

MONOGRAF

# BIO-OIL

Berbasis Biomassa



Dewi Selvia Fardhyanti

*Monograf*

**BIO-OIL BERBASIS BIOMASSA**

## UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Dewi Selvia Fardhyanti

*Monograf*

# **BIO-OIL BERBASIS BIOMASSA**



**MONOGRAF BIO-OIL BERBASIS BIOMASSA**

**Dewi Selvia Fardhyanti**

Desain Cover :

**Zuhriyan Ash Shiddieqy Bahlawan**

Sumber :

Zuhriyan Ash Shiddieqy Bahlawan

Tata Letak :

**Amira Dzatin Nabila**

Proofreader :

**Avinda Yuda Wati**

Ukuran :

**xii, 65 hlm, Uk: 14x20 cm**

ISBN :

**978-623-02-1925-2**

Cetakan Pertama :

**November 2020**

Hak Cipta 2020, Pada Penulis

---

Isi diluar tanggung jawab percetakan

---

**Copyright © 2020 by Deepublish Publisher**  
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT DEEPUBLISH**  
**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)

[www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)

E-mail: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)



# PRAKATA

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah Swt. karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan buku monograf berjudul ***Bio-Oil Berbasis Biomassa*** yang berisi mengenai produk *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa, tongkol jagung, serbuk kayu, cangkang kopi, sekam padi, dan bagas tebu beserta karakteristik fisika dan karakteristik kimianya.

Pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada mahasiswa-mahasiswa Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang (UNNES) bimbingan skripsi saya pada periode 2013-2014, yaitu Amalia Larasati, Windy Octaviani, Heri Istanto, Muhammad Khusni Anajib, Prayogo Tri Raharjo, Ummi Habibah, Muhammad Afifudin, Salma Nurul Mardhotillah, Sinta Andriyani, Novia Noor Cahyani, Ageng Linda Andhini, Siti Hardiyanti Pradana, Nur Kiara Setyawidianingsih, dan Lia Setyani yang telah banyak membantu baik dalam riset di laboratorium dan penyusunan materi buku ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) DIKTI atas Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi multi tahun (2016-2018) dan *credit* gambar *cover* buku dari "freepik.com".

Penulis telah berusaha menyajikan yang terbaik dalam penulisan buku monograf ini. Namun demikian penulis masih mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata, penulis berharap penulisan buku monograf ini dapat bermanfaat dan menjadi acuan bagi mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dalam upaya mencapai pendidikan unggul dan berkualitas.

Semarang, 18 Agustus 2020





# DAFTAR ISI

PRAKATA .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>BAB II. BIOMASSA.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB III. PIROLISIS BIOMASSA.....</b>	<b>20</b>
<b>BAB IV. <i>BIO-OIL</i> HASIL PIROLISIS BIOMASSA.....</b>	<b>28</b>
4.1. <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Cangkang Kopi.....	30
4.2. <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa.....	32
4.3. <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu.....	34
4.4. <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Tongkol Jagung.....	35
4.5. <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Sekam Padi.....	38
4.6. <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Bagas Tebu .....	41
4.7. Karakteristik Fisik <i>Bio-Oil</i> .....	43
<b>BAB V. KESIMPULAN.....</b>	<b>49</b>

DAFTAR PUSTAKA .....	50
GLOSARIUM .....	59
INDEKS .....	62
TENTANG PENULIS.....	64

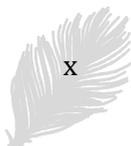


# DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Produksi Kelapa di Indonesia.....	7
Tabel 2.2.	Komponen Kimia Beberapa Biomassa Kayu .....	9
Tabel 2.3.	Produksi Kopi di Indonesia .....	11
Tabel 2.4.	Perkiraan Jumlah Limbah Cangkang Kopi.....	12
Tabel 2.5.	Produksi Jagung di Indonesia.....	13
Tabel 2.6.	Produksi Padi di Indonesia.....	13
Tabel 2.7.	Produksi Tebu di Indonesia .....	15
Tabel 2.8.	Proyeksi Produktivitas (Kg/Ha) Komoditas Perkebunan Tahun 2015-2019 .....	16
Tabel 2.9.	Komposisi Biomassa .....	17
Tabel 4.1.	Konsentrasi dan Komposisi <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Cangkang Kopi.....	31
Tabel 4.2.	Konsentrasi dan Komposisi <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa .....	33
Tabel 4.3.	Konsentrasi dan Komposisi <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu .....	35
Tabel 4.4.	Konsentrasi dan Komposisi <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Tongkol Jagung.....	37
Tabel 4.5.	Konsentrasi dan Komposisi <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Sekam Padi .....	40

Tabel 4.6. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-oil* Hasil  
Pirolisis Bagas Tebu .....42

Tabel 4.7. Karakterisasi *Bio-oil* Hasil Penelitian Ini  
Dibandingkan dengan Standar *Bio-oil* .....44





# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pirolisis Biomassa Berbasis Selulosa, Lignin, dan Hemiselulosa.....	6
Gambar 2.2.	Sumber Biomassa: Tempurung Kelapa (a), Cangkang Kopi (b), Tongkol Jagung (c), Sekam Padi (d), Serbuk Kayu (e) dan Bagas Tebu (f) .....	18
Gambar 3.1.	Proses Pirolisis Biomassa .....	21
Gambar 3.2.	Rangkaian Alat Pirolisis.....	26
Gambar 4.1.	<i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Cangkang Kopi.....	30
Gambar 4.2.	Kromatogram <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Cangkang Kopi.....	30
Gambar 4.3.	<i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa .....	32
Gambar 4.4.	Kromatogram <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa .....	33
Gambar 4.5.	<i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu .....	34
Gambar 4.6.	Kromatogram <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu .....	34
Gambar 4.7.	<i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Tongkol Jagung.....	36
Gambar 4.8.	Kromatogram <i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Tongkol Jagung.....	36

Gambar 4.9.	<i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Sekam Padi.....	39
Gambar 4.10.	Kromatogram <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Sekam Padi .....	40
Gambar 4.11.	<i>Bio-oil</i> Hasil Pirolisis Bagas Tebu.....	41
Gambar 4.12.	Kromatogram <i>Bio-Oil</i> Hasil Pirolisis Bagas Tebu.....	41



# BAB I. PENDAHULUAN

---

Peranan bahan bakar fosil masih akan sangat penting, namun pengaruhnya secara berangsur-angsur akan diambil alih oleh sumber-sumber energi baru dan terbarukan. Seiring dengan menipisnya cadangan minyak dunia dan isu lingkungan hidup, berbagai macam penelitian mengenai energi terbarukan sedang giat dilakukan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk dapat mengatasinya, salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi pirolisis di mana bahan yang digunakan berasal dari limbah organik (biomassa). Dengan teknologi pirolisis kita dapat mengatasi limbah organik, membuat lingkungan menjadi sehat dan menjadikannya produk akhir yang bernilai tambah.

Pirolisis merupakan proses konversi termal yang penting untuk mengubah biomassa menjadi produk yang lebih berharga yaitu *bio-oil*. *Bio-oil* merupakan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap, dan merupakan cairan hasil kondensasi dari uap hasil pirolisis dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya yang akan teroksidasi menjadi fenol, merupakan kandungan utamanya. *Bio-oil* terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen dengan sedikit kandungan nitrogen dan sulfur. Hanya saja kandungan sulfur dan nitrogen dalam *bio-oil* dapat

ditiadakan (tidak begitu berarti). Komponen organik terbesar dalam *bio-oil* adalah lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Karakteristik tersebut menjadikan *bio-oil* sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, serta memiliki nilai bakar yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar oksigen lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya lebih rendah sedikit dibandingkan dengan *diesel* dan *light fuel oil* lainnya (Hambali dkk., 2007). Tetapi penggunaan *bio-oil* ini secara langsung akan menimbulkan berbagai macam kesulitan pada sistem pembakaran karena viskositas yang tinggi, nilai kalor yang rendah, korosif, dan tidak stabil. Dilihat dari unsur-unsur senyawa penyusun *bio-oil*, senyawa asam dan senyawa fenol yang masih cukup tinggi akan menyebabkan korosi terhadap mesin.

Pengembangan *bio-oil* dapat menggantikan posisi bahan bakar hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, *boiler*, mesin diesel statis, dan gas turbin. *Bio-oil* sangat efektif digunakan sebagai pensubstitusi *diesel*, *heavy fuel oil*, *light fuel oil*, dan untuk berbagai macam *boiler*. *Bio-oil* bersifat larut sempurna dalam alkohol, seperti dalam metanol dan etanol. Pencampuran *bio-oil* dalam alkohol dapat meningkatkan stabilitas dan menurunkan nilai viskositas bahan bakar. *Bio-oil* bersifat tidak larut dalam solar, tetapi dapat diemulsifikasi dengan solar. Emulsifikasi 10-30% *bio-oil* dalam solar dapat memperbaiki stabilitas bahan bakar, memperbaiki viskositas, mengurangi tingkat korosivitas, dan meningkatkan nilai bilangan setana (Hambali dkk., 2007).

Biomassa yang digunakan untuk memproduksi *bio-oil* dapat diperoleh dari limbah pertanian, hutan, perkebunan,



industri, dan rumah tangga. Negara-negara tropis seperti Indonesia umumnya memiliki biomassa yang berlimpah. Bahan baku biomassa yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan *bio-oil* antara lain kulit durian (Ismadji, 2012), kayu oak (Ellens dan Brown dalam Ismadji, 2012), kulit gandum (Bertero dkk. dalam Ismadji, 2012), jarak (Pandey dkk. dalam Ismadji, 2012), ampas buah-buahan (Ozbay dkk. dalam Ismadji, 2012), mikroalga (Lee dkk., 2015), limbah makanan (Ong dkk., 2017), *sludge* (Supaporn dkk., 2017) dan limbah cangkang kopi (Liu dkk., 2017).

Selama ini limbah serbuk gergaji kayu, tempurung kelapa, cangkang kopi, tongkol jagung, sekam padi, dan bagas tebu banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang akan berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat. Pengolahan *waste to product* merupakan pengolahan limbah menjadi bahan baku atau produk baru yang bernilai ekonomis yaitu *Bio-oil*. *Bio-oil* yang berasal dari biomassa yang diproduksi dari proses pirolisis, saat ini mulai menjadi perhatian sebagai salah satu alternatif pembuatan bahan bakar dan bahan kimia.

## BAB II. BIOMASSA



([www.energyprosandcons.org](http://www.energyprosandcons.org))

Di dalam ini, semua biomassa pada akhirnya akan membusuk menjadi molekul dasarnya dengan adanya pelepasan panas. Pelepasan energi dari konversi biomassa menjadi energi yang berguna menyerupai proses alam, tetapi dengan laju yang lebih cepat. Pemanfaatan energi ini adalah mendaur ulang karbon dan tidak menambahkan karbon dioksida ke lingkungan, hal ini berbeda dengan bahan bakar

fosil. Dari semua sumber energi terbarukan, biomassa sangatlah unik dalam keefektifan menyimpan energi matahari. Lebih lanjut lagi, biomassa merupakan satu-satunya sumber karbon yang dapat diperbaharui, dan juga mampu diproses menjadi bahan bakar gas, cair, dan padat yang baik.

Biomassa adalah keseluruhan makhluk hidup atau mati. Misalnya tumbuh-tumbuhan, binatang, mikro-organisme, dan bahan organik (termasuk sampah organik). Unsur utama dari biomassa adalah bermacam-macam zat kimia (molekul) yang sebagian besar mengandung atom karbon (C), bila membakar biomassa karbon tersebut dilepaskan ke udara dalam bentuk karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

Biomassa merupakan produk reaksi fotosintetik dari karbon dioksida dengan air, yang terdiri atas karbon, oksigen, dan hidrogen, yang terdapat dalam bentuk polimetrik makroskopik kompleks. Bentuk-bentuknya adalah:

Selulosa : (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>x</sub>

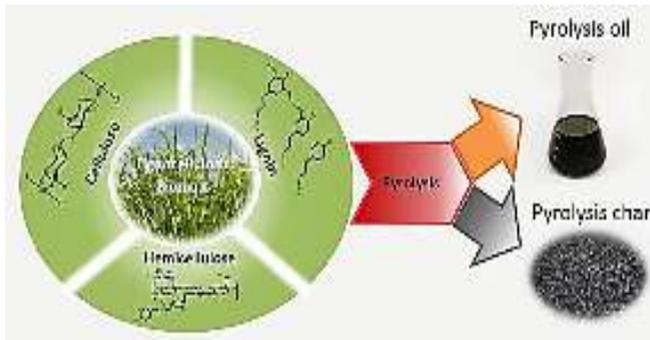
Hemiselulosa : (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>)<sub>y</sub>

Lignin : (C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>(CH<sub>3</sub>O)<sub>0,9-1,7</sub>)<sub>z</sub>

Komposisi senyawa-senyawa pokok di atas bervariasi untuk setiap spesies tanaman. Biasanya biomassa mengandung 40–60 % berat selulosa, 20–40 % berat hemiselulosa, dan 10–25 % berat lignin pada tiap basis kering. Pada kasus degradasi termal, ketiga komponen ini yang paling mudah terdegradasi adalah hemiselulosa, kemudian selulosa dan yang paling sulit adalah lignin.

Selulosa dapat membentuk turunan alkohol seperti ester, eter, dan lain-lain. Proses pirolisis lignin dihasilkan senyawa kimia aromatis yang berupa fenol, terutama kresol.

Sehingga biomassa jika dipanaskan dapat dengan mudah terdegradasi menjadi senyawa-senyawa berupa alkohol dan aromatik yang terkandung dalam *bio-oil*.



**Gambar 2.1. Pirolisis Biomassa Berbasis Selulosa, Lignin, dan Hemiselulosa**

(Sumber: <http://biofuels.sjtu.edu.cn/Double%20DAEM%20Report.htm>)

Biomassa merupakan bahan yang dapat berasal dari sayuran, buah-buahan, gulma, rumput, limbah hasil pertanian dan kehutanan, yang berpotensi menjadi sumber energi alternatif, yaitu dengan mengubahnya menjadi *bio-oil* melalui proses pirolisis (Freel & Graham, 2002).

Di Indonesia, salah satu sumber biomassa yang tersedia adalah tempurung kelapa. Ketersediaan tempurung kelapa dapat dilihat dari produksi buah kelapa di Indonesia. Buah kelapa merupakan salah satu komoditas utama negara Indonesia dengan rata-rata produksi 3.000.000 ton/tahun (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Data produksi buah kelapa pada tahun 2011-2015 yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Perkebunan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Produksi Kelapa di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah (Ton)</b>
2016	2.904.170
2017	2.854.300
2018	2.840.148
2019	2.828.167
2020	2.798.980

(Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020)

Berdasarkan Tabel 2.1. dapat diketahui bahwa jumlah produksi kelapa di Indonesia lebih besar dibandingkan dengan produksi tebu, kopi dan kakao. Dilihat dari bagian-bagian buah kelapa terdiri dari 35 % sabut, 12 % tempurung, 28 % endosperm, dan 25 % air (Purnama, 2013). Industri pengolahan buah kelapa umumnya masih fokus pada pengolahan hasil daging buah sebagai hasil utama, sedangkan industri yang mengolah hasil samping masih secara tradisional dan berskala kecil salah satu pemanfaatannya adalah sebagai briket arang, apabila dianalisis secara ekonomi pendapatan tempurung menjadi arang tempurung per ton sebesar US\$ 175, sedangkan apabila dimanfaatkan menjadi *bio-oil* mencapai US\$ 742 (Mahmud, Z., dan Y. Ferry. 2005). Penelitian mengenai proses konversi limbah kelapa menjadi bahan bakar telah dilakukan oleh Gani, (2013) menunjukkan bahwa *yield* tertinggi didapat pada konversi tempurung kelapa dibandingkan konversi sabut kelapa dengan *yield* yang dihasilkan sebesar 52,02 % sehingga pemanfaatan limbah tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif sangat berpotensi karena menghasilkan *yield* lebih tinggi daripada konversi sabut kelapa. Tempurung kelapa yang dihasilkan sangat melimpah sebanding dengan jumlah



produksi yang dihasilkan. Jumlah produksi kelapa di daerah semarang mencapai 200,85 ton/tahun 2016 (Badan Pusat Statistik, 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Amin, dkk., (2017) mengolah tempurung kelapa di daerah semarang menjadi biobriket, karena jumlah produksi tempurung kelapa yang melimpah di sana khususnya daerah Gunung Pati.

Pemanfaatan buah kelapa sangat beragam, akan tetapi untuk pemanfaatan dan cara penanganan limbahnya masih terbatas. Buah kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan dalam kehidupan sehari-hari untuk tujuan dikonsumsi secara langsung. Tempurung kelapa untuk saat ini hanya menjadi sampah yang belum bisa dimanfaatkan. Karena itu salah satu penanganannya adalah dengan memanfaatkan limbah tempurung kelapa sebagai bahan dasar dalam pembuatan *bio-oil*. Studi karakterisasi pada tempurung kelapa telah dilakukan melalui proksimat, ultimat dan analisis Termogravimetri. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan cairan bahan bakar dengan proses konversi pirolisis (Joardder dkk., 2011). Kandungan kimia dari tempurung kelapa adalah selulosa (34 %), hemiselulosa (21 %), lignin (27 %) dan abu (18 %) (Tamado, 2013).

Tempurung kelapa dapat diubah menjadi *bio-oil* dengan proses pemanasan pada pirolisis. *Bio-oil* dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih mudah disimpan dan didistribusikan dari pada biomassa dalam bentuk padatan. *Bio-oil* yang dibuat dari bahan baku tempurung kelapa dengan menggunakan pirolisis lambat dengan suhu pirolisis 250–300 °C menghasilkan cairan yang mempunyai pH sangat asam dan



bersifat korosif. Komponen organik terbesar dalam *bio-oil* adalah turunan lignin yaitu fenol, alkohol, asam organik dan senyawa karbonil seperti keton, aldehid dan ester (Wang, 2013). Sifat asam tersebut disebabkan akibat kandungan senyawa fenol yang dominan. Di mana kandungan senyawa fenol yang terdapat pada *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa adalah 31,2 % (Hasanah, 2012).

Selain tempurung kelapa, limbah biomassa yang banyak dijumpai adalah limbah kayu baik berupa serbuk gergaji, potongan-potongan dan ranting pepohonan. Serbuk kayu/gergaji merupakan limbah dari industri penggergajian berupa butiran kayu, sedetan, dan potongan-potongan kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji. Beberapa jenis serbuk gergaji kayu yang banyak digunakan dalam industri antara lain kayu jati, kayu surain dan kayu cempaka. Tabel 2.2 menampilkan komponen kimia dari ketiga jenis kayu tersebut.

**Tabel 2.2. Komponen Kimia Beberapa Biomassa Kayu**

<b>Komponen</b>	<b>Kayu Jati (%)</b>	<b>Kayu Surain (%)</b>	<b>Kayu Cempaka (%)</b>
Selulosa	47,5	61,2	45,59
Lignin	29,9	27,3	29,99
Pentosa	14,4	11,5	18,50
Abu	1,4	0,8	1,55
Silika	0,4	0,5	1,50

(Sumber: Idrus dkk., 2008)

Serbuk gergaji adalah butiran kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji (Setiyono, 2004). Serbuk-serbuk gergaji ini dapat diperoleh dari beragam sumber, seperti



limbah pertanian dan per kayuan. Jumlah serbuk gergaji yang dihasilkan dari eksploitasi/pemanenan dan pengolahan kayu bulat sangat banyak. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2,6 juta m<sup>3</sup> per tahun, dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24 % dari produksi total. Oleh karena itu, maka dihasilkan limbah penggergajian kayu sebanyak 1,4 juta m<sup>3</sup> per tahun dan angka ini cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian (Pari dkk., 2002).

Kapasitas industri penggergajian kayu di Indonesia, yang berasal dari 96 buah pabrik berkapasitas antara 1.000-5.000 m<sup>3</sup> per tahun per pabrik adalah sebesar 360.000 - 1.800.000 m<sup>3</sup> per tahun. Limbah sebanyak 180.000 -900.000 m<sup>3</sup> per tahun dihasilkan oleh pabrik-pabrik tersebut setiap tahunnya, yaitu berupa serbuk gergaji sebesar 15 % (135.000 m<sup>3</sup>), sebetan 10 % (90.000 m<sup>3</sup>), dan potongan ujung 25 % (225.000 m<sup>3</sup>) (Sudrajat dan Pari, 2011).

Balai Penelitian Hasil Hutan (BPHH) pada kilang penggergajian di Sumatera dan Kalimantan serta Perum Perhutani di Jawa menunjukkan bahwa rendemen rata-rata penggergajian adalah 45 %, sisanya 55 % berupa limbah. Sebanyak 10 % dari limbah penggergajian tersebut merupakan serbuk gergaji (Wibowo, 1990).

Limbah serbuk gergaji yang dihasilkan dari industri penggergajian dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, di antaranya pembuatan etanol (Fatriasari dkk., 2011), sebagai media tanam, bahan baku furnitur, bahan baku briket arang, bahan bakar guna melengkapi kebutuhan energi industri vinir/kayu lapis dan pulp/kertas (PPLH, 2007).

Indonesia merupakan produsen kopi terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Vietnam dengan menyumbang sekitar 6 % dari produksi total kopi dunia, dan Indonesia merupakan pengekspor kopi terbesar keempat dunia dengan pangsa pasar sekitar 11 % di dunia (Raharjo, 2013).

Kopi merupakan salah satu dari tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomis tinggi selain tanaman coklat dan teh. Kopi juga merupakan salah satu komoditas yang sangat menjanjikan, karena kopi Indonesia sangat terkenal di seluruh dunia. Bahkan menurut Ditjen Perkebunan, Kementan, bahwa ekspor kopi menjadi salah satu komoditas unggulan.

Berdasarkan data Departemen Kehutanan dan Perkebunan, produksi kopi di Indonesia pada tahun 2013 mencapai 691.160 ton dengan luas lahan perkebunan 47.800 Ha (Badan Pusat Statistik, 2015).

**Tabel 2.3. Produksi Kopi di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah (Ton)</b>
2016	663.871
2017	717.962
2018	756.051
2019	760.963
2020	773.409

(Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020)

Dengan makin berkembangnya pengolahan kopi baik skala kecil atau skala industri tentunya akan menghasilkan hasil sampingan dari pengolahan kopi tersebut yaitu salah satunya adalah limbah kulit kopi. Dari pengolahan tersebut akan menghasilkan  $\pm 65$  % biji kopi dan  $\pm 35$  % limbah kulit kopi yang mana limbah kulit kopi tersebut masih bisa



dimanfaatkan. Limbah dari pengolahan kopi yang jumlahnya cukup banyak dan belum dimanfaatkan secara optimal adalah cangkang kopi. Besar limbah cangkang kopi yang berasal dari perkebunan adalah 11,08 % (Braham & Bressani, 1979).

**Tabel 2.4. Perkiraan Jumlah Limbah Cangkang Kopi**

Tahun	Cangkang kopi (ton)
2010	76.108,52
2011	70.756,88
2012	77.437,012
2013	76.580,528

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2015)

Tabel 2.4 menunjukkan bahwa jumlah cangkang kopi yang dihasilkan dari industri pengolahan kopi semakin besar setiap tahunnya dan apabila dibiarkan tanpa adanya pemanfaatan secara efisien, dikhawatirkan cangkang kopi dapat mencemari lingkungan sekitar. Cangkang kopi merupakan limbah yang memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi sehingga cangkang kopi berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi *bio-oil* (Cicilia, 2009).

Melimpahnya limbah jagung seperti pada Tabel 2.5 disebabkan oleh berkembangnya produksi makanan berbahan dasar jagung, seperti gula rendah kalori, nasi jagung, bubur jagung, tepung jagung, berasan jagung, marning jagung, dan susu jagung. Secara umum pemanfaatan buah jagung masih sebatas pada pengolahan keping jagung, sedangkan pemanfaatan dan penanganan limbahnya masih terbatas. Salah satu limbah terbesar dari jagung adalah tongkolnya, karena 40-50 % limbah jagung berupa tongkol



jagung yang besarnya dipengaruhi oleh varietas jagung (Sembodo dkk., 2015).

**Tabel 2.5. Produksi Jagung di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Kapasitas Produksi (ton)</b>
2014	19,008,426
2015	19,612,435
2016	23,578,413
2017	28,924,015
2018	30,055,623

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2019)

Sekam padi merupakan jenis biomasa yang persediaannya melimpah di Jawa Tengah. Sekam padi dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif karena ketersediaan dari biomassa itu sendiri yang cukup berlimpah dan relatif murah. Pada tanaman padi yang lebih umum dimanfaatkan adalah butiran padinya. Salah satu cara penanganan limbah tanaman padi adalah dengan melakukan pengolahan kembali untuk menjadikan sekam padi sebagai salah satu biomassa untuk pembuatan *bio-oil*.

Data produksi tanaman padi pada tahun 2014-2018 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistika dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6. Produksi Padi di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah (Ton)</b>
2014	70,846,465
2015	75,397,841
2016	79,354,767
2017	81,148,594
2018	83,037,150

(Sumber: Badan Pusat Statistika, 2019)



Komposisi kimiawi sekam paling besar adalah karbon organik, yaitu 45–50 %. Komposisi karbon organik yang tinggi mengindikasikan bahwa banyaknya kandungan selulosa sekam. Sekam padi merupakan bahan yang mengandung lignoselulosa seperti biomassa lainnya dan juga mengandung silika yang tinggi. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak, dan energi atau bahan bakar. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20–30 % dari bobot gabah. Di Indonesia, jumlah sekam dapat mencapai 13,2 juta ton per tahun (Deptan, 2011). Pada proses penggilingan padi, 78 % akan menghasilkan beras sedangkan 22 % akan menghasilkan sekam padi (Kusuma, dkk. 2013). Sekam padi merupakan hasil samping pada proses penggilingan serta merupakan kulit beras yang melindungi butiran biji beras dari berbagai ancaman selama proses pertumbuhan. Kurang optimalnya pengolahan limbah sekam padi membuat kekhawatiran akan terjadinya polusi lingkungan. Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 45–50 % selulosa, 25–30 % lignin, dan 15–20 % silika (Prabawati, 2008). *Yield* yang dihasilkan pada *bio-oil* hasil prolisis sekam padi didapat 46,36 % (Xiujuan, 2011).

Selain sekam padi, biomassa yang digunakan untuk memproduksi *bio-oil* dalam penelitian ini adalah bagas tebu. Indonesia merupakan salah satu negara produsen tebu di dunia. Potensi sumber daya tebu Indonesia yang melimpah tersebar di daerah Sumatera Utara, Sumatera Selatan,

Lampung, Jawa, NTB, Gorontalo, Sulawesi Selatan, Maluku Utara dan Papua ditunjukkan pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7. Produksi Tebu di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah (Ton)</b>
2016	445.075
2017	430.363
2018	429.959
2019	443.569
2020	458.432

(Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020)

Produksi gula selalu meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan laporan Dirjen Perkebunan pada tahun 2016-2020, produksi tebu nasional lebih dari 400 ribu ton/tahun dan saat ini terdapat 58 pabrik gula dengan kapasitas giling total 195.622 ton tebu per hari. Berdasarkan data Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) ampas tebu pada tahun 2017 yang dihasilkan sebanyak 32 % dari berat tebu giling. Sementara itu, data P3GI pada tahun 2009 menunjukkan bahwa terdapat 15 perusahaan dengan 62 pabrik gula dengan jumlah tebu yang digiling 29,91 juta ton. Satu pabrik menghasilkan ampas tebu sekitar 35–40 % dari berat tebu yang digiling. Ampas tebu tersebut memiliki kandungan lignoselulosa sebanyak 35–40 % dan rata-rata total deposit ampas tebu di Indonesia mencapai 8,5 juta ton per tahun. Namun, baru 60 % dari ampas tebu tersebut dimanfaatkan antara lain: sebagai bahan bakar, bahan baku untuk kertas, bahan baku industri kanvas rem, industri jamur, dan lain-lain. Oleh karena itu, diperkirakan sebanyak 40 % dari ampas tebu tersebut belum dimanfaatkan (Erawati dkk., 2013).



Tebu adalah salah satu keanekaragaman hayati dengan produktivitas di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan serta merupakan komoditas perkebunan dengan nilai produktivitas tertinggi per tahunnya. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut ini.

**Tabel 2.8. Proyeksi Produktivitas (Kg/Ha) Komoditas Perkebunan Tahun 2015-2019**

No.	Komoditas	Proyeksi produktivitas (kg/ha) per tahun					Laju pertumbuhan (%)
		2015	2016	2017	2018	2019	
1.	Tebu	6.140	6.593	6.944	7.176	7.389	4,75
2.	Kelapa Sawit	3.991	3.991	4.184	4.352	4.485	2,98
3.	Karet	1.087	1.107	1.128	1.149	1.170	1,86
4.	Kelapa	1.247	1.260	1.272	1.284	1.295	0,94
5.	Kakao	655	688	704	723	752	3,51
6.	Kopi	751	759	766	772	773	0,75
7.	Teh	1.309	1.310	1.316	1.318	1.322	0,24
8.	Lada	798	804	809	815	820	0,66
9.	Cengkeh	364	370	374	377	379	0,97
10.	Pala	185	185	185	186	188	0,40
11.	Jambu Mete	369	369	371	377	382	0,89
12.	Nilam	86	86	86	86	87	0,11
13.	Kapas	264	276	286	299	310	4,07
14.	Tembakau	1.020	1.071	1.121	1.174	1.233	4,85

(Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019)

Berdasarkan Tabel 2.8 maka dapat disimpulkan bahwa Indonesia memiliki proyeksi produktivitas tebu mencapai 6.944 kg/Ha pada tahun 2017. Dari angka tersebut sebesar 32 % dari tebu giling tersebut berupa ampas tebu. Jumlah ampas tebu yang dihasilkan dalam pengolahan nira tebu cukup besar, yaitu sekitar 35–40 % dari bobot tebu dengan kandungan air 48–52 %, gula 2.5–6 %, dan serat 44–48 %. Kandungan serat yang tinggi dan ketersediaan limbah ampas tebu yang besar menjadikan alternatif pemanfaatan ampas

tebu sebagai bahan baku *bio-oil* cukup strategis dan menjanjikan (Gebre dkk., 2015).

Komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada biomassa menjadi faktor yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas *bio-oil* yang dihasilkan. Tabel 2.9 menunjukkan komposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terkandung dalam biomassa yang digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 2.9. Komposisi Biomassa**

Komponen	Konsentrasi (% Berat)					
	Tempurung Kelapa	Cangkang Kopi	Tongkol Jagung	Serbuk Gergaji Kayu	Sekam Padi	Bagas Tebu
Lignin	29,40	23,4	5,8	28	19,2	6,38
Selulosa	26,60	34,2	40,0	35	34,4	51,27
Hemiselulosa	27,70	24,5	41,4	29	24,3	25,66

Sumber: (Gani dkk., 2013), Soltani dkk. (2015), (Hidayat dkk., 2015) dan (Megawati dkk., 2014)

Gambar 2.2 menunjukkan sumber biomassa yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu tempurung kelapa, cangkang kopi, tongkol jagung, sekam padi, serbuk gergaji kayu, dan bagas tebu. Biomassa ini ketersediaannya cukup melimpah di negara kita, jadi sangatlah potensial apabila dijadikan bahan baku pembuatan *bio-oil* nantinya.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Gambar 2.2. Sumber Biomassa: Tempurung Kelapa (a), Cangkang Kopi (b), Tongkol Jagung (c), Sekam Padi (d), Serbuk Kayu (e) dan Bagas Tebu (f)**

(Sumber: (a)–(e) Dokumentasi Pribadi dan (f) Megawati dkk., 2018)



Komponen hemiselulosa merupakan komponen yang dijumpai pada kayu, yang biasanya terdiri dari pentosa ( $C_5H_8O_4$ ) dan heksosa ( $C_6H_{10}O_5$ ). Komponen pentosa terdapat pada kayu keras, sedangkan heksosa terdapat pada kayu lunak (Agustriyanto dkk., 2016). Hemiselulosa pada tempurung kelapa mengandung selulosa dan lignin, sedangkan hasil pirolisis selulosa yaitu asam asetat dan fenol (Rajan dkk., 2005).

Cangkang kopi juga memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi sehingga cangkang kopi berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi *bio-oil* (Ruriani, 2013).

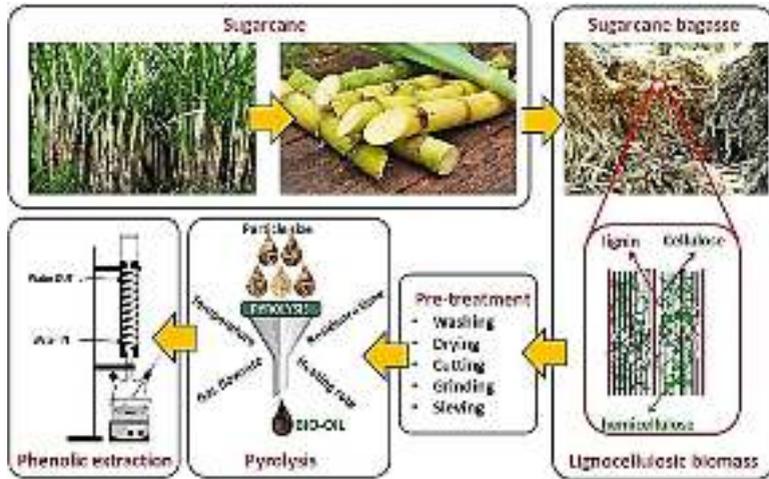
Tongkol jagung merupakan biomassa yang mengandung lignoselulosa yang cukup tinggi yaitu sebesar 39,99 %, sehingga berpotensi untuk dijadikan *bio-oil* (Richana et al., 2007).

Hasil analisis terhadap bagas tebu menunjukkan kadar oligosakarida 16,69 %, hemiselulosa 25,66 %, selulosa 51,27 %, dan lignin 6,38 % (Megawati, 2014). Kadar selulosa dan kandungan serat yang cukup tinggi menunjukkan bahwa bagas tebu cukup potensial untuk dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *bio-oil*.



# BAB III.

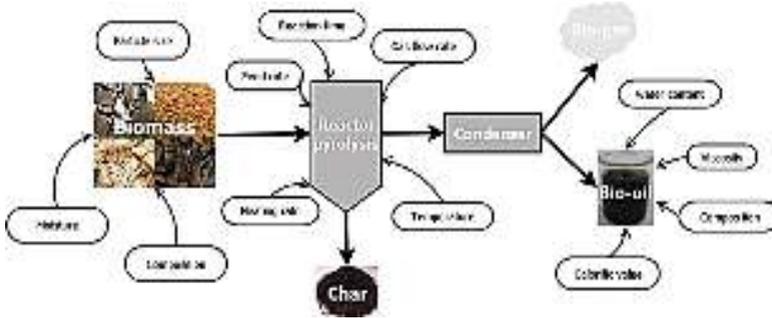
## PIROLISIS BIOMASSA



Pirolisis adalah suatu proses perengkahan molekul hidrokarbon rantai panjang menjadi molekul hidrokarbon dengan rantai karbon yang lebih pendek tanpa atau sedikit melibatkan oksigen. Pada pirolisis, reaksi terjadi secara acak, tidak ada suatu molekul hidrokarbon yang terengkah menurut satu mekanisme reaksi yang pasti. Molekul dapat terengkah di berbagai tempat tergantung pada jenis molekul hidrokarbon dan kondisi operasi.

Teknologi konversi biomassa menjadi *bio-oil* dapat dilakukan dengan teknologi pirolisis (Goyal dkk., 2006). Teknologi pirolisis merupakan pembakaran biomassa pada

kondisi tanpa oksigen. Tujuannya adalah melepaskan zat terbang (*volatile matter*) yang terkandung pada biomassa. Secara umum kandungan zat terbang dalam biomassa cukup tinggi. Produk proses pirolisis ini berbentuk cair, gas, dan padatan (*char*). Produk padat dari proses ini berupa arang, dan produk gasnya dikondensasi menjadi *bio-oil*, dan tir sebagai produk cairnya. Cairan yang diperoleh dari proses pirolisis merupakan suatu produk yang potensial untuk digunakan sebagai *bio-oil*.



**Gambar 3.1. Proses Pirolisis Biomassa**

(Sumber: Guedes dkk., 2018)

Salah satu contoh proses yang mirip dengan pirolisis adalah pada proses pengilangan minyak bumi. Pada proses pengilangan minyak bumi, hidrokarbon rantai panjang yang terdapat pada fraksi minyak bumi direngkah menjadi hidrokarbon lain dengan rantai yang lebih pendek, sehingga terbentuklah bahan bakar gas, bensin, minyak tanah, solar dan lain-lain.

Teknik pirolisis merupakan suatu teknik pemanasan *bio-oil* dalam temperatur tinggi (500–1000 °C), sehingga

dihasilkan *char*, gas dan tir. Bila *bio-oil* dipirolisis atau didestilasi dengan memanaskannya tanpa kontak dengan udara, ia akan terkonversi menjadi zat padat, zat cair, dan gas. Jumlah dan sifat produk yang dihasilkan tergantung pada suhu pirolisis serta jenis biomassa yang digunakan. Dalam praktik biasa, suhu tanur kokas dijaga di atas 900 °C, tetapi bisa juga berkisar antara 500–1000 °C. Produk utamanya (menurut beratnya) adalah *char*.

Jika unit destilasi menggunakan suhu 450–700 °C, proses itu disebut karbonisasi suhu rendah (*low-temperature carbonization*); dengan suhu > 900 °C disebut karbonisasi suhu tinggi (*high-temperature carbonization*). Pada karbonisasi suhu rendah jumlah gas yang dihasilkan kecil, sedang zat cairnya agak banyak, sedang pada karbonisasi suhu tinggi hasil gas lebih banyak dan zat cairnya sedikit.

Karbonisasi suhu rendah menghasilkan zat cair yang sangat berbeda dari yang dihasilkan pada karbonisasi suhu tinggi, walau biomassa yang digunakan sama. Zat cair hasil karbonisasi suhu rendah mengandung lebih banyak asam tir dan basa tir daripada zat cair karbonisasi suhu tinggi. Pada karbonisasi suhu tinggi, zat cair yang dihasilkan adalah air, tir dan minyak ringan mentah. Produk gasnya berupa hidrogen, metana, etilena, karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen sulfida, amonia dan nitrogen. Produk lain selain *char* dikelompokkan sebagai bahan kimia *bio-oil* atau hasil sampingan.

Destilasi destruktif biomassa atau karbonisasi biomassa, merupakan contoh yang mencolok mengenai konversi kimia atau proses pirolisis. Teknik kimia pirolisis biomassa menunjukkan langkah-langkah dekomposisi sebagai berikut:



1. Bila suhu dinaikkan, ikatan karbon-karbon alifatik putus lebih dahulu. Reaksi ini mulai berlangsung pada suhu di bawah 200 °C.
2. Berikutnya, hubungan karbon-hidrogen putus pada suhu kurang lebih 600 °C.
3. Eliminasi kompleks lingkaran-hetero dan aromatisasi secara berangsur merupakan reaksi penting yang berlangsung selama dekomposisi dan proses karbonisasi.
4. Bobot molekul produk antara berkurang secara teratur bersamaan dengan naiknya suhu. Air, karbon monoksida, hidrogen, metana, dan hidrokarbon lainnya terbentuk.

Dekomposisi berlangsung maksimum pada suhu antara 600-800 °C. Semua reaksi di atas bervariasi bergantung pada laju pemanasan dan suhu yang dicapai.

Mullen dan Boateng (2008) telah melakukan pirolisis rumput, akar, dan bunga untuk membuat *bio-oil*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *bio-oil* mengandung 62 komponen, sebagian besar adalah senyawa fenol.

Bajus (2010) telah melakukan pirolisis material kayu menggunakan reaktor *batch* pada rentang suhu 350–450 °C. Hasil pirolisis diperoleh gas sebanyak 25,1 %, cairan sebanyak 44,3 %, dan residu padatan karbon sebanyak 30,6 %.

Muthia (2011) telah melakukan pirolisis tandan kosong kelapa sawit dengan katalis RCC komersial untuk membuat *bio-oil*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa fenol merupakan komponen yang banyak terkandung di dalamnya yaitu sebesar 29,1 %.



Ismadji (2012) telah melakukan pirolisis kulit durian dalam sebuah reaktor tubular untuk membuat *bio-oil*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit durian dapat menghasilkan *bio-oil* sebanyak 49,8 % pada suhu 550 °C dengan ukuran partikel 25/40 *mesh* dan komposisi kimia terbesar adalah senyawa fenol sebanyak 15,7 %.

Mujiarto dkk. (2014) telah melakukan pembuatan *bio-oil* dari tandan kosong sawit menggunakan reaktor pirolisis selama 2,5 jam pada suhu 300, 400, 500, dan 600 °C. Komposisi bio oil pada suhu rendah (300 °C) terdiri dari asetaldehid, aseton, gugus keton, propanon, asam asetat, metil ester, asam propanoat, furfural, fenol dan asam benzenesulfonik. Pada suhu tinggi (600 °C) bio oil yang dihasilkan mengandung komponen etanol, etilen glikol, etana, aseton, propanon, kloroform, asam asetat, piridin, fenol dan metil ester.

Zhang dkk. (2014) telah melakukan penelitian pirolisis (*catalytic fast pyrolysis*) kayu poplar dengan katalis  $K_3PO_4$ ,  $K_2HPO_4$ , dan  $KH_2PO_4$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan senyawa fenol tertinggi sebesar 68,8 % pada pirolisis menggunakan katalis  $K_3PO_4$ .

Hidayat dan Qomaruddin (2015) telah melakukan pirolisis tempurung kelapa dan cangkang kopi untuk membuat asap cair sebanyak 763 mL (cangkang kopi) dan 1128,6 mL (tempurung kelapa). Kandungan senyawa terbesar dalam asap cair adalah senyawa fenol yaitu sebesar 68,19 % (tempurung kelapa) dan 42,42 % (cangkang kopi).

Metode penelitian yang digunakan pada pirolisis biomassa merupakan metode eksperimental yang terdiri dari beberapa tahap berkesinambungan agar tujuan penelitian



dapat tercapai. Tahap pertama adalah persiapan awal. Pada tahap ini dilakukan persiapan terhadap biomassa yang berupa tongkol jagung, bagas tebu, serbuk gergaji kayu, cangkang kopi, sekam padi, dan tempurung kelapa. Persiapan yang dilakukan meliputi pembersihan, pengeringan serta pencacahan biomassa.

Tahap kedua adalah proses pirolisis biomassa. Proses penguraian senyawa-senyawa penyusun biomassa menjadi beberapa senyawa organik melalui reaksi pembakaran kering tanpa oksigen. Untuk produksi *bio-oil*, biomassa dipirolisis pada skala laboratorium dengan reaktor jenis *fixed bed*. Rangkaian proses pirolisis dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Biomassa yang telah halus kemudian ditimbang dan digunakan sebagai umpan. Umpan tersebut dipanaskan dalam reaktor pirolisis dan dihentikan apabila sudah berada pada suhu operasi (500–600 °C) selama 2 jam operasi. Reaktor yang digunakan adalah reaktor jenis *fixed bed* terbuat dari bahan *stainless steel* dengan diberi lapisan isolasi dari keramik dan *glasswool* berkapasitas 535 L dengan diameter 50 cm dan tinggi 100 cm. Panas yang digunakan berasal dari sumber panas gas LPG dengan kecepatan pemanasan sebesar 10 °C/menit. Laju alir gas N<sub>2</sub> sebesar 200 mL/menit, gas ini dialirkan dari bawah menuju ke atas melewati reaktor. Laju alir N<sub>2</sub> menggantikan laju alir udara dari reaktor dan kondisi operasi dalam reaktor menjadi anaerob. Laju alir N<sub>2</sub> digunakan untuk membawa produk pirolisis dalam fasa gas. Kemudian, gas tersebut dikondensasikan menggunakan sebuah kondensor untuk mengubah fasa menjadi cairan, di mana cairan ini mengandung *bio-oil* dan air. Kondensor yang digunakan



adalah kondensor yang berupa koil melingkar pada tangki lain di sebelah reaktor dengan ukuran diameter dalam koil 2 cm, diameter luar koil 5 cm, dan panjang koil 60 cm. Media pendingin yang digunakan pada kondensor berupa air dengan suhu masuk sebesar 26 °C dan suhu keluar sebesar 35 °C. Kemudian cairan tersebut ditampung dalam *liquid collector* berupa *beaker glass* 500 mL untuk mengetahui volumenya, didiamkan selama 24 jam dalam botol gelap untuk kemudian dianalisis komponen-komponen yang terkandung di dalamnya dengan menggunakan alat *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS).



**Gambar 3.2. Rangkaian Alat Pirolisis**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tahap ketiga yaitu analisis karakterisasi fisika *bio-oil* hasil pirolisis biomassa. Analisis kandungan asam, pH, dan *flash point* (titik nyala). Analisis viskositas terhadap *bio-oil* hasil pirolisis biomassa dilakukan dengan menggunakan viskometer kinematik. Analisis densitas terhadap *bio-oil* hasil pirolisis biomassa dilakukan dengan menggunakan piknometer. Analisis nilai kalor terhadap *bio-oil* hasil pirolisis biomassa dilakukan dengan menggunakan bom kalorimeter.



# BAB IV.

## BIO-OIL HASIL PIROLISIS BIOMASSA

---



*Bio-oil* atau minyak-bio adalah turunan dari minyak nabati. Dalam penelitian ini *bio-oil* didefinisikan sebagai produk hasil pirolisis. *Bio-oil* terdiri dari berbagai senyawa organik yang berbeda dan tidak bercampur dengan bahan bakar minyak, hal ini disebabkan karena tingginya kadar air dalam *bio-oil*, yaitu sekitar 15–20 %. Kandungan air yang cukup besar dalam *bio-oil* ini, berfungsi sebagai pengikat ratusan molekul yang berbeda yang disebut sebagai emulsi mikro. Kandungan senyawa kimia dalam *bio-oil* adalah berbagai macam asam organik, alkohol, keton, ester, komponen-komponen fenolik, dan lain-lain (Demiral dkk., 2012). Tetapi penggunaan *bio-oil* ini secara langsung akan

menimbulkan berbagai macam kesulitan pada sistem pembakaran karena viskositas yang tinggi, nilai kalor yang rendah, korosif, dan tidak stabil.

*Bio-oil* dapat dimurnikan dan dibentuk menjadi berbagai bahan bakar dan bahan kimia. Berikut ini adalah beberapa kelebihan dari *bio-oil*:

1. Dapat digunakan 100 % tanpa pencampuran dengan BBM solar.
2. Tidak membutuhkan proses transesterifikasi dan penggunaan metanol atau KOH.
3. Kualitas minyak dapat dikontrol sepenuhnya untuk memenuhi spesifikasi mesin.
4. Proses produksi lebih mudah dan biaya produksi yang relatif rendah.
5. Harga jauh lebih murah dari BBM solar industri.
6. Perlu penambahan *converter* pada mesin.

Komponen organik terbesar dalam *bio-oil* adalah lignoselulosa, alkohol, asam organik dan karbonil (Sun, 2002). Karakteristik tersebut menjadikan *bio-oil* sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. *Bio-oil* dapat menjadi alternatif pengganti bahan bakar hidrokarbon untuk industri seperti untuk mesin pembakaran, *boiler*, mesin diesel statis dan gas turbin dan efektif digunakan sebagai pensubstitusi diesel, *heavy fuel oil*, *light fuel oil*, dan natural gas untuk berbagai macam *boiler* (Hambali dkk., 2007), serta dapat digunakan untuk bahan dasar pembuatan *bio-fuel* untuk keperluan transportasi dan *power plant* industri, selain itu *bio-oil* bahan ini dapat diperbaharui (*renewable*) dan bersifat ramah lingkungan.



#### 4.1. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Cangkang Kopi

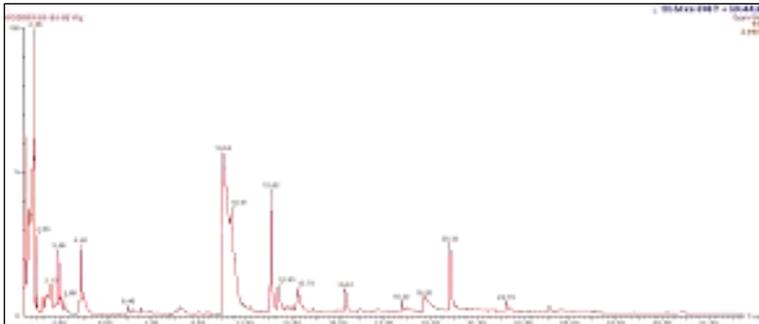
Gambar 4.1. menunjukkan hasil *bio-oil* dari proses pirolisis cangkang kopi. Warna dari *bio-oil* sangat jernih dan berwarna kuning seperti minyak goreng.



**Gambar 4.1. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Cangkang Kopi**

(Sumber: Fardhyanti dkk., 2018)

Analisis kandungan pada *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kopi dengan menggunakan GC-MS ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.1.



**Gambar 4.2. Kromatogram *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Cangkang Kopi**

(Sumber: Fardhyanti dkk., 2018)

**Tabel 4.1. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-oil* Hasil Pirolisis Cangkang Kopi**

<b>Retention Time</b>	<b>Konsentrasi (%)</b>	<b>Komponen</b>
4.273	3.47	1-metil-borazina
4.819	5.86	asam butirat
5.494	8.05	2-furan metanol
8.67	2.27	1-one, 3-metil-2-siklopentena
11.031	20.21	asam fosfit
12.942	7.69	2-metoksi-fenol
13.202	3.86	3-metil-fenol
14.072	6.69	4-metil-fenol
20.815	3.59	3-hidroksi-5-metoksi-benzena
32.505	28.40	kafein
34.411	9.92	asam oleat

Sumber: Fardhyanti dkk., 2018

Gambar 4.2 dan Tabel 4.1 menunjukkan bahwa komponen senyawa tertinggi penyusun *bio-oil*, yaitu kafein (28,4%). Sesuai dengan penelitian oleh Fischer dkk. (2014) menjelaskan produk cair yang dihasilkan setelah melalui analisis GC-MS mengandung keton, alkohol, alkana, aromatik, kafein, dan asam (steareat, linoleat, palmitat). Senyawa kafein perlu dihilangkan dari *bio-oil* karena kafein termasuk senyawa alkaloid mengandung atom nitrogen dari metabolit primer asam amino yang dapat membentuk gum/getah pada *fuel-oil* (Marliana, 2005). Penggunaan *bio-oil* beserta aktivitas atom nitrogen dapat menyebabkan tidak sempurnanya proses pembakaran karena viskositas tinggi, nilai kalor rendah, dan tidak stabil mengakibatkan kerusakan pada mesin apabila menggunakan *bio-oil* yang mengandung komponen kafein (Ismadji. 2012).



#### 4.2. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa.

Komposisi tempurung kelapa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin terdekomposisi karena pengaruh panas.

Gambar 4.3 menunjukkan hasil *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa yang berwarna kuning kecokelatan dan jernih.

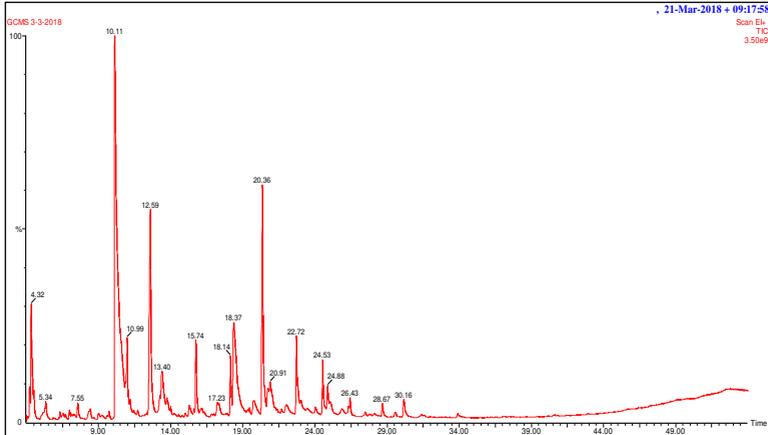


**Gambar 4.3. *Bio-oil* Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa**

(Sumber: Fardhyanti dkk., 2018)

Gambar 4.4 dan Tabel 4.2. menunjukkan bahwa komponen terbesar *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa adalah senyawa fenol (45,42 %) dan senyawa ester (37,60 %), hal ini disebabkan karena kandungan lignin sudah terdekomposisi sempurna menghasilkan fenol dan turunannya, di mana kadar fenol *bio-oil* meningkat seiring dengan temperatur pirolisis.

Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa biomassa tempurung kelapa yang mempunyai struktur kayu keras pada temperatur yang sama menghasilkan fenol 40,01 % yang lebih banyak dibandingkan dengan cangkang kopi dan serbuk kayu.



**Gambar 4.4. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa**  
(Sumber: Fardhyanti dkk., 2018)

**Tabel 4.2. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-oil* Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa**

<i>Retention Time</i>	Konsentrasi (%)	Komponen
4.499	3,77	furfural
10.751	45,42	fenol
10.381	6,96	3-metil-1,2-cyclopentanedione
12.962	11,59	2-metoksi-fenol
16.133	3,22	2-metoksi-4-metil-fenol
18.514	1,98	4-etil-2-metoksi-fenol
18.924	10,70	3-metoksi-1,2-benzenediol
20.73	11,66	2,6-dimetoksi-fenol
23.101	4,12	4-metoksi-3-(metoksi metil)-fenol
24.917	2,09	5-tert-butyl pirogalol

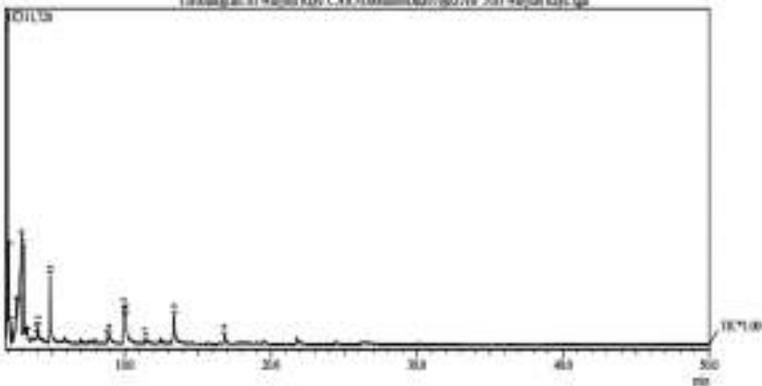
Sumber: Fardhyanti dkk., 2018

#### 4.3. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu.



**Gambar 4.5. *Bio-oil* Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

*Bio-oil* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 berwarna kecokelatan agak gelap dan sedikit lebih pekat.



**Gambar 4.6. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu**  
(Sumber: Fardhyanti dkk., 2017)



**Tabel 4.3. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu**

<i>Retention Time</i>	Konsentrasi (%)	Komposisi
1,956	26,15	asetaldehida
2,057	6,84	aseton
2,556	5,48	asam formiat
2,917	20,90	asam asetat
3,079	5,30	1-hidroksi-2-propanon
4,875	8,33	furfural
9,927	5,58	fenol

Sumber: Fardhyanti dkk., 2017

Biomassa serbuk kayu lebih banyak menghasilkan *bio-oil* dengan kandungan senyawa asam 26,15 % ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.3. Senyawa asam ini menunjukkan perbandingan terbalik dengan variabel suhu, di mana ketika suhu gas asap dinaikkan senyawa asam menurun dan fenolnya meningkat. Fenol mempunyai fungsi sebagai antioksidan sehingga lebih optimal dalam hal menghambat kerusakan pangan dengan cara menyumbangkan hidrogen sebagai bahan pengawet. Sedangkan kandungan asam efektif dalam mematikan dan menghambat pertumbuhan mikroba pada produk makanan dengan cara senyawa asam itu menembus dinding sel mikroorganisme yang menyebabkan sel mikroorganisme mati (Hidayat, 2015).

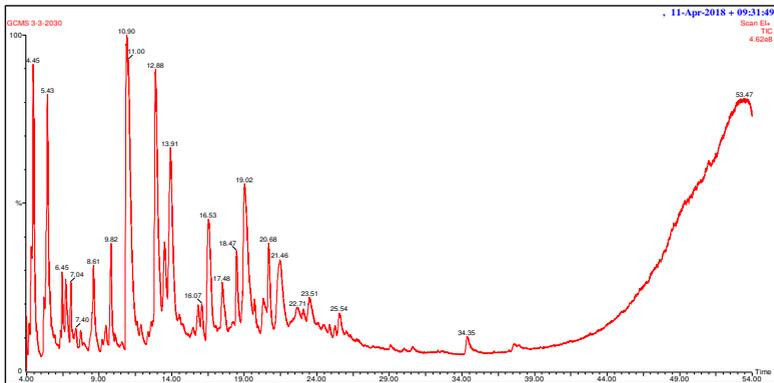
#### **4.4. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Tongkol Jagung**

Gambar 4.7 di bawah ini menunjukkan hasil produksi *bio-oil* dari pirolisis tongkol jagung. Secara fisik *bio-oil* tampak berwarna jernih kecokelatan seperti minyak jelantah.





**Gambar 4.7. *Bio-oil* Hasil Pirolisis Tongkol Jagung**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 4.8. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Tongkol Jagung**  
(Sumber: Fardhyanti dkk., 2018)

**Tabel 4.4. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-oil* Hasil Pirolisis Tongkol Jagung**

<i>Retention Time</i>	Konsentrasi (%)	Komponen
4,479	13,24	furfural
5,544	7,24	2-furan metanol
6,739	1,04	1-(2-furani)-ethanone
8,68	4,77	1-one, 3-metil-2-siklopentena
9,886	1,70	1,6-heptadienal
10,951	23,86	fenol
12,977	10,91	1-sikloheksena-1-ethanone
13,982	10,59	4-metil-fenol
16,583	8,54	3-etil-fenol
18,514	2,57	4-etil-2-metoksi-fenol
19,124	6,10	1,2-benzenediol
20,745	2,04	2,6-dimetoksi-fenol
21,51	3,26	3-kloro-4-hydroxyiminocarane
23,136	0,99	4-metoksi-3-(metoksi metil)-fenol

Sumber: Fardhyanti dkk., 2020

Komposisi dari *bio-oil* hasil pirolisis tongkol jagung pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.4. menunjukkan 15 senyawa yang teridentifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa *bio-oil* mengandung senyawa yang cukup kompleks. Sun dkk. (2011) telah melakukan penelitian mengenai kandungan *bio-oil* dari berbagai biomassa dan didapatkan kesimpulan bahwa senyawa yang terdapat pada setiap *bio-oil* cenderung sama yaitu senyawa-senyawa fenol, aldehyd, keton, dan asam organik. Hadirnya komponen alkohol, aldehyd, keton, furfural, dan furan di dalam *bio-oil* disebabkan karena terdekomposisinya fraksi selulosa dan hemiselulosa dari biomassa (Sun dkk., 2011). Sedangkan hadirnya senyawa aromatik, kresol, dan turunan fenol pada *bio-oil* disebabkan oleh terdegradasinya fraksi lignin (Yorgun dan Yildiz, 2015).



*Bio-oil* hasil pirolisis tongkol jagung memiliki kandungan total senyawa fenol sebesar 61,93 %. Senyawa fenol dalam *bio-oil* terbentuk dari proses dekomposisi lignoselulosa pada tongkol jagung selama proses pirolisis (Mantilla dkk., 2015). Kandungan senyawa fenol sangat dipengaruhi oleh suhu pirolisis, karena semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak kandungan lignoselulosa yang terdekomposisi (Basu, 2010). Pada penelitian yang dilakukan Zhang dkk. (2009) menyatakan bahwa suhu optimum pada pirolisis tongkol jagung adalah pada suhu 550 °C. Apabila dilakukan pirolisis pada suhu di atas optimum, proses dekomposisi lignin tidak dapat terkondensasi sempurna menjadi *bio-oil* tetapi justru akan semakin banyak diproduksi *non-condensable gas* seperti CO, CO<sub>2</sub>, metana, etana, etena, propana dan propena (Treedet dkk., 2017). Komposisi *bio-oil* pada percobaan ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Biswas dkk. (2017). Pada *bio-oil* hasil pirolisis tongkol jagung ini lebih didominasi oleh senyawa fenol dan turunannya. Hal ini mempengaruhi angka asam pada *bio-oil* yang cukup tinggi, sehingga perlu proses lebih lanjut untuk pengaplikasiannya dalam *grade* yang lebih tinggi dan lebih bagus.

#### **4.5. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Sekam Padi.**

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa *bio-oil* hasil pirolisis sekam padi cenderung jernih dan memiliki warna agak kecokelatan seperti minyak jelantah.



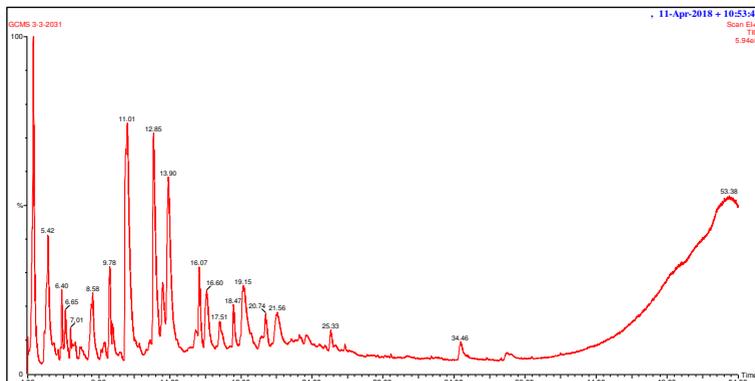


**Gambar 4.9. *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Sekam Padi**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.10 dan Tabel 4.5 menunjukkan *bio-oil* hasil pirolisis sekam padi memiliki kandungan tertinggi berupa fenol dan turunannya sebesar 62,65 %. Adanya kandungan fenol membuat kualitas *bio-oil* menjadi kurang bagus sehingga perlu dilakukan ekstraksi fenol untuk mendapatkan *bio-oil* dengan kualitas yang baik. Hal ini dikarenakan kandungan fenol dapat menyebabkan rendahnya nilai *heating value*, korosif, tingginya tingkat keasaman, viskositas *bio-oil* yang tinggi serta tidak stabilnya produk yang dihasilkan sehingga mengakibatkan kerusakan mesin (Muthia, 2011).





**Gambar 4.10. Kromatogram *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Sekam Padi**  
(Sumber: Fardhyanti dkk., 2020)

**Tabel 4.5. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-oil* Hasil Pirolisis Sekam Padi**

<i>Retention Time</i>	Konsentrasi (%)	Komponen
4,389	4,41	furfural
5,554	8,09	2-furan metanol
6,524	1,68	3-metil-2-cyclopentenone
6,770	1,86	1-(2-furanil)-ethanone
8,550	4,66	5-metil-2-furan karboksaldehida
8,690	4,11	4-etil-4-metil-2-siklo heksana
11,001	31,66	fenol
13,027	9,49	5-metil-3-metilen-5-heksana
13,967	14,74	4-metil-fenol
15,898	1,86	2,5-dimetil-fenol
16,608	9,09	3-etil-fenol
19,345	3,05	3-siklo pentil asam propionat
20,760	5,30	2,6-dimetoksi fenol

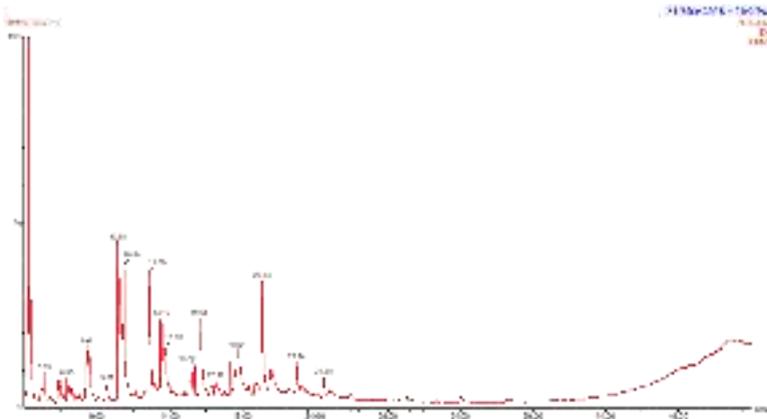
Sumber: Fardhyanti dkk., 2020

#### 4.6. *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

*Bio-oil* dari hasil pirolisis bagas tebu ditunjukkan pada Gambar 4.11. Secara fisik *bio-oil* tampak sangat jernih dan berwarna kuning kecokelatan mirip minyak goreng.



**Gambar 4.11. *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 4.12. Kromatogram *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu**  
(Sumber: Megawati dkk, 2018)

**Tabel 4.6. Konsentrasi dan Komposisi *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu**

<i>Retention Time</i>	Konsentrasi (%)	Komponen
4,183	3,99	furfural
4,313	16,77	furfural
6,900	0,83	butirolakton
8,270	4,67	5-metil furfural
8,460	2,73	3-metil-2-cyclopentenone
10,381	16,42	asam karboksilat
10,841	10,86	3-metil 1,2-cyclopentanedione
12,552	7,54	5-metil 3-metilen-5-heksena
13,402	7,05	4-metil fenol
13,692	3,48	7-hidroksi-6-metil 2,4-asam oleat
15,748	1,13	4-metil 2-metoksi fenol
16,033	7,72	4-etil fenol
18,159	1,31	4-etil 2-metoksi fenol
18,639	5,27	1,2 benzenediol
20,335	6,79	2,6-dimetoksi fenol/syringol
22,736	2,29	4-metoksi-3- (metoksi metil) fenol
24,581	1,14	2,4,5-trimetoksi- $\alpha$ -metil- fenetilamin

Sumber: Megawati dkk., 2018

Keberadaan senyawa oksigenat utama *bio-oil* yaitu senyawa fenol menyebabkan penurunan kualitas *bio-oil* berbentuk penurunan pH, penurunan kestabilan, penurunan *heating value*, dan kenaikan viskositas (Lu dkk., 2009).

Komposisi dari *bio-oil* hasil pirolisis bagas tebu ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Tabel 4.6. Terdapat 17 senyawa yang teridentifikasi pada *bio-oil* hasil pirolisis bagas tebu. Hal ini menunjukkan bahwa *bio-oil* mengandung senyawa yang cukup kompleks dari gugus multifungsi. Dari Tabel 4.6 diketahui bahwa komponen terbesar yang terdapat pada *bio-oil* adalah senyawa fenol sebesar 26,29 %. Menurut Zhang dkk. (2018) bahwa proses dekomposisi lignin menjadi fenol, turunan fenol, dan senyawa aromatik dimulai pada



suhu 250-600 °C. Adanya senyawa fenol dalam *bio-oil* merupakan akibat dari dekomposisi termal dari lignin yang terkandung dalam ampas tebu selama proses pirolisis (Mantilla dkk., 2015). Semakin besar jumlah lignin yang terkandung dalam suatu biomassa, maka semakin besar pula nilai *yield* fenol dalam *bio-oil* yang diproduksi dari biomassa tersebut. Menurut Rocha dkk. (2012) kandungan lignin dalam ampas tebu sebesar 21,1 %.

#### **4.7. Karakteristik Fisik *Bio-Oil***

Karakterisasi fisik seperti pH, Densitas, Viskositas Kinematik, *Heating Value* atau nilai kalor, *Flash Point* atau titik nyala, bilangan asam serta kandungan air merupakan parameter penting yang harus dipelajari pada pembuatan *bio-oil* karena berpengaruh langsung pada performa mesin, penggunaan *boiler* atau *furnace* selama pemompaan dan pembakaran. *Bio-oil* yang mempunyai spesifikasi tidak sesuai dengan Standar Nasional Indonesia akan menyebabkan kerusakan pada mesin serta berbahaya dalam penggunaannya. Karakteristik fisik juga dipengaruhi oleh kandungan senyawa yang terkandung (Gani, 2013).

Tabel 4.7 menunjukkan hasil karakterisasi *bio-oil* hasil pirolisis biomassa yaitu cangkang kopi, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, tongkol jagung, sekam padi, dan bagas tebu berdasarkan karakteristik sifat fisika dibandingkan dengan standar *bio-oil*. Sifat fisik seperti densitas, viskositas kinematik, titik nyala, pH, dan nilai kalor menjadi bagian penting dalam *bio-oil* untuk menilai dan menentukan potensi *bio-oil* dijadikan bahan bakar cair.



**Tabel 4.7. Karakterisasi *Bio-oil* Hasil Penelitian Ini Dibandingkan dengan Standar *Bio-oil***

Parameter	Cangkang Kopi	Tempurung Kelapa	Serbuk Gergaji Kayu	Tongkol Jagung	Sekam Padi	Bagas Tebu	Standar <i>Bio-oil</i> *
Densitas suhu 40°C (Kg/m <sup>3</sup> )	1.037	990,167	986	1.024,7	1.042	988	940-1.200
Viskositas suhu 40°C (cSt)	1,35	1,66	1,09	1,03	9,51	9,43	4-78
Bil. Asam (mg KOH/g)	6,73	19,07	10,22	82,49	52,45	44,69	0,8
pH	6	2	2	3,5	3	3	2,3-3,3
<i>Flash Point</i> (°C)	132	128	130	147	150	130	100
Nilai Kalor (Mj/kg)	4,20	4,71	1,50	3,97	3,34	4,31	16-19

\*Sumber: Yu dkk., 2009

*Bio-oil* dengan densitas yang tinggi memiliki kemampuan bakar yang rendah (Musta dkk. 2017). Densitas *bio-oil* hasil pirolisis berbahan baku limbah pertanian umumnya berkisaran antara 1.000-1.100 Kg/m<sup>3</sup> (Erawati, 2013). Densitas *bio-oil* dipengaruhi oleh suhu pemanasan. Pada variasi suhu pemanasan, semakin tinggi suhu maka densitas dari *bio-oil* yang dihasilkan semakin rendah. Densitas paling tinggi dimiliki oleh *bio-oil* hasil pirolisis sekam padi sebesar 1.042 Kg/m<sup>3</sup>. Hasil ini juga lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wibowo (2013) dengan menggunakan kayu sengon yang menghasilkan densitas *bio-oil* sebesar 1.116 Kg/m<sup>3</sup>. Hasil yang sama juga ditunjukkan pada hasil penelitian Mullen dkk. (2010) bahwa *bio-oil* berbahan tongkol jagung memiliki densitas sebesar > 1.000 Kg/m<sup>3</sup>. Di sisi lain, Direktorat



Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2018) menyampaikan bahwa bahan bakar minyak jenis minyak diesel memiliki batas densitas maksimal  $900 \text{ Kg/m}^3$ . Densitas yang tinggi tersebut dikarenakan tingginya kandungan air sehingga menyebabkan kesulitan pada proses pembakaran *bio-oil* (Lehto dkk., 2014). Densitas yang tinggi juga dapat menyebabkan proses pemompaan dan atomisasi dalam mesin menjadi sulit sehingga berakibat pada kualitas pembakaran *bio-oil*. Secara umum densitas *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kopi, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, tongkol jagung, sekam padi, dan bagas tebu berkisar antara  $986\text{--}1.042 \text{ Kg/m}^3$ , hal ini sudah sesuai dengan nilai standar densitas *bio-oil* (Yu, 2009).

Nilai viskositas yang tidak memenuhi standar akan membuat atomisasi bahan bakar dan udara menjadi kurang baik yaitu berupa evaporasi yang lebih sedikit sehingga pembakaran tidak sempurna (Laila dkk. 2017). Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir. Semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar pula pergerakan dari fluida tersebut (Erawati, 2013). Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar (Hardjono, 2000). Viskositas *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kopi, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, dan tongkol jagung berkisar antara  $1,03\text{--}1,66 \text{ cSt}$ . Disisi lain penelitian yang dilakukan oleh Ogunjobi dan Lajide (2013) menunjukkan bahwa *bio-oil* hasil pirolisis tongkol jagung memiliki viskositas sebesar  $20,80 \text{ cSt}$ . Nilai ini masih jauh dari standar yang telah ditetapkan, di mana nilai viskositas kinematik mempunyai peranan penting dalam proses penginjeksian bahan bakar. Sementara standar



viskositas pada bahan bakar diesel sebesar 2,5-11,0 cSt (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2018) dan nilai viskositas standar *bio-oil* sebesar 4-78 cSt (Yu, 2009). Viskositas *bio-oil* hasil pirolisis sekam padi dan bagas tebu sebesar 9,51 dan 9,43 cSt memenuhi standar nilai viskositas standar *bio-oil*. Nilai viskositas sangat dipengaruhi oleh kandungan air. Semakin banyak kandungan air di dalam *bio-oil* maka akan menyebabkan nilai viskositas menjadi lebih rendah (Purwanto, 2011).

*Bio-oil* hasil pirolisis cangkang kopi, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, tongkol jagung, sekam padi, dan bagas tebu mempunyai bilangan asam yang sangat tinggi sebesar 6,73–82,49 mg KOH/g. Hal ini sangat jauh dari kadar bilangan asam standar *bio-oil* yaitu 0,8 mg KOH/g. Kadar asam yang sangat tinggi dari suatu bahan bakar akan berpengaruh pada seberapa kuat daya korosi dari mesin jika menggunakan bahan bakar tersebut (Laila dkk., 2017). Kadar asam yang tinggi ini disebabkan oleh pH *bio-oil* yang terlalu rendah.

pH merupakan parameter yang penting untuk mengoperasikan mesin, di mana nilai pH dapat menyebabkan korosif pada mesin yang terbuat dari baja ringan maupun dari aluminium (Abnisa dkk., 2013). Namun banyak literatur yang menjelaskan bahwa pH *bio-oil* dari limbah pertanian memiliki nilai sebesar 2-3,5 (Erawati dkk., 2013). Nilai pH yang rendah disebabkan oleh kandungan fenol dan turunannya pada *bio-oil* tinggi, di mana fenol termasuk asam lemah sehingga kandungan yang tinggi menyebabkan pH yang dihasilkan rendah pula (Gani, 2013). Nilai pH rendah kurang bagus untuk dijadikan sebagai bahan bakar karena



akan mempercepat tingkat korosivitas pada mesin pembakaran sehingga perlu dilakukan pemurnian untuk meningkatkan nilai pH *bio-oil* sesuai standar yang telah ditetapkan yaitu 2,5 sehingga perlu dilakukan *upgrading* dengan cara ekstraksi cair-cair (Heri, 2017). Nilai pH *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, sekam padi, dan bagas tebu sebesar 2-3, hal ini sesuai dengan nilai standar pH *bio-oil* sebesar 2,3-3,3 (Yu, 2009). Nilai pH dari *bio-oil* hasil pirolisis tongkol jagung dan cangkang kopi lebih besar dari standar *bio-oil* yaitu 3,5 dan 6. Beberapa literatur menjelaskan bahwa pH *bio-oil* dari tongkol jagung berkisar antara 2,97-5,30 (Ogunjobi dan Lajide, 2013). Kehadiran asam di dalam *bio-oil* seperti asam karboksilat, aldehid, dan senyawa fenol menyebabkan pH *bio-oil* menjadi asam. *Bio-oil* yang bersifat asam (pH rendah) dapat menyebabkan masalah korosi.

*Flash Point* atau titik nyala merupakan temperatur terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Nilai titik nyala (*flash point*) *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kopi, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, tongkol jagung, sekam padi, dan bagas tebu berada pada suhu 128-150 °C. Hal ini sesuai dengan standar bahan bakar diesel yang harus memiliki titik nyala minimal pada suhu 60 °C (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2008) dan standar titik nyala *bio-oil* pada suhu 100 °C (Yu, 2009), sehingga *bio-oil* yang dihasilkan masih aman untuk digunakan sebagai bahan bakar karena mempunyai *flash point* lebih tinggi dari standar *bio-oil*.

*Heating Value* merupakan parameter cukup penting dalam pembuatan *bio-oil* di mana nilai *heating value*



digunakan untuk mengetahui kemampuan *bio-oil* untuk menghasilkan energi. Nilai kalor adalah nilai yang menyatakan jumlah panas yang terkandung dalam bahan bakar, nilai kalor tersebut merupakan kualitas utama untuk suatu bahan bakar (Sudradjat & Hendra, 2011). Besarnya nilai kalor atau *heating value* pada *bio-oil* untuk dijadikan standar bahan bakar sebesar 16-19 MJ/kg (Yu, 2009), sedangkan nilai kalor *bio-oil* yang didapatkan sebesar 1,50-4,71 MJ/kg, hal ini masih jauh dengan standar yang telah ditetapkan. Semakin besar kandungan fenol akan menyebabkan rendahnya nilai kalor atau *heating value* yang dihasilkan. Jadi dapat dikatakan bahwa kandungan fenol pada *bio-oil* berbanding terbalik dengan nilai kalor yang dihasilkan (Padang, 2007). Nilai *heating value bio-oil* yang rendah juga disebabkan oleh tingginya kandungan oksigen pada *bio-oil* (Jahirul dkk., 2012). Pada umumnya kandungan oksigen *bio-oil* hasil pirolisis limbah pertanian sebesar 35 - 62,83 % berat bahan baku (Jahirul dkk., 2012). Nilai kalor *bio-oil* hasil pirolisis serbuk gergaji kayu paling rendah, hal ini dikarenakan *bio-oil* mengandung air dan oksigen yang tinggi (Jahirul dkk., 2012). Nilai kalor paling tinggi dimiliki oleh *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa sebesar 4,71 MJ/kg, tetapi nilai ini masih jauh dari nilai kalor standar bahan bakar.





## BAB V. KESIMPULAN

---

1. Kandungan lignoselulosa yang tinggi dalam biomassa, berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi *bio-oil*.
2. Komponen senyawa tertinggi penyusun *bio-oil* dari cangkang kopi yaitu kafein (28,4 %); tempurung kelapa yaitu senyawa fenol (45,42 %), serbuk gergaji kayu yaitu senyawa asam (26,15 %); tongkol jagung yaitu senyawa fenol (61,93 %), sekam padi yaitu senyawa fenol (62,65 %); dan bagas tebu yaitu senyawa fenol (26,29 %).
3. Secara umum densitas *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kopi, tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, tongkol jagung, sekam padi, dan bagas tebu berkisar antara 986-1.042 Kg/m<sup>3</sup>.
4. Viskositas *bio-oil* hasil pirolisis sekam padi dan bagas tebu sebesar 9,51 dan 9,43 cSt.
5. Bilangan asam *bio-oil* hasil pirolisis biomassa masih sangat tinggi sebesar 6,73–82,49 mg KOH/g.
6. Nilai pH *bio-oil* hasil pirolisis tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, sekam padi, dan bagas tebu sebesar 2-3.
7. Nilai *flash point* *bio-oil* hasil pirolisis biomassa berada pada rentang suhu 128–150°C.
8. Nilai kalor *bio-oil* yang didapatkan hanya sebesar 1,50-4,71 MJ/kg.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Daud, W.W., Sahu, J.N., dan Noor, I.M. 2013. Utilization of Oilpalm Tree Residues to Produce *Bio-oil* and Bio-Char via Pyrolysis. *Energy Convers. Management*, Vol. 76, Hal. 1073–1082.
- Badan Pusat Statistik, 2018. *Data Produksi Jagung di Indonesia selama Tahun 2014-2018*. Jakarta: BPS Indonesia.
- Bajus, M. 2010. Pyrolysis of Woody Material. *Petroleum & Coal*, Vol. 52 (3), Hal. 207-214.
- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Elsevier Inc., ISBN 978-0-12-374988-8.
- Biswas, B., Pandey, N., Bisht, Y., Singh, R., Kumar, J., dan Bhaskar, T. 2017. Pyrolysis of Agricultural Biomass Residues: Comparative Study of Corn Cob, Wheat Straw, Rice Straw and Rice Husk. *Bioresource Technology*, Vol. 237, Hal. 57-63.
- Bridgwater, A.V., dan Peacocke, G.V.C. 2000. Fast pyrolysis Processes for Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 4(1), Hal.1–73.
- Demiral, I., Eryazici, A., dan Sensoz, S. 2012. *Bio-oil* Production from Pyrolysis of Corncob (*Zea mays* L.). *Biomass Bioenergy*, Vol. 36, Hal. 43-49.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2020. *Produksi Kelapa Menurut Provinsi di Indonesia Tahun 2016–2020*.

- \_\_\_\_\_. 2020. *Produksi Kopi Menurut Provinsi di Indonesia, Tahun 2016–2020*.
- Erawati, E., Sediawan, W.B., dan Mulyono, P. 2013. Karakteristik *Bio-oil* Hasil Pirolisis Ampas Tebu (Baggase). *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, Vol. 15(2), Hal. 47- 55.
- Fardhyanti, D.S., Astrilia, D., dan Amalia, L. 2017. *Karakteristik Bio-oil dari Hasil Pirolisis terhadap Biomassa*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, ISSN 1693-4393.
- Fardhyanti, D.S., Kurniawan, C., Lestari, R.A.S., dan Triwibowo, B. 2018. *Pengembangan Teknik Pemisahan Senyawa Fenol dari Bio-oil Hasil Pirolisis Biomassa dalam Upaya Konservasi Energi dari Bahan Alam Terbarukan*. Laporan Akhir Penelitian Strategis Nasional Institusi, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Tahun Kontrak 2018.
- Fardhyanti, D.S., Megawati, Kurniawan, C., Lestari, R.A.S., dan Triwibowo, B. 2018. Producing *Bio-oil* from Coconut Shell by Fast Pyrolysis Processing. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 237(02001), Hal. 1-5.
- Fardhyanti, D.S., Triwibowo, B., dan Damayanti, A. 2017. *Pengembangan Teknik Pemisahan Senyawa Fenol dari Bio-oil Hasil Pirolisis Biomassa dalam Upaya Konservasi Energi dari Bahan Alam Terbarukan*. Laporan Akhir Penelitian Produk Terapan, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Tahun Kontrak 2017.



- Freel, B., dan Graham, R.G. 2002. *Bio-oil Combustion Due Diligence: The Conversion of Wood and Another Biomass*. Cole Hill Associates. Bio-oil Preservatives. US Patent No. 6485841B1
- Gani, A. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vol. 9(3), Hal. 109-116.
- Gebre, H., Fisha, K., Kindeya, T., dan Gebremichal, T. 2015. Synthesis of Furfural from Baggasse. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, Vol. 57, Hal. 72-84.
- Goyal, H.B., Seal, D., dan Saxena, R.C. 2006. *Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A Review*. India Institute of Petroleum, India.
- Guedes, R.E., Luna, A.S., dan Torres, A.R. 2018. Operating Parameters for Bio-oil Production in Biomass Pyrolysis: A Review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 129, Hal. 134-149.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., dan Hendroko, R. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia: Jakarta.
- Hasanah, U. 2012. The Chemical and Physical Properties of the Light and Heavy Tar Resulted from Coconut Shell Pyrolysis. *Jurnal Pure Application Chemical Residue*, Vol. 1, Hal. 26-32.
- Heri. I., dan M. K. Anajib. 2017. *Eksperimen dan Permodelan Keseimbangan Termodinamika pada Ekstraksi Fenol dari Bio-oil Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa*. Skripsi, Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Semarang.



- Hidayat, T., dan Qomaruddin. 2015. *Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis dan Bahan Biomassa terhadap Kapasitas Hasil pada Alat Pembuat Asap Cair*. Prosiding SNST ke-6, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, Hal. 29-34
- Idris, M.M. 2008. *A Handbook of Selected Indonesian Wood Species, Petunjuk Praktis Sifat-Sifat Dasar Jenis Kayu di Indonesia*. Indonesian Sawmill and Woodworking Association (ISWA).
- Ismadji, S. 2012. *Kulit Durian sebagai Bahan Baku Pembuatan Bio-oil: Sumber Energi Terbarukan*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono I, Prodi Teknik Kimia UPN Veteran Jawa Timur, Hal. 1-4.
- Ismail, M.S., dan Waliuddin, A.M. 1996. Effect of Rice Husk Ash on High Strength Concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 10(1), Hal. 521-526.
- Jahirul, M.I., Rasul, M.G., Chowdhury, A.A., dan Ashwath, N. 2012. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis: A Technological Review. *Energies*, Vol. 5, Hal. 4952-5001.
- Joardder. 2011. *Pyrolysis of Coconut Shell for Bio-oil*. Bangladesh: Department of Mechanical Engineering Rajshahi University of Engineering & Technology.
- Kusuma, M.I., Tarkono, dan Badaruddin, M. 2013. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kekuatan Tekan dan Porositas Genteng Tanah Liat Kabupaten Pringsewu. *Jurnal FEMA*, Vol. 1(1), Hal. 24-30.
- Lee, H. 2015. Optimization of Variable Affecting the Direct Transesterification of Wet Biomassa from



- Nannochloropsis Oceanica using Ionic Liquid as a Co-Solvent. *Bioproc Biosyst Eng.*, Vol. 38, Hal. 981-987.
- Lehto, J., Oasmaa, A., Solantausta, Y., Kyto, M., dan Chiaramonti, D. 2014. Review of Fuel Oil Quality and Combustion of Fast Pyrolysis Bio-oils from Lignocellulosic Biomass. *Applied Energy*, Vol. 116, Hal. 178-190.
- Liu, Y. 2017. Direct Transesterification of Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Fuel*, Vol. 199, Hal. 157-161.
- Lu, Q., Li, W.Z., dan Zhu, X.F. 2009. Overview of Fuel Properties of Biomass Fast Pyrolysis Oils. *Energy Converts Manage*, Vol. 50, Hal. 1376-1383.
- Mantilla, S.V., Manrique, A.M., dan Gauthier-Maradei, A. 2015. Methodology for Extraction of Phenolic Compounds of *Bio-oil* from Agricultural Biomass Wastes. *Waste Biomass Valor*, Vol. 6, Hal. 371-383.
- Megawati, Fardhyanti, D.S., Mediaty, U., dan Prasetiawan, H. 2018. *Scale Up Catalytic Fast Pyrolysis Fluidized Bed Reactor untuk Produksi Bio-oil Berbahan Baku Bagas Tebu dalam Upaya Konservasi Energi dari Bahan Alam Terbarukan*. Laporan Akhir Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Tahun Kontrak 2018.
- Megawati. 2014. *Optimasi dan Perancangan Menggunakan Response Surface Methodology dan Aspen Dynamics pada Hidrolisis Bagas Tebu dengan Asam Sulfat*. Laporan Penelitian DIPA UNNES, Semarang.



- Mohan, D., Pittman, C.U., dan Steele, P.H. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, Vol. 20, Hal. 848-889.
- Mujiarto, S., Ristianingsih, Y., Amrullah, A., dan Khalid A. 2014. Studi Proses Pirolisis Tandan Kosong Sawit Menjadi Bio Oil Sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Sains dan Terapan Politeknik Hasnur*, Vol. 2(2), Hal. 21-15.
- Mullen, C.A. and Boateng, A.A. 2008. Chemical Composition of *Bio-oils* Produced by Fast Pyrolysis of Two Energy Crops. *Energy & Fuels*, Vol. 22, Hal. 2104-2109.
- Muthia R. 2011. *Peningkatan Kualitas Bio-oil dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fast Pyrolysis dengan Katalis Zeolit*. Skripsi, Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Ogunjobi, J.K. dan Lajide, L. 2013. Characterisation of *Bio-oil* and Bio-Char from Slow-Pyrolysed Negerian Yellow and White Corn Cobs. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, Vol. 4, Hal. 77-84.
- Ong, K.L. 2017. Trends in Food Waste Valorization for the Production of Chemicals, Materials, and Fuels: Case Study South and Southeast Asia. *Bioresource Technology*, Vol. 86, Hal. 1097- 1107.
- Prabawati, S.Y., dan Wijaya, A.G. 2008. *Pemanfaatan Sekam Padi dan Pelepah Pohon Pisang Sebagai Bahan Alternatif Pembuatan Kertas Berkualitas*. Hal. 44-56.
- Purnama, A.S. 2013. *Efek Anti-Inflamasi Liquid Smoke Tempurung Kelapa (Cocos Nutrifera L.) Grade 2 Pada Tikus Putih (Rattus Novergicus) Galur Wistar yang Diinduksi Karagenan 1%*. Surabaya: Universitas Airlangga.



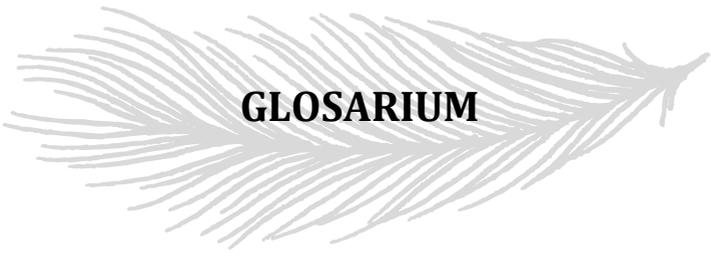
- Purwanto, W.W., Supramono, D., Muthia, R., dan Annisa, G. 2012. *Konversi Limbah Kelapa Sawit Menjadi Bio-oil melalui Proses Catalytic Fast Pyrolysis dan Upgrading-nya*. Asosiasi Pendidikan Tinggi Teknik Kimia Indonesia.
- Richana, N., Lestina, P., dan Irawadi, T.T. 2004. Karakterisasi Lignoselulosa: Xi Lan dari Limbah Tanaman Pangan dan Pemanfaatannya untuk Pertumbuhan Bakteri RXA III-5 Penghasil Xilanase. *Jurnal Penelitian*, Vol. 23(3), Hal. 171-176.
- Rochaa, G.J.M., Gon, A.R., Alvesb, B.R., Oliveiraa, E.G., Olivaresa, dan Rossella, C.E.V. 2012. Steam Explosion Pretreatment Reproduction and Alkaline Delignification Reactions Performed on A Pilot Scale with Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production. *Industrial Crops and Products*, Vol. 35, Hal. 274– 279.
- Rout, T., Pradhan, D., Singh, R.K., dan Kumari, N. 2016. Exhaustive Study of Productsobtained from Coconut Shell Pyrolysis. *J. Environ. Chem. Eng.* Vol. 4, Hal. 3696–3705.
- Sembodo, B.S.T., Santoso, E.D.A., dan Jati, F.N. 2015. Pencairan Tongkol Jagung secara Termokimia dalam Etanol Superkritik. *Ekulibrium*, Vol. 14(1), Hal. 7-11.
- Soltani, N., Bahrami, A., Pech-Ganul, M. I., dan Gonzalez, L. A. 2015. Review on the Physicochemical Treatments of Rice Husk for Production of Advanced Materials. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 264, Hal. 899-935.
- Sudradjat, R., dan Hendra, D. 2011. *Teknologi Pengolahan Bahan Bakar Nabati Berbasis Selulosa dan Hemiselulosa (Bio-oil)*. Laporan Hasil Penelitian.



- Bogor. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Sudrajat, R., dan Pari, G. 2011. *Arang Aktif: Teknologi Pengolahan dan Masa Depan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Jakarta.
- Sun, P., Heng, M., Sun, S.H., dan Chen, J. 2011. Analysis of Liquid and Solid Products from Liquefaction of Paulownia in Hot-Compressed Water. *Energy Conversion Management*, Vol. 52, Hal. 924–933.
- Supaporn. 2017. Optimization of a One-Step Direct Process for Biodiesel Production from Blended Sewage Sludge. *Korean J Chem Eng*, Vol. 34, Hal. 360-365.
- Tamado, D. 2013. *Sifat Termal Karbon Aktif Berbahan Arang Tempurung Kelapa*, Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Treedet, W., Taechajedcadarungsri, S., dan Suntivaracorn, R. 2017. Fast pyrolysis of Sugarcane Bagasse in Circulating Fluidized Bed Reactor-Part B: Modelling of Bio-Oil Production. *Energy Procedia*, Vol. 138, Hal. 806-810.
- Wang, S. 2013. *High-Efficiency Separation of Bio-oil*. Chapter 16 from the book *Biomass Now-Sustainable Growth and Use*. Intech.
- Wibowo, S. 2013. Karakteristik *Bio-oil* Serbuk Gergaji Sengon (*Paraserianthes Falcataria* L. Nielsen) Menggunakan Proses Pirolisis Lambat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 31(4).
- Xiujian, G, Shurong, W, Zuogang, G, dan Zhongyang, L. 2011. Properties of *Bio-oil* from Fast Pyrolysis of Rice Husk.



- Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 19, Hal. 116-121.
- Yorgun, S., dan Yildiz, D. 2015. Slow Pyrolysis of Paulownia Wood: Effects of Pyrolysisparameters on Product Yields and *Bio-oil* Characterization. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, Vol. 114, Hal. 68–78.
- Yu, F., Steele, P., Gajjela, S. K., Hassan, E. B., dan Mitchell, B. 2009. *Production of Hydrocarbons from Biomass Fast Pyrolysis and Hydrodeoxygenation*, Departement of Forest Products, Mississippi University, US.
- Zhang Q., Chang J., Wang T., dan Xu Y. 2009. Review of Biomass Pyrolysis Oil Properties and Upgrading Research. *Energy Convers Manage*, Vol. 48, Hal. 87–92.
- Zhang, H., Xiao, R., Huang, H., dan Xiao, G. 2009. Comparison of Non-Catalytic and Catalytic Fast Pyrolysis of Corn Cob in A Fluidized Bed Reactor. *Bioresource Technology*, Vol. 100, Hal. 1428-1434.
- Zhang, L., Shanshan, L., Kai, L., dan Xifeng, Z. 2018. Two-Step Pyrolysis of Corncob for Value-Added Chemicals and High Quality of *Bio-oil*: Effects of Pyrolysis Temperature and Residence Time. *Energy Conversion and Management*, Vol. 166, Hal. 260–267.
- Zhang, Z.B., Lu, Q., Ye, X.N., Xiao, L.P., Dong, C.Q., dan Liu, Y.Q. 2014. Selective Production of Phenolic-Rich *Bio-oil* from Catalytic Fast Pyrolysis of Biomass: Comparison of  $K_3PO_4$ ,  $K_2HPO_4$ , and  $KH_2PO_4$ . *BioResources*, Vol. 9(3), Hal. 4050-4062.



# GLOSARIUM

**Pirolisis.** Dekomposisi termokimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau pereaksi kimia lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas.

**Biomassa.** Bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan.

**Bio-oil.** Bahan bakar cair berwarna gelap, berbau asap, berasal dari kayu, kertas, ampas tebu, dan limbah pertanian lainnya.

**Lignin.** Salah satu zat komponen penyusun tumbuhan.

**Selulosa.** Karbohidrat utama yang disintesis oleh tanaman dan menempati hampir 60% komponen penyusun struktur kayu.

**Hemiselulosa.** Polisakarida yang mengisi ruang antara serat-serat selulosa dalam dinding sel tumbuhan.

**Oligosakarida.** Gabungan dari molekul-molekul monosakarida yang jumlahnya antara 2 sampai dengan 8 molekul monosakarida.

**Senyawa Fenol.** Senyawa yang memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang menempel di gugus aromatik.

**Senyawa Alkohol.** Senyawa yang memiliki gugus fungsional -OH yang terikat pada rantai karbon alifatik.

**Senyawa Aromatik.** Senyawa hidrokarbon yang memiliki ikatan tunggal dan ikatan rangkap di antara atom karbonnya.

**Senyawa Karbonil.** Senyawa yang mengandung gugus karbonil ( $C=O$ ).

**Senyawa Oksigenat.** Senyawa organik yang mengandung oksigen, dapat dicampur ke dalam bensin untuk menambah angka oktan dan kandungan oksigennya.

**Endosperm.** Bagian dari biji tumbuhan berbunga yang merupakan hasil dari pembuahan berganda selain embrio.

**Briket.** Sebuah blok bahan yang dapat dibakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan nyala api.

**Termogravimetri.** Metode analisis termal di mana massa sampel diukur dari waktu ke waktu seiring perubahan suhu.

**Pentosa.** suatu monosakarida yang memiliki lima atom karbon, dengan satu gugus fungsi aldehida pada posisi 1 atau keton pada posisi 2.

**Heksosa.** Monosakarida yang tersusun atas enam atom karbon.

**Karbonisasi.** Konversi dari zat organik menjadi karbon atau residu yang mengandung karbon melalui pirolisis atau destilasi destruktif.

**Flash Point (Titik Nyala).** Suhu terendah saat senyawa dapat menguap untuk membentuk campuran yang bisa menyulut api di udara.

**Viskositas Kinematik.** Rasio viskositas dinamis terhadap densitas fluida.

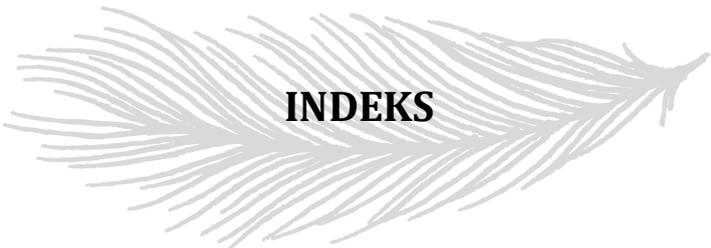
**Heating Value (Nilai Kalor).** Jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (*steady*).

**Bilangan asam.** Banyaknya asam yang dapat dinetralkan dengan basa. Bilangan asam dipergunakan untuk mengukur jumlah asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak.

**Furnace.** Tungku pembakaran, sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan.

**Kafein.** Senyawa alkaloid xantina berbentuk kristal dan berasa pahit yang bekerja sebagai obat perangsang psikoaktif dan diuretik ringan.





# INDEKS

- A**
- Alkohol 2, 5, 6, 9, 28, 29, 31, 37, 59
- B**
- Bilangan asam 43, 46, 49, 61
- Biomassai, iii, iv, v, vii, ix, xi, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 32, 35, 37, 43, 49, 51, 53, 59, 64
- Bio-oil* i, iii, iv, v, vii, ix, x, xi, xii, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 64
- Briket.....7, 10, 60
- C**
- Cangkang kopiv, vii, ix, xi, 3, 12, 17, 18, 19, 24, 25, 30, 31, 32, 43, 44, 45, 46, 47, 49
- E**
- Endosperm.....7, 60
- F**
- Fenol 1, 5, 9, 19, 23, 24, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 46, 48, 49, 51, 52, 59
- Flash point* (titik nyala).27, 60
- Furnace*.....43, 61
- H**
- Heating value* (nilai kalor)61
- Heksosa.....19, 60
- Hemiselulosaxi, 1, 5, 6, 8, 17, 19, 32, 37, 56, 59
- K**
- Karbonisasi .....22, 23, 60

**L**

Lignin.. 1, 5, 8, 9, 14, 17, 19,  
32, 37, 38, 42, 59

**O**

Oligosakarida .....19, 59

**P**

Pentosa .....9, 19, 60  
Pirolisisv, vii, ix, x, xi, xii, 1, 3,  
5, 6, 8, 19, 20, 21, 22, 23,  
24, 25, 26, 27, 28, 30, 31,  
32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,  
39, 40, 41, 42, 43, 44, 45,  
46, 47, 48, 49, 51, 52, 53,  
55, 57, 59, 60

**S**

Sekam padiv, vii, ix, xi, xii, 3,  
13, 14, 17, 18, 25, 38, 39,  
40, 43, 44, 46, 47, 49, 53,  
55  
Selulosaxi, 1, 5, 6, 8, 9, 14, 17,  
19, 32, 37, 56, 59  
Senyawa karbonil..... 9, 60  
Senyawa oksigenat...42, 60

**T**

Tempurung kelapav, vii, ix,  
xi, 3, 6, 7, 8, 9, 17, 18, 19,  
24, 25, 32, 33, 43, 44, 45,  
46, 47, 48, 49, 52, 55, 57  
Termogravimetri.....8, 60  
Tongkol jagungv, vii, ix, xi, 3,  
13, 17, 18, 19, 25, 35, 36,  
37, 38, 43, 44, 45, 46, 47,  
49, 56

**V**

Viskositas kinematik43, 45,  
61



## TENTANG PENULIS

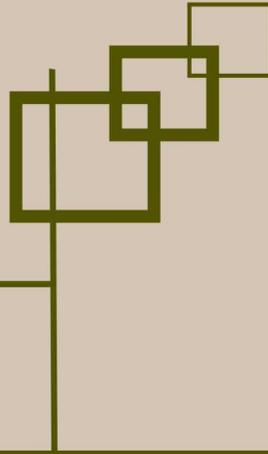


**Dr. Dewi Selvia Fardhayanti, S.T., M.T.** lahir di Malang pada tanggal 16 Maret 1971. Memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) dari Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro (1996) dan Magister Teknik (MT) dari Departemen Teknik Kimia Institut

Teknologi Bandung (2004) dan meraih gelar Doktor di bidang Ilmu Teknik Kimia dari Departemen Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada (2014) dan meraih predikat *cumlaude* untuk disertasinya yang berjudul Model Keseimbangan Termodinamis dalam Rangka Pemungutan Komponen-Komponen Utama Tir Batubara dengan Proses Ekstraksi Cair-Cair. Pada tahun 1999 – 2007 menjadi staff pengajar di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang (UNNES). Mata kuliah pokok yang diampu diantaranya adalah Perpindahan Panas, Termodinamika Teknik Kimia 1 & 2, serta Perancangan Alat Proses 1. Selain aktif mengajar, beliau juga mendalami penelitiannya di bidang ekstraksi, termodinamika dan pengolahan biomassa menjadi bio-oil. Beberapa penelitian di bidang tersebut telah dipresentasikan pada beberapa seminar nasional dan internasional baik dalam negeri maupun luar negeri diantaranya di Zurich, Phuket, Praha, Venezia, Barcelona, Osaka, Taipe, Istanbul, Philipina, Hongkong dan Ho Chi Minh, serta dipublikasikan di beberapa jurnal nasional seperti Jurnal Bahan Alam

Terbarukan dan jurnal internasional seperti Journal of Innovation and Learning, Key Engineering Materials, Chinese Journal of Chemical Engineering, Journal of Physical Science, International Journal of Chemical and Molecular Engineering, International Journal of Thermodynamic, British Journal of Applied Science & Technology, Journal of Basic and Applied Research International, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering.





Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. lahir di Malang pada tanggal 16 Maret 1971. Memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro (1996) dan Magister Teknik (M.T.) dari Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung (2004) serta meraih gelar Doktor di bidang Ilmu Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada (2014) dan meraih predikat *cum laude* untuk disertasinya yang berjudul "Model Keseimbangan Termodinamis dalam Rangka Pemungutan Komponen-Komponen Utama Tir Batubara dengan Proses Ekstraksi Cair-Cair". Pada tahun 1999-2007 menjadi staf pengajar di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang (UNNES). Sejak 2007 sampai sekarang merupakan staf pengajar di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UNNES. Mata kuliah pokok yang diampu di antaranya adalah Perpindahan Panas, Termodinamika Teknik Kimia 1 & 2, dan Perancangan Alat Proses 1. Selain aktif mengajar, ia juga mendalami penelitiannya di bidang ekstraksi, termodinamika, dan pengolahan biomassa menjadi bio-oil. Beberapa penelitian di bidang tersebut telah dipresentasikan pada beberapa seminar nasional dan internasional, baik di dalam negeri maupun di luar negeri, di antaranya di Zurich, Phuket, Praha, Venezia, Barcelona, Osaka, Taipei, Istanbul, Phillipina, Hongkong, dan Ho Chi Minh serta dipublikasikan di beberapa jurnal nasional, seperti *Jurnal Bahan Alam Terbarukan* dan jurnal internasional, seperti *International Journal of Innovation and Learning*, *Key Engineering Materials*, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *Journal of Physical Science*, *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, *International Journal of Thermodynamic*, *British Journal of Applied Science & Technology*, *Journal of Basic and Applied Research International*, dan *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*.



**Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)**  
Jl. Rajawali, Gang Elang 6 No.3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman  
Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581  
Telp/Fax : (0274) 4533427  
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)  
cs@deepublish.co.id @penerbitbuku\_deepublish  
Penerbit Deepublish www.penerbitbukudeepublish.com

Kategori: Teknologi Kimia

ISBN 978-623-02-1925-2



9 786230 219252