang bersifat *less weight high value*. Di sisi lain, ko-produk yang

dihasilkan dapat berkontribusi terhadap pemenuhan kebutuhan industri dalam negeri akan ko-produk tersebut.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam upaya penerapan teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan bioetanol dan bioproduk adalah lokasi industri dan kebijakan pemerintah⁶³. Lokasi industri bioetanol dan bioproduk sebaiknya terintegrasi dengan industri atau pabrik yang memasok bahan baku berupa limbah, misalnya pabrik tapioka, pabrik kelapa sawit, dan pabrik gula sehingga pasokan bahan baku lebih terjamin. Integrasi juga dapat dilakukan antara industri bioetanol generasi 1 dan generasi 2, misalnya mengintegrasikan industri bioetanol dari molase dan dari bagas tebu dan limbah tanaman tebu⁶⁴. Kebijakan pemerintah berupa insentif pajak atau kemudahan lainnya kepada industri yang mengolah limbahnya dan menghasilkan bioetanol dan bioproduk dapat menarik industri yang sudah ada ataupun investor lain yang akan menerapkan konsep kilang hayati tersebut. Pemerintah juga diharapkan dapat lebih mendorong kerja sama antar-instansi terkait, baik universitas, badan penelitian dan pengembangan kementerian, lembaga penelitian non-kementerian maupun pihak swasta, mulai dari hulu sampai hilir. Kerja sama berfokus pada beberapa bahan baku biomassa yang benar-benar potensial dan penggunaan beberapa teknologi proses terpilih dari skala laboratorium untuk uji coba pada skala pilot hingga meningkat pada skala komersial.

Konsumsi bensin di Indonesia pada 2018 mencapai sekitar 34,5 juta kL. Pengolahan biomassa yang tersedia di Indonesia menjadi bioetanol berpotensi menghasilkan bioetanol sebanyak 4,4 juta kL (Gambar 2) sehingga berpotensi untuk menyubstitusi penggunaan bensin sebesar 13%. Kebutuhan surfaktan di Indonesia mencapai 95 ribu ton per tahun, sedangkan kapasitas produksi dalam negeri sekitar 55 ribu ton per tahun dan 44,5 ribu

ton lainnya masih diimpor. Potensi produksi lignin dari biomassa lignoselulosa sebesar 3,8 juta ton per tahun (Gambar 2). Dengan demikian, peluang pasar untuk produk surfaktan berbasis lignin di dalam negeri masih terbuka, ketersediaan lignin mencukupi serta berpotensi mengurangi penggunaan bahan impor dan surfaktan asal bahan fosil. Kebutuhan xilitol dalam negeri mencapai 850 ton per tahun yang hampir seluruhnya dipenuhi melalui impor. Produksi xilitol dari bahan lignoselulosa dengan potensi sekitar 1,4 juta ton per tahun sudah melebihi kebutuhan dalam negeri akan xilitol. Dengan demikian, dari segi kebutuhan dan potensi pasar, bioetanol dan bioproduk mempunyai prospek untuk dikembangkan. Akan tetapi, pemanfaatan produk-produk tersebut secara komersial masih terkendala skala produksi dan keekonomisannya, sehingga masih perlu dikaji lebih lanjut.

V. KESIMPULAN

Biomassa merupakan sumber daya terbarukan yang sangat potensial untuk menghasilkan energi dan bioproduk di Indonesia. Melalui teknologi konversi yang tepat, biomassa ini dapat diubah menjadi produk seperti bioetanol yang dapat digunakan untuk substitusi bensin, xilitol sebagai bahan pemanis rendah kalori serta biosurfaktan yang dapat digunakan pada proses sarkarifikasi pulp biomassa. Teknologi konversi biomassa telah berhasil dikembangkan, yaitu teknologi hidrolisis bahan berpati menggunakan pemanasan gelombang mikro dan karbon aktif serta teknologi fraksinasi bahan berlignoselulosa menggunakan pemanasan gelombang mikro dan asam organik. Kedua teknologi tersebut turut berkontribusi terhadap upaya penerapan konsep kilang hayati untuk menghasilkan bioetanol dan bioproduk yang lebih ekonomis sebagai bahan substitusi BBM dan produk asal fosil.

VI. PENUTUP

Tantangan utama yang dihadapi dalam penerapan teknologi konversi biomassa untuk menghasilkan bioetanol dan bioproduk adalah kesiapan teknologi pada skala komersial dan keekonomian produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi bioetanol dan bioproduk dengan konsep kilang hayati perlu terus dilanjutkan agar diperoleh teknologi yang dapat menghasilkan produk yang ekonomis dan dapat bersaing dengan produk komersial asal fosil. Sinergi antarlembaga penelitian, universitas, kementerian terkait serta industri dalam kegiatan penelitian dan pengembangan konversi biomassa dan kilang hayati perlu diperkuat. Keberhasilan pengembangan teknologi ini dapat mendukung upaya pemerintah dalam memenuhi target 23% penggunaan EBT pada tahun 2025 dan/atau target substitusi bensin dengan bioetanol yang tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM No. 12 tahun 2015, serta mengurangi impor beberapa produk yang dapat dihasilkan sebagai ko-produk bioetanol. Selain sinergi dalam pengembangan teknologi konversi biomassa, diperlukan juga peran pemerintah dalam menciptakan inovasi kebijakan, mengeluarkan regulasi, dan memberikan insentif terkait EBT yang menarik para *stakeholder* untuk berperan dalam bisnis EBT di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Acara Pengukuhan Profesor Riset ini dapat terselenggara atas dukungan berbagai pihak, baik yang memberikan kontribusi langsung maupun tidak langsung, baik moral maupun material. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih atas dukungan tersebut.

Pertama, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo. Selanjutnya, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Dr. Laksana Tri Handoko, Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M. Agr., dan Sekretaris Majelis Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani. Saya pun berterima kasih kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah Prof. Dr. Subyakto, M.Sc., Prof. Dr. Yanni Sudyani, M.Agr., dan Prof. Dr. Ir. Bambang Prasetya, M.Sc. serta Kepala Biro Organisasi dan SDM LIPI, Dr. Heru Santoso, M.App.Sc. beserta jajaran yang telah menyelenggarakan prosesi pengukuhan ini.

Ucapan terima kasih saya haturkan kepada Deputy Bidang Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI, Dr. Yan Rianto, M.Eng. dan Kepala Pusat Penelitian Biomaterial LIPI, Dr. Iman Hidayat. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Prof. Dr. Eddy Sudarmonowati, Deputy Bidang Ilmu Pengetahuan Hayati LIPI periode 2014–2019, yang tak pernah bosan memberi semangat dan mengingatkan untuk menyusun naskah orasi.

Pencapaian saya sebagai peneliti saat ini tidak terlepas dari dukungan, kesempatan, dan kepercayaan yang diberikan oleh para pimpinan saya sejak mulai bekerja di LIPI sampai dengan

saat ini, yaitu Drs. Ardjuno Brojonegoro, M.Sc., Drs. Immanuel Iman Tarigan (alm.), Dr. Amru Hydari Nazif, Ir. Hoemam R. Sahil, Dr. Ono Kurnaen Sumadiharga, Dr. Anung Kusnowo, Dr. Achiar Oemry, Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M.Agr., Dr. Suprapedi, Prof. Dr. Sulaeman Yusuf, M.Agr., dan Dr. Dede Heri Yuli Yanto. Penghargaan saya sampaikan kepada pembimbing skripsi Dr. Ir. Wakhyuddin Ciptadi, M.S. (alm.) dan Ir. M. Zein Nasution, M.Sc. serta pembimbing tesis Prof. Dr. George W. Halek. Penghormatan dan apresiasi juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Bambang Prasetya, Prof Djumali Mangunwidjaja, Dr. Titi Candra Sunarti, dan Dr. Ono Suparno sebagai pembimbing disertasi S-3, Prof. Dr. Jun-ichi Azuma dan Prof. Dr. Shuntaro Tsubaki yang telah berkontribusi pada penelitian S-3 saya serta kepada para guru dan dosen lainnya yang tidak dapat disebut satu per satu yang telah mendidik saya sejak di taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi.

Terima kasih saya sampaikan kepada seluruh rekan kerja, baik sewaktu bertugas di Lembaga Fisika Nasional LIPI di Bandung; Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna LIPI di Subang; Balai Litbang Sumber Daya Laut, Puslit Oseanologi LIPI di Ambon; Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan LIPI di Serpong; maupun setelah bertugas di Puslit Biomaterial LIPI di Cibinong serta kepada seluruh rekan kerja di dalam dan di luar lingkungan LIPI yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Kepada rekan-rekan Kelompok Penelitian Teknologi Proses Biomassa dan Bioremediasi, Puslit Biomaterial LIPI, saya ucapkan terima kasih khusus atas segala dukungan, kerja sama dan kekompakannya. Kepada Dr. Ir. Wahyu Dwianto, M.Agr. dan Maulida Oktaviani, S.Si., M.Si, terima kasih telah membantu menjadi *proofreader* naskah ini.

Penghormatan dan terima kasih tak terhingga saya sampaikan kepada almarhumah Ibunda Anisah dan almarhum Ayahanda

Suherman yang telah membesarkan dan mendidik saya dengan penuh kasih sayang, memberikan kebebasan dalam menempuh pendidikan sesuai dengan yang saya inginkan serta tak putus mendoakan segala kebaikan untuk anak-anaknya. Saya pun bersyukur dan berterima kasih kepada suami saya, Asronald Siregar, yang telah memberi kepercayaan, kesempatan dan dukungan kepada saya untuk tetap meniti karier di LIPI. Kepada anak-anakku Marina Nurrahmani, Abdurrahman Ma'ruf, dan Abdurrahim Makarim, Ibu sampaikan terima kasih atas dukungan dan pengertian kalian terhadap Ibu selama ini. Keberadaan kalian menjadi penyejuk hati dan salah satu penyemangat bagi Ibu. Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada adik-adik saya, Asep, Budi, Adi, almh. Neneng dan Arif, beserta keluarga; keluarga besar Hasan Basri Siregar dan keluarga besar Ompung Lenggana atas perhatian dan dukungan yang diberikan kepada saya dan keluarga.

Terakhir, saya sampaikan terima kasih kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah yang telah berusaha agar acara pengu-kuhan dapat terselenggara dengan baik, lancar dan khidmat serta kepada para undangan yang telah berkenan hadir dan mengikuti acara pengu-kuhan professor riset ini. Mohon maaf jika ada hal-hal yang kurang berkenan.

Wabillaahi taufiq wal hidayah.

Wassalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <http://statistik.migas.esdm.go.id/index.php?r=konsumsiBbm/index>; 2019.
2. Soetaert W, Vandamme EJ. Biofuels in perspectives. Dalam: Soetaert W, Vandamme EJ, editor. Biofuels. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd.; 2009. 1–8.
3. Humas EBTKE, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Harga indeks pasar (HIP) bahan bakar nabati (BBN) bulan Oktober 2019 [Internet]; Terakhir diperbarui 17 September 2019. Tersedia di <http://ebtke.esdm.go.id/post/2019/09/17/2339/harga.indeks.pasar.hip.bahan.bakar.nabati.bbn.bulan.oktober.2019>.
4. Aiman S, Muryanto, Triwahyuni E. Perkembangan teknologi dan kebijakan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar pada tataran global. Dalam: Sudiyani Y, Aiman S, Mansur D, editor. Perkembangan bioetanol G2: teknologi dan perspektif. Jakarta: LIPI Press; 2019. 255–297.
5. Fujita M, Harada H. Ultrastructure and formation of wood cell wall. Dalam: Hon DNS, Shiraishi N, editor. Wood and cellulosic chemistry. New York: Marcell Dekker, Inc.; 1991. 3–57.
6. Kovarik B. History of biofuels. Dalam: Sing BP, editor. Biofuel Crops: production, physiology and genetics. Wallingford: CABI Publishing; 2013. 1–22.
7. Bente, P. International bio-energy handbook. Washington, D.C.: The Bio-Energy Council; 1984.
8. **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(4): 121–130.
9. Fatriasari W, **Hermiati E**. Lignocellulosic biomass for bioproduct: its potency and technology development. *Journal of Lignocellulose Technology* 2016; 1(1): 1–14.

10. Kapoor M, Semwal S, Gaur R, Kumar R, Gupta RP, Puri SK. The pretreatment technologies for deconstruction of lignocellulosic biomass. Dalam: Singhania RR, Agarwal RA, Kumar RP, Sukumaran RK, editor. Waste to wealth (energy, environment, and sustainability). Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.; 2018. 395–421.
11. Saha BC, Iten LB, Cotta MA, Wu YV. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification, and fermentation of rice hulls to ethanol. *Biotechnology Progress* 2005; 21: 816–822.
12. Sari FP, Solihat NN, Anita SH, Fitria, **Hermiati E**. Peningkatan produksi gula pereduksi dari tandan kosong kelapa sawit dengan praperlakuan asam organik pada reaktor bertekanan. *Reaktor* 2016; 16(4): 199–206.
13. 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* 2018; 13(2): 4378–4403.
14. 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*; 2019. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00566-w>.
15. Agbor VB, Cicek N, Sparling R, Berlin A, Levin DB. Biomass pretreatment: fundamentals toward application. *Biotechnology Advance* 2011; 29(6): 675–685.
16. Hasan SS, Williams GA, Jaiswal AK. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 2018; 262: 310–318.
17. Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology* 2002; 83: 1–11.
18. Nguyen QA. Economic analyses of integrating a biomass-to-ethanol plant into a pulp/saw mill. Dalam: Saddler JN, editor. *Bioconversion of forest and agricultural plant residues*. Wallingford: CAB International; 1993. 321–340.

19. 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 2018; 141 (2018) 012005.
20. Muller G, Chylenski P, Bissaro B, Eijsink VG, Horn SJ. The impact of hydrogen peroxide supply on LPMO activity and overall saccharification efficiency of a commercial cellulase cocktail. Biotechnology for Biofuels 2018; 11: 209.
21. Cardona CA, Sanchez OJ. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. Bioresource Technology 2007; 98: 2415–2457.
22. Hahn-Hagerdal B, Hallborn J, Jeppsson H, Olsson L, Skoog K, Walfridsson M. Pentose fermentation to alcohol. Dalam: Saddler JN, editor. Bioconversion of forest and agricultural plant residues. Wallingford: CAB International; 1993. 231–290.
23. Kuroda K, Ueda M. Arming technology in yeast-novel strategy for whole-cell biocatalyst and protein engineering. Biomolecules 2013; 3: 632–650.
24. de Jong E, Jungmeier G. Biorefinery concepts in comparison to petrochemical refineries. Dalam: Pandey A, Hofer R, Taherzadeh M, Nampoothiri M, Laroche C, editor. Industrial Biorefineries and white biotechnology. Amsterdam: Elsevier BV; 2015. 3–33.
25. Samsuri M, Prasetya B, **Hermiati E**, Idiyanti T, Okano K, Syafwina, Honda Y, Watanabe T. Effect of fungal treatments on ethanol production from bagasse by simultaneous saccharification and fermentation. Proceedings of The Fifth International Wood Science Symposium. Kyoto, 17–19 September 2004: 317–323.
26. Ermawar RA, Yanto DHY, Fitria, **Hermiati E**. Biodegradation of lignin in rice straw pretreated by white-rot fungi. Widyariset 2006; 9(3): 197–202.

27. 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(2): 44–56.
28. Falah F, Fatriasari W, Ermawar RAE, Adi DTN, **Hermiati E**. Corn steep liquor effect on bamboo biochemical pulping using *P. chrysosporium*. Proceedings The 2nd International Symposium of Indonesian Wood Research Society. Bali, 12–13 November 2010: 464–476.
29. 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. 2011b; 1(2): 81–88.
30. Ermawar RA, Yanto DHY, Fitria, **Hermiati E**. Lignin degradation content in rice straw pretreated by white-rot fungi. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium. Denpasar, 29–31 Agustus 2005: 300–304.
31. 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 Agustus 2012; 2013: 8–13.
32. Fitria, Yanto DHY, **Hermiati E**. Pengaruh perlakuan pendahuluan dengan jamur *Trametes versicolor* terhadap kadar lignin dan selulosa bagasse. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI X, Pontianak, Kalimantan Barat, 9–11 Agustus 2007: 517–523.
33. Anita SH, Fajriutami T, Fitria, Ermawar RA, Yanto DHY, **Hermiati E**. Pretreatment *Trametes versicolor* dan *Pleurotus ostreatus* pada bagas untuk produksi bioetanol. Teknologi Indonesia. 2011a; 34: 33–39.
34. **Hermiati E**, Anita SH, Risanto L, Styarini D, Sudiyani Y, Hanafi A, Abimanyu H. Biological pretreatment of oil palm frond fiber using white-rot fungi for enzymatic saccharification. Makara Seri Teknologi. 2013; 17(1): 39–43.

35. 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.
36. Ermawar RAE, 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 Agustus 2008; 2009: 693–702.
37. Samsuri M, Prasetya B, **Hermiati E**, Idiyanti T, Okano K, Syafwina, Honda Y, Watanabe T. 2005. Pre-treatments for ethanol production from bagasse by simultaneous saccharification and fermentation. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium*. Denpasar 29–31 Agustus 2005: 288–294.
38. **Hermiati E**, Risanto L, Anita SH, Aristiawan 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(2): 111–122.
39. Fajriutami T, Fatriasari W, **Hermiati E**. Pengaruh pra perlakuan basa pada ampas tebu terhadap karakterisasi pulp dan produksi gula pereduksi. *Jurnal Riset Industri*. 2016; 19(3): 147–161.
40. Oktaviani M, Fajriutami T, **Hermiati E**. Produksi etanol dari ampas tebu terdelignifikasi alkali melalui proses sakarifikasi dan fermentasi serentak. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI)*. Malang 6 Februari 2016: (1): B.45–B.51
41. 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*. 2017; 6(2): 117–131.
42. 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: 141 (2018) 01202540.

43. Arniedyanto DR. Praperlakuan pemanasan gelombang mikro dan asam untuk hidrolisis selulosa daun tebu (*Saccharum officinarum*) oleh selulase. [Skripsi]. [Bogor]: Universitas Pakuan; 2018. 83.
44. 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* 2017; 49(3): 255–268.
45. **Hermiati E**, Solihat NN, Adi DTN, Ghozali M. The ultrastructure and enzyme susceptibility of oil palm empty fruit bunch pretreated by oxalic acid under microwave irradiation. *Proceedings 5th International Symposium on Innovative Bio-Production Indonesia*. Bogor, 10 Oktober 2018: 92–99.
46. **Hermiati E**, Azuma J, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Hydrolysis of carbohydrates in cassava pulp and tapioca flour under microwave irradiation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2011; 11: 238–245.
47. **Hermiati E**, Azuma J, Tsubaki S, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Improvement of microwave-assisted hydrolysis of cassava pulp and tapioca flour by addition of activated carbon. *Carbohydrate Polymers*. 2012; 87: 939–942.
48. Fajriutami T, Laksana RPB, **Hermiati E**. Characterization and microwave-assisted hydrolysis of sago starch to produce maltodextrin. *Teknologi Indonesia*. 2014; 7(2): 73–82.
49. **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*. 2012; 4: 238–244.
50. **Hermiati E**, Risanto L, Laksana RPB. Microwave-assisted hydrolysis of cassava pulp in acid media. *Proceedings of The 1st International Symposium for Sustainable Humansphere*. Ambon, 3 Oktober 2011: 41–46.

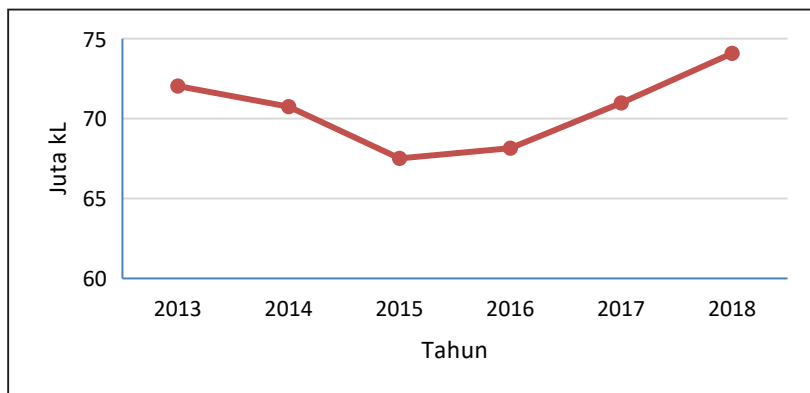
51. **Hermiati E**, Tsubaki S, Azuma J. Cassava pulp hydrolysis under microwave irradiation with oxalic acid catalyst for ethanol production. *Journal of Mathematical and Fundamental Science*. 2014; 46(2): 125–139.
52. Fajriutami T, Fatriasari W, **Hermiati E**. Sengon pulp hydrolysis by dilute acid under microwave irradiation. *Proceedings of The 2nd Korea-Indonesia Workshop and International Symposium on Bioenergy from Biomass*. Serpong, Indonesia, 13–15 Juni 2012: 83–86.
53. Fajriutami T, Sudiyani Y, **Hermiati E**. Dilute acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch pulp under microwave irradiation. *Proceedings of the 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society*. Yogyakarta, 3–4 November 2011; 2012: 200–204.
54. **Hermiati E**, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B, Anita SH, Risanto L. Ethanol fermentation of microwave-assisted acid hydrolysate of cassava pulp with *Saccharomyces cerevisiae* in the presence of activated carbon. *International Journal of Environment and Bioenergy*. 2012; 3(1): 12–24.
55. Oktaviani M. Peningkatan produksi xilitol dari hidrolisat hemiselulosa limbah daun tebu (*Saccharum officinarum* L) melalui teknik adaptasi dan imobilisasi sel. [Tesis]. [Depok]: Fakultas MIPA, Program Studi Pascasarjana Biologi, Universitas Indonesia; 2019. 119.
56. Risanto L, **Hermiati E**, Sudiyani Y. Properties of lignin from oil palm empty fruit bunch and its application for wood adhesive. *Makara Seri Teknologi*. 2014; 18(2): 67–75.
57. **Hermiati E**, Lubis MAR, Risanto L, Laksana RPB, Zaini LH. Characteristics and bond performance of wood adhesive made from natural rubber latex and alkaline pretreatment lignin. *Procedia Chemistry*. 2015; 16: 376–383.

58. 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: (1) B33–B88.
59. 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. Paten No. P00201708601. 30 November 2017.
60. 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 No. P00201702048. 31 Maret 2017.
61. Lennartsson PM, Erlandsson P, Taherzadeh MJ. Integration of the first and second generation bioethanol processes and the importance of by-products. *Bioresource Technology*. 2014; 165: 3–8.
62. de Castro REN, de Brito Alves RM, do Nascimento CAO, Giudici R. Assessment of sugarcane-based ethanol production. Dalam: Basso TP, Basso LC, editor. *Fuel ethanol production from sugarcane*. IntechOpen; 2019. 1–21.
63. de Jong E, Higson A, Walsh P, Wellisch M. Bio-based chemicals value added products from biorefineries. Wageningen: International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task. 42 Biorefinery; 2012.
64. Dias MOS, Junqueira TL, Cavalett O, Cunha MP, Jesus CDF, Rossell CEV, Filho RM, Bonomi A. Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. *Bioresource Technology*. 2012; 103: 152–161.
65. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT 2018 [Internet]. Tersedia di <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

66. **Hermiati E**, Risanto L, Anita SH, Aristiawan Y, Sudiyani Y, Hanafi A, Abimanyu H. Sakarifikasi serta 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(2): 111–122.
67. Khalil HPSA, Alwani MS, Omar AKM. Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers. BioResources. 2006; 1(2): 220–232.
68. Sangian HF, Kristian J, Rahma S, Dewi HK, Puspasari DA, Agnesty SY, Gunawan S, Widjaja A. Preparation of reducing sugar hydrolyzed from high-lignin coconut coir dust pretreated by the recycled ionic liquid [mmim][dmp] and combination with alkaline. Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis. 2015; 10(1): 8–22.
69. Lee JW, Jeffries TW. Efficiencies of acid catalysts in the hydrolysis of lignocellulosic biomass over a ranged of combined severity factors. Bioresource Technology. 2011; 102: 5884–5890.
70. Fatriasari W, **Hermiati E**. Analisis morfologi serat dan sifat fisik-kimia pada enam jenis bambu sebagai bahan baku pulp dan kertas. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan. 2008; 1(2): 67–72.
71. Risanto L, Adi DSA, Kaneko M, Kurosaki Y, Girmansyah D, Susanti R, **Hermiati E**, Watanabe T. An evaluation for enzymatic saccharification of fast-growing tree species from secondary forest in West Kalimantan. Proceeding ASEAN COSAT 2014. Bogor, 18–19 Agustus 2014: 209–218.
72. **Hermiati E**. Mempelajari pengaruh varietas ubikayu dan jumlah air pengestrak terhadap produk dan limbah proses ekstraksi umbi ubikayu. [Skripsi]. [Bogor]: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor; 1983: 109.
73. Ariani LN, Estiasih T, Martati E. Karakteristik sifat fisiko kimia ubi kayu berbasis kadar sianida. Jurnal Teknologi Pertanian 2017; 18(2): 119–128.
74. Inglett GE. Kernel, structure, composition and quality. Dalam: Inglet GE, editor. Corn: culture, processing, products. Westport: The AVI Publicshing Co.; 1970.

75. Iriani ES. 2013. Pengembangan produk biodegradable foam berbahan baku campuran tapioka dan ampok. [Disertasi]. [Bogor]: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor; 2013. 183.
76. Dicko MH, Gruppen H, Traore AS, Voragen AGJ, van Berkel WJH. Sorghum grain as human food in Africa—relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*. 2006; 5(5): 384–395.
77. Nugraha DA. Bioetanol dari sakarifikasi dan fermentasi bertahap pati batang kelapa sawit. [Skripsi]. [Bogor]: Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor; 2017. 21.
78. **Hermiati E**. Rekayasa proses hidrolisis ampas tapioka menggunakan pemanasan gelombang mikro untuk produksi etanol. [Disertasi]. [Bogor]: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor; 2012. 132.

LAMPIRAN



Sumber: Direktorat Jenderal Migas Kementerian ESDM (2019)¹

Gambar 1. Kebutuhan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) di Indonesia Tahun 2013–2018 (dalam juta kL)

Tabel 1. Pentahapan Kewajiban Minimal Pemanfaatan Bioetanol sebagai Campuran Bahan Bakar Minyak (Permen ESDM No. 12 tahun 2015)

Jenis Sektor	April 2015	Januari 2015	Januari 2020	Januari 2025	Keterangan
Rumah Tangga	-	-	-	-	Saat ini tidak ditentukan
Usaha Mikro, Usaha Perikanan, Usaha Pertanian, Transportasi, dan Pelayanan Umum (PSO)	1%	2%	5%	20%	Terhadap kebutuhan total
Transportasi Non-PSO	2%	5%	10%	20%	Terhadap kebutuhan total
Industri dan Komersial	2%	5%	10%	20%	Terhadap kebutuhan total
Pembangkit Listrik	-	-	-	-	Terhadap kebutuhan total

Tabel 2. Luas Area dan Produksi Tanaman Penghasil Biomassa yang Potensial di Indonesia Tahun 2017

Komoditas	Luas Panen (ha)	Produksi (ton)	Keterangan
Kelapa sawit	9.277.690	1,58 x 10 ⁸	Tandan buah segar (TBS)
Tebu	430.112	21.212.950	Batang tebu digiling
Kelapa	3.260.015	18.983.378	Kelapa utuh
Padi	15.788.000	81.382.000	Gabah kering giling (GKG)
Jagung	5.375.000	27.952.000	Jagung pipil kering
Ubi kayu	779.000	19.046.000	Umbi basah

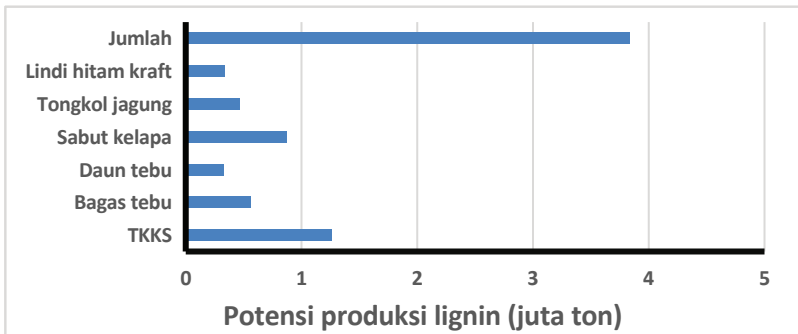
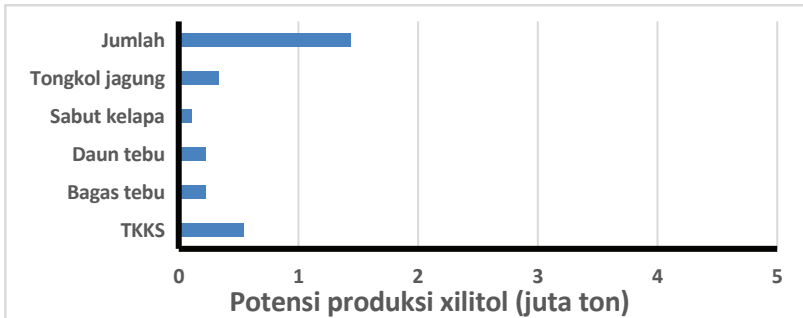
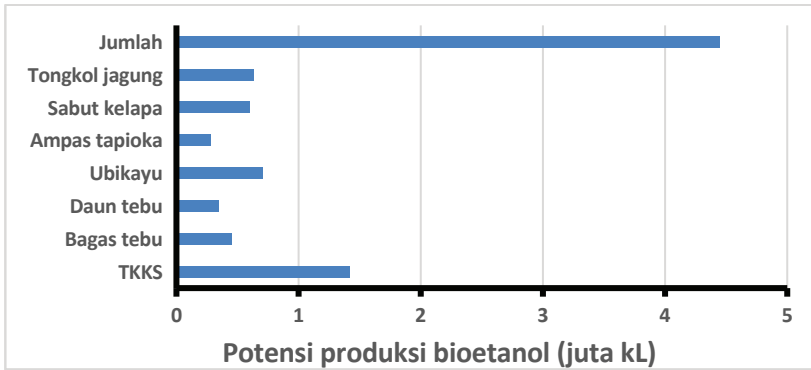
Sumber: FAO (2018)⁶⁵

Tabel 3. Kandungan Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin pada Beberapa Limbah Pertanian dan Hasil Hutan

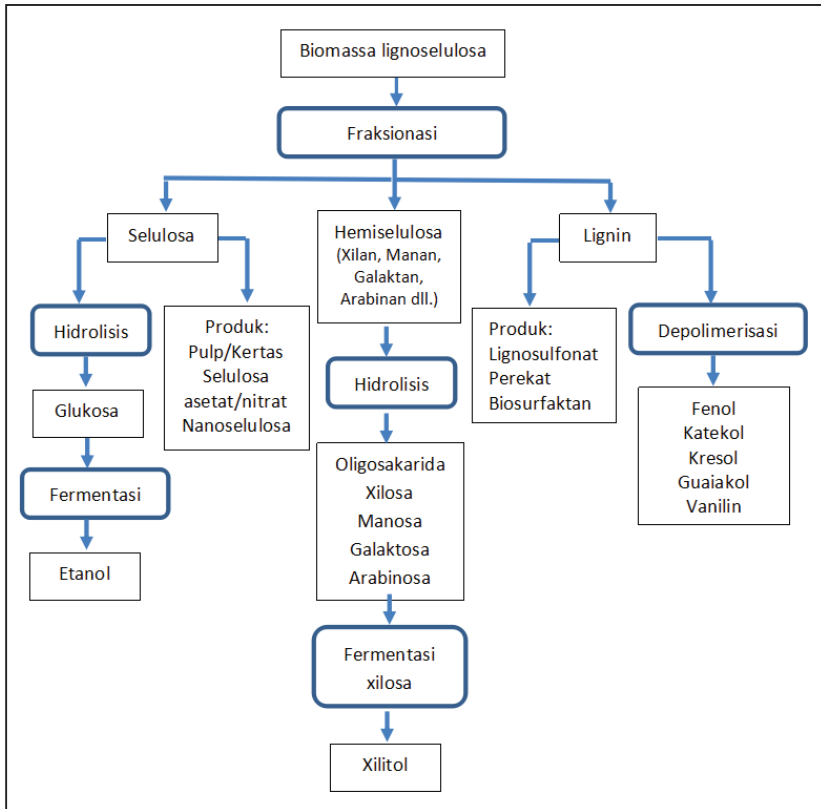
Bahan berlignoselulosa	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Tandan kosong kelapa sawit ^{42,66}	41,23–44,22	26,50–26,55	17,54–23,62
Pelepah kelapa sawit ⁶⁶	36,33	30,34	16,77
Bagas tebu ⁴²	34,48–36,53	27,04–27,48	22,45–25,42
Daun tebu ⁴³	35,00	35,50	17,40
Sabut kelapa ⁶⁷	44,2	12,1	32,8
Jerami padi ⁶⁸	37,82	24,22	12,72
Tongkol jagung ⁶⁹	37,0	29,99	13,9
Bagas sorgum ⁴¹	33,53–38,33	30,74–31,80	17,53–18,35
Bambu betung ⁷⁰	44,77	18,71	25,38
<i>Eucalyptus globulus</i> ⁷¹	42,89	29,83	25,06
Kayu cepat tumbuh (5 jenis) ⁷¹	40,28–42,92	27,93–30,45	25,20–30,21

Tabel 4. Kandungan Pati pada Beberapa Biomassa (persentase berdasarkan berat kering oven bahan)

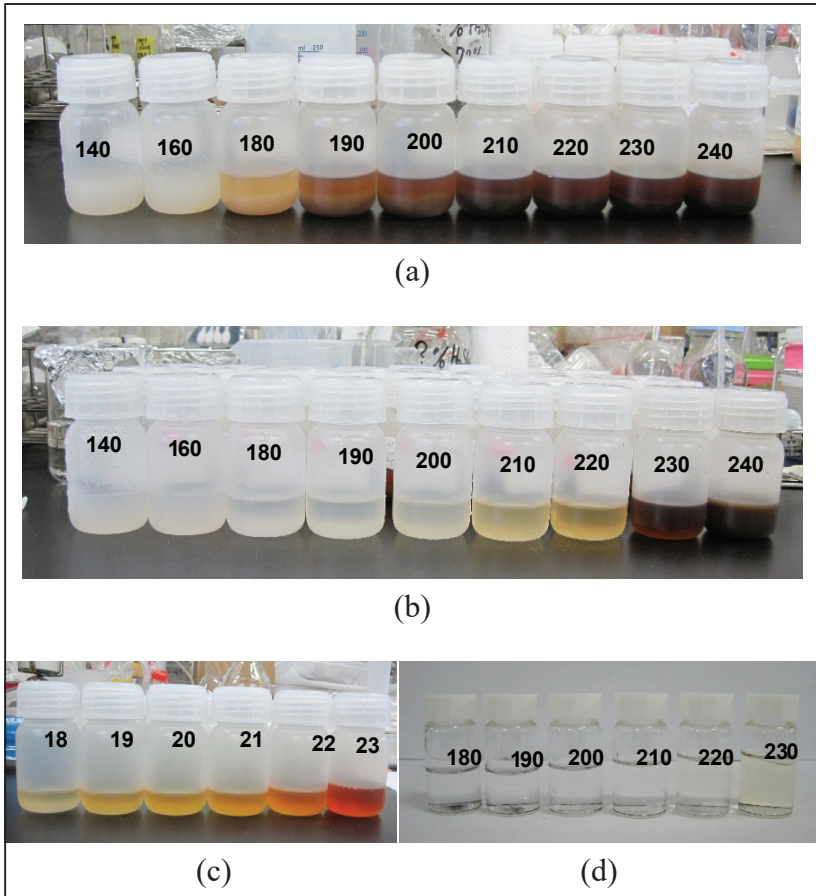
Bahan berpati	Pati (%)
Ubi kayu ^{72,73}	36,3–40,8
	19,13–24,49
Ampas tapioka (onggok) ⁴⁶	79,45
Jagung ⁷⁴	71,5
Ampas jagung (ampok) ⁷⁵	69,26
Biji sorgum ⁷⁶	60–75
Batang kelapa sawit ⁷⁷	42,23



Gambar 2. Potensi Produksi Bioetanol, Xilitol dan Lignin dari Biomassa



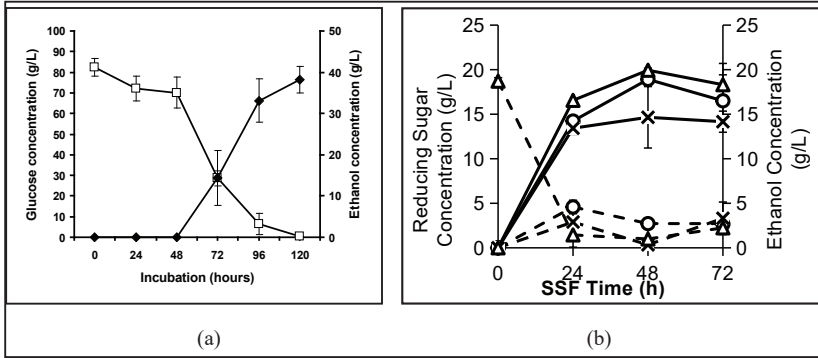
Gambar 3. Diagram Alir Fraksionasi Komponen Biomassa Lignoselulosa menjadi Bietanol dan Bioproduk.



Keterangan: Proses hidrolisis menggunakan iradiasi gelombang mikro tanpa karbon aktif (a dan b) dan hidrolisat ampas tapioka dengan karbon aktif (c dan d).

Sumber: Hermiati (2012)⁷⁸

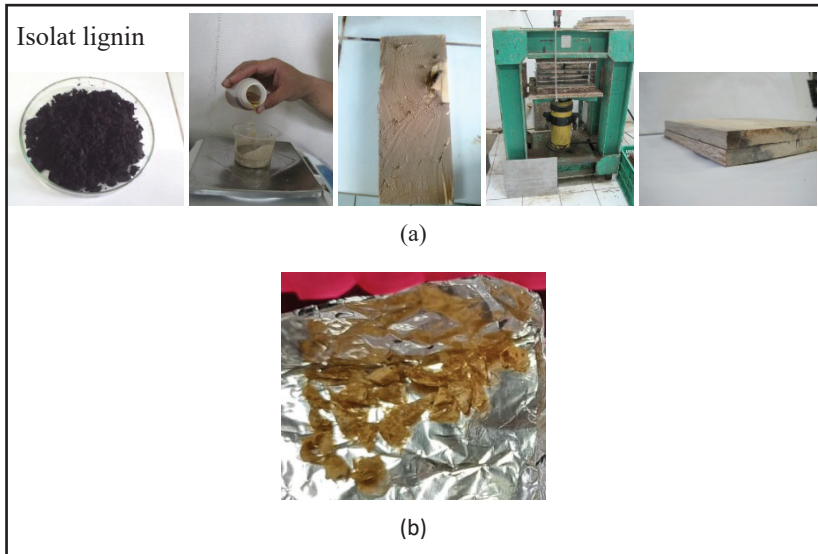
Gambar 4. Hidrolisat Ampas Tapioka dan Tepung Tapioka dari Proses Hidrolisis



Sumber: Hermiati (2012)⁷⁸

Sumber: Fatriasari dkk. (2018)¹³

Gambar 5. Hasil Fermentasi Hidrolisat dari Bahan Berpati (a) dan Bahan Berlignoselulosa (b)



Keterangan: a) Perak dari bahan dasar lateks karet alam dan lignin untuk kayu lamina; b) Biosurfaktan berbasis lignin

Foto: Euis Hermiati (2014); Raden Permana Budi Laksana (2019)

Gambar 6. Produk Berbahan Dasar Lignin

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku

1. Fatriasari W, Masruchin N, **Hermiati E**. 2019. Selulosa: Karakteristik dan pemanfaatannya. Jakarta: LIPI Press; 2019. 168.

Jurnal Internasional

2. 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. 2019. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00566-w>.
3. 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. 2018; 13(2): 4378–4403.
4. Rahmani N, Kahar P, Lisdiyanti P, **Hermiati E**, Lee J, Yopi, Prasetya B, Ogino C, Kondo A. Xylanase and feruloyl esterase from actinomycetes cultures could enhance sugarcane bagasse hydrolysis in the production of fermentable sugars. Bioscience, Biotechnology, Biochemistry. 2018; 82(5): 904–915.
5. 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. 2017; 49(3): 255–268.
6. **Hermiati E**, Tsubaki S, Azuma J. Cassava pulp hydrolysis under microwave irradiation with oxalic acid catalyst for ethanol production. Journal of Mathematical and Fundamental Science. 2014; 46(2): 125–139.
7. **Hermiati E**, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B, Anita SH, Risanto L. Ethanol fermentation of microwave-assisted acid hydrolysate of cassava pulp with *Saccharomyces cerevisiae* in the presence of activated carbon. International Journal of Environment and Bioenergy. 2012; 3(1): 12–24.

8. **Hermiati E**, Azuma J, Tsubaki S, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Improvement of microwave-assisted hydrolysis of cassava pulp and tapioca flour by addition of activated carbon. *Carbohydrate Polymers*. 2012; 87: 939–942.
9. **Hermiati E**, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Potential utilization of cassava pulp for ethanol production in Indonesia. *Scientific Research and Essays*. 2012; 7(2): 100–106.

Jurnal Nasional

10. 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.
11. 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*. 2017; 6(2): 117–131.
12. Sari FP, Solihat NN, Anita SH, Fitria, **Hermiati E**. Peningkatan produksi gula pereduksi dari tandan kosong kelapa sawit dengan praperlakuan asam organik pada reaktor bertekanan. *Reaktor*. 2016; 16(4): 199–206.
13. 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.
14. Fajriutami T, Fatriasari W, **Hermiati E**. Pengaruh pra perlakuan basa pada ampas tebu terhadap karakterisasi pulp dan produksi gula pereduksi. *Jurnal Riset Industri*. 2016; 19(3): 147–161.
15. Fatriasari W, **Hermiati E**. Lignocellulosic biomass for bioproduct: its potency and technology development. *Journal of Lignocellulose Technology*. 2016; 1(1): 1–14.
16. Adi DSA, Wahyuni I, Risanto L, Rullyati S, **Hermiati E**, Dwianto W, Watanabe T. Central Kalimantan's fast growing species: suitability for pulp and paper. *Indonesian Journal of Forestry Research*. 2015; 2(1): 21–29.

17. Fajriutami T, Laksana RPB, **Hermiati E**. Characterization and microwave-assisted hydrolysis of sago starch to produce malto-dextrin. *Teknologi Indonesia*. 2014; 7(2): 73–82.
18. Risanto L, **Hermiati E**, Sudiyani Y.. Properties of lignin from oil palm empty fruit bunch and its application for wood adhesive. *Makara Seri Teknologi*. 2014; 18(2): 67–75.
19. **Hermiati E**, Risanto L, Anita SH, Aristiawan Y, Sudiyani Y, Hanafi A, Abimanyu H. Sakarifikasi serta 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(2): 111–122.
20. **Hermiati E**, Anita SH, Risanto L, Styarini D, Sudiyani Y, Hanafi A, Abimanyu H. Biological pretreatment of oil palm frond fiber using white-rot fungi for enzymatic saccharification. *Makara Seri Teknologi*. 2013; 17(1): 39–43.
21. Risanto L, **Hermiati E**, Adi DS. Perlakuan gelombang mikro pada dua jenis kayu cepat tumbuh untuk produksi bioetanol. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2012; 10(1): 76–81.
22. 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.
23. Anita SH, Fajriutami T, Fitria, Ermawar RA, Yanto DHY, **Hermiati E**. Pretreatment *Trametes versicolor* dan *Pleurotus ostreatus* pada bagas untuk produksi bioetanol. *Teknologi Indonesia*. 2011; 34: 33–39.
24. 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(2): 81–88.

25. **Hermiati E**, Azuma J, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Hydrolysis of carbohydrates in cassava pulp and tapioca flour under microwave irradiation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2011; 11: 238–245.
26. Hartati S, Sudarmonowati E, Fatriasari W, **Hermiati E**, Dwianto W, Kaida R, Baba K, Hayashi T. Wood characteristic of superior sengon (*Paraserianthes falcataria*) collection and prospect of wood properties improvement through genetic engineering. *Wood Research Journal*. 2010; 1(2): 103–107.
27. Sudiyani Y, Fitria I, Idiyanti T, Haroen WK, **Hermiati E**. Simultaneous saccharification and fermentation of oil palm empty fruit bunch fiber kraft pulp to produce ethanol. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2010; 8(1): 21–27.
28. Sudiyani Y, **Hermiati E**. Utilization of oil palm empty fruit bunch fiber (OPEFB) for bioethanol production through alkali and dilute acid pretreatment and simultaneous saccharification and fermentation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2010; 10(1): 261–267.
29. 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(2): 44–56.
30. **Hermiati E**, Mangunwidjaja D, Sunarti TC, Suparno O, Prasetya B. Application of microwave heating in biomass hydrolysis and pretreatment for ethanol production. *Annales Bogorienses*. 2010; 14(1): 1–9.
31. **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(4): 121–130.
32. Subyakto, **Hermiati E**, Yanto DHY, Fitria, Budiman I, Ismadi, Masruchin N, Subiyanto B. Proses pembuatan serat selulosa berukuran nano dari sisal (*Agave sisalana*) dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*). *Berita Selulosa*. 2009; 44(2): 57–65.

33. **Hermiati E**, Yanto DHY, Falah F. Synthesis of aqueous polymer isocyanate for plywood adhesive. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 2009; 7(1): 39–47.
34. 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.
35. Yanto DHY, **Hermiati E**. Campuran lateks karet alam–stirena dan poliisosianat sebagai perekat kayu lamina. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 2008; 6(2): 63–68.
36. Ermawar RA, Yanto DHY, Fitria, **Hermiati E**. Biodegradation of lignin in rice straw pretreated by white-rot fungi. *Widyariset*. 2006; 9(3): 197–202.
37. Yanto DHY, Fatriasari W, **Hermiati E**. Fortifikasi Deernol 33E dan PI-120 pada perekat lateks karet alam - stirena. *Widyariset*. 2006; 9: 49–54.
38. **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.
39. **Hermiati E**, Saepudin A, Ilyas N. Pengaruh konsentrasi oksigen dan karbon dioksida terhadap daya tahan simpan buah tomat pada penyimpanan dengan atmosfer terkendali. *Teknologi Indonesia*. 1999; 22(1–2): 15–23.
40. Hatta AM, **Hermiati E**, Pujiastuti S. Studi pendahuluan spektra infra merah karaginan yang diekstraksi dari beberapa jenis karaginofit asal P. Kei, Maluku Tenggara. *Perairan Maluku dan Sekitarnya*. 1994; 65–74.
41. **Hermiati E**. Ekstraksi dan penentuan sifat karaginan yang dihasilkan dari Kep. Kei, Maluku Tenggara. *Perairan Maluku dan Sekitarnya*. 1993; 55–65.
42. Hatta AM, **Hermiati E**, Hutuely L. Pengamatan beberapa jenis makro-alga di daerah Maluku dan pemanfaatannya sebagai sayur laut. *Perairan Maluku dan Sekitarnya*. 1993; 25–42.

43. Hatta AM, **Hermiati E**. Metode sederhana untuk penentuan suhu jendal dan kekuatan gel pada agar dan karaginan. *Perairan Maluku dan Sekitarnya*. 1992; 11–17.
44. Edward, **Hermiati E**. Kandungan hidrokarbon di Teluk Ambon. *Perairan Maluku dan Sekitarnya*. 1991; 135–140.
45. **Hermiati E**. Sorption of limonene and carvone into polyethylene terephthalate (PET). *Teknologi Indonesia*. 1989; 12 (1&2): 37–46.
46. **Hermiati E**. Pengawetan jamur merang segar dengan atmosfer modifikasi. *Teknologi Indonesia*. 1986; 9(2): 47–65.

Prosiding Internasional

47. Rahmani N, Apriliana P, Jannah AM, Ratnakomala S, Lisdiyanti P, **Hermiati E**, Prasetya B. Endo-xylanase enzyme from marine actinomycetes and its potential for xylooligosaccharide production. *Proceedings The 2nd International Conference on Natural Products and Bioresource Science 2018*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019; 251(1): 012053.
48. Oktaviani M, **Hermiati E**, Thontowi A, Laksana RPB, Kholida LN, Andriani A, Yopi, Mangunwardoyo W. Production of xylose, glucose, and other products from tropical lignocellulose biomass by using maleic acid pretreatment. *Proceedings The 2nd International Conference on Natural Products and Bioresource Science 2018*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019; 251(1): 012013.
49. **Hermiati E**, Solihat NN, Adi DTN, Ghozali M. The ultrastructure and enzyme susceptibility of oil palm empty fruit bunch pretreated by oxalic acid under microwave irradiation. *Proceedings 5th International Symposium on Innovative Bio-Production Indonesia*. Bogor, 10 Oktober 2018: 92–99.
50. 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 2018*: 141 (2018) 012005.

51. 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: 141 (2018) 01202540.
52. Fatriasari W, Sari FP, Laksana RPB, Mulyaningsinh 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.
53. Solihat NN, Fajriutami T, Adi DTN, Fatriasari W, **Hermiati E**. Reducing sugar production of sweet sorghum bagasse kraft pulp. AIP Conference Proceedings Vol. 1803 International Symposium on Applied Chemistry (ISAC) 2016. Tangerang, Banten, Indonesia, 3–5 Oktober 2016; 2017.: 020012-1–020012-8.
54. **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 Vol. 1803 International Symposium on Applied Chemistry (ISAC) 2016. Tangerang, Banten, Indonesia, 3–5 Oktober 2016; 2017.: 020005-1–020005-7.
55. Fajriutami T, Anita SH, **Hermiati E**. Microwave-assisted acid hydrolysis of sugarcane bagasse pretreated with white-rot fungi. Proceedings The Fifth International Symposium Indonesian Wood Research Society (IWoRS). 2015: 118–123.
56. **Hermiati E**, Lubis MAR, Risanto L, Laksana RPB, Zaini LH. Characteristics and bond performance of wood adhesive made from natural rubber latex and alkaline pretreatment lignin. *Procedia Chemistry*. 2015; 16: 376–383.
57. Adi DS, Risanto L, Damayanti R, Rullyati S, Susanti R, **Hermiati E**, Watanabe T. Anatomical and physical properties of fast growing wood species from Central Kalimantan as a structural material. Proceeding of The 3rd International Symposium for Sustainable Humanosphere (ISSH). 2014; 2015: 284–291.

58. **Hermiati E**, Risanto L, Laksana RPB. Bonding performance of natural rubber-based aqueous polymer isocyanate as plywood adhesive. Proceedings of The International Conference on The Innovation in Polymer Science and Technology 2013. Yogyakarta, Indonesia, October 7–10, 2013; 2015: 242–250.
59. Lubis MAR, Dewi AR, Risanto L, Zaini LH, **Hermiati E**. Isolation and characterization of lignin from alkaline pretreatment black liquor of oil palm empty fruit bunch and sugarcane bagasse. Proceeding ASEAN COSAT 2014. Bogor, 18–19 Agustus 2014: 483–491.
60. Risanto L, Adi DSA, Kaneko M, Kurosaki Y, Girmansyah D, Susanti R, **Hermiati E**, Watanabe T. An evaluation for enzymatic saccharification of fast-growing tree species from secondary forest in West Kalimantan. Proceeding ASEAN COSAT 2014. Bogor, 18–19 Agustus 2014: 209–218.
61. Adi DS, Risanto L, Damayanti R, Rullyati S, Dewi LM, Susanti R, Dwianto W, **Hermiati E**, Watanabe T. Exploration of unutilized fast growing wood species from secondary forest in Central Kalimantan: Study on the fiber characteristic and wood density. *Procedia of Environmental Science*. 2014; 20: 321–327.
62. **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, Indonesia. September 17–18, 2013; 2014: 187–194.
63. 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 Agustus 2012; 2013: 8–13.
64. Azuma J, Tsubaki S, Sakamoto M, Yudianti R, **Hermiati E**. Refinery of biomass by utilization of specific effects of microwave irradiation. *Procedia Chemistry*. 2012; 4: 17–25.

65. **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*. 2012; 4: 238–244.
66. Subyakto, **Hermiati E**, Masruchin N, Ismadi, Subiyanto B. Preparation of micro/nano fibers of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) and development of their biocomposites. Proceedings of International Seminar: Strategies and Challenges on Bamboo and Potential Non Timber Forest Products (NTFPs) Management and Utilization. Bogor, Indonesia, 23–24 November 2011; 2012: 87–94.
67. 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. Serpong, Indonesia, 13–15 Juni 2012: 83–86.
68. Fajriutami T, Amin Y, **Hermiati E**. Changes in mechanical and chemical properties of betung bamboo during soaking in water and inoculum solution of *Trametes versicolor*. Proceedings of the 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society. Yogyakarta, 3–4 November 2011; 2012: 362–366.
69. 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.
70. Fajriutami T, Sudiyani Y, **Hermiati E**. Dilute acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch pulp under microwave irradiation. Proceedings of the 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society. Yogyakarta, 3–4 November 2011; 2012: 200–204.
71. **Hermiati E**, Risanto L, Laksana RBP. Microwave-assisted hydrolysis of cassava pulp in acid media. Proceedings of The 1st International Symposium for Sustainable Humanosphere. Ambon, 3 Oktober 2011: 41–46.

72. Falah F, Fatriasari W, Ermawar RAE, Adi DTN, **Hermiati E.** Corn steep liquor effect on bamboo biochemical pulping using *P. chrysosporium*. Proceedings The 2nd International Symposium of Indonesian Wood Research Society. Bali, 12–13 November 2010: 464–476.
73. Wistara N, Sitanggang VJ, **Hermiati E.** Ethanol productivity of cellulose exposed to various physical conditions. Proceedings The 2nd International Symposium of Indonesian Wood Research Society. Bali, November 12–13 2010: 441–447.
74. Fatriasari W, Anita SH, Falah F, Adi DTN, **Hermiati E.** Biokrfatpulpung of betung bamboo using mixed culture of white rot fungi. *Proceedings The 2nd International Symposium of Indonesian Wood Research Society, Bali, November 12–13, 2010*, pp. 386–399.
75. Sari E, **Hermiati E.** 2010. Biodegradation lignin in water hyacinth (*Echhornia crassipes*) using combination white rot fungi for bioethanol production. *Proceedings of International Conference on Advances in Renewable Energy Technologies, 6-7 July 2010, Cyberjaya, Malaysia*, pp.
76. Subyakto, **Hermiati E**, Yanto DHY, Masruchin N, Fitria, Prasetyo KW, Ismadi. 2009. Biocomposites of polypropylene or polylactic acid reinforced with sisal or bamboo micro fibers. *Proceedings of The 1st International Symposium of Indonesian Wood Research Society, Bogor November 2-3, 2009*, pp. 106-110.
77. Falah F, Fatriasari W, **Hermiati E.** 2005. 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*, pp. 215-219.
78. Ermawar RA, Yanto DHY, Fitria, **Hermiati E.** 2005. Lignin degradation content in rice straw pretreated by white-rot fungi. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, Denpasar 29-31 Agustus 2005*, pp. 300 – 304.

79. Samsuri M, Prasetya B, **Hermiati E**, Idiyanti T, Okano K, Syafwina, Honda Y, Watanabe T. 2005. Pre-treatments for ethanol production from bagasse by simultaneous saccharification and fermentation. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, Denpasar 29–31 Agustus 2005*, pp. 288–294.
80. Samsuri M, Prasetya B, **Hermiati E**, Idiyanti T, Okano K, Syafwina, Honda Y, Watanabe T. 2004. Effect of fungal treatments on ethanol production from bagasse by simultaneous saccharification and fermentation. *Proceedings of The Fifth International Wood Science Symposium, Kyoto, 17–19 September 2004*, pp. 317–323.
81. Prasetya B, Subyakto, Subiyanto B, Sudijono, Yusuf S, **Hermiati E**. 2003. Utilization of bark from *Acacia mangium* Wild as bonding-components in some application in wood composite. *Proceedings of The International Symposium on Sustainable Utilization of Acacia mangium, Kyoto, October 21–23, 2003*, pp. 107–118.
82. **Hermiati E**, Prasetya B, Sudijono, Nurhayati. 2000. Upgrading of natural rubber latex – styrene copolymer as plywood adhesive. *Proceedings of The 3rd International Wood Science Symposium*, pp. 120–125.

Prosiding Nasional

83. 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: (1) B33–B88.
84. Oktaviani M, Fajriutami T, **Hermiati E**. Produksi etanol dari ampas tebu terdelignifikasi alkali melalui proses sakarifikasi dan fermentasi serentak. Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI). Malang 6 Februari 2016: (1): B.45–B.51

85. Fatriasari, W, Ermawar RA, Falah F, Yanto DHY, Adi DTN, **Hermiati E.** Biopulping bambu betung menggunakan fungi pelapuk putih (*Pleurotus ostreatus* dan *Trametes versicolor*) dengan proses kraft dan soda. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII. Bandung 23–24 Juli 2009; 2010: 848–859.
86. Fajriutami T, Amin Y, **Hermiati E.** Sifat mekanik dan kimia bambu betung dengan perlakuan *Trametes versicolor* selama penyimpanan di udara terbuka. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII. Bandung 23–24 Juli 2009; 2010: 71–77.
87. Syarini R, Massijaya MY, **Hermiati E.** Determinasi emisi formaldehida papan komposit dari limbah kayu dan anyaman bambu betung (*Dendrocalamus asper* (Schult.f) Bacjer ex Heyne). Prosiding Simposium Nasional I Forum Teknologi Hasil Hutan (FTHH). Bogor, 30–31 Oktober 2009: 75–79.
88. Yanto DHY, Fitria, Ismadi, Subyakto, **Hermiati E.** Karakterisasi dan asetilasi pulp bambu betung, abaca dan sisal. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XI. Palangkaraya, Kalimantan Tengah, 8–10 Agustus 2008: 611–617.
89. Ermawar RAE, 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 Agustus 2008; 2009: 693–702.
90. Sudiyani Y, Alawiyah S, Waluyo J, **Hermiati E.** Dilute acid pretreatment and enzymatic saccharification of oil palm empty fruit bunch fiber for ethanol production. Proceedings of The 4th Indonesian Biotechnology Conference. Bogor, 5–7 Agustus 2008: 257–264.
91. Fatriasari W, Falah F, Yanto DHY, **Hermiati E.** Optimasi pema-sakan proses soda terbuka dan penggilingan pulp bambu betung dan bambu kuning. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI X. Pontianak, Kalimantan Barat, 9–11 Agustus 2007; 560–567.
92. Fitria, Yanto DHY, **Hermiati E.** Pengaruh perlakuan pendahuluan dengan jamur *Trametes versicolor* terhadap kadar lignin dan selulosa bagasse. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI X. Pontianak, Kalimantan Barat, 9–11 Agustus 2007: 517–523.

93. Falah F, Yanto DHY, **Hermiati E**. Fortifikasi perekat lateks karet alam-stirena dengan aqueous polymer isocyanate pada pembuatan kayu lapis. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI X. Pontianak, Kalimantan Barat, 9–11 Agustus 2007: 509–515.
94. 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: B-92–B-95.
95. 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: B-85–B-91.
96. Yanto DHY, **Hermiati E**, Prasetya B. Pengaruh perlakuan uap panas dan perebusan terhadap kadar pati bambu kuning (*Bambusa vulgaris* Schrad ex. J.C. Wendl). Prosiding Seminar Nasional VIII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI). Tenggarong, 3–5 September 2005: A-47–A-52.
97. **Hermiati E**, Sukara E. Konversi bahan berlignoselulosa menjadi bioenergi, etanol. Prosiding Seminar Nasional Biomassa Ligno-selulosa. Surabaya 12 Maret 2005: 14–21.
98. Samsuri M, Prasetya B, **Hermiati E**. Biodegradasi bagasse oleh jamur pelapuk putih dan potensi pemanfaatannya untuk etanol. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan. Yogyakarta, 14–15 Desember 2004: 405–410.
99. **Hermiati E**, Falah F, Prianto AH, Santoso A, Iskandar MI. Substitusi perekat resorsinol formaldehida dengan lateks karet alam-stirena pada pembuatan kayu lamina. Prosiding Seminar Nasional VII, MAPEKI. Makassar, 5–6 Agustus 2004: B142–B147.
100. **Hermiati E**, Fatriasari W, Prianto AH. Sifat dan daya rekat campuran lateks karet alam-stirena dan melamin formaldehida sebagai perekat kayu lapis tipe eksterior. Prosiding Seminar Nasional VII MAPEKI. Makassar 5-6 Agustus 2004: B64–B69.

101. **Hermiati E.** Studi pendahuluan pengaruh kondisi sintesa terhadap sifat dan daya rekat lateks karet alam-stirena sebagai perekat kayu lapis tipe interior. Prosiding Seminar Nasional VII MAPEKI. Makassar, 5–6 Agustus 2004: B57–B63.
102. **Hermiati E,** Gopar M, Subiyanto B, Sudijono. Pembuatan bahan cushion dari limbah tandan kosong kelapa sawit Prosiding Seminar Nasional VI MAPEKI. Bukittinggi, 1–3 Agustus 2003: 550–556.
103. Subyanto B, Subyakto, **Hermiati E,** Yusuf S, Gopar M, Sudijono. Penelitian pembuatan papan tandan kosong kelapa sawit dengan perekat semen. Prosiding Seminar Nasional IV MAPEKI. Samarinda, 6–9 Agustus 2001: IV 24–IV 31.
104. **Hermiati E,** Sudijono, Nurhayati. Substitusi perekat fenol formaldehida dengan lateks karet alam pada pembuatan kayu lapis. Prosiding Seminar Nasional III Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia; 2000: 301–306.
105. **Hermiati E,** Utama M, Prasetya B, Sudijono. Kopolimerisasi lateks karet alam dengan monomer stirena dan aplikasinya sebagai perekat kayu lapis. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia II; 2000: E.3-1–E.3-6.
106. Prasetya B, **Hermiati E.** Peran litbang material dari sumberdaya terbarukan dalam pencapaian kebutuhan ekonomi dan ekologi. Prosiding Seminar Material; 1999.
107. **Hermiati E,** Prasetya B, Gunandar R, Sudijono. Perekat kayu lapis tipe interior dari campuran lateks karet alam dan ekstrak kulit kayu akasia. Prosiding Seminar Nasional II Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia; 1999: 199–207.
108. **Hermiati E,** Prasetya B. Studi pendahuluan pembuatan perekat kayu lapis dari bahan polimer alam lateks dan pati tapioka serta monomer stiren. Prosiding Seminar Nasional Material dan Lingkungan dalam Pembangunan Industri; 1998: 25-1–25-10.
109. **Hermiati E.** Peranan kimia dalam memanfaatkan fikokoloid di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembangunan; 1993: 373–383.

110. **Hermiati E**, Hatta AM. Ekstraksi dan pengujian kualitas karaginan dan agar. Prosiding Seminar Ilmiah dan Kongres Nasional Biologi X; 1991: 109–116.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Hermiati E.** Rekayasa proses hidrolisis ampas tapioka menggunakan pemanasan gelombang mikro untuk produksi etanol. [Disertasi]. [Bogor]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor; tahun. 132.
2. **Hermiati E.** Sorption of selected orange juice flavor compounds into polyethylene terephthalate (PET) with two different crystallinities. [Tesis]. [New Jersey]. Graduate School Rutgers University; 1989.
3. **Hermiati E.** Mempelajari pengaruh varietas ubikayu dan jumlah air pengestrak terhadap produk dan limbah proses ekstraksi umbi ubikayu. [Skripsi]. [Bogor]. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor; 1983. 109.
4. **Hermiati E.** Keamanan kertas daur ulang sebagai kemasan pangan. *Food Review Indonesia*. 2017; 12(10): 58–60.
5. **Hermiati E.** Pola konsumsi makanan dan serangan kanker. *Harian Merdeka*. 26 Februari 1992. 5.
6. **Hermiati E.** Tanggal kadaluarsa produk makanan. *Harian Merdeka*. 1992. 3.
7. **Hermiati E.** Mengenal tripang dan cara pengolahannya. *Harian Merdeka*. 18 Desember 1990. 3.
8. **Hermiati E.** Memasak dengan oven gelombang mikro. *Harian Merdeka*. 27 November 1990. 3.
9. **Hermiati E.** Interaksi antara makanan dan bahan pengemas plastik. *Harian Merdeka*. 25 September 1990. 3.
10. **Hermiati E.** Pengawetan dan pengemasan bumbu masakan. *Harian Merdeka*. 24 Juli 1990. 3.
11. **Hermiati E.** Lalu lintas kota yang padat sumber pencemaran udara. *Tanah Air*. November 1985; 5(56): 11–12.

12. **Hermiati E.** Penyimpanan jamur dengan atmosfer modifikasi dan terawasi. *Agritech* 5. 1985; (1&2): 34–42.
13. **Hermiati E.** Aspek pengemasan hasil pertanian untuk memperlancar pemasaran. *Majalah TARIK*. 1985; 4(34): 14–16.
14. **Hermiati E.** Pengawetan dan pengolahan jamur merang. *Suara Karya*. 10 Oktober 1984. VIII.
15. **Hermiati E.** Alternatif penyimpanan buah-buahan dan sayuran. *Suara Karya*. 12 Juli 1984. VIII.

DAFTAR PATEN

Paten Terdaftar

1. 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. Paten No. P00201708601. 30 November 2017.
2. 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 No. P00201702048. 31 Maret 2017.
3. **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. Paten No. P00201507466. 19 November 2015.

Paten Tersertifikasi

4. Subyakto, **Hermiati E**, Yanto DHY, Fitria, Budiman I, Ismadi, Masruchin N, Subiyanto B. Proses pembuatan serat alam berukuran nano untuk bahan penguat polimer dan produk yang dihasilkan. Paten No. IDP000044131. 20 Januari 2017.
5. Subyakto, Subiyanto B, **Hermiati E**, Yanto DHY, Fitria, Prasetyo KW, Budiman I, Ismadi, Kurniawan W. Komposit dari serat mikro kenaf degan poliporpilena atau poli asam laktat. Paten No. IDP000037426. 15 Desember 2014.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Euis Hermiati
Tempat, Tanggal Lahir	: Jakarta, 23 September 1960
Anak ke	: 1 dari 6 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Perempuan
Nama Ayah Kandung	: Suherman
Nama Ibu Kandung	: Anisah
Nama Suami	: Asronald Siregar
Jumlah Anak	: 3 (tiga) orang
Nama Anak	: 1. Marina Nurrahmani Siregar 2. Abdurrahman Ma'ruf Siregar 3. Abdurrahim Makarim Siregar
Nama Instansi	: Pusat Penelitian Biomaterial LIPI
Judul Orasi	: Pengembangan Teknologi Konversi Biomassa Menjadi Bioetanol dan Bioproduk sebagai Substitusi Produk Berbahan Baku Fosil
Bidang Kepekerjaan	: Teknologi Bioproses
No. SK Pangkat Terakhir	: 10/K Tahun 2019
No. SK Peneliti Ahli Utama	: 124/M Tahun 2014

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SD Cilandak 1	Jakarta	1972
2.	SMP	SMP Negeri 13	Jakarta	1975
3.	SMA	SMA Negeri 11	Jakarta	1979
4.	S1	Institut Pertanian Bogor	Bogor	1983
5.	S2	Rutgers University	New Jersey, AS	1989
6.	S3	Institut Pertanian Bogor	Bogor	2012

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Diklatpim IV	Ciawi, Bogor	2003
2.	JSPS Invitation Fellowship Program for Research	Kyoto, Jepang	2010
3.	Program Pemagangan Kementerian Riset dan Teknologi	Kyoto, Jepang	2010
4.	Multidisciplinary Experiential Training	Skotlandia, Inggris	2016

D. Jabatan Struktural

No.	Tahun	Nama Jabatan/Eselon	Nama Instansi
1.	2002–2008	Kepala Seksi Pengembangan Teknologi, Eselon 4	UPT Balai Penelitian dan Pengembangan Biomaterial LIPI
2.	2014–2016	Kepala Bagian Tata Usaha, Eselon 3	Pusat Penelitian Biomaterial LIPI

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Asisten Peneliti Muda	1 Agustus 1989
2.	Ajun Peneliti Muda	1 Mei 1991

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
3.	Peneliti Muda	1 April 2002
4.	Peneliti Madya IV/a	1 Januari 2006
5.	Peneliti Madya IV/b	1 April 2007
6.	Peneliti Madya IV/c	1 Januari 2012
7.	Peneliti Utama IV/d	1 September 2013
8.	Peneliti Ahli Utama IV/e	1 Mei 2018

F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Seminar Ilmiah dan Kongres Nasional Biologi X	Penyaji poster	Bogor	1991
2.	Seminar Nasional Kimia dan Pembangunan	Penyaji oral	Bandung	1992
3.	Diskusi Panel tentang Sumberdaya Hayati Indonesia “Menggarap yang belum tergarap”	Peserta	Bogor	1998
4.	Seminar Nasional I Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Peserta	Bogor	1998
5.	Seminar Nasional Material dan Lingkungan dalam Pembangunan Industri	Penyaji oral	Bandung	1998
6.	The Second International Wood Science Seminar	Peserta	Serpong	1998
7.	Seminar Lacer Incising of Wood; Dyeing of Wood Utilizing Sap-Flow of Living Tree	Peserta	Serpong	1999
8.	Seminar Electromigration and Relaxation Semicondutor	Peserta	Serpong	1999

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
9.	Seminar Nasional II Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)	Penyaji oral	Yogyakarta	1999
10.	Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional VII	Peserta	Serpong	1999
11.	<i>Seminar An introduction to termite problems in Japan, Taxonomy of Coptotermes - How to distinguish species, Detection of termite attack using acoustic emission (AE) monitoring</i>	Peserta	Serpong	1999
12.	Seminar Bamboo formation, Softening behavior of bamboo by heat or steam treatment, smoke drying of bamboo and wood, Charcoal production technology for bamboo	Peserta	Serpong	1999
13.	ITSF <i>One Day Seminar on Science and Technology</i>	Peserta	Jakarta	2000
14.	Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia II 2000	Penyaji oral	Depok	2000
15.	Simposium Fisika Nasional XVIII	Peserta	Serpong	2000
16.	Seminar Nasional III Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Jatinangor, Sumedang	2000
17.	The Third International Wood Science Symposium	Penyaji oral	Kyoto, Jepang	2000
18.	Seminar <i>The Application of XRF and NMR in Research and Development</i>	Peserta	Serpong	2001
19.	Seminar Nasional IV Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Samarinda	2001

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
20.	The Fourth International Wood Science Symposium	Penyaji oral	Serpong	2002
21.	Seminar Nasional V Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Peserta	Bogor	2002
22.	Seminar Biodegradation and Protection of Wood	Peserta	Cibinong	2003
23.	Seminar Nasional VI Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Bukittinggi	2003
24.	The Fifth International Wood Science Symposium	Penyaji poster	Kyoto, Jepang	2004
25.	Seminar Nasional VII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Makassar	2004
26.	Seminar on Development of Molded Composites from Wood and Plastic	Peserta	Cibinong	2005
27.	Workshop Penelitian Pengembangan dan Penerapan IPTEK untk Mendukung Kemandirian dan Ketahanan Pangan	Peserta	Jakarta	2005
28.	The Sixth International Wood Science Symposium	Peserta	Denpasar	2005
29.	Seminar Nasional IX MAPEKI Penyelenggara: Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Penyaji oral	Banjarbaru	2006
30.	International Symposium on Sustainable Humanosphere	Peserta	Cibinong	2006
31.	Simposium Nasional Polimer VI	Peserta	Serpong	2006

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
32.	Simposium Peran Bioteknologi dalam Pengembangan Pengetahuan Tradisional untuk Meningkatkan Investasi Daerah	Peserta	Cibinong	2006
33.	National Conference on Biomass Utilization for Alternative Energy and Chemicals	Penyaji oral	Bandung	2009
34.	Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia	Penyaji poster	Serpong	2011
35.	Seminar Biokomposit "Proses Manufaktur Polimer dalam Industrialisasi Material Biokomposit"	Peserta	Cibinong	2011
36.	The 1 st Korea-Indonesia Workshop on Bioenergy from Biomass	Peserta	Jakarta	2011
37.	The 5 th Humanosphere Science School	Peserta	Ambon	2011
38.	The 1 st International Symposium for Sustainable Humanosphere	Penyaji poster	Ambon	2011
39.	International Conference on Innovation in Polymer Science and Technology 2011	Penyaji poster	Denpasar	2011
40.	12 th Science Council of Asia Conference and International Symposium	Penyaji poster	Bogor	2012
41.	SEA-EU NET Conference	Penyaji oral	Warsawa, Polandia	2012

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
42.	<i>The 214th Symposium on Sustainable Humanosphere; International Symposium on Sustainable Development and Human Security in Southeast Asia through Biorefinery and Low Cost House</i>	Penyaji oral	Kyoto, Jepang	2012
43.	Seminar Ekspose Hasil Penelitian dan Pengembangan Biomaterial	Penyaji oral	Cibinong	2012
44.	The 2 nd International Symposium for Sustainable Humanosphere	Peserta	Bandung	2012
	Humanosphere Science School 2012	Peserta	Bandung	2012
45.	International Symposium on Sustainable Use of Tropical Rainforest with the Intensive Forest Management and Advanced Utilization of Forest Resources	Peserta	Jakarta	2012
46.	International Symposium for Sustainable Humanosphere	Penyaji oral	Bengkulu	2013
47.	Seminar Perkembangan Kegiatan Penelitian dan Kelembagaan UPT Balai Litbang Biomaterial 2013	Peserta	Cibinong	2013
48.	International Conference on Innovation in Polymer Science and Technology 2013	Penyaji poster	Yogyakarta	2013
49.	International Seminar on Tropical Bio-resources for Sustainable Bio-industry	Penyaji oral	Bandung	2013
50.	Seminar on Biorefinery from Lignocellulosic Materials/Wastes	Penyaji oral	Depok	2014

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
51.	The 3 rd International Conference on Advanced Material and Practical Nanotechnology	Penyaji oral	Jakarta	2014
52.	Bioresources LIPI Seminar	Peserta	Bogor	2014
53.	Seminar Nasional Insentif Riset Sinas	Penyaji oral	Bandung	2014
54.	<i>The 1st International Symposium on Integrated Biorefinery (ISIBio)</i>	Penyaji oral	Bogor	2014
55.	Seminar Nasional XVII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Peserta	Medan	2014
56.	The 6 th International Seminar of Indonesian Wood Research Society	Penyaji oral	Medan	2014
57.	<i>The 4th International Symposium for Sustainable Humanosphere (ISSH) a Forum of Humanosphere Science School (HSS) 2014 and Humanosphere Symposium No. 266</i>	Peserta	Bandung	2014
58.	Asia Pacific Regional Workshop on Biomass Energy Resource Assessment	Penyaji oral	Bangkok, Thailand	2015
59.	Biomass Open Research Forum "Biomass Resource Assessment for ASEAN+6"	Peserta	Bangkok, Thailand	2015
60.	International Symposium on Applied Chemistry	Penyaji oral	Bandung	2015
61.	Seminar Nasional XVIII Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Peserta	Bandung	2015

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
62.	<i>The 7th International Seminar of Indonesian Wood Research Society</i>	Peserta	Bandung	2015
63.	<i>Humanosphere Science School (HSS) 2015</i>	Peserta	Jakarta	2015
64.	The 5 th International Symposium of Sustainable Humanosphere	Penyaji oral	Jakarta	2015
65.	<i>The 6th International Symposium of Sustainable Humanosphere (ISSH)</i>	Peserta	Bogor	2016
66.	<i>Humanosphere Science School (HSS) 2016</i>	Peserta	Bogor	2016
67.	<i>The 3rd International Symposium on Integrated Biorefinery (ISIBIO)</i>	Penyaji oral	Bogor	2016
68.	JASTIP WP3 Kick-off Symposium, Collaborative Bioresources and Biodiversity Studies for the ASEAN Region	Peserta	Jakarta	2016
69.	2 nd JASTIP Symposium, Bioresources and Biodiversity Studies in ASEAN: Contribution to Our Sustainable Future	Peserta	Jakarta	2016
70.	Autentikasi dan Manajemen Produk Halal	Peserta	Bogor	2016
71.	<i>The 4th International Symposium Innovative Bioproduction Indonesia 2017 (ISIBio 2017)</i>	Penyaji poster	Bogor	2017
72.	Seminar Lignoselulosa 2017	Peserta	Cibinong	2017

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
73.	<i>Humanosphere Science School 2017 & The 360th Symposium on Sustainable Humanosphere</i>	Peserta	Bogor	2017
74.	The 7 th International Symposium of Sustainable Humanosphere	Penyaji poster	Bogor	2017
75.	General Assembly and The 1 st International Symposium of JSPS Alumni Association of Indonesia	Penyaji oral	Cibodas	2017
76.	The International Symposium on Bioeconomics of Natural Resources Utilization	Penyaji poster	Bogor	2017
77.	The 2 nd International Conference on Biomass	Penyaji oral	Bogor	2017
78.	The 3 rd JASTIP Symposium	Penyaji poster	Bangkok, Thailand	2017
79.	The 2 nd JASTIP Bioresources and Biodiversity Lab Workshop	Penyaji oral	Kyoto, Jepang	2017
80.	Seminar Lignoselulosa 2018	Peserta	Cibinong	2018
81.	General Assembly and The 2 nd International Symposium of JSPS Alumni Association of Indonesia	Penyaji oral	Bogor	2018
82.	<i>The 5th International Symposium on Innovative Bio-Production Indonesia (ISIBio)</i>	Penyaji oral	Bogor	2018
83.	The 6 th Japan-ASEAN Science, Technology and Innovation Platform Symposium	Penyaji poster	Serpong	2018
84.	The 3 rd SATREPS Conference	Peserta	Bogor	2018

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
85.	The Mini Workshop on Rural Electrification Research in JASTIPNet	Peserta	Bangkok, Thailand	2019
86.	The 4 th JASTIP WP2-Annual Workshop	Peserta	Bangkok, Thailand	2019
87.	The 1 st Japan-ASEAN Multi-Stakeholder Strategic Consultancy Forum	Peserta	Bangkok, Thailand	2019
88.	e-ASIA Kick-off Workshop on Integrated Biorefinery of Sugarcane Trash	Penyaji oral	Bangkok, Thailand	2019
89.	The 7 th JASTIP Symposium	Penyaji poster	Serpong, Indonesia	2019
90.	Humanosphere Science School 2019 and The 9 th International Symposium on Sustainable Humanosphere	Penyaji oral	Bogor, Indonesia	
91.	Seminar Lignoselulosa 2019	Peserta	Cibinong, Indonesia	2019
92.	General Assembly and The 3 rd International Symposium of JSPS Alumni Association of Indonesia	Penyaji poster	Bogor, Indonesia	2019

G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia	Bendahara	2003–2006
2.	<i>Jurnal Selulosa</i>	Balai Besar Pulp dan Kertas	Mitra Bestari	2016–2018
3.	Journal of Lignocellulose Technology	Pusat Penelitian Biomaterial LIPI	Editor	2016–sekarang

H. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	5
2.	Bersama Penulis Lainnya	105
	Total	110

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	51
2.	Bahasa Inggris	59
3.	Bahasa Lainnya	-
	Total	110

I. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/ Tugas	Tahun
1.	Dede Heri Yuli Yanto	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2006–2008
2.	Widya Fatriasari	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2005–2019
3.	Riksfardini Annisa Ermawar	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2006–2008; 2016–2019
4.	Fitria	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2006–2008; 2011–2016
5.	Faizatul Falah	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2005–2006
6.	Sita Heris Anita	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2008–2019
7.	Triyani Fajriutami	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2008–2018
8.	Lucky Risanto	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2009–2015
9.	Deddy Triyono Nugroho Adi	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2008–2016
10.	Maulida Oktaviani	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2014–2019
11.	M. Adly Rahandi Lubis	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2014

No.	Nama	Instansi	Peran/ Tugas	Tahun
12.	Nissa Nurfajrin Solihat	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2015–2016
13.	Fahriya Puspita Sari	P2 Biomaterial LIPI	Pembimbing	2015–2019

Mahasiswa

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Kustiarso	Universitas Muhammadiyah Palembang	Pembimbing 1	1995–1996
2.	Novalena	Universitas Muhammadiyah Palembang	Pembimbing 1	1995–1996
3.	Alamsyah	Universitas Muhammadiyah Palembang	Pembimbing 1	1995–1996
4.	Juli Azandri	Universitas Muhammadiyah Palembang	Pembimbing 1	1995–1996
5.	Aswati	Universitas Muhammadiyah Palembang	Pembimbing 1	1995–1996
6.	Aep Saepudin	Universitas Muhammadiyah Palembang	Pembimbing 1	1995–1996
7.	Roby Gunandar	Universitas Winaya Mukti	Pembimbing 1	1999
8.	Agung Supadi	Universitas Winaya Mukti	Pembimbing 2	1999
9.	Evi Impiani	Sekolah Tinggi MIPA, Bogor	Pembimbing 1	2010
10.	Reza Syarini	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2009
11.	Vera Junita Sitanggang	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2010
12.	Deny Ardhi Nugraha	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 2	2017
13.	Dwi Ajas Pramasari	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing 3	2017
14.	Diemas Rialdi Arnicyanto	Universitas Pakuan	Pembimbing 2	2017–2018
15.	Maulida Oktaviani	Universitas Indonesia	Pembimbing 2	2018–2019

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Institute of Food Technologists (IFT)	1986–1990
2.	Bendahara	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)	2003–2006
3.	Anggota	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)	1998–sekarang
4.	Anggota	Perhimpunan Polimer Indonesia (HPI)	2012–sekarang
5.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo)	2014–sekarang

K. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden RI	2004
2.	Satyalancana Karya Satya XXX Tahun	Presiden RI	2014



LIPI Press

Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp. (+62 21) 573 3465
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id

ISBN 978-602-496-100-8

