

BIOMASSA LAHAN BASAH
KAJIAN PUSTAKA KARAKTERISTIK BIOMASA DAN TEKNOLOGI
KONVERSI UNTUK ENERGI TERBARUKAN

APIP AMRULLAH



BIOMASSA LAHAN BASAH

Kajian Pustaka Karakteristik Biomassa dan Teknologi Konversi untuk Energi Terbarukan

Copyright© 2020

Penulis

Apip Amrullah

Tata Letak

Ulfa

Desain Sampul

Darisman

ISBN : 978-623-7707-51-6

Cetakan 1, Juni 2020

ukuran 14,5 x 20,5 cm

Diterbitkan oleh:

ZAHIR PUBLISHING

Kadisoka RT. 05 RW. 02, Purwomartani,

Kalasan, Sleman, Yogyakarta 55571

e-mail : zahirpublishing@gmail.com

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Gambar Sampul: <https://www.bppt.go.id/teknologi-informasi-energi-dan-material/3496-plt-biogas-pome-olah-limbah-cair-sawit-menjadi-listrik>

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas izin, berkah, rahmat, dan karunia-Nya, penyusunan buku “BIOMASSA LAHAN BASAH (Kajian pustaka jenis biomassa dan teknologi konversi untuk energi terbarukan) dapat diselesaikan.

Mendengar kata biomassa, pasti akan dikaitkan dengan energi baru terbarukan dan sumber energi alternatif masa depan. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang merujuk pada bahan biologis yang hidup atau mati yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau untuk produksi industrial.

Lahan basah, limbah dari hutan, limbah pertanian, kandungan karbon, serta tumbuhan rerumputan dapat memberikan tambahan sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi fosil.

Kajian, rangkuman, serta pendapat para ahli dalam bidang biomassa disajikan sebagai pembandingan serta penggerak dalam teknologi konversi biomassa bagi para pembaca dan pengambil kebijakan untuk menentukan sikap dan tindakan dalam pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif masa depan serta tambahan referensi bagi akademisi di perguruan tinggi, dan mahasiswa.

Oleh karena itu, melalui buku ini penulis menyajikan informasi terkait dengan jenis, karakteristik biomassa lahan

basah serta teknologi konversinya untuk khalayak umum, akademisi, mahasiswa, ataupun praktisi biomassa untuk dapat mendayagunakan potensi biomassa lahan basah untuk pemenuhan kebutuhan energi seiring dengan pemenuhan kebutuhan energi nasional.

Disadari bahwa penyusunan buku ini masih banyak terdapat kekurangannya, sehingga penyempurnaan masih sangat diperlukan hingga mendapatkan tingkat kesempurnaan yang lebih tinggi. Akhir kata, Terimakasih untuk semua pihak yang telah mendukung.

Lombok, 20 Juni 2020

Apip Amrullah

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	xiii
Bab 1. Pendahuluan	1
A. Energi baru dan terbarukan	1
B. Indonesia dan Energi Baru-Terbarukan.....	2
Bab 2. Lahan Basah Arti dan Fungsi	7
A. Apa itu lahan basah?	7
B. Fungsi dan Nilai	9
BAB 3. Mengenal Lahan basah	13
A. Manfaat Lahan Basah	15
B. Kondisi Lahan Basah Indonesia	16
1. Potensi Lahan Basah Indonesia.....	16
2. Lahan Basah Kalimantan	22
C. Karbon dan Energi di Lahan Basah.....	26
1. Karbon tersimpan	26
2. Energi dan Nutrisi tersimpan	32
BAB 4. Potensi Biomassa pada Lahan Basah	37
A. Apa itu biomassa	37
1. Biomassa tradisional.....	39
2. Biomassa modern.....	40
3. Biofuels	41
B. Klasifikasi Biomassa	43
1. Generasi pertama.....	43

2.	Generasi kedua.....	44
3.	Generari ketiga.....	48
4.	Generasi keempat.....	50
C.	Karakteristik biomassa	51
1.	Elemen analisis	55
B.	Komponen biomassa.....	60
C.	Biomassa lahan basah.....	66
1.	Eceng gondok	66
2.	Purun tikus (<i>Eleocharis dulcis</i>) dan spesies tanaman air	69
3.	POME, EFB dan PKS	70
4.	Residu kayu.....	73
BAB 5. Teknologi Konversi Biomassa.....		77
A.	Thermal dan Thermochemical Konversi.....	78
1.	Pembakaran langsung	78
2.	Gasifikasi.....	82
3.	Pyrolysis	95
4.	Torrefaction.....	101
B.	Biochemical Conversion	103
1.	Fermentasi, Hidrolisis, dan An-aerobic digestions	104
C.	Chemical Conversion	120
1.	Transesterfikasi	120
2.	Biodiesel dari proses transesterfikasi.....	123
BAB 6. “Novel Technology” Konversi Biomassa		
A.	Supercritiwal Water Gasification (SCWG)	127
1.	Variabel penentu pada proses SCWG	131
B.	Plasma gasivication	132
C.	Solar gasification	136
D.	Hydrothermal Treatment.....	138

Daftar Pustaka	143
Biodata Penulis	149

Daftar Gambar

Gambar 3.1.	Daerah rawa gambut.....	22
Gambar 3.2.	Flora daerah rawa.....	24
Gambar 3.3.	Kawasan pesisir pantai pagatan besar.....	24
Gambar 3.4.	Daerah tangkapan air.....	25
Gambar 3.5.	Kadar abu pada berbagai kedalaman tanah gambut di Kalimantan (Ai Dariah et al., 2008)	28
Gambar 3.6.	Kandungan karbon pada <i>carbon pool</i> pada tiga tipe tripologi lahan gambut.....	31
Gambar 3.7.	Kandungan karbon pada <i>carbon pool</i> dengan kedalaman gambut yang berbeda.....	32
Gambar 3.8.	Jejaring potensi pengembangan dan pengolahan sumber energi dan nutrients dari lahan basah (Knight, 1999)	33
Gambar 3.9.	Potensi energi di berbagai lahan basah sesuai dengan tingkat gangguan (abu-abu: alami; putih: semi alami dan hitam: buatan) (Melts et al., 2019).	34
Gambar 3.10.	Nilai Methane dan Ethanol dari hasil konversi beberapa jenis biomassa. (Melts et al., 2019)	35
Gambar 3.11.	Ilustrasi pembentukan <i>iron pluque</i> di bawah permukaan air (Wu et al., 2019).....	36
Gambar 3.12.	Interaksi Fe dengan transformasi Nitrogen (Wu et al., 2019).....	36

Gambar 4.1.	Konsumsi energi dunia di tahun 1998 (WEA 2000) (Press, 2004)	40
Gambar 4.2.	Energi terbarukan dunia (WEA, 2000) (Press, 2004)	41
Gambar 4.3.	Produksi biofuels dunia 2022 (Hawkins)....	42
Gambar 4.4.	Biomassa generasi pertama (sumber: Lam and Lee, 2012; Rastogi et al., 2018; Rodionova et al., 2016)	43
Gambar 4.5.	Proses produksi biodiesel pada generasi yang berbeda	44
Gambar 4.6.	Biomassa generasi kedua (sumber: Rastogi et al., 2018)	45
Gambar 4.7.	Metode pre-treatment untuk lignocellulosic biomass (sumber: Arora et al., 2020).....	46
Gambar 4.8.	Model biorefining-menggunakan biomassa lignoselulosa untuk produksi produk bernilai tambah (sumber: Arora et al., 2020)	47
Gambar 4.9.	Perbandingan antara biomassa generasi pertama, kedua yang di konversi menjadi bahan bakar dan petroleum (sumber: Naik et al., 2010)	48
Gambar 4.10.	Konsep biorefinery biomassa alga (sumber: Cuellar-bermudez et al., 2020).....	49
Gambar 4.11.	Produksi bahan bakar dari biomassa generasi ke empat (sumber: Dutta et al., 2014).....	51
Gambar 4.12.	Sumber energi biomassa (sumber: Energy et al., 1992)	52

Gambar 4.13.	Struktur kimia selulosa (sumber:Kobayashi et al., 2011; Liao et al., 2020)	62
Gambar 4.14.	Faktor penentu reaktivitas selulosa (sumber: Liao et al., 2020)	62
Gambar 4.15.	Rumus struktur hemiselulosa (xilan) (sumber: Tezara et al., 2016).....	64
Gambar 4.16.	Unit fenilpropanoid utama lignin (sumber: Latif et al., 2019)	64
Gambar 4.17.	Bagian-bagian dari biomassa eceng gondok (sumber: Mahamadi C., 2012)	67
Gambar 4.18.	Pemanfaatan biomassa eceng gondok	69
Gambar 4.19.	Spesies tanaman air (a) Elodea (b) Scirpus (c) Typha dan (d) Phragmites (sumber: Dhir, 2013)	70
Gambar 4.20.	(a) POME (b) EFB (c) PKS	72
Gambar 4.21.	Produk akhir pemanfaatan limbah kelapa sawit (sumber: https://www.bpdp.or.id/Potensi-Limbah-Kelapa-Sawit-Indonesia..)..	72
Gambar 4.22.	Sumber biomassa kayu (sumber: German cooperation 2017)	75
Gambar 4.23.	Produk akhir biomassa residu kayu.....	76
Gambar 4.24.	Sumber biomassa	76
Gambar 5.1.	Teknologi konversi biomassa (sumber: Wisconsin Grasslands Bioenergy Network, Biomass Conversion)	77
Gambar 5.2.	Fixed bed gasifier	85
Gambar 5.3.	Fluidized-bed gasifier	86
Gambar 5.4.	Entrained flow bed	89

Gambar 5.5.	Alur konversi biomassa menjadi biofuels melalui konversi thermokimia-gasifikasi (Energy Efficiency & Renewable Energy, 2010)dimana:.....	93
Gambar 5.6.	Alur konversi biomassa menjadi biofuels melalui konversi thermokimia-pyrolysis (Energy Efficiency & Renewable Energy, 2010).....	98
Gambar 5.7.	Proses torrefaction pada biomassa.....	102
Gambar 5.8.	Tiga tipe dari hidrolisis (sumber: https://www.thoughtco.com .)	113
Gambar 5.9.	Elemen-elemen pada produksi biogas (sumber: https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work).....	117
Gambar 5.10.	Proses anaerobic digestions.....	119
Gambar 5.11.	Reaksi umum transesterfikasi (contoh pada RCOOR_1 sebagai trilinolein dan R_2OH sebagai methanol)(sumber: Anthony, 2016)	123
Gambar 5.12.	Formasi dari methoxide	125
Gambar 5.13.	Reaksi transesterfikasi pada proses pembuatan biodiesel	125
Gambar 5.14.	Skematik produksi biodiesel melalui proses transesterfikasi (sumber: https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/684).....	126
Gambar 6.1.	Diagram fase air	129
Gambar 6.2.	Propertis air pada tekanan 25 MPa.....	130
Gambar 6.3	Skematik dari plasma gasifikasi (sumber: Munir et al., 2019)	134

Gambar 6.4.	Beberapa tantangan penggunaan plasma gasifikasi (sumber: Munir et al., 2019)	136
Gambar 6.5	Solar gasifikasi tipe fluidized bed reaktor (sumber: Bellan et al., 2018)	137
Gambar. 6.7	Kategori proses hydrothermal (sumber: Ahmad et al., 2018)	140

Daftar Tabel

Tabel 1.1.	Target pembangunan EBT (Kementerian ESDM, 2016).....	4
Tabel 2.1	Pengelompokkan manfaat dan nilai dari lahan basah	9
Tabel 3.1.	Nilai kisaran dan rerata bobot isi/bulk density (BD) serta kadar C-organik pada tiap jenis/ tingkat kematangan gambut (Warren et al., 2011).....	27
Tabel 3.2.	Kandungan karbon lahan gambut berdasarkan kedalaman dan karakteristik pulau (Warren et al., 2011).	28
Tabel 3.3	Kadar karbon dalam CO ₂ dan mineral dari berbagai tipe gambut (Purwanto dan A.Ng. Gintings, 2013).....	30
Tabel 4.1	Klasifikasi biomassa berdasarkan penggunaan dan tujuan penggunaannya	53
Tabel 4.2.	Biomassa dan analisa kimia (% bobot).....	65
Tabel 4.3.	Analisa kimia biomassa representative (biomassa dengan kandungan air tinggi, % bobot) (sumber: Buku Panduan Biomassa Asia).....	65
Tabel 5.1.	Keuntungan dan tantangan teknis penggunaan agen yang berbeda dalam proses gasifikasi (sumber: Anthony, 2016)	84
Tabel 5.2.	Gas komposisi pada fluidized-bed proses (oxygen blown).....	87

Tabel 5.3.	Gas komposisi pada fluidized-bed proses (air blown).....	87
Tabel 5.4.	Gas komposisi pada entrained flow bed (Huang et al., 2003)	89
Tabel 5.5.	Klasifikasi teknologi pyrolysis biomassa (sumber: Huber et al., 2006; Mohan et al., 2006)	97

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Energi baru dan terbarukan

Beberapa negara di Asia telah mengalami proses pembangunan ekonomi yang cepat dan belum pernah terjadi sebelumnya, yang telah meningkatkan permintaan mereka akan energi dan sumber daya lainnya untuk merangsang pertumbuhan ekonomi. Dengan meningkatnya konsumsi energi, dan ketergantungan yang kuat pada bahan bakar fosil, kontribusi negara-negara di Asia berkembang terhadap perubahan iklim telah meningkat secara signifikan. Masalah perubahan iklim, pemanasan global, dan menipisnya bahan bakar fosil merupakan masalah besar yang perlu dieksploitasi. Bahan bakar fosil, termasuk batubara, oil, dan gas alam, saat ini merupakan sumber energi utama dunia dan berpengaruh terhadap gas karbon dioksida. Gas-gas ini berkontribusi pada efek rumah kaca dan dapat menyebabkan perubahan yang berpotensi bencana dalam iklim Bumi. Teknologi seperti Carbon Capture and Storage (CCS) dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil, dan energi nuklir dapat menjadi alternatif nol-karbon untuk pembangkit listrik. Tetapi solusi lain yang lebih berkelanjutan dan kurang berisiko adalah efisiensi energi

dan energi terbarukan. Berbagai upaya penelitian telah dilakukan untuk memperkenalkan biomassa dan limbah komunal sebagai sumber energi baru.

Energi baru dan terbarukan sendiri merujuk kepada energi alternatif sekaligus energi berkelanjutan (*sustainable*) yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Sederhananya, energi baru tidak harus/bukanlah jenis energi yang belum pernah ada di peradaban manusia sebelumnya melainkan bahwa energi baru adalah jenis-jenis energi yang pada saat ini belum dipergunakan secara masal dan masih dalam tahap pengembangan. Salah satu contohnya adalah energi matahari (surya). Penggunaan energi surya ini masihlah sangat sempit dan belum layak dikatakan sumber energi jika sumber energi yang kita maksud adalah bukan batubara atau minyak bumi.

Energi terbarukan adalah energi yang ketersediaan sumbernya bisa dipulihkan setelah sumber itu digunakan atau dihabiskan. Salah satu contoh energi terbarukan adalah biomassa.

B. Indonesia dan Energi Baru-Terbarukan

Sangat umum didengar bahwa Indonesia adalah sebuah negara yang memiliki wilayah yang luas dan jumlah penduduk yang tinggi. Didukung dengan kondisi geografis yang beragam dan penduduk yang tersebar, Indonesia masih menghadapi tantangan pemenuhan energi untuk semua warganya. Terdapat 7 juta rumah tangga atau sekitar 28 juta penduduk Indonesia pada tahun 2016 belum mendapatkan akses listrik. Cukup tingginya ketimpangan akses listrik di berbagai pulau baik itu di Jawa atau

luar Jawa memang cukup tinggi. Rasio elektrifikasi DKI Jakarta sudah mencapai hampir 100%, sedangkan provinsi-provinsi di luar Jawa, khususnya Indonesia bagian timur, misalnya Nusa Tenggara Timur dan Papua, masih dibawah 70%. Hal ini mengindikasikan bahwa pemenuhan energi di Indonesia belum merata. Selain listrik. Tantangan energi di Indonesia yakni terbatasnya akses pada energi untuk kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari seperti memasak. Banyak penduduk Indonesia yang tidak memiliki akses pada bahan bakar dan menggunakan tungku tradisional untuk memasak. Selain tidak tersedia sepanjang waktu, asap pembakaran tungku ini juga menyebabkan gangguan kesehatan pada ibu dan anak-anak serta tentunya sangat berperan dalam peningkatan efek rumah kaca. Di sektor lain, terbatasnya akses pada energi berperan pada terhambatnya perkembangan ekonomi dan pendidikan. Berdasarkan data dari kementerian ESDM, Indonesia memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang sangat besar serta dapat dimanfaatkan untuk menciptakan akses energi secara merata dan bersih.

Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar diantaranya, mini/micro hydro sebesar 450 MW, Biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia). Pengembangan EBT untuk saat ini akan mengacu pada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres disebutkan kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi Bahan

Bakar Nabati sebesar 5%, Panas Bumi 5%, Biomasa, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Dalam mendukung pengembangan EBT, pemerintah telah menerbitkan serangkaian kebijakan dan regulasi yang mencakup Peraturan Presiden No. 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi, Undang-undang No. 15/1985 tentang Ketenagalistrikan, PP No. 10/1989 sebagaimana yang telah diubah dengan PP No. 03/2005 Tentang Perubahan Peraturan Pemerintah No. 10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik dan PP No. 26/2006 tentang Penyediaan & Pemanfaatan Tenaga Listrik, Permen ESDM No. 002/2006 tentang Pengusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Energi Terbarukan Skala Menengah, dan Kepmen ESDM No.1122K/30/MEM/2002 tentang Pembangkit Skala Kecil tersebar. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM, 2016 target pembangunan EBT Indonesia disajikan pada tabel 1.1. di bawah ini.

Tabel 1.1. Target pembangunan EBT
(Kementerian ESDM, 2016)

Jenis Pembangkit	Target 2025 (MW)	Target 2050 (MW)
Panas Bumi	7.241	17.546
Air & Mikrohidro	20.960	45.379
Bioenergi	5.532	26.123
Surya	6.379	45.000
Angin	1.807	28.607
EBT Lainnya	3.128	6.383

Indonesia memiliki karakteristik iklim dan dataran yang beragam yang kesemuanya dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik, seperti panas sinar matahari, angin, gelombang atau pasang surut air laut serta lahan basah atau rawa. Lahan basah di Indonesia yang pada umumnya dikenal oleh masyarakat sebagai rawa-rawa atau lahan gambut luasnya mencapai 27 juta Ha yang tersebar di beberapa wilayah, salah satunya di wilayah Kalimantan Selatan. Luas lahan basah di Kalimantan Selatan mencapai 382.272 Ha. Lahan basah di Kalimantan Selatan merupakan daerah cekungan pada dataran rendah.

Dalam beberapa penelitian terdahulu menyebutkan bahwa hutan rawa ternyata mampu menghasilkan energi alternatif biomassa (62,9-398,8 ton per ha), guguran serasah (5,8-25,8 ton/ha/th) dan tiap volume (20 ton/ha/th, 9 m³/ha/th pada hutan tanaman bakau umur 20 tahun).

Lahan basah (gambut) adalah jenis tanah yang terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhan yang setengah membusuk, dan menyebabkan kandungan bahan organiknya tinggi. Komponen organik berupa karbon hidrogen yang terkandung di dalam gambut adalah komponen yang sangat penting dalam pemanfaatan gambut sebagai bahan energi. Kemampuan yang spesifik dari proses dekomposisi gambut adalah apabila komponen karbon dan nitrogen meningkat, maka komponen oksigen dan hidrogen akan mengecil yang berarti kandungan airnya akan mengecil, sebagai akibatnya nilai kalori gambut menjadi cukup tinggi (4.400-5.900 kal /g). Hubungan antara komponen-komponen organik seperti karbohidrat, asam humat,

lignin, dan bitumen mempunyai pengaruh pada intensitas phase pembakaran.

Hal yang menjadi pertimbangan sehingga lahan basah (gambut) dapat di manfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yakni: energi kalor lepas dari gambut adalah berkisar antara 10 Mj/Kg hingga 20 Mj/Kg dan penggunaan 1 m³ gambut sebagai bahan bakar yang mampu menghasilkan sekitar 600 Mj setara dengan penggunaan 17 kg batu bara.

Penjelasan lebih detail terkait dengan kondisi lahan basah Indonesia, potensi lahan basah khususnya sebagai sumber energi alternative yakni biomassa, karakteristik biomassa lahan basah (gambut) serta teknologi konversi menjadi bahan bakar atau bahan kimia yang bernilai jual akan dijabarkan dalam bab-bab selanjutnya sebagai pustaka guna untuk menambah wawasan serta refrensi terkait dengan sumber biomassa yang terdapat di Indonesia.

BAB 2

LAHAN BASA : ARTI & FUNGSI

A. Apa itu lahan basah?

Lahan Basah adalah “Daerah-daerah rawa, payau, lahan gambut, dan perairan; tetap atau sementara; dengan air yang tergenang atau mengalir; tawar, payau, atau asin; termasuk wilayah perairan laut yang kedalamannya tidak lebih dari enam meter pada waktu surut” (Konvensi Ramsar). Lahan basah memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Fungsi lahan basah tidak hanya dipahami sebagai penopang kehidupan langsung, seperti sumber air minum dan beragam habitat, tetapi juga memiliki berbagai fungsi ekologis seperti pengendalian banjir, pencegahan intrusi air laut, erosi, polusi, dan kontrol iklim global. Area lahan basah juga akan sulit dipulihkan jika tercemar, dan butuh bertahun-tahun untuk pulih. Dengan demikian, untuk menjaga fungsi kawasan lahan basah sebagai pengatur siklus air dan penyedia air permukaan dan air tanah, perlu untuk mengelola kualitas air dan mengendalikan polusi air secara bijak dengan memperhitungkan keseimbangan ekologis dan kepentingan saat ini. dan generasi masa depan.

Lahan basah adalah istilah kolektif untuk ekosistem yang formasinya dikendalikan oleh air, dan proses dan karakteristiknya

terutama dikendalikan oleh air. Basah adalah tempat yang cukup basah untuk waktu yang lama bagi perkembangan vegetasi dan organisme lain yang secara khusus beradaptasi. Lahan basah didefinisikan berdasarkan tiga parameter, yaitu hidrologi, vegetasi hidrofitik, dan tanah hidrat.

Akumulasi pengelolaan lahan basah Indonesia yang salah telah menyebabkan kerusakan besar. Danau di Sulawesi, misalnya, yang hingga 10 tahun lalu masih kaya akan ikan endemik kini didominasi oleh spesies asing invasif seperti Mujair. Kualitas air di berbagai daerah lahan basah, terutama sungai, telah menurun secara signifikan, diperkirakan 60% sungai di Indonesia tercemar. Jutaan hektar rawa gambut di Sumatra dan Kalimantan telah terbakar dalam 10 tahun terakhir.

Perusakan keanekaragaman hayati rawa gambut, kerusakan sistem air regional, dan pelepasan jutaan ton karbon ke udara. Akibat tekanan-tekanan ini, hingga 1996 Wetlands International - Indonesia Programme (WI-IP) memperkirakan bahwa Indonesia telah kehilangan 12 juta hektar lahan basah alami. Hilangnya juga diperburuk oleh aktivitas perambahan hutan yang tinggi dan konversi lahan basah menjadi pemukiman, industri, pertanian dan perkebunan.

Istilah Wetlands, sebagai terjemahan dari lahan basah, hanya dikenal di Indonesia sekitar tahun 1990. Sebelumnya orang Indonesia menyebut area lahan basah berdasarkan bentuk atau jenis fisiknya, seperti: rawa, danau, sawah, kolam, dan sebagainya. Konvensi Ramsar 1991 menghasilkan pemahaman fisik tentang lahan basah yang digunakan untuk menyamakan persepsi semua

pihak. Rawa, daerah payau, lahan gambut, dan perairan permanen atau sementara dengan air yang tergenang atau mengalir, segar, payau, atau asin, termasuk daerah air laut yang kedalamannya tidak lebih dari enam meter saat air surut.

Dari pengertian di atas terlihat bahwa cakupan lahan basah di wilayah pesisir meliputi terumbu karang, padang lamun, dataran lumpur dan dataran pasir, hutan bakau, daerah pasang surut, dan estuari. Sementara di daratan, cakupan lahan basah mencakup air baku dan gambut, danau, sungai, dan lahan basah buatan seperti kolam, kolam, sawah, kolam, dan waduk.

B. Fungsi dan Nilai

Lahan basah adalah daerah yang sangat produktif dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, baik secara biologis maupun non-biologis. Penilaian keanekaragaman hayati menunjukkan bahwa lahan basah adalah sistem pendukung kehidupan yang potensial.

Tabel 2.1 Pengelompokkan manfaat dan nilai dari lahan basah

No.	Fungsi dan Nilai	Keterangan	Jenis Ekosistem Penyedia Manfaat
Manfaat langsung			
1.	Pengendali banjir dan kekeringan	Mengakomodasi kelebihan air di musim hujan dan menyalurkan cadangan air di musim kemarau..	Dataran banjir, rawa air tawar kekeringan rawa gambut, situ, danau, waduk.

2.	Pengaman pantai dari intrusi air laut	Mempertahankan keberadaan air tanah atau air tawar dapat menahan intrusi air laut menjadi air tanah yang ada di dalam tanah dan aliran air tawar yang permukaannya dapat membatasi masuknya air laut ke dalam aliran sungai.	Lahan basah pesisir. Contohnya; mangrove dan rawa air payau.
3.	Pengaman garis pantai atau disebut abrasi atau erosi dan badai	Rendam efek gelombang dan pasang surut untuk mengurangi erosi dan abrasi garis pantai.	Contoh; mangrove, lamin dan terumbu karang.
4.	Sebagai jalur transportasi	Lahan basah telah digunakan selama ribuan tahun sebagai sarana penghubung transportasi umum.	Contoh; danau, sungai, pesisir dan estuari.
5.	Sebagai rekreasi	Lahan basah yang memiliki nilai estetika akan menjadi lokasi yang menarik untuk rekreasi.	Semua lahan basah alami dan buatan memiliki potensi sebagai rekreasi.
6.	Sebagai penelitian dan pendidikan	Masih banyak lahan basah yang menyimpan misteri dan pengetahuan sehingga menarik untuk dijadikan lokasi penelitian dan termasuk kegiatan pendidikan.	Semua lahan basah.
Fungsi Ekologi			

7.	Penambat sedimen dari darat dan penjernihan air	Sistem akar, batang, dan daun vevegetasi tertentu di lahan basah dapat menghambat sedimen dan air jernih.	Contoh; Mangrove, rawa dan lahan basah.
8.	Penyediaan unsur hara atau penahan	Perairan dan tumbuh-tumbuhan yang terkandung dalam lahan basah dapat menampung dan mendaur ulang unsur hara.	Contoh; rawa, danau, mangrove dan lamun.
9.	Penahan dan penawar pencemaran	Mengurangi toksisitas polutan yang masuk ke dalamnya..	Hampir semua lahan basah.
10.	Stabilitas iklim mikro	Keseluruhan kondisi hidro dan siklus material di lahan basah dapat menstabilkan iklim mikro, terutama dalam curah hujan dan suhu.	Pada lahan basah berukuran luas.
11.	Pengendalian iklim lobal	Berfungsi sebagai pengontrol pelepasan karbon ke dalam air yang berhubungan langsung dengan perubahan iklim global.	Pada raw gambut.
Hasil Produksi			
12.	Sebagai Penyediaan air	Air pada lahan basah digunakan oleh masyarakat untuk berbagai kebutuhan yang ada.	Lahan basah tawar.

13.	Sebagai pengisi air tanah	Dapat mengisi akuifer melalui pori-pori pada tanah.	Rawa, danau, waduk dan sungai.
14.	Sebagai penyedia air untuk lahan basah	Kelibahanair pda lahan basah sebagai pengisi air pada lahan basah yang berada didekatnya.	Danau dan sungai.
15.	Sumber perikanan	Komoditas perikanan dan udang.	Semua lahan basah.
16.	Sumber energi	Dikonversikan menadi energi lain misalnya listrik.	Rawa dan gambut.
17.	Sebagai pendukung pertanian	Sebagai sumber pengarian utama.	Sungai, danau dan rawa.
Kekhasan			
18.	Sebagai habitat keanekargaman hayati	Flora dan fauna menjadikan habitatnya di lahan basah.	Semua lahan basah.

BAB 3

MENGENAL LAHAN BASAH

Lahan Basah

Dalam mengenal lahan basah secara luas, harus memandang dari berbagai aspek. Baik ekonomi, social ataupun budaya. Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki banyak lahan basah yang tersebar di segala penjuru pulau, beberapa diantaranya yang paling banyak berada di pulau Kalimantan dan Sumatera. Dengan total kisaran luas yang tersebar sekitar 17 ha.

Jika dimanfaatkan dengan seksama, penggunaan lahan basah banyak memiliki keuntungan. Namun, sekarang ini banyak permasalahan yang sedang dialami di beberapa wilayah seperti mempengaruhi irigasi pengairan di sawah-sawah. Apabila lahan basah ini tidak dikelola dengan baik dan benar, maka negara berkembang seperti Indonesia akan kehilangan citranya sebagai negara agraris di mata dunia.

1. Tindakan manusia
 - a. Langsung
 - 1). Pembukaan lahan untuk pengatusan pertanian
 - 2). Penimbunan untuk pembukaan jalan, pembuatan TPA, penimbunan selokan

- 3). Pengerukan dan kanalisasi aliran untuk pelayaran dan perlindungan banjir, yang terutama merusak estuari dan rawa air tawar.
 - 4). Penambangan batu, kerikil, emas dan pengambilan tanah secara besar-besaran
- b. Tidak langsung
- 1). Pengalihan endapan melalui aliran kanal-kanal yang secara tidak langsung membawa materil kandungan lahan basah
 - 2). Pengambilan tanah didekat lahan basah secara besar-besaran sehingga menyebabkan ambles di beberapa struktur tanah lahan basah
2. Tindakan alami
- a. Amblesan, yang terutama merusak estuari, sistem pantai terbuka, danau, lahan gambut dan hutan rawa.
 - b. Kenaikan aras laut, yang terutama merusak estuari, sistem pantai terbuka dan hutan rawa.
 - c. Kekeringan, yang merusak semua bentuk lahan basah.
 - d. Badai, yang terutama merusak estuari, sistem pantai terbuka, lahan gambut dan hutan rawa.
 - e. Erosi, yang terutama merusak estuari, sistem pantai terbuka, dataran banjir dan lahan gambut.
 - f. Akibat hayati, yang terutama merusak dataran banjir, rawa air tawar dan danau.

A. Manfaat Lahan Basah

Untuk memperingati hari lahan basah pada tahun 2017, maka tema yang diangkat adalah “Wetlands for Disaster Risk Reduction” atau “Lahan Basah untuk Mengurangi Resiko Bencana”. Tema tersebut dimaksudkan bagi kita untuk bahwa banyak sekali manfaat dari lahan basah, hingga dapat mengurangi bencana alam. Apabila kita mengelolanya dengan cara yang benar, yaitu tanpa merusak lingkungan dan makhluk hidup lainnya. Maka lahan basah menjadi aspek yang patut diperhitungkan di mata dunia.

a. Sebagai sumber air

Lahan basah banyak sekali mengandung air yang sangat bermanfaat sekali bagi makhluk hidup dan kesetimbangan alam

b. Sebagai saringan limbah berbahaya

Limbah yang dihasilkan manusia sangatlah berbahaya bagi ekosistem, dengan adanya lahan basah sebagai saringan limbah berbahaya, kita tidak perlu cemas akan bahaya yang dihasilkan oleh limbah berbahaya

c. Sebagai ekosistem hayati

Sedikitnya seratus ribu makhluk hidup tergantung dengan adanya air tawar. Baik itu ikan, tumbuhan dan hewan lainnya

d. Sebagai Pelindung dari Bencana Alam

Lahan gambut, rawa-rawa, dan jenis lahan basah lainnya mampu menampung, menyerap, dan mengelola air

hujan hingga tidak menjadi bencana banjir. Kemampuan menampung air hujan inipun mencegah terjadinya bencana kekeringan.

B. Kondisi Lahan Basah Indonesia

1. Potensi Lahan Basah Indonesia

Negara Indonesia merupakan negara yang sangat terkenal dengan agrarisnya, dimana masyarakatnya banyak yang menggantungkan hidup dengan bercocok tanam dalam bidang pertanian. Negara Indonesia memiliki letak yang strategis tepat berada pada jalur garis katulistiwa yang berimbas pada banyak jenis-jenis hutan seperti halnya hutan hujan tropis, serta kondisi tanahnya yang sangat subur, yang tentunya sangat mendukung bagi kehidupan masyarakatnya untuk memenuhi kebutuhan sehari harinya. Saat ini, Ada beberapa jenis yang bisa kita definisikan sebagai sebuah lahan pertanian basah, meskipun beberapa diantaranya ada yang kurang cocok untuk dijadikan sebagai sebuah lahan pertanian, seperti halnya persawahan, lahan gambut, rawa-rawa, daerah air payau dan juga hutan bakau.

a. Daerah Pesisir

1). Lahan Basah Pesisir

a). Dataran lumpur dan pasir.

Memiliki karakter tidak bervegetasi dan terbentuk di daerah pesisir yang landai. Karakteristik lahan ini adalah subur karena memiliki persediaan nutrisi dan dihuni oleh berbagai jenis organisme bentik.

b). Terumbu karang.

Ekosistem laut tropis ditemukan di perairan laut yang dangkal dan jernih dan memiliki kadar kalsium karbonat yang tinggi. Indonesia memiliki bagian dari pantai kepulauan Indonesia dalam bentuk perairan dangkal dan jernih. Kondisi demikian sesuai dengan pertumbuhan ekosistem terumbu karang Indonesia.

Terumbu karang adalah sumber devisa dari sektor perikanan dan pariwisata bahari. Selain itu, terumbu karang juga merupakan bahan baku untuk industri farmasi dan kosmetik seperti bahan dasar untuk membuat kapsul, tablet dan sabun.

2). Padang Lamun

Lamun adalah tumbuhan berbunga (*angiosperms*) yang memiliki akar dan hidup terendam di air berkadar garam relatif tinggi (laut). Lamun bisa ditemukan di perairan laut yang dangkal, berpasir dengan sedikit lumpur hingga kedalaman 30 meter. Padang lamun mempunyai fungsi sebagai penyedia zat organik serta tempat berlindung dan daerah asuhan larva ikan. Lamun juga makanan utama bagi mamalia langka Dugong serta beberapa jenis ikan dan penyu.

3). Mangrove

Ekosistem mangrove merupakan kawasan pasang surut di muara sungai yang ditumbuhi vegetasi khas mangrove. Ekosistem mangrove memiliki nilai ekonomi, ekologis,

dan sosial yang tinggi. Dari segi ekologis, ekosistem mangrove Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, yaitu sebanyak 202 jenis yang terdiri dari 89 jenis pohon, 5 jenis palem, 19 jenis liana, 44 jenis epifit, dan 1 jenis sikas. Sekitar 47 jenis diantaranya merupakan tumbuhan spesifik hutan mangrove (Rahman, et.al., 2014). Rawa nipah merupakan salah satu jenis ekosistem mangrove. Rawa nipah biasanya terbentuk di daerah payau sepanjang aliran sungai, laguna, dan (kadang-kadang) di garis pantai. Ekosistem mangrove juga merupakan daerah asuhan, berkembang biak, dan mencari makan berbagai jenis ikan dan udang. Oleh karena itu keberadaan ekosistem mangrove sangat penting dalam menjaga kelestarian stok perikanan. Ekosistem mangrove juga berperan untuk menjaga stabilitas garis pantai. Dari segi ekonomi dan sosial, ekosistem mangrove menghasilkan berbagai jenis baran dan jasa yang bernilai ekonomis tinggi, seperti kayu, obat-obatan, ikan, dan sebagai kawasa rekreasi. Daun dari pohon nipah (salah satu jenis pohon mangrove) dapat digunakan untuk atap dan pembungkus rokok buahnya dapat dimakan, dan niranya dapat dijadikan gula serta bahan minuman. Hal tersebut menyebabkan banyak masyarakat yang kehidupannya tergantung secara sosial dan ekonomi pada keberadaan mangrove.

4). Lahan Basah Pulau Kecil

Pulau dianggap kecil (pulau kecil) apabila luasnya kurang atau sama dengan 2.000 km² dengan jumlah

penduduk kurang atau sama dengan 200.000 orang. Dari segi ekosistem, pulau-pulau kecil dianggap sebagai sebuah ekosistem sendiri apabila batas-batas alami dari ciri-ciri yang terdapat di pulau tersebut tidak bisa dipisahkan dengan jelas. Ekosistem lahan basah pulau-pulau kecil seperti mangrove, terumbu karang, padang lamun, rumput laut, sangat dibutuhkan oleh masyarakat, terutama nelayan kecil. Pulau kecil dan berbagai habitat didalamnya mendukung kehidupan berbagai organisme seperti burung-burung laut, mamalia laut, dan penyu. Saat ini, pulau-pulau kecil adalah kawasan yang paling terancam dalam perubahan iklim. Hal tersebut diperparah dengan tingginya aktivitas eksploitasi sumberdaya alam pulau-pulau kecil seperti pertambangan (pasir) dan penangkapan ikan dengan cara yang merusak. Perubahan iklim yang berpotensi menaikkan paras air laut dan pertambangan pasir dapat menyebabkan tenggelamnya pulau-pulau kecil.

b. Rawa-rawa

1). Hutan Rawa Air Tawar

Ekosistem hutan rawa air tawar adalah hutan yang mendiami daerah dengan tanah ranjau aluvial yang banjir secara musiman. Hutan rawa air tawar biasanya ada di antara dua sungai atau transisi antara hutan rawa gambut dan hutan dataran rendah. Daerah ini biasanya memiliki keanekaragaman flora yang lebih tinggi daripada rawa gambut. Keanekaragaman hayati fauna juga tinggi, mirip dengan rawa gambut, tetapi cenderung dihuni

oleh fauna musiman mengikuti pola banjir tahunan di daerah rawa. Beberapa spesies yang terancam punah sangat tergantung pada keberadaan rawa air tawar, seperti burung mentok rimba. Hutan rawa air tawar memiliki fungsi penting sebagai pengendali banjir dan merupakan tempat tinggal bagi berbagai jenis flora dan fauna yang dibutuhkan oleh masyarakat.

2). Rawa dan Lahan Gambut

Lahan gambut biasanya terbentuk di daerah yang tertekan atau tertekan di belakang tanggul sungai (*backswamps*) yang selalu jenuh dengan air dan drainase tersumbat hingga sangat terhambat, sehingga proses dekomposisi terjadi sangat lambat. Data terbaru menunjukkan bahwa perkiraan luas rawa dan lahan gambut Indonesia adalah sekitar 13 juta ha, tergantung pada definisi lahan gambut yang digunakan. Diperkirakan, dengan daerah ini bahwa Indonesia memiliki rawa gambut tropis terbesar di dunia. Rawa gambut memiliki fungsi yang sangat penting dalam sistem air regional, memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, dan berfungsi sebagai penyimpanan karbon. Fungsi menyimpan karbon menjadi sangat penting saat ini karena ancaman perubahan iklim yang menghantui kehidupan manusia.

Masalah utama kerusakan rawa gambut adalah pembalakan liar; konversi lahan gambut untuk pemukiman (transmigrasi), pertanian (HTI, perkebunan); serta pembuatan parit/kanal apakah dilakukan untuk saluran

drainase atau bahkan yang dibuat oleh masyarakat untuk mengangkut kayu yang dihasilkan dari pembalakan liar. Kegiatan-kegiatan ini berdampak pada degradasi kondisi lingkungan gambut, pengeringan gambut yang berlebihan (*over dry*), dan pengurangan lahan gambut (penurunan tanah); sehingga menyebabkan rawa gambut rentan terhadap kebakaran, terutama di musim kemarau.

3). Rawa Herba atau Rawa Berumput

Jenis rawa ini didominasi oleh tumbuhan air dan memiliki badan air yang relatif terbuka. Rawa ini adalah contoh rawa yang tidak berhutan. Beberapa kelompok mengklasifikasikan rawa-rawa non-hutan sebagai danau. Di Indonesia, rawa herba atau rawa berumput dapat ditemukan di dekat aliran, danau atau di bekas pembukaan hutan rawa. Rawa herba dapat ditemukan di Kalimantan Selatan, Lampung dan Sumatera Selatan (Rawa Ogan Komering). Giesen and Sukotjo, (2018) memperkirakan bahwa rawa jamu Indonesia mencapai 2 juta ha dan terdiri dari 600 spesies tanaman herba. Rawa rumput dapat ditemukan di daerah aluvial yang tergenang di Papua, rawa ini merupakan habitat penting bagi buaya dan ketika daerah itu dangkal menjadi habitat rusa dan daerah penggembalaan untuk ternak.

Rawa herba/berumput adalah daerah subur dan diyakini memiliki keanekaragaman biota perairan yang tinggi. Diberbagai tempat, daerah ini telah dikonversi

menjadi lahan pertanian. Perubahan ini sangat berisiko karena dapat merusak sistem air regional. Selain itu, kegagalan konversi lahan menjadi area pertanian telah menyebabkan pengembangan berbagai spesies gulma. Selain konversi menjadi lahan pertanian, rawa-rawa berumput/berumput juga banyak dikonversi menjadi daerah perumahan dan perkotaan.

2. Lahan Basah Kalimantan

Kalimantan adalah adalah suatu pulau yang dilintasi garis katulistiwa yang terdapat musim hujan dan panas, daerah ini dibawah kedaulatan NKRI. Daerah Kalimantan terdapat banyak suku dan bangsa serta berbatasan dengan pulau sabah, serawak di bagian utara, pada bagian selatan laut jawa, pada bagian timur selat makasar, pada bagian barat selat karimata, dan laut sulawesi.

a. Daerah Rawa Gambut



Gambar 3.1. Daerah rawa gambut

Wilayah Kalimantan sendiri huma basah berada pada lahan rawa pasang dan wilayah lahan air payau atau tawar. Secara khusus, huma gambut berada pada aneka macam satuan fisiografi/landform, diantaranya cekungan dataran danau, kubah gambut, rawa belakang sungai, cekungan sepanjang sungai besar termasuk *oxbow lake* atau meander sungai, dan dataran pantai.

Daerah lahan rawa gambut sendiri lebih dominan oleh flora daerah rawa seperti pohon galam, teratai, purun tikus, paku-pakuan, dan karamunting (**Gambar 3.1**). Sulit untuk menemukan tanaman yang sudah cukup berusia, hanya ada beberapa pohon berukuran kecil seperti pohon galam. Temuan ini menunjukkan bahwa kawasan tersebut sering terjadi kebakaran, karena tidak ditemukan adanya tanaman yang sudah tumbuh besar. Tanaman purun tikus yang mudah ditemukan disini menjadi indikator bahwasanya tempat penelitian yang dilakukan bersifat cenderung sulfat masam. Selain itu juga ditemukan teratai yang hidup di air yang berwarna coklat kehijauan. Untuk keragaman fauna sendiri lahan ini juga merupakan habitat bagi nyamuk dan spesies ikan-ikan lainnya seperti gabus, sepat, papuyu, karandang dll



Gambar 3.2. Flora daerah rawa

- b. Daerah pesisir pantai pagatan besar



Gambar 3.3. Kawasan pesisir pantai pagatan besar

Desa Pagatan Besar terletak pada Kecamatan Tangkisung Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan, dan merupakan batas antara ekosistem laut dan daratan. Kawasan pantai, hutan mangrove dan

persawahan pasang surut merupakan rona alam yang membentang dari garis pantai menuju daratan.

Keadaan di Pesisir pantai kurang begitu kondusif dikarenakan Pantai Tangkisung yang terletak di Pelaihari kini mengalami kerusakan. Kondisi pantai tidak terlalu nyaman untuk nelayan, karena banyaknya ranting-ranting kayu yang berserakan dan sampah organik maupun non organik yang di buang kepantai. Hal ini menyebabkan laut berlumpur. Sungai Barito memiliki jarak yang cukup dekat 33 km dari pantai ini. Hal ini menyebabkan laut berlumpur dan terjadi pendangkalan. Laut yang berlumpur ini mampu menyebabkan turunnya hasil tangkapan ikan, matinya terumbu karang, bakau yang berada dipinggir pantai juga sudah semakin tipis yang berujung pada abrasi pantai dimana terjadi fluktuasi air setiap tahunnya.

c. Daerah tangkapan air



Gambar 3.4. Daerah tangkapan air

Sesuai namanya daerah tangkapan air menjadi wadah dimana air meteorik (air hujan) ditampung dan siklus ini pun berkaitan erat dengan siklus air tanah atau siklus hidrologi dimana siklus tersebut terjadi karena radiasi matahari yang menghasilkan panas. Selain itu terdapat juga proses evaporasi dimana penguapan air ke atmosfer dari sungai, danau maupun laut, evapotranspirasi dimana gabungan proses evaporasi dan proses penguapan air yang ada di tanah dan untuk mengembalikan air tersebut ke lautan dan daratan melalui proses presipitasi (hujan).

C. Karbon dan Energi di Lahan Basah

1. Karbon tersimpan

Lahan basah lebih banyak dikenal sebagai penyimpan karbon permukaan. Dengan adanya pelestarian lahan basah, dengan sendirinya bisa mengurangi emisi karbon dan meningkatkan keanekaragaman hayati. Simpanan karbon banyak di jumpai pada lahan gambut. Simpanan karbon pada lahan gambut dikategorikan menurut letak karbon tersimpan yakni tersimpan di atas dan di bawah permukaan tanah. Menurut Agus dan Made (2008), karbon tersimpan di dalam tanah gambut berkisar 18-60% bobot atau setara dengan 0,03-0,07 tm^{-3} , dibandingkan dengan tanah mineral yang berkisar 0.5-5% bobot atau setara dengan 0,005-0,050 tm^{-3} . Ketebalan dan kematangan tanah gambut serta kadar abu sangat mempengaruhi besarnya karbon yang tersimpan dalam tanah. Tingkat kematangan tanah gambut dapat di kategorikan menjadi tiga kategori yakni Fibrik, Hemik, Saprik dan Peaty Soil/Mineral

bergambut. Perbedaan tingkat dekomposisi ini memeperlihatkan kadar karbon (C-Organic) yang berbeda antara Fibrik, Hemik, Saprik dan Peaty Soil. C-Organik dan Bulk Density (BD) dari masing-masing dekomposisi di jelaskan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1. Nilai kisaran dan rerata bobot isi/bulk density (BD) serta kadar C-organik pada tiap jenis/ tingkat kematangan gambut (Warren et al., 2011).

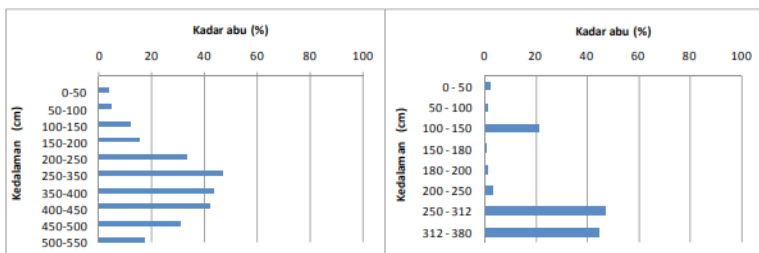
No	Tingkat	C-Organik [%]		Bulk Density (BD) [g/cc]	
	Kematangan Gambut	Kisaran	Rerata	Kisaran	Rerata
1	Fibrik	-	53.31	0.10-0.12	0.10
2	Hemik	38.97-51.87	48.00	0.13-0.29	0.17
3	Saprik	28.96-53.89	44.95	0.25-0.37	0.28
4	Peaty Soil/Mineral bergambut	28.96-39.81	35.12	0.22-0.69	0.34

Selain itu juga perbedaan berdasarakan depth class dan pulau, kandungan C-organik akan berbeda-beda seperti yang tersaji pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 3.2. Kandungan karbon lahan gambut berdasarkan kedalaman dan karakteristik pulau (Warren et al., 2011).

Province	Depth class																	
	50-100			100-200			200-300			>300			Total carbon (Gt)			%		
	Low	Med	High	Low	Med	High	Low	Med	High	Low	Med	High	Low	Med	High	Low	Med	High
Kalimantan	0.31	0.47	0.62	0.81	1.21	1.62	1.32	1.64	2.30	2.30	5.76	7.68	4.74	9.08	12.22	34.8	35.9	36.2
Sumatra	0.58	0.87	1.16	1.14	1.71	2.28	1.62	2.03	3.57	3.57	8.92	11.90	6.91	13.53	18.91	50.8	53.4	56.0
Papua	0.79	1.18	1.58	0.53	0.80	1.06	0.58	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	2.71	2.64	14.0	10.7	7.8
Total	1.68	2.52	3.37	2.48	3.72	4.96	3.52	4.40	5.87	5.87	14.68	19.57	13.56	25.33	33.77			

Selain beberapa faktor di atas, kadar abu dalam lahan gambut memegang peran cukup penting terhadap proporsi karbon dalam tanah. Semakin tinggi kadar abu dalam gambut, maka proporsi karbon semakin kecil. Kadar abu pada berbagai kedalaman tanah gambut dapat di tunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.5. Kadar abu pada berbagai kedalaman tanah gambut di Kalimantan (Ai Dariah et al., 2008)

Dalam hal ini, tanaman meriupakan penyimpan karbon yang paling aktif dan produktif. Biomassa dan nekromas merupakan komponen utama simpanan karbon di atas permukaan. Biomassa sebagian besar berupa batang, dahan, daun tanaman pohon-

pohonan. Sedang kategori nekromas adalah vegetasi tanaman atau bagian pohon yang telah mati, baik yang masih tegak di lahan (batang pohon), atau telah tumbang/tergeletak di permukaan tanah, tonggak atau ranting dan daun-daun gugur yang belum hancur.

Ada beberapa faktor penentu besarnya karbon tersimpan di atas permukaan, diantaranya adalah:

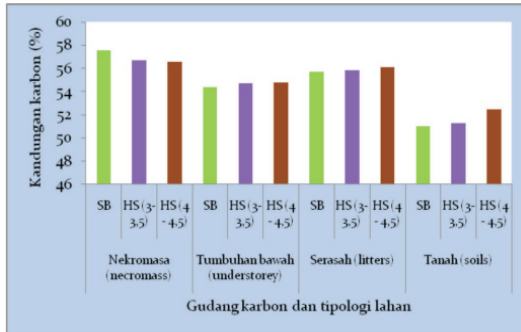
- a. Jenis dan umur tanaman
- b. Keragaman dan kerapatan tanaman
- c. Kondisi iklim dan kesuburan tanah
- d. Lokasi lahan (ketinggian lahan di atas permukaan air laut)
- e. Lamanya lahan dimanfaatkan untuk penggunaan tertentu
- f. Cara dan metode pengolahan lahan

Sebaran karbon dan berbagai mineral dari berbagai tipe gambut dapat di lihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Kadar karbon dalam CO₂ dan mineral dari berbagai tipe gambut (Purwanto dan A.Ng. Gintings, 2013)

Mineral (unsur) yg terkandung	Gambut sphagnum 8-12 inch (%)	Gambut hutan lumut 0-9 inch (%)	Gambut rumput 0-4 inch (%)	Gambut endapan 15-20 inch (%)	Gambut kayu 10-16 inch (%)
Abu	2.3	2.3	8.5	47.6	6.5
SiO ₂	31.8	46.1	26.0	59.6	17.7
AL ₂ O ₃	11.6	10.0	1.7	12.1	15.3
Fe ₂ O ₃	4.2	4.6	2.1	10.0	24.9
TiO ₂	0.4	0.6	0.2	1.6	0.5
CaO	24.3	10.2	34.8	5.5	4.9
MgO	9.9	13.5	4.2	7.3	2.0
Mn O ₂	-	0.1	0.2	0.1	0.8
K ₂ O	1.4	1.9	0.8	0.7	0.4
Na ₂ O	1.0	1.3	0.7	0.2	0.8
SO ₃	5.9	8.8	0.4	2.3	7.6
P ₂ O ₅	4.5	3.1	2.6	0.4	3.8
CO ₂	4.9	0.8	20.1	0.1	4.4

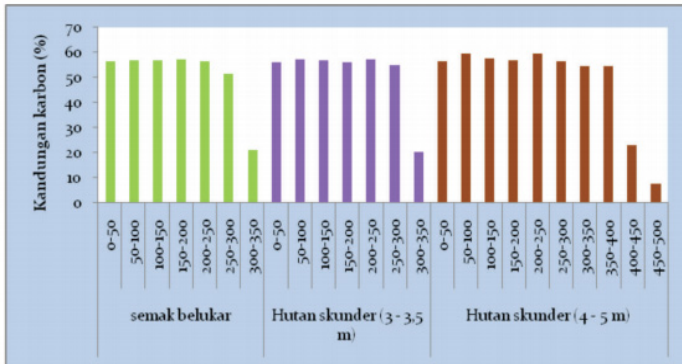
Menurut Qirom dkk, (2018), rerata kadungan karbon pada lahan gambut lebih dari 50% (**Gambar 6**). Secara umum kandungan karbon pada beberapa gudang karbon (*carbon pool*) pada tiga tipe tripologi lahan gambut memiliki kemiripan. Pada gudang karbon (*carbon pools*) tanah, kadungan karbon ditentukan oleh masing-masing kedalaman gambut. Pada keseluruhan tipologi gambut.



Ket: SB, HS (3-3.5): semak belukar; hutan skunder dengan kedalaman gambut 3-3.5 m; HS (4-5): hutan skunder dengan kedalaman gambut antara 4-5 m.

Gambar 3.6. Kandungan karbon pada *carbon pool* pada tiga tipe tripologi lahan gambut

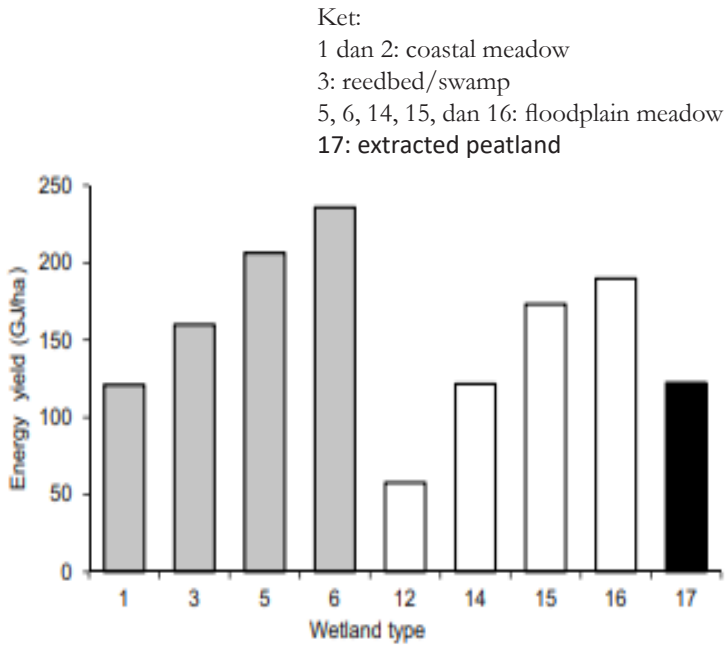
Selain tipe tripologi lahan, kedalaman lahan gambut akan memperengaruhi jumlah karbon tersimpan pada lahan gambut. Dalam penelitian yang sama, Qirom dkk, (2018) menyimpulkan bahwa semak belukar, hutan skunder (3-3.5 m) serta hutan skunder (4-5 m) memiliki kandungan karbon lebih dari 50%, seperti yang di tunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.7. Kandungan karbon pada *carbon pool* dengan kedalaman gambut yang berbeda.

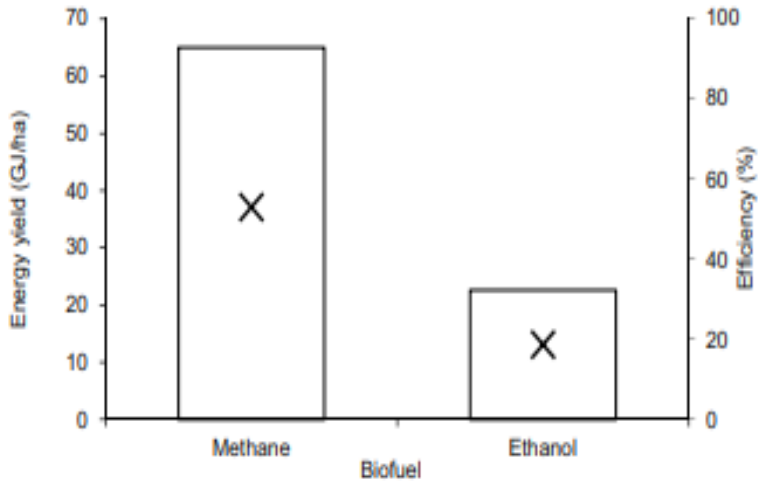
2. Energi dan Nutrisi tersimpan

Pada era kemajuan teknologi saat ini penelitian terkait dengan energi sangatlah menarik untuk dijadikan sebagai temuan baru dan memiliki potensi pengembangan yang sangat baik. Jika berbicara mengenai energi dan turunannya, maka potensi sumber energi terbaruka seperti biomassa di lahan basah sangatlah penting. Berikut disajikan sebaran potensi pengembangan dan pengolahan lahan basah yang berkaitan dengan energi, *chemical products* dan beberapa turunannya.



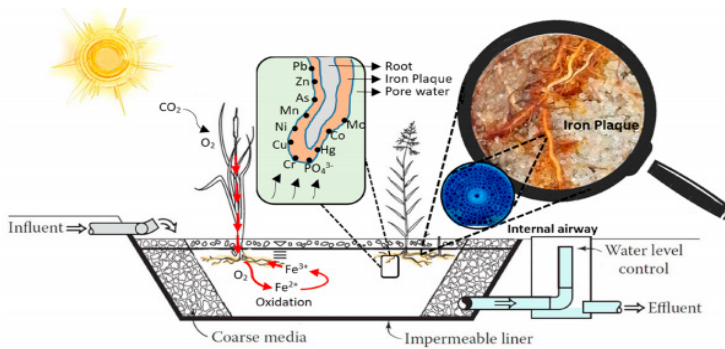
Gambar 3.9. Potensi energi di berbagai lahan basah sesuai dengan tingkat gangguan (abu-abu: alami; putih: semi alami dan hitam: buatan)(Melts et al., 2019).

Energi dan nutrient banyak tersimpan pada biomassa sebagai sumber energi alternatif. Berbagai jenis biofuel yang dapat dihasilkan sebagai sumber energi alternative dari biomass seperti methane dan ethanol. **Gambar 10** di bawah ini menunjukkan bahwa sekitar 47% dapat di konversi menjadi gas methane. Dalam penelitian lain menunjukkan sekitar 25-30% energi dapat di konversi menjadi methane dari berbagai biomassa di daerah gangguan semi-alami.



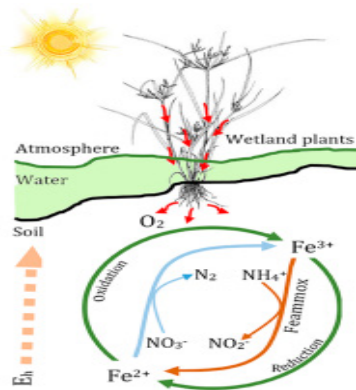
Gambar 3.10. Nilai Methane dan Ethanol dari hasil konversi beberapa jenis biomassa. (Melts et al., 2019)

Selain energi, nutrient seperti compound Fe, organic phosphorus, Cu, Nitrogen dan sebagainya banyak tersimpan di zone lahan basah (*wetlands zone*). *Iron plaque* banyak dijumpai pada akar tanaman rawa, dan tidak hanya Fe akan tetapi banyak chemicals compound yang ditemukan. Seperti yang di tunjukkan pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 3.11. Ilustrasi pembentukan *iron plaque* di bawah permukaan air (Wu et al., 2019)

Sirkulasi Fe (*iron*) tidak hanya melibatkan ikatan valensi kimia yang ada, akan tetapi memiliki arti penting pada siklus pembentukan biogeokimia nitrogen seperti yang ditunjukkan pada ilustrasi gambar di bawah ini.



Gambar 3.12. Interaksi Fe dengan transformasi Nitrogen (Wu et al., 2019)

BAB 4

LAHAN BASAH

A. Apa itu biomassa

Makna kata “Biomassa” berdasarkan kamus Oxford, yakni “jumlah total atau berat organisme dalam volume tertentu”. Pada dekade ini, makna tersebut memiliki arti yang lebih spesifik yakni “materi yang diperoleh dari organisme hidup yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya energi dan material” Biomassa banyak diartikan sebagai karbon netral. Biomassa sendiri telah digunakan sejak abad ke-19 sebagai bahan bakar tradisional dalam bentuk kayu bakar dan aran. Manusia telah menggunakan biomassa untuk bahan bakar sejak manusia pertama kali menemukan api.

Biomassa adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan semua bahan organik, yang dihasilkan oleh fotosintesis yang ada di permukaan bumi. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari limbah dengan kandungan karbon dari berbagai aktivitas manusia dan alam. Sebagian besar berasal dari berbagai sumber, termasuk produk sampingan dari industri kayu, tanaman pertanian, bahan baku dari hutan, bagian utama limbah rumah tangga dan kayu. Biomassa terus mengalami serangkaian transformasi fisik dan kimia yang

kompleks dan sedang diregenerasi serta memproduksi energi dalam bentuk panas ke atmosfer. Biomassa adalah sumber energi penting dan bahan bakar terpenting di dunia setelah batu bara, minyak, dan gas alam. Dalam beberapa penelitian terdahulu, biomassa mengacu pada bahan organik yang berasal dari tanaman (termasuk ganggang, pohon, dan tanaman). Biomassa tidak termasuk bahan organik yang selama jutaan tahun telah diubah oleh proses geologis menjadi bahan bakar fosil seperti batubara atau minyak bumi.

Dikutip dari Dewan Energi Dunia pada tahun 2016, energi dari biomassa berkontribusi besar dalam sumber energi terbarukan dengan 14% dari 18% energi terbarukan dalam bauran energi dan berbagi 10% dari pasokan energi global (World Energy Resources (2016)). Perlu diketahui bahwa bagian tersebut mencakup biomassa tradisional, dan biomassa modern. Namun, bahan bakar (biomassa) tradisional memiliki efisiensi rendah, dan tidak dapat diproduksi secara berkelanjutan. Masalah lain yang terkait dengan biomassa tradisional adalah inefisiensi, masalah terkait kesehatan (penghirupan asap), polusi, deforestasi, dan keselamatan. Dalam masyarakat modern, energi dari biomassa yang disebut “biomassa modern” diharapkan dapat diperbarui, disimpan, dan disubstitusi, banyak tersedia, aman, dan netral karbon. Istilah ini tidak termasuk biomassa sebagai kayu bakar tetapi mencakup listrik dan produksi panas, juga bahan bakar transportasi dari pertanian, hutan, dan limbah padat.

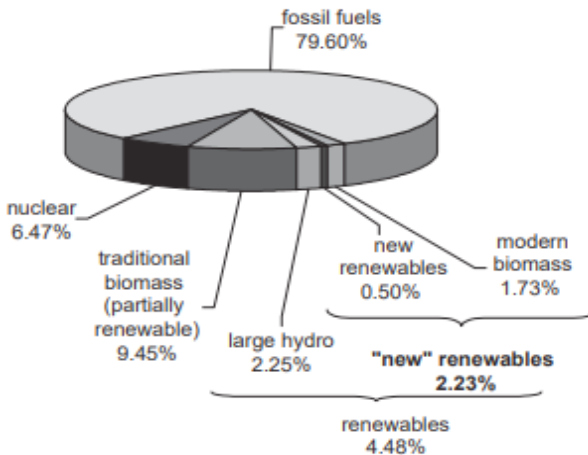
Dewan energi dunia mendefinisikan “*bioenergy*” adalah termasuk di dalamnya biomassa tradisional, biomassa modern

dan biofuels, yang mewakili transformasi bahan organik menjadi sumber energi terbarukan.

1. Biomassa tradisional

Pada umumnya biomassa tradisional banyak di kenal dengan biomassa yang umum digunakan dengan cara tidak berkelanjutan dan digunakan sebagai non-komersial sumber, tingkat keamanannya kurang baik serta tingkat efisiensi yang rendah. Kayu bakar, produk sampin pertanian, serta kotoran-kotoran dari hewan termasuk dalam kategori biomassa tradisional. Biomassa merupakan sumber energi terpenting di beberapa negara berkembang Banyak penggunaan biomassa di negara-negara berkembang mengarah ke deforestasi baik untuk rumah tangga kecil skala atau skala besar untuk keperluan industri. Terlihat 9.45% biomassa tradisional digunakan berdasarkan data World Energy 1998 (WEA 2000) from EJ TPES.

World Energy 1998 (WEA 2000) from 402 EJ TPES

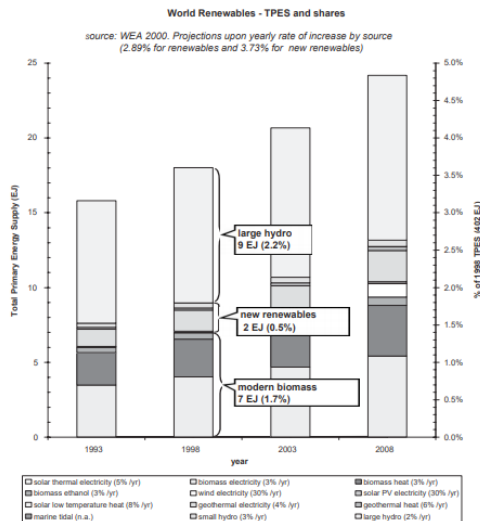


Gambar 4.1. Konsumsi energi dunia di tahun 1998 (WEA 2000) (Press, 2004)

2. Biomassa modern

Berkebalikan dengan biomassa tradisional, biomassa modern dalam hal ini dikatakan sebagai sumber energi terbarukan yang diproduksi secara berkelanjutan, dan biasanya dipergunakan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik yang dapat memproduksi panas, dapat di gunakan sebagai bahan bakar transportasi, dan biasanya memanfaatkan limbah pertanian ataupun hutan serta limbah padat. Dewasa ini, negara-negara maju telah menggunakan biomassa secara modern, yakni mengkonversi biomassa menjadi sumber energi alternatif menggunakan berbagai macam teknologi konversi. Pemanfaatan limbah pertanian, hutan ataupun limbah padat rumah tangga telah menjadi hal yang lumrah untuk menggantikan peran aktif dari

bahan bakar fosil sebagai penopang sumber energi, penggerak peralatan industri, sarana transportasi dengan cara mengkonversi biomassa menjadi energi listrik. Berdasarkan data WEA 2000 dalam Press (2004), menyebutkan bahwa 1.7% biomassa modern termasuk dalam kategori new renewable energy sources atau biasa disebut sebagai sustainable renewable energy sources.

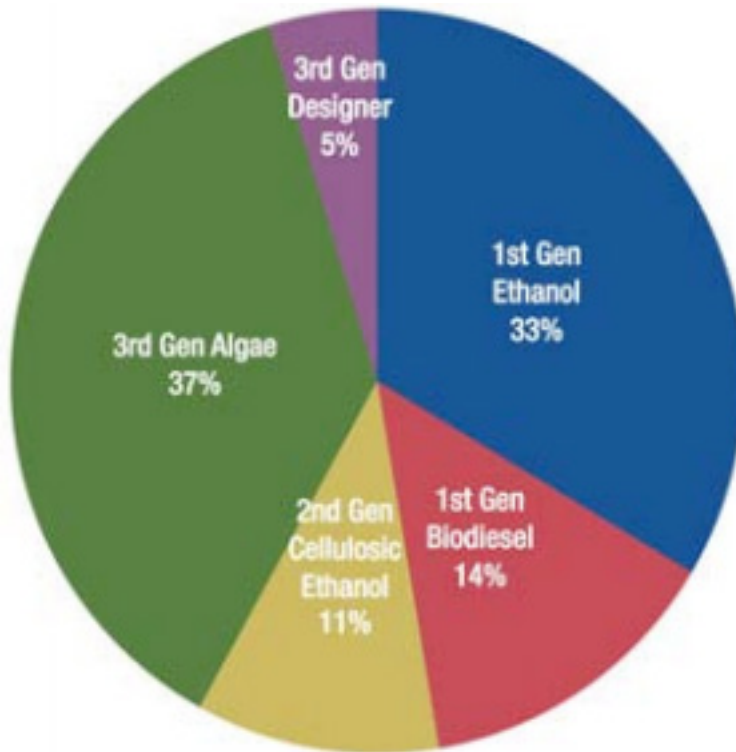


Gambar 4.2. Energi terbarukan dunia (WEA, 2000)(Press, 2004)

3. Biofuels

Biofuels merupakan saah satu bahan bakar yang ramah lingkungan dan biasanya berasal dari biomassa yakni dari biomassa jenis tanaman ataupun kotoran hewan. Biofuels umumnya dijadikan sebagai bahan bakar alternative yang hemat biaya dan ramh lingkungan sebagai pengganti minyak bumi

dan bahan bakar fosil lainnya. Biofuels biasanya di kategorikan sebagai bahan bakar cair atau gas yang banyak digunakan untuk transportasi termasuk di dalamnya adalah ethanol, biodiesel, dan berbagai bahan bakar cair alternatif. Secara umum, produksi biofuel dunia dapat di tinjau pada gambar 15 di bawah ini.



Gambar 4.3. Produksi biofuels dunia 2022 (Hawkins)

B. Klasifikasi Biomassa

1. Generasi pertama

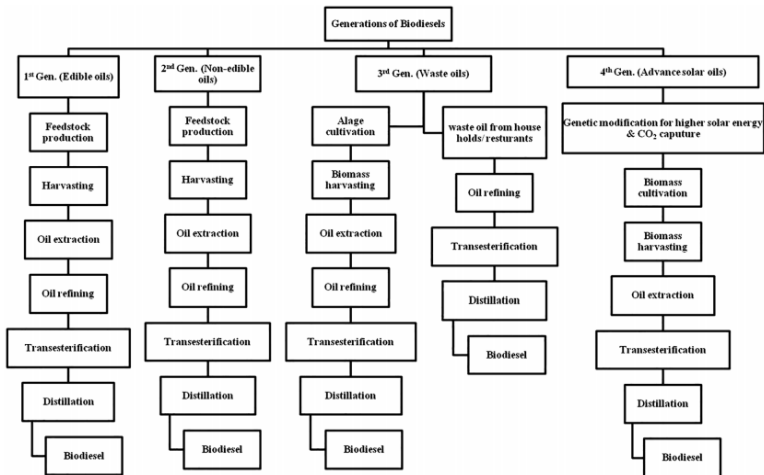
Biomassa generasi pertama biasanya berasal dari *food crops* seperti tanaman jagung, tebu dan bahkan gandum ataupun vegetable oils. Produk yang dapat di hasilkan dari biomassa generasi pertama ini biasanya berupa biodiesel atau Fatty Acid Methyl Esters (FAME), ethanol dan alcohol. Akan tetapi dengan terbatasnya bahan baku dikarenakan adanya kompetisi antara makanan dan bahan bakar menyebabkan biomassa generasi pertama ini sedikit mengalami kendala dalam pengembangan serta pemanfaatanya untuk energi terbarukan. Secara umum biomassa generasi pertama dapat di lihat pada gambar di bawah ini.

Biofuels	Biomass Feedstock	Methods	Appx. Production Cost	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none">BioethanolButanol	<ul style="list-style-type: none">Starch (wheat, barley, corn, potato)Sugars (sugarance and sugar beet.)	Fermentation	0.45-0.55 \$/L	Food vs Fuel
<ul style="list-style-type: none">Biodiesel	<ul style="list-style-type: none">Oil crops (rapeseed, soybeans, sunflower, palm, coconut, used cooking oil, and animal fats)	Transesterification		



Gambar 4.4. Biomassa generasi pertama (sumber: Lam and Lee, 2012; Rastogi et al., 2018; Rodionova et al., 2016)

Salah satu produk yang paling banyak diaplikasikan pada dunia transportasi yang berasal dari biomassa generasi pertama adalah biodiesel. Biodiesel banyak di produksi dari *oil crops*. Biodiesel sendiri memiliki empat generasi yakni sebagai generasi pertama: Edible oil, generasi kedua: Non-edible oil, generasi ketiga: waste oils, dan generasi ke empat: Advance solar oils. Secara detail dapat di lihat pada gambar berikut ini. Gambar bersumber dari penelitian sebelumnya yang membahas tentang review bahan baku, proses produksi serta yield dari beberapa generasi biodiesel yang berbeda (Singh et al., 2020).



Gambar 4.5. Proses produksi biodiesel pada generasi yang berbeda

2. Generasi kedua

Biomassa dengan kategori biomassa generasi kedua pada umumnya terkait dengan lignocellulosic biomass. Dalam proses

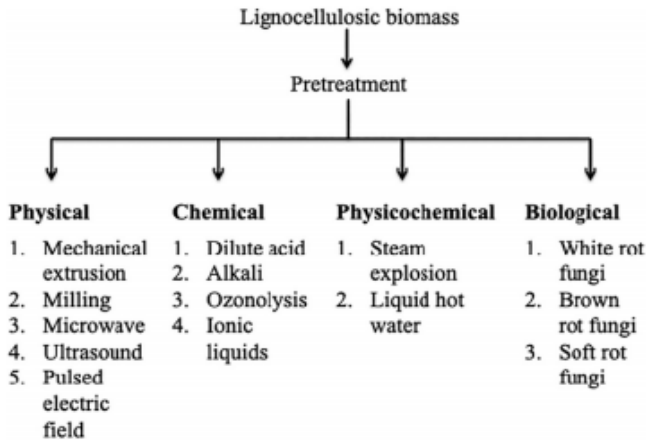
konversinya, biomassa dalam kategori ini biasanya melalui proses pre-treatment terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pengkonversian. Lignocellulose biomass biasanya dapat bersumber dari biomassa pertanian seperti jenis rumput-rumputan (switchgrass), jenis tanaman berbunga (miscanthus). Produk dari short rotation poplar and willow pada hutan, serta limbah manucipal solid waste dan atau forest waste. Biomassa kategori ini, selain menghasilkan sumber energi terbarukan, bahan kimia sebagai bahan dasar dalam industri merupakan produk sampingan yang menjanjikan. Penyanjian singkat terkait dengan biomassa generasi kedua di tunjukkan pada gambar di bawah ini.

Biofuels	Biomass Feedstock	Methods	Appx. Production Cost	Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> Bioethanol Butanol 	<ul style="list-style-type: none"> Lignocellulosic biomass (poplar, miscanthus, switch grass; sugarcane, etc. 	Fermentation	0.80-1.20 \$/L	<ul style="list-style-type: none"> Pre-treatment is required Heavy fertilization Etc.
<ul style="list-style-type: none"> Biodiesel 	<ul style="list-style-type: none"> Non-edible vegetable oil (jatropha, karanja, mahua, linseed, etc.) 	Transesterification		



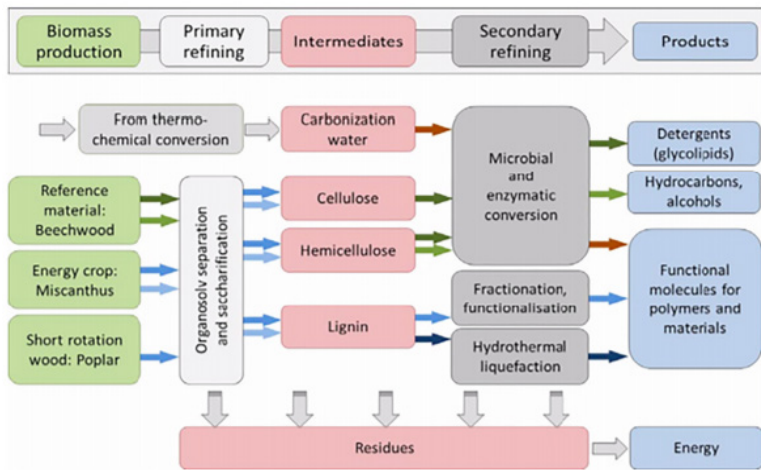
Gambar 4.6. Biomassa generasi kedua (sumber: Rastogi et al., 2018)

Pre-treatment itu sendiri bisa melalui physical, chemical, physicochemical, dan biological treatment. Detail untuk masing-masing proses pre-treatment dapat di lihat pada gambar di bawah ini.



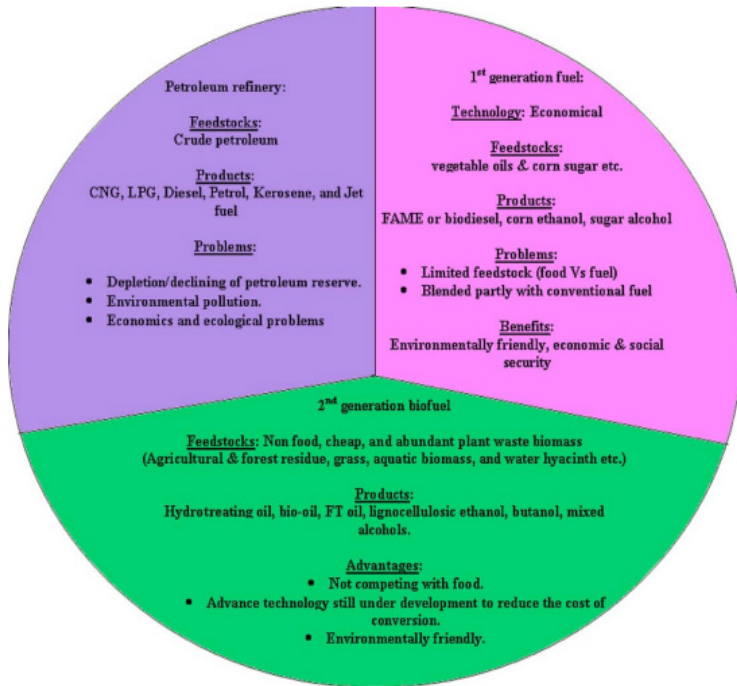
Gambar 4.7. Metode pre-treatment untuk lignocellulosic biomass (sumber: Arora et al., 2020)

Beberapa produk yang memiliki nilai tambah yang dapat di produksi melalui konversi biomassa lignoselulosa, yang salah satunya adalah melalui teknologi konversi kimia (*chemical conversion*). Produk yang dihasilkan bervariasi seperti detergens (glicolipids), alcohol, hydrocarbons, molekul polymers dan material serta energi. Model biorefining-menggunakan biomassa lignoselulosa untuk produksi produk bernilai tambah dapat di tunjukkan pada gambar 20 di bawah ini.



Gambar 4.8. Model biorefining-menggunakan biomassa lignoselulosa untuk produksi produk bernilai tambah (sumber: Arora et al., 2020)

Dari uraian di atas terlihat beberapa perbedaan yang mendasar antara biomassa generasi pertama dan kedua yang dikonversi menjadi bahan bakar dengan bahan bakar petroleum. Perbedaan terdapat pada jenis bahan baku yang akan dikonversi menjadi bahan bakar. Gambar 4.9 menunjukkan beberapa point perbedaan antara ketiganya.

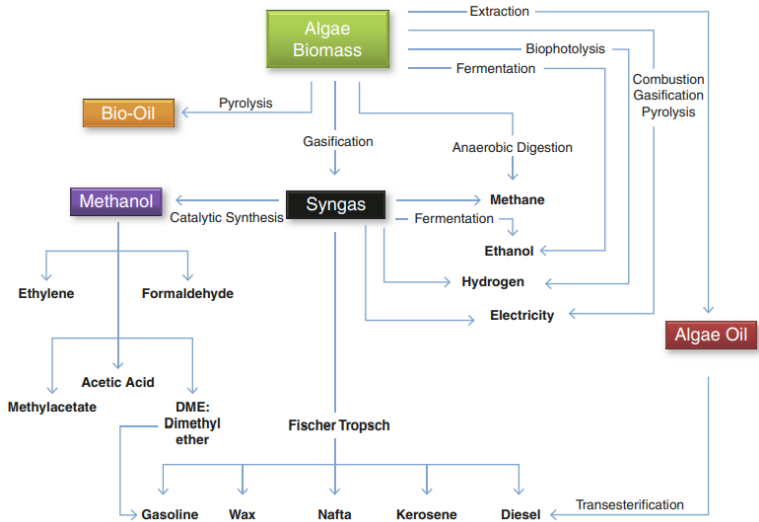


Gambar 4.9. Perbandingan antara biomassa generasi pertama, kedua yang di konversi menjadi bahan bakar dan petroleum (sumber: Naik et al., 2010)

3. Generasi ketiga

Biomassa generasi ketiga ini sangat erat kaitannya dengan biomassa alga, tetapi dapat pula dikaitkan dengan pemanfaatan CO₂ sebagai bahan baku. Bahan bakar yang dapat dihasilkan bersumber dari biomassa alga, yang memiliki hasil pertumbuhan yang berbeda dengan dibandingkan dengan biomassa lignoselulose. Produksi biofuel dari alga biasanya bergantung pada kandungan lipid dari mikroorganismenya. Kondisi geografis

sangat berpengaruh pada produktivitas biomassa alga ini. Kandungan air yang cukup banyak akan berpengaruh pada kualitas lipid yang diekstraksi dari biomassa alga. Selain itu dengan tingginya kandungan air, maka keperluan untuk proses pengeringan sangatlah penting. Sehingga penggunaan biomassa generasi ketiga ini lebih membutuhkan cukup biaya karena harus melalui proses pengeringan terlebih dahulu. Lipid yang diperoleh dari alga dapat diproses melalui transesterifikasi dengan proses biodiesel yang dijelaskan sebelumnya. Secara umum eksplorasi biomassa alga untuk diproduksi menjadi bahan bakar, energi, dan bahan kimia (biasa di sebut sebagai proses biorefinery) dapat ditunjukkan dengan skema seperti berikut ini.



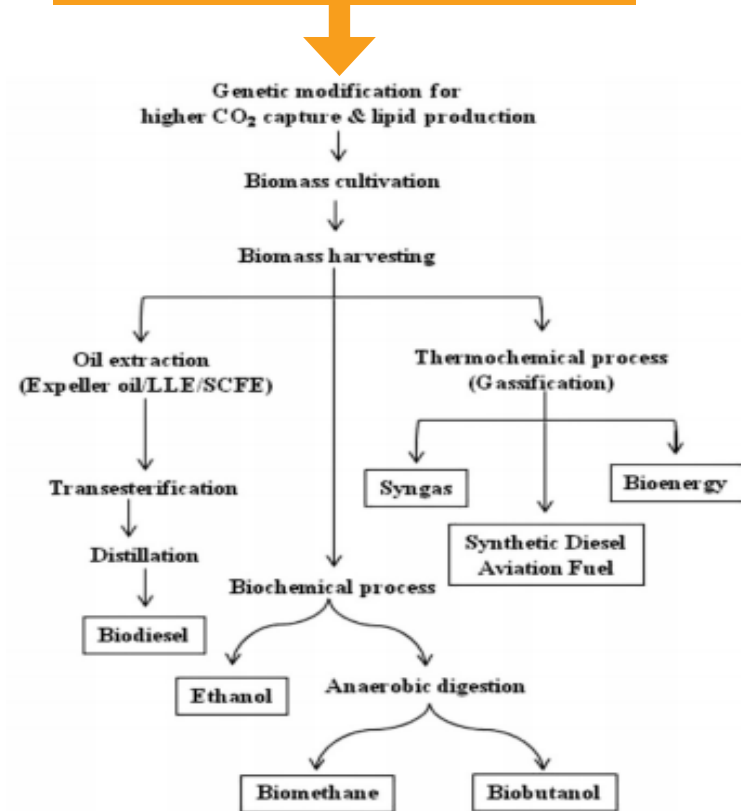
Gambar 4.10. Konsep biorefinery biomassa alga (sumber: Cuellar-bermudez et al., 2020)

Alga mengandung kurang lebih 70% lipid berdasarkan berat kering dan dapat tumbuh dalam cairan yang menggunakan berbagai aliran limbah, air payau atau air laut pesisir, sehingga mengurangi penggunaan dan permintaan air tawar.

4. Generasi keempat

Biomassa generasi ke empat lebih dominan kearah *Carbon Capture*. Modifikasi genetik untuk produksi CO₂ dan produksi lipid yang lebih tinggi. Cultivasi proses, harvesting, ekstraksi, merupakan hal yang umum yang dilakukan pada biomassa generasi ketiga dan keempat untuk konversi ke bahan bakar. Produk gas, synthetic diesel, biodiesel, ethanol, ataupun biobuthanol dapat di produksi (gambar 4.11).

FOURTH GENERATION

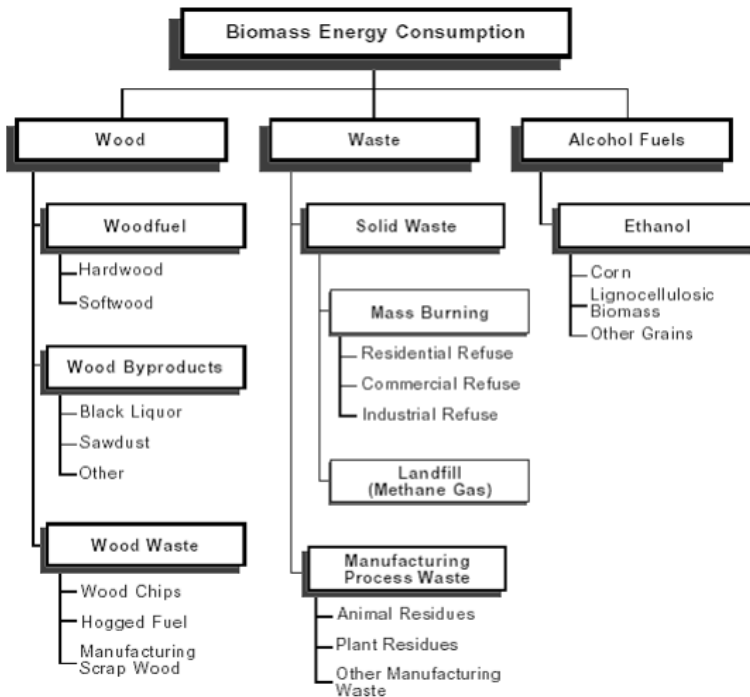


Gambar 4.11. Produksi bahan bakar dari biomassa generasi ke empat (sumber: Dutta et al., 2014)

C. Karakteristik biomassa

Biomassa pada umumnya banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Karakteristik seperti kadar air, kandungan energi,

kandungan karbon menjadi penentu sifat dan jenisnya. Perbedaan sumber asalnya pun mengakibatkan ketidakseragaman dalam bentuk, ukurannya. Meskipun pengidentifikasian terkait dengan karakteristik biomassa secara visual dapat dilakukan dengan mudah dan tanpa biaya, namun secara detail tidak mampu memberikan informasi yang diperlukan dalam pengelolaan dan pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku energi terbarukan (bioenergy). Bahan bakar biomassa dikategorikan dalam 3 bagian yakni: (1) biomassa kayu, (2) biomassa yang bersumber dari limbah, (3) alkohol (**Gambar 4.12**).



Gambar 4.12. Sumber energi biomassa (sumber: Energy et al., 1992)

Sangat penting untuk mengklasifikasikan biomassa berdasarkan perspektif bagaimana biomassa itu akan digunakan dan tujuan penggunaannya. Besarnya kandungan energi yang ada dalam biomassa itu, komposisi elemen kimia juga merupakan pertimbangan yang sangat penting dalam pemilihan biomassa sebagai bahan baku untuk bio-energi. Berikut disajikan pengkategorian biomassa berdasarkan penggunaan dan tujuan penggunaannya (**Tabel 4**).

Tabel 4.1 Klasifikasi biomassa berdasarkan penggunaan dan tujuan penggunaannya

Biomassa	Karakteristik
Limbah ternak	Limbah ternak adalah bahan organik yang mudah terdekomposisi dan kaya akan nitrat dan fosfat dan sangat baik untuk pupuk. Kualitas dan kuantitas sangat bervariasi tergantung pada jenis ternak, berat badan, pakan yang diberikan, jumlah air yang dikonsumsi, musim, dan pengkodondisian ternak serta kesehatan ternak.
Limbah pemerosesan makanan	Limbah yang di hasilkan dari sisa makanan (pemerosesan makanan) biasanya diklasifikasikan menjadi limbah padat dan cair sesuai dengan sifat fisiknya. Limbah padat: sekam kelapa sawit, ampas tebu, sekam padi, pati singkong, tongkol jagung. Limbah cair: pelarut yang digunakan dalam proses pencucian ataupun ekstraksi dan pembersihan.
Limbah sampah perkotaan	Limbah sampah perkotaan biasanya berupa makanan, kertas.

Biomassa pada oil producing	Minyak dan lemak (terdiri dari tri-ester asam lemak dan gliserin)
Lumpur limbah (sewage sludge)	Lumpur ini biasanya didapatkan pada proses pengolahan limbah, terdiri dari endapan yang tersuspensi dalam limbah dan mikroorganisme selama proses pengolahan seperti activated sludge.
Limbah pertanian (tanaman terbuang)	Bagian tanaman pertanian yang tidak dapat dimakan, ditinggalkan di ladang setelah panen. Residu dari umbi tanaman, dan tebu dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi energi
Wood residue	Residu kayu dapat diklasifikasikan menjadi residu dari pabrik kayu dan limbah kayu dari konstruksi. Biomassa dari wood residue dapat berupa: bark, serbuk kayu, debu planer dll.
Woody biomass	Biomassa kayu yang berasal dari bukan limbah dapat diperoleh dengan dua cara, baik sebagai produk sampingan atau sebagai biomassa kayu itu sendiri. Spesies yang cepat tumbuh seperti willow, poplar, dan birch putih sering dibudidayakan sebagai biomassa kayu.
Sugar dan starch	Gula dan pati difermentasi untuk memproduksi biofuel seperti etanol.
Herbaceous biomass	Dapat berupa tanaman dan kacang-kacangan. (rumput-rumputan, legum)

Dari pengkalsifikasian di atas, terlihat bahwa sumber biomassa sangatlah beragam. Oleh karenanya, Indonesia pada umumnya kaya akan sumber energi terbarukan, akan tetapi pengelolaan untuk melakukan perubahan atau pengkonversian dari energi yang rendah menjadi bahan yang memiliki kandungan energi tinggi.

Dalam era perkembangan teknologi saat ini, peneliti banyak melakukan pendekatan analisis untuk menentukan karakteristik dari biomassa itu sendiri. Pendekatan yang umum dilakukan adalah: (1) element analisis yang meliputi proximate dan ultimate analisis, dimana proximate analisis meliputi analisis zat terbang (volatile matter), kadar abu (ash content), kandungan air (water content), dan karbon tetap (fixed carbon). Sedangkan untuk ultimate analisis mengarah ke elemen yang terkandung dalam biomassa itu sendiri seperti elemen karbon (C), elemen hidrogen (H), elemen nitrogen (N), elemen sulfur (S), dan elemen oksigen (O). Elemen karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) merupakan komponen utama dari bahan bakar biomassa. Pendekatan yang ke (2) adalah analisis nilai kalor. Nilai kalor menggambarkan jumlah energi yang terkandung dalam biomassa itu sendiri.

1. Elemen analisis

Proximate analisis

Analisis ini erat kaitannya terhadap perkiraan kinerja bahan bakar pada saat proses pemanasan dan pembakaran, yang meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, karbon tetap, dan nilai kalor. Pengukuran dinyatakan dalam persen berat dan umumnya berdasarkan ASTM D1762-84.

- *Kadar Air (Moisture content)*
Analisa kadar air dapat dibagi menjadi dua yakni free moisture (FM) dan inherent moisture (IM) dalam kasus bahan bakar batu bara.

Kadar kelembaban mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer.

Perhitungan kadar air dapat menggunakan rumusan seperti di bawah ini:

$$\text{Moisture content, [\%]} = \left[\frac{A - B}{A} \times 100 \right] \quad (1)$$

dimana:

A = berat awal sampel (gram), B = berat sampel setelah dikeringkan (suhu 105°C) (gram)

- Kadar zat terbang (*Volatile matter*)

Pengujian ini akan memberikan informasi terkait dengan kesempurnaan dan intensitas api. Pengujian ini didasarkan pada rasio perbandingan antara karbon (*fixed carbon*) dengan zat terbang, yang biasanya dikenal dengan rasio bahan bakar. Semakin tinggi ratio bahan bakarnya, maka jumlah karbon di dalam bahan bakar (briket, batubara) yang tidak terbakar juga semakin tinggi. Perhitungan untuk kadar zat terbang dapat menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$\text{Volatile matter, [\%]} = \left[\frac{B - C}{B} \times 100 \right] \quad (2)$$

dimana: C = berat sampel setelah dikeringkan (suhu 950 °C) (gram)

- Kadar abu (*Ash content*)

Kadar abu umumnya menunjukkan kadar mineral, kemurnian, dan kebersihan suatu bahan yang dihasilkan dari bahan bakar tersebut. Semakin tinggi kadar abu, secara

umum akan mempengaruhi tingkat pengotoran (*fouling*), keausan, dan korosi peralatan yang dilalui. Perhitungan untuk kadar abu menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$\text{Ash content, [\%]} = \left[\frac{D}{B} \times 100 \right] \quad (3)$$

dimana: D = berat abu (gram)

- Kadar karbon terikat (*fixed carbon*)

Kadar karbon terikat mempengaruhi nilai kalor, semakin tinggi kadar karbon terikat, nilai kalor akan semakin meningkat. Berdasarkan ASTM D-317, proses perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{FC, [\%]} = 100\% - (\%MC + \%Ash + \%VM) \quad (4)$$

- Nilai kalor

Nilai kalor terdiri dari HHV (*High Heating Value*) dan LHV (*Low Heating Value*). Nilai kalor bahan bakar merujuk pada besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran (Ericson et al., 2011). Dalam hal ini menggunakan standar metode ASTM-2015 dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{HHV} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times c_v \text{ (kJ/kg)} \quad (5)$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)} \quad (6)$$

dimana: T_1 = suhu awal air pendingin ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = suhu air pendingin setelah penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)

T_{kp} = kenaikan suhu kawat penyala ($^{\circ}\text{C}$)

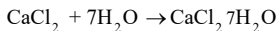
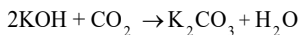
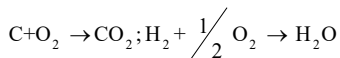
c_v = Panas jenis alat (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)

Ultimate analysis

Pada umumnya analisa ini digunakan untuk menentukan klasifikasi dari batubara dan pembakaran yang merujuk pada persentase dari elemen yang terkandung di dalamnya. Serta diperlukan untuk mengetahui kesetimbangan panas serta keakuratan alat dimana bahan bakar tersebut digunakan. Beberapa elemen penting yang dapat dianalisa yakni:

1. Karbon dan hidrogen

Reaksi sederhana dalam penentuan kadar-C dan H dapat ditulis sebagai berikut:



Jadi perhitungan persentase dari kadar-C dapat dihitung menggunakan perumusan di bawah ini.

$$\% \text{ of } C = \frac{\text{Peningkatan berat KOH} \times 12 \times 100}{\text{Berat sampel batubara} \times 44}$$

$$\% \text{ of } H = \frac{\text{Peningkatan berat } CaCl_2 \times 2 \times 100}{\text{Berat sampel batubara} \times 18}$$

2. Nitrogen

Dalam perhitungan kadar-N, penggunaan acetic acid sangat diperlukan. Perhitungan untuk kadar-N dapat menggunakan perumusan seperti berikut:

$$\% \text{ of N} = \frac{\text{vol. acetic acid yang digunakan} \times \text{normality} \times 1.4}{\text{Berat sampel batubara}}$$

3. Sulfur

Kadar sulfur yang terkandung dalam batubara ditentukan dari hasil pembilasan batubara dengan berat tertentu yang dianalisa menggunakan bom calorimeter untuk penentuan nilai kalor. Dalam proses ini S dirubah menjadi sulfat. Cairan hasil pembilasan batubara dicampurkan dengan larutan barium chloride ketika terjadi pengendapan, dan dilakukan penyaringan, serta pencucian dan pemanasan hingga berat konstan. Penentuan kandungan S dalam hal ini batubara menggunakan perumusan sebagai berikut:

$$\% \text{ of S in coal} = \frac{\text{berat BaSO}_4 \times 32 \times 100}{233 \times \text{berat sampel batubara dari BC}}$$

dimana BC: Bom calorimeter

4. Oksigen

Kadar oksigen dapat ditentukan menggunakan perumusan di bawah ini:

$$\% \text{ of oxygen} = 100 - \% \text{ dari (C+H+S+N+Ash)}$$

Signifikansi dari pengujian ultimate ini adalah:

1. C dan H

Semakin besar persentase C dan H, semakin baik kualitas batubara dalam hal nilai kalor. Akan tetapi persentase H sebagian besar terkait dengan volatile matter. Sebagian besar

H berkombinasi dengan O sebagai H_2O yang menyebabkan menurunnya nilai kalor. Jadi semakin rendah H kualitas batubara akan lebih baik.

2. N

N merupakan gas inert dan tidak mudah terbakar. Umumnya ditemukan dalam jumlah kecil (kurang lebih 1%).

3. S

Sulfur merupakan metalurgi batubara berbahaya. Mempengaruhi sifat-sifat logam. Produk oksidasi meliputi SO_2 dan SO_3 terutama yang berhubungan dengan kandungan air, memiliki efek korosif.

4. O

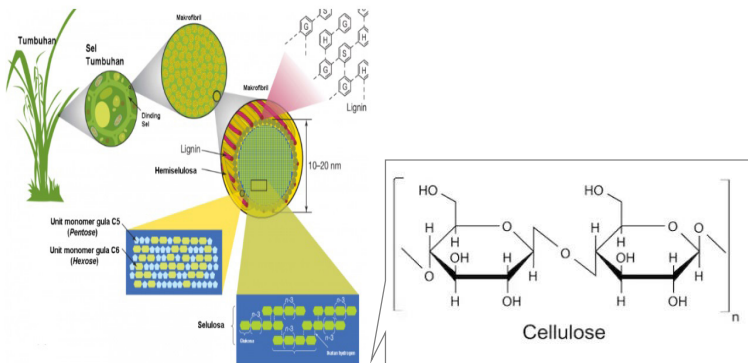
Konten O mempengaruhi nilai kalor batubara. Batubara dengan kandungan O tinggi ditandai dengan kelembaban yang tinggi, nilai kalor yang rendah dan daya pembakaran yang rendah.

D. Komponen biomassa

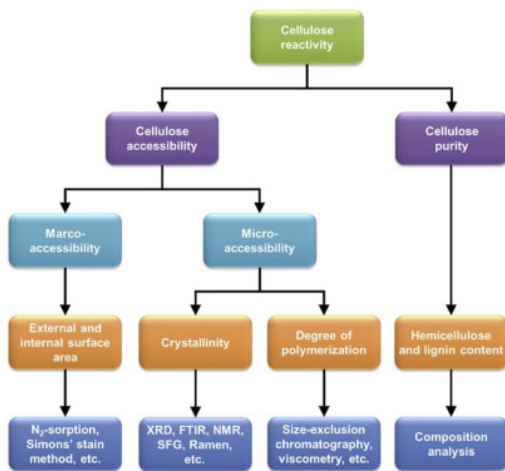
Biomassa dapat digunakan baik sebagai bahan baku atau energi. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak, serat, produk kehutanan, pupuk dan bahan kimia. Biomassa banyak digunakan sebagai sumber energi baik itu dalam bentuk bio-oil ataupun bahan bakar padat. Ada beberapa komponen yang khas dalam biomassa dan perlu diketahui adalah:

1. Selulosa

Selulosa adalah senyawa karbohidrat kompleks yang tersusun atas banyak rantai glukosa a.k.a polisakarida, serta merupakan zat penyusun tanaman yang jumlahnya banyak, sebagai material struktur dinding sel semua tanaman. Selulosa adalah karbohidrat utama yang disintesis oleh tanaman dan menempati hampir 60% komponen penyusun struktur kayu. Selulosa merupakan serat-serat panjang yang bersama-sama hemiselulosa, pektin, dan protein membentuk struktur jaringan yang memperkuat dinding sel tanaman. Jumlah selulosa di alam sangat berlimpah sebagai sisa tanaman atau dalam bentuk sisa pertanian seperti jerami padi, kulit jagung, gandum, kulit tebu dan lain-lain sebagainya. Rumus molekul dari selulosa adalah $C_6H_{12}O_6$. Hidrolisis total selulosa menghasilkan D-Glukosa, akan tetapi hidrolisis parsial menghasilkan disakarida (selobiosa) dan polisakarida yang memiliki n berurutan. Struktur dari selulosa itu sendiri berupa kristal dan memiliki resistansi yang tinggi terhadap asam dan basa. Struktur selulosa ditunjukkan pada **gambar 4.13** di bawah ini.



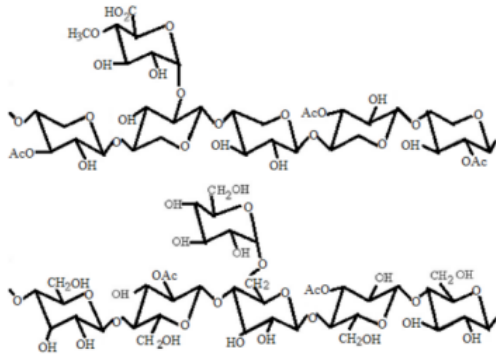
Gambar 4.13. Struktur kimia selulosa (sumber:Kobayashi et al., 2011; Liao et al., 2020)



Gambar 4.14. Faktor penentu reaktivitas selulosa (sumber: Liao et al., 2020)

2. Hemiselulosa

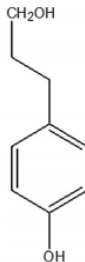
Tidak seperti selulosa, hemiselulosa mewakili rangkaian yang lebih heterogen terdiri atas monosakarida dengan 5 karbon seperti D-xilosa, D-arabinosa dan monosakarida, serta karbon-6 seperti D-manosa, D-galaktosa, dan D-glukosa. Struktur hemiselulosa bervariasi antara spesies tanaman yang berbeda dan jenis jaringan. Dicot hemiselulosa, misalnya, mengandung sebagian besar glukuronoksi di dinding sel sekundernya, sedangkan konifer hemiselulosa sebagian besar terdapat galaktoglukomanan dan glukuronoarabinoksi, dan rumput hemiselulosa sebagian besar mengandung glukuronoarabinoksi. Hemiselulosa bukan kristal karena sifatnya struktur bercabang dan memiliki tingkat polimerisasi yang lebih rendah daripada selulosa (sekitar 200). Hemiselulosa dikaitkan dengan selulosa melalui ikatan hidrogen dan lignin melalui ikatan kovalen dalam kompleks lignincarbohydrate (LCC). Bersama dengan selulosa, hemiselulosa merupakan fraksi 'holoselulosa' dari lignoselulosa biomassa. Hemiselulosa yang umum adalah xilan. Rumus struktur xilan dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.15. Rumus struktur hemiselulosa (xilan) (sumber: Tezara et al., 2016)

3. Lignin

Lignin dikenal sebagai biopolimer berlimpah kedua terbesar di dunia setelah selulosa. Peran lignin penting dalam pengembangan dan pertumbuhan tanaman. Lignin adalah konstituen fenolik polimer tiga dimensi bercabang amorf, sangat tidak teratur, berkontribusi 15-30% dari biomassa lignoselulosa. Struktur kimia lignin (Gambar 4.17) sangat simple.



Gambar 4.16. Unit fenilpropanoid utama lignin (sumber: Latif et al., 2019)

Komposisi biomassa secara umum dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini dan di bedakan antara biomassa basah serta biomassa yang bersumber dari tumbuhan, dan endapan dan biomassa limbah lainnya dengan kadar air yang tinggi.

Tabel 4.2. Biomassa dan analisa kimia (% bobot)
(sumber: Buku Panduan Biomassa Asia)

Kategori biomassa	Laut	Air tawar	Herba	Kayu	Limbah
	Rumput cokelat laut	Eceng gondok	Rumput bermuda	Hybrid poplar	Bahan bakar yang diperoleh dari sampah, <i>Refuse-derived fuel (RFD)</i>
Selulosa	4.8	16.2	31.7	41.3	65.6
Hemiselulosa	-	55.5	40.2	32.9	11.2
Lignin	-	6.1	4.1	25.6	3.1
Manitol	18.7	-	-	-	-
Alginin	14.2	-	-	-	-
Protein kasar	15.9	12.3	12.3	2.1	3.5
Abu	45.8	22.4	5.0	1.0	16.7
Total*	-	112.5	93.3	102.9	100.1

*Total tidak harus 100 dikarenakan setiap komponen diukur dengan metode yang berbeda

Tabel 4.3. Analisa kimia biomassa representative (biomassa dengan kandungan air tinggi, % bobot) (sumber: Buku Panduan Biomassa Asia)

Bahan baku biomassa	Sisa fermentasi alcohol (padi)	Sisa fermentasi alcohol (ubi jalar)	Lumpur pati	Mikroalga (Dunaliella)	Eceng gondok	lumpur limbah
Kadar air	76.7	88.6	82.2	78.4	85.2	76.7
Abu a)	1.3	4.4	23	23.6	19.6	16.4
b)						
Lemak	8.3	1.8	0.7	20.5	2.5	12.9
Protein	56.5	28.5	59.6	63.6	24.4	42.3
Serat kasar	2.1	11.9	5.4	1.2	20.6	18.1
Karbohidrat	33	57.8	34.3	14.7	52.5	26.7
C	47.9	47.3	44.6	53.3	47.6	51.4
H	6.7	7	7.2	5.2	6.1	7.9
N	7.5	4.2	9	9.8	3.7	6.5
O	37.9	41.5	48.2	31.7	42.1	40.7

a) Berbasis bobot kering

b) Berbasis kadar organik

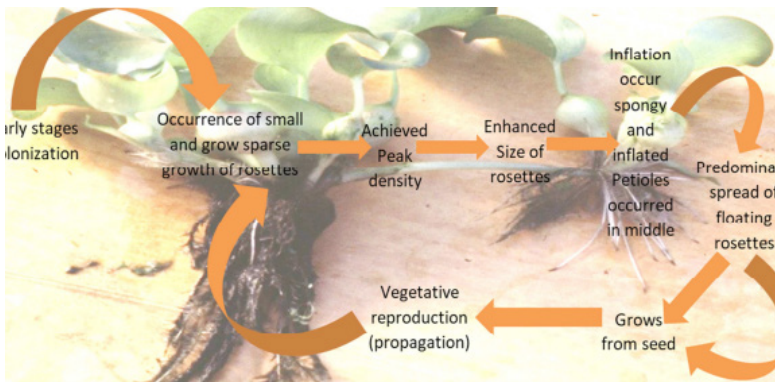
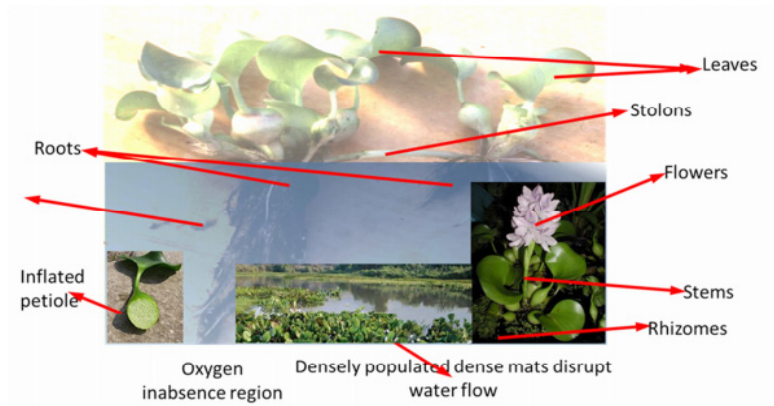
4. Produk turunan (organik dan anorganik)

Perbedaan kandungan organik bergantung pada jenis biomasanya. Gliserida biasanya memiliki komposisi dalam jumlah tinggi seperti minyak sawit, atau minyak tumbuhan lainnya, serta sukrosa yang terkandung di tebu. Alkaloid, pigmen, bahan berlilin adalah contoh lain komponen-komponen yang terkandung dalam biomassa. Selain bahan organik, dalam biomassa terkandung juga bahan-bahan yang bersifat anorganik seperti abu, unsur logam seperti Ca, K, P, Mg, Al, Si, Fe, dan Na dalam jumlah yang relatif rendah.

E. Biomassa lahan basah

1. Eceng gondok

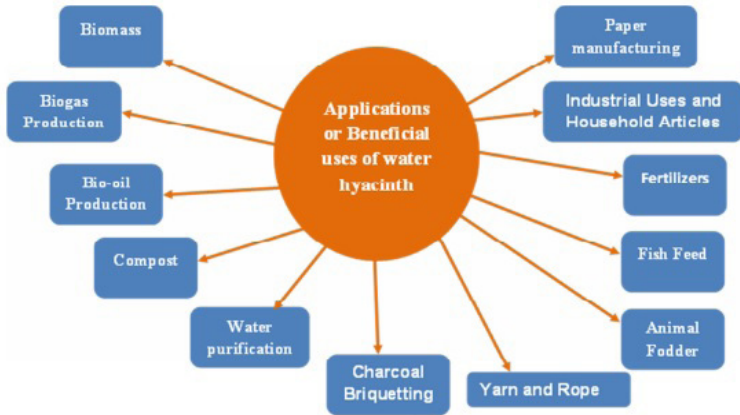
Eceng gondok adalah salah satu tu biomassa yang memiliki kadar air tinggi (95%) serta kadar kalor yang tinggi jika dikeringkan. Memiliki kandungan karbon berkisar 41%, dengan nilai kalor 16 MJ/kg kering. Tanaman ini merupakan salah satu sumber biomassa yang mengandung hemiselulosa yang cukup besar sehingga baik dimanfaatkan untuk menjadi sumber energi alternatif seperti bahan baku untuk pembuatan biogas. Eceng gondok secara ilmiah banyak dikenal dengan nama *Eichhornia crassipes* dan dianggap sebagai gulma atau tanaman pengganggu. Gambar 4.18 menunjukkan bagian-bagian dari biomassa eceng gondok.



Gambar 4.17. Bagian-bagian dari biomassa eceng gondok (sumber: Mahamadi C., 2012)

Sebagai salah satu kategori biomassa basah dengan kandungan air yang tinggi (95%) biomassa eceng gondok ini kurang mendapatkan perhatian dalam hal pemanfaatannya sebagai bahan baku energi terbarukan. Tidak hanya sumber energi, akan tetapi bisa dimanfaatkan untuk pupuk, pakan ikan dan lain sebagainya seperti yang diperlihatkan pada gambar 30 di bawah

ini. Bersumber dari penelitian sebelumnya (Mahamadi C., 2012) has attracted significant attention as the world's worst invasive aquatic plant due to its extremely rapid proliferation and congest growth, presenting serious challenges in navigation, irrigation, and power generation. Attempts to control the weed have proved to be costly with minimum results. However, the same plant has demonstrated an amazing ability to absorb and concentrate many toxic metals from aquatic environments. Consequently, research activity on utilization of the plant has been registered over the last few decades. This article reviews literature related to the utilization of *E. crassipes* in the biosorption and recovery of metals from aquatic environments. Availability in large quantities, high biosorption capacity, renewability and low cost determine the extent to which biosorbents can be adapted technologically. (Mahamadi C., 2012 menyatakan bahwa eceng gondong memiliki potensi yang tinggi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk memproduksi bahan olahan yang bernilai ekonomi tinggi.

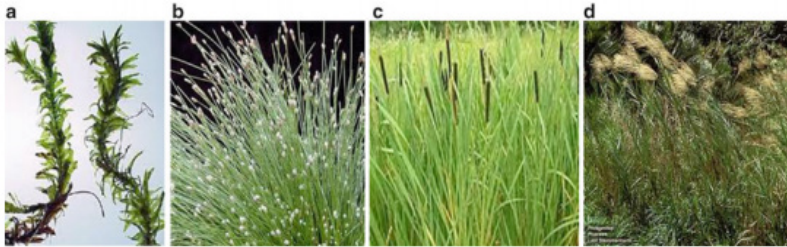


Gambar 4.18. Pemanfaatan biomassa eceng gondok

2. Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dan spesies tanaman air

Purun tikus atau *Eleocharis dulcis* merupakan tumbuhan khas lahan rawa. Rumput dari tanaman ini banyak dijumpai di daerah pasang surut yang bertanah sulfat masam. Biomassa purun tikus ini berasal dari lahan basah di Asia Tenggara. Tanaman ini merupakan tanaman yang menyukai air dan tumbuh pada kondisi genangan air. *Eleocharis dulcis* mempunyai beberapa manfaat baik di lahan budidaya maupun diambil sebagai bahan baku produk olahan. Purun tikus dapat ditemukan di daerah terbuka di lahan rawa yang tergenang air, pada ketinggian 0–1.350 m di atas permukaan laut. Tumbuhan ini juga banyak ditemui di daerah persawahan dan tergenang air. Purun tikus dapat tumbuh baik pada suhu 30–35°C, dengan kelembapan tanah 98–100%. Tanah yang cocok untuk pertumbuhan purun tikus adalah tanah lempung atau humus dengan pH 6,9–7.

Selain purun tikus banyak biomassa lahan basah yang sejenisnya yang memiliki potensi pengembangan yang bernilai ekonomis tinggi seperti:



Gambar 4.19. Spesies tanaman air (a) Elodea (b) Scirpus (c) Typha dan (d) Phragmites (sumber: Dhir, 2013)

3. POME, EFB dan PKS

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan air buangan yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit utamanya berasal kondensat rebusan, air hidrosiklon, sludge separator. POME mengandung sejumlah besar nitrogen, fosfat, kalium, magnesium, dan kalsium, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk yang baik untuk perkebunan kelapa sawit. Di Indonesia, hampir semua pabrik pengolahan kelapa sawit menggunakan sistem kolam terbuka untuk pengelolaan sistem kolam terbuka, POME dialirkan melalui serangkaian kolam dengan beberapa langkah pengolahan. POME adalah suspensi koloid yang mengandung air 95-96%, minyak 0,6-0,7% dan total padatan 4-5%, yang meliputi padatan tersuspensi 2-4%. BOD umumnya berkisar antara 25.000 dan 65.714 mg / L, Permintaan Oksigen Kimia (COD) berkisar antara 44.300 dan 102.696 mg / L.

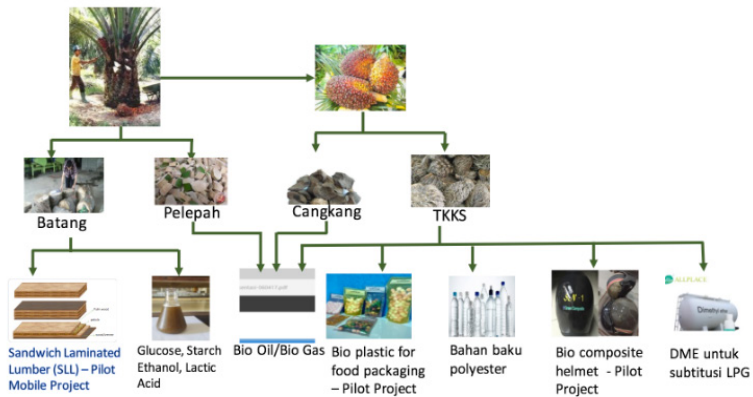
Empety Fruit Bunche (EFB) atau biasa disebut sebagai tandan kosong kelapa sawit adalah limbah biologis dari proses pengolahan minyak sawit. Biomassa ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi, kompos, pupuk, pelet, dll. EFB mengandung selulosa yang cukup tinggi yakni kisaran 28.3 (% w/w), hemiselulosa 36.6 % w/w, serta lignin 35% w/w. 20% tandan kosong kelapa sawit dihasilkan dari produksi minyak. Banyak digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap pada pembakaran di pabrik dan abu yang dihasilkan digunakan sebagai pupuk dan *soil conditioner*. EFB memiliki kandungan selulosa dan gula yang tinggi, dan biasanya di konversi menjadi bioethanol yang menjadi bahan bakar alternative. Bioethanol juga berkontribusi terhadap penurunan impor bensin. EFB menghasilkan serat yang tinggi dan dapat dijadikan bahan komersial dan menjadi bahan baku yang menjanjikan untuk produksi bioethanol karena mengandung banyak glukosa.

Palm Kernel Shell (PKS) adalah produk sampingan dari industri minyak kelapa sawit yang menjadi sumber bahan baku penting untuk pembangkit energi biomassa. Meskipun selalu digunakan secara tradisional oleh pabrik kelapa sawit sebagai sumber energi, minat dari pembangkit listrik semakin meningkat. Mengingat kandungan energinya yang tinggi (14-20GJ/t) dan fakta bahwa itu adalah produk limbah, PKS adalah sumber bahan bakar biomassa yang relatif murah. PKS memiliki nilai kalor 17 MJ/Nm³, dengan kandungan air sebesar 4.6 wt%, volatile matter 72 wt%, kandungan abu 1.4 wt% serta fixed carbon sebesar 21.6 wt%. Serta mengandung mineral seperti SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan MgO.



Gambar 4.20. (a) POME (b) EFB (c) PKS

Kelapa sawit mulai dari buah, pelepah, batang, dan limbahnya, dapat diolah menjadi berbagai macam produk. Pada proses pengolahan TBS akan dihasilkan CPO, kernel, tandan kosong, mesocarp fiber, cangkang, dan Palm Oil Mills Effluent (POME). Secara umum pemanfaatan limbah kelapa sawit ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.21. Produk akhir pemanfaatan limbah kelapa sawit (sumber: <https://www.bdpd.or.id/Potensi-Limbah-Kelapa-Sawit-Indonesia>)

4. Residu kayu

Biomassa ini bersumber dari pohon dan dapat diklasifikasikan menjadi kayu bekas konstruksi, residu penggergajian, dan residu hutan seperti cabang dan daun-daunan (Gambar 34). Diperkirakan 22 juta m³ residu diproduksi dari sector konstruksi, perabotan, transportasi dan bidang sipil serta arsitektur. Residu dapat berupa sisa-sisa pohon yang ditebang selama pekerjaan konstruksi serta sisa dari pengerjaan perabotan atau meubel. Daur ulang residu kayu dapat berupa produk kayu lapis. Residu dengan ukuran yang lebih kecil seperti kulit kayu, serbuk gergaji, atau residu venir digunakan sebagai partisi dasar pada kandang hewan ternak, sebagai bahan bakar boiler, dan bahkan sebagai kompos. Belakangan ini pemanfaatan residu kayu yang banyak ditekuni adalah produksi pellet kayu, mudah dikerjakan serta memiliki kerapatan energi yang tinggi. Biomassa kayu merupakan bahan baku yang berkualitas rendah, ada beberapa kelebihan dan potensi tantangan dalam penggunaan biomassa kayu tersebut.

- ▶ Keuntungan penggunaan biomassa kayu:
 - a. non-pangan, tidak ada persaingan dengan sector pertanian
 - b. sumber alternative atau terbarukan
 - c. memiliki manfaat positif bagi lingkungan karena kebutuhan energi yang lebih rendah untuk memproduksi produk dibandingkan bahan non-kayu yang sebanding (mis. kayu vs baja).
 - d. dapat mengurangi bahaya kebakaran hutan

- e. ketika dibakar untuk menghasilkan energi, mengeluarkan sejumlah karbon dioksida yang sebanding dengan jumlah CO₂ yang dilepaskan oleh kayu selama degradasi alami. Karena pohon menerima CO₂ selama fotosintesis, menggunakan kayu untuk menghasilkan energi dianggap “karbon netral”.

► Tantangan untuk menggunakan Woody Biomass adalah:

- a. Ketersediaan terbatas - sulit mendapatkan bahan baku yang cukup di dekat pabrik pemrosesan besar mengambil keuntungan dari “skala ekonomi.”
- b. Biaya tinggi - terkait dengan panen, transportasi, dan penyimpanan biomassa kayu.
- c. Kepadatan energi rendah - biomassa kayu memiliki kepadatan energi yang jauh lebih rendah (unit energi per unit volume) daripada bahan bakar fosil.
- d. Kesulitan teknologi - sifat kayu yang bandel dan sifat kimianya yang kompleks menjadikannya bahan baku yang sulit secara teknologi untuk digunakan dalam pemrosesan kimia dan energi.
- e. Persaingan - pertumbuhan pasar biomassa kayu dapat mengalihkan kayu berkualitas lebih tinggi jauh dari pasar produk kayu tradisional.

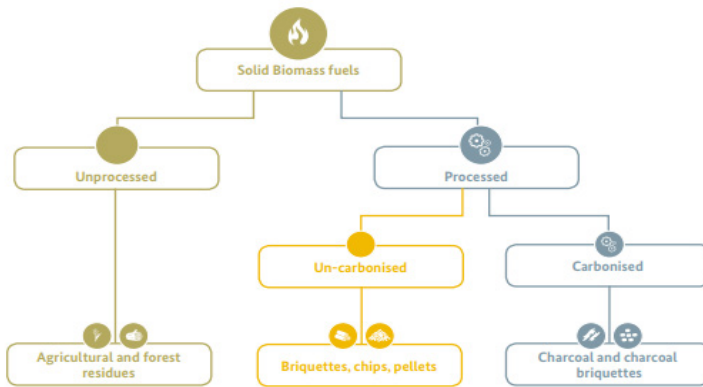
Gambar 4.25 menggambarkan keanekaragaman residu berbasis hutan dan pendekatan untuk mengkategorikan biomassa kayu yang berpotensi digunakan untuk memasak. Sebagian besar berasal langsung dari hutan dapat dikelompokkan menjadi bahan berupa kulit-kulit kayu, bahan logging dan kayu kecil seperti

ranting. Sedangkan yang berumber dari proses industri yang berbahan baku kayu akan menghasilkan limbah seperti serbuk gergaji, potongan-potongan kayu. Sumber lainnya adalah sisa kayu palette dan konstruksi.



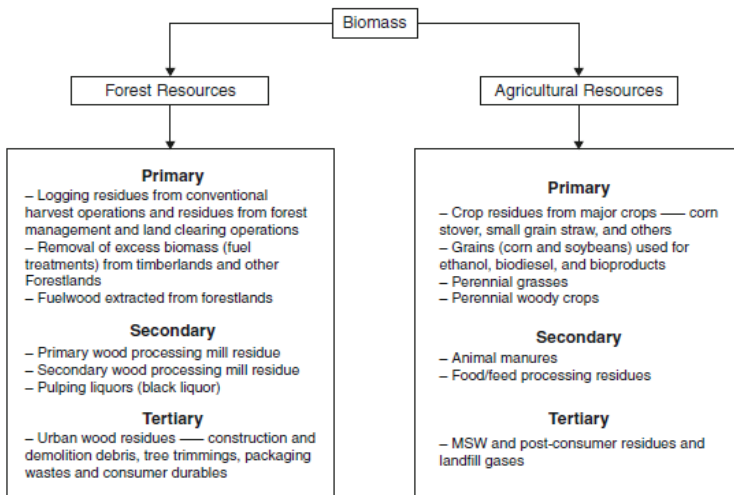
Gambar 4.22. Sumber biomassa kayu (sumber: German cooperation 2017)

Pemanfaatan biomassa kayu biasanya banyak diproduksi dalam bentuk briket, pellets, dan chips (**Gambar 4.23**).



Gambar 4.23. Produk akhir biomassa residu kayu

Secara umum sumber biomassa dapat dikelompokkan menjadi primary, secondary dan tertiary biomassa seperti pada gambar 4.24 di bawah ini.



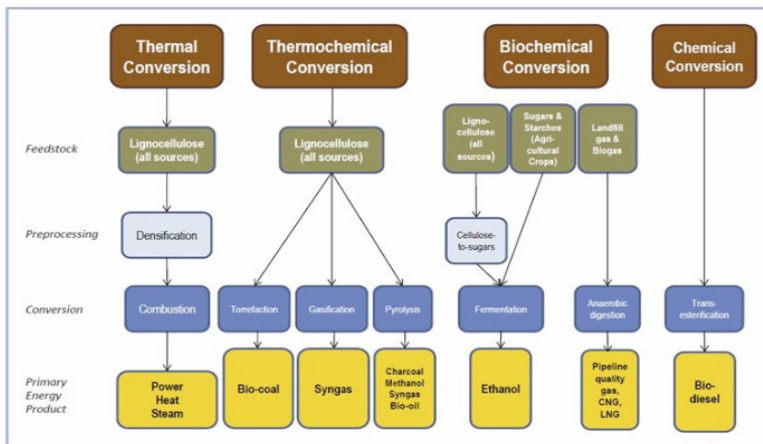
Gambar 4.24. Sumber biomassa

BAB 5

TEKNOLOGI KONVERSI BIOMASA

Teknologi konversi biomassa

Berbicara mengenai teknologi konversi biomassa, umumnya ada 4 teknologi yang dikenal yakni thermal conversion, thermochemical conversion, biochemical conversion, dan chemical conversion. Gambar 5.1 menunjukkan diagram *bioenergy conversion technology*.



Gambar 5.1. Teknologi konversi biomassa (sumber: Wisconsin Grasslands Bioenergy Network, Biomass Conversion)

A. Thermal dan Thermochemical Konversi

Teknologi ini melibatkan panas dalam proses kerjanya dengan atau tanpa adanya oksigen untuk mengubah biomassa atau bahan baku menjadi bentuk energi lain. Pembakaran langsung, pirolisis, dan gasifikasi, termasuk dalam kategori ini.

1. Pembakaran langsung

Dari semua proses yang termasuk dalam kategori teknologi koknversi termokimia yang tersedia untuk biomassa, pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling maju dan paling sering diterapkan karena biayanya yang rendah dan keadalan yang tinggi. Memiliki nilai komersil yang tinggi, dan ada banyak pilihan untuk integrasi dengan infrastruktur yang dengan skala besar ataupun kecil.

Proses pembakaran biomassa

Selama pembakaran, pada suhu 100°C biomassa akan kehilangan kelembaban karena adanya panas dari proses pembakaran. Saat partikel kering memanaskan, gas volatil yang mengandung hidrokarbon, CO, CH₄, dan komponen gas lainnya dilepaskan. Dalam proses pembakaran, gas-gas ini berkontribusi sekitar 70% dari nilai kalor biomassa, arang teroksidasi dan abu tetap ada. Komposisi kimia, sifat fisik, serta karakteristik abu bahan bakar menentukan karakteristik pembakaran untuk berbagai jenis biomassa. Salah satu sifat paling penting dari bahan bakar biomassa yang harus dipertimbangkan selama proses pembakaran adalah kadar air bahan bakar. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan pengapian yang buruk dan pengurangan suhu pembakaran, yang pada gilirannya menghambat

pembakaran reaksi produk dan akibatnya mempengaruhi kualitas pembakaran. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil padat, sifat-sifat biomassa sangat berbeda, yang dapat menyebabkan perilaku pembakaran yang berbeda. Beberapa perbedaan antara bahan bakar fosil padat dengan biomassa sebagai berikut:

1. Bahan bakar biomassa biasanya memiliki kandungan volatile yang tinggi, rendah karbon, dan lebih banyak kandungan oksigen dan nilai kalor spesifik lebih rendah dari batubara.
2. Suhu pada proses konversi lebih rendah untuk bahan bakar biomassa.
3. 70% volatile dari biomassa berkontribusi pada proses pemanasan, 36% untuk batubara.
4. Char biomassa memiliki reaktivitas oksidasi yang lebih tinggi.
5. Bahan bakar biomassa memiliki lebih banyak alkali bebas dalam abu.

Semua ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pemanfaatan termal bahan bakar biomassa dan pilihan teknologi pembakaran yang tepat.

Masalah terkait dengan teknologi pembakaran biomassa

Abu merupakan permasalahan yang terbesar pada proses pembakaran biomassa. Biomassa memiliki kandungan alkali oksida dan garam yang tinggi. Titik leleh yang rendah dapat menyebabkan berbagai variasi masalah saat pembakaran.

1. Penumpukan sisa pembakaran (*agglomeration*)

Pada proses pembakaran residu pertanian menggunakan fluidized beds, masalah yang muncul adalah penumpukan sisa pembakaran. Penumpukan terjadi ketika bagian dari abu bahan bakar meleleh dan menyebabkan adhesi. Selain efek adhesi abu, alkali oksida dan garam dapat bereaksi dengan senyawa Si dari bahan baku membentuk campuran dengan kemampuan leleh rendah. Perubahan suhu dan tekanan pada fluidized bed mengindikasikan terbentuknya penumpukan sisa pembakaran. Defluidization akan terjadi jika pembakaran biomassa dilakukan secara terus menerus menggunakan fluidized beds.

2. Pengotoran dan kerak (*Fouling and slagging*)

Abu yang terbentuk sebagai hasil dari proses pembakaran bereaksi dengan gas buang atau dengan komponen lain, dalam mekanisme kompleks, membentuk berbagai senyawa yang mungkin dalam bentuk gas, cairan, atau padat. Fase gas atau cair membentuk endapan pada permukaan yang didinginkan atau dinding tungku yang mengarah ke *slagging* dan *fouling*. Istilah “ *slagging* ”mencirikan endapan pada dinding tungku atau permukaan lain yang terpapar panas yang dominan. *Fouling* mengacu pada endapan pada permukaan di bagian pemulihan panas. *Fouling* umumnya dikaitkan dengan pengurangan laju perpindahan panas dan korosi.

3. Korosi (corrosion)

Endapan abu dari bahan bakar biomassa yang mengandung bahan kimia tertentu juga dapat menciptakan korosi dan erosi logam. Dua elemen anorganik paling melimpah di jerami gandum adalah Si dan K, yang membentuk silikat dengan titik leleh rendah. Pembakaran jerami menyebabkan kondensasi silika cair, yang cenderung menyebabkan pengotoran dan korosi dalam sistem pembakaran. Logam dalam sistem pembakaran terkena serangan kimia saat silika hadir karena lapisan pelindung oksida dapat relatif larut dan / atau reaktif dalam terak silika.

4. Perlakuan lainnya

Dalam proses pembakaran dan pemanfaatan biomassa, ada beberapa cara yang efisien untuk menyelesaikan masalah *fouling*, *slagging*, dan korosi seperti mengurangi kandungan logam alkali bahan bakar (pembakaran bersama dengan batu bara atau pretreatment yang sesuai); menaikkan titik lebur bahan bakar abu oleh aditif seperti kaolinit, bauksit, dan emalhit; dan mengaplikasikan material jenis bed baru (material bed non-SiO₂: feldspar, dolomit, dan magnesit serta ferric oxide dan alumina). Sementara itu, untuk mengurangi suhu pembakaran secara tepat tanpa mempengaruhi operasi normal dari fluidized bed juga merupakan pilihan yang baik.

Pada umumnya pemilihan teknologi konversi didasarkan pada produk akhir yang akan diproduksi. Banyak penelitian terdahulu memilih teknologi thermochemical conversion dan biochemical conversion untuk mengkonversi biomassa

dan menghasilkan out berupa heat, synthetic transport fuels, biodiesel, dan bioethanol.

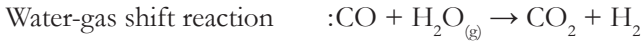
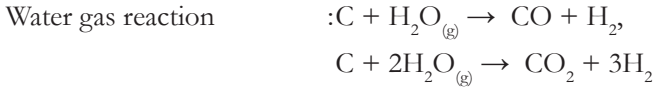
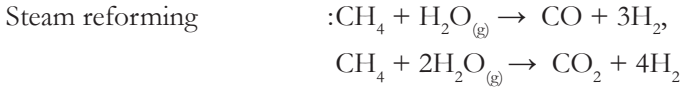
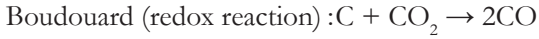
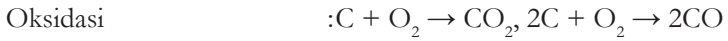
2. Gasifikasi

Gasifikasi biomassa adalah teknologi konversi termal yang mengubah biomassa menjadi gas yang mudah terbakar melalui reaksi oksidasi parsial suhu tinggi. Gas produk terutama terdiri dari karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrogen (H₂), metana (CH₄), dan air (H₂O), tetapi juga mengandung kontaminan seperti partikel arang, ter, dan abu. Syngas dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai keluaran yang lebih luas: listrik, panas dan listrik, bahan bakar cair, dan bahan kimia sintetik. Pemanfaatan teknologi gasifikasi biomassa tergantung pada syngas teknologi pemurnian dan teknologi kontrol kualitas syngas. Saat ini, sistem gasifikasi biomassa sedang mengalami transformasi dari demonstrasi menjadi komersialisasi.

Proses gasifikasi biomassa

Proses gasifikasi adalah reaksi yang saling berhubungan: langkah pertama adalah pengeringan cepat, langkah kedua adalah pirolisis cepat pada 300-500°C. Char, hidrokarbon terkondensasi, tar, dan gas diproduksi. Langkah berikut adalah gasifikasi, yaitu oksidasi parsial reaksi antara produksi pirolisis dan oksigen. Selama gasifikasi, bagian dari biomassa dikonversi menjadi char dan tar serta syngas. Pengurangan dan konversi char dan tar juga dapat meningkatkan hasil syngas dan efisiensi konversi secara keseluruhan. Karena itu produk kualitas syngas tergantung pada: komposisi bahan baku, kadar air, suhu, pemanasan laju, jenis gasifier, dan

oksidasi produk pirolisis. Beberapa reaksi yang terjadi dalam proses gasifikasi adalah:



Dalam proses gasifikasi, oksidan dapat berupa udara, O_2 murni, uap, CO_2 , udara/uap, O_2 /uap, CO_2 /uap, dan udara/ O_2 . Berbagai keuntungan dan tantangan teknis yang ditemukan jika menggunakan agen gasifikasi yang berbeda (Tabel 7). Selain itu, gasifikasi CO_2 sangat menjanjikan. CO_2 dari gasifikasi atau pembakaran dapat digunakan sebagai agen gasifikasi.

Tabel 5.1. Keuntungan dan tantangan teknis penggunaan agen yang berbeda dalam proses gasifikasi (sumber: Anthony, 2016)

Method	Gas composition	LHV	Advantages	Technical challenges
Air gasification	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , N ₂ , tar	~3–6 MJ/m ³	Simple equipment, easy operation and maintenance, low cost	Syngas with high N ₂ content (>50%) and low heating value, combustion problems (especially gas turbine)
Oxygen gasification	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , tar	~10–12 MJ/m ³	Good syngas quality	High cost of operation and air separation
Steam gasification	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , tar	~10–15 MJ/m ³	High H ₂ content (>50%), high heating value	An indirect or external heat supply, corrosion, and high tar content
Pyrolytic gasification	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , tar	~15–20 MJ/m ³	Syngas with medium heating value	Low system efficiency

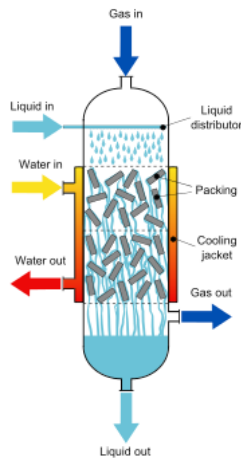
Status teknologi gasifikasi biomassa

Gasifier adalah komponen inti dari peralatan gasifikasi biomassa. Ada tiga jenis utama gasifier: fixed-bed, fluidized-bed, dan entrained flow bed. Menurut survei baru-baru ini tentang produsen gasifier, 75% gasifier yang ditawarkan secara komersial adalah downdraft fixed bed, 20% adalah fluidized-bed, 2.5% merupakan updraft fixed bed, dan 2.5% adalah jenis lain.

a. Fixed-bed gasifier

Sistem kerja: bahan biomassa dimasukkan ke dalam reaktor dari atas. Reaksi gasifikasi terjadi secara perlahan di dalam gasifier. Reaktor tipe ini memiliki arus balik (updraft), arus (downdraft), dan aliran massa *crosscurrent* yang sangat sedikit. Karena desainnya yang sederhana,

pengoperasian yang mudah, dan kinerja yang andal, gasifier ini diterapkan secara luas. Namun, dibandingkan dengan jenis reaktor lainnya, perpindahan panas dan massa yang rendah dan tidak seragam dalam reaktor ini menyebabkan munculnya sejumlah tar dan abu di syngas. Itu meningkatkan kompleksitas sistem dan investasi pemrosesan selanjutnya. Karena itu, gasifier skala kecil dianggap lebih ekonomis. Gambar 5.2 menunjukkan skematik kerja fixed-bed gasifier.

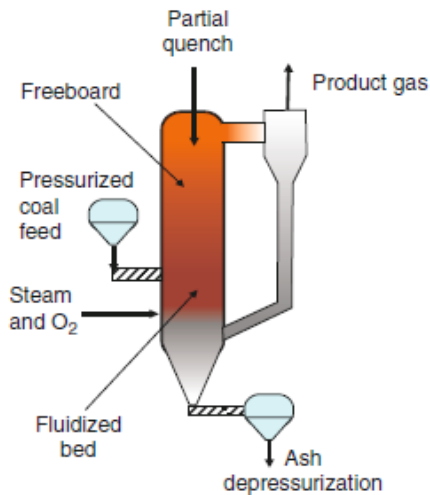


Gambar 5.2. Fixed bed gasifier

b. Fluidized-bed

Fluidized Bed Reactor adalah jenis reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan bahan dalam keadaan banyak fase. Reaktor jenis ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan melalui katalis padatan (biasanya berbentuk butiran

butiran kecil) dengan kecepatan yang cukup sehingga katalis akan tertolak sedemikian rupa dan akhirnya katalis tersebut dapat dianalogikan sebagai fluida juga. Proses ini, dinamakan fluidisasi, memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan FBR (*Fixed Bed Reactor*) sehingga banyak diaplikasikan di industri. Gambar 5.3 mewakili konfigurasi dari fluidized-bed gasifier.



Gambar 5.3. Fluidized-bed gasifier

Pencampuran terjadi cukup baik dan proses berjalan secara bersamaan di dalam bed. Pada unit ini memiliki efisiensi gas yang bagus dan efektif untuk berbagai jenis batubara. Komposisi gas dalam proses ini di tunjukkan pada tabel 5.2 dan 5.3 di bawah ini (Padban et al., 2000).

Tabel 5.2. Gas komposisi pada fluidized-bed proses (oxygen blown)

Coal type	Lig	Bit
Pressure (atm)	1-30	30
Gas composition (dry)		
CO	31-53	52
CO ₂	6.7-19.5	5.3
H ₂	32.8-40	37.3
N ₂	0.3-1.7	0.3
CH ₄	0.3-3.1	3.5
H ₂ S	0.44	

Tabel 5.3. Gas komposisi pada fluidized-bed proses (air blown)

Coal type	Lig	Bit
Pressure (atm)	1	5-30
Gas composition (dry)		
CO	22.5	12.54-30.7
CO ₂	7.7	6.4-4.47
H ₂	12.6	14.4-28.56
N ₂	55.7	47-54.3
CH ₄	0.8	0.2-3.59
H ₂ S		

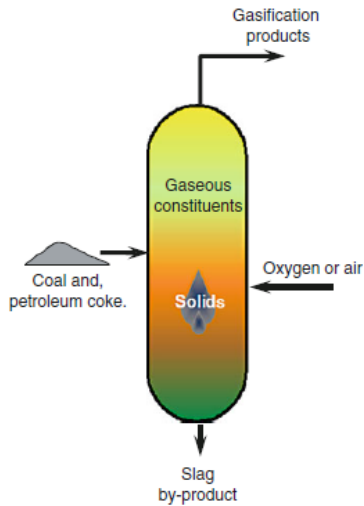
Fluidized bed gasifier dapat dibagi menjadi 3 yakni: (1) single fluidized bed gasifier, (2) double fluidized bed gasifier, dan (3) circulating fluidized bed gasifier.

Pada tipe ini, berdasarkan tekanan hembusan dari gasifikasi agen, gasifier memiliki tekanan atmosferik sebesar 0.11-0.15 MPa dan tekanan gasifier berkisar antara 1.8-2.25 MPa. Untuk peningkatan kualitas gas, penggunaan O₂ sebagai agen sering diterapkan.

c. Entrained flow bed

Dalam gasifier ini, partikel yang sangat halus yang tersebar luas dipanaskan secara berseri ke suhu tinggi untuk teraksifikasi dan gasifikasi cepat. Beberapa masalah adalah: memperoleh bahan baku yang seragam, pengeringan slurry, dan pemisahan produksi gas dari pemulihan panas. Volume ditentukan dari waktu konversi untuk partikel rata-rata. Unit-unit ini memiliki efisiensi gas dingin yang relatif rendah dan permintaan O_2 yang tinggi.

Gasifikasi aliran entrained memiliki laju reaksi tinggi, kapasitas besar, konversi karbon tinggi, dan syngas yang lebih baik tanpa tar dan fenol serta sedikit polusi lingkungan. Sekarang teknologi gasifikasi aliran entrained terutama digunakan dalam industri gasifikasi batubara. Hasil eksperimental menunjukkan: abu biomassa dalam gasifiers aliran-aliran yang dimasukkan sulit untuk meleleh di bawah suhu operasi (1.300-1.500°C), karena abu yang mengandung kandungan CaO dan logam alkali yang tinggi umumnya ditemukan dalam fase gas, yang dapat mengurangi titik leleh abu. Gambar 40 menunjukkan typical entrained flow gasifier serta tabel 5.4 adalah komposisi gas yang dihasilkan dalam studi kasus penggunaan batubara sebagai bahan baku.



Gambar 5.4. Entrained flow bed

Tabel 5.4. Gas komposisi pada entrainedflow bed (Huang et al., 2003)

Oxygen blown				
Gasifier	Dry-entrained			Slurry-entrained
Coal type	<i>Brown/lignite</i>	<i>Sub-bit</i>	<i>Bit</i>	<i>Bit</i>
Pressure (atm)	30	30	25–30	42
Gas composition (dry)				
CO	62.01	64.48	61.53–64.97	49.46
CO ₂	6.88	1.33	0.81–1.63	12.30
H ₂	30.42	33.37	30.61–32.08	35.95
N ₂	0.34	0.51	0.51–4.80	0.97
CH ₄	0	0	0	0.36
H ₂ S	0.23	0.31	1.33–1.42	1.33

Dalam pengembangan teknologi biomassa, ada beberapa hambatan yang harus diperhatikan terkait dengan komersialisasi, yakni hambatan secara teknis dan non-teknis.

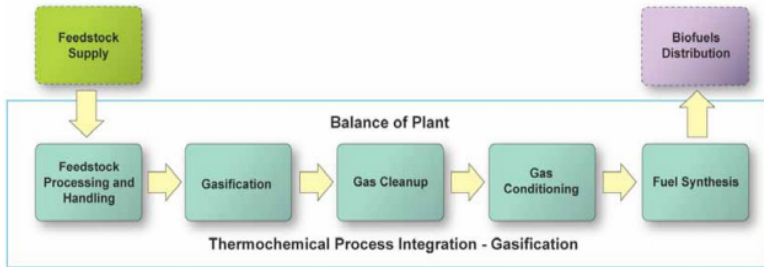
1. Hambatan teknis:
 - a. Sumber biomassa, masalah logistik dan pengangkutan harus dipertimbangkan, serta biaya transportasi.
 - b. Feeding, masalah ini biasa menimbulkan penyumbatan dan ketidakstabilan sering disebabkan karena material dengan kepadatan rendah dan residu tercampur dengan karakteristik yang berbeda-beda.
 - c. Teknologi gasifikasi. Adanya upaya dalam peningkatan performa peralatan. Teknologi yang tidak tepat dan kurang perhitungan mengakibatkan sulitnya proses pemasaran dan upaya komersialisasi.
 - d. Pemurnian, kesulitan memurnikan gas adalah bagaimana menyelesaikan fouling dan korosi penukar panas dan pipa, pemindahan tar / retak, dan operasi terus menerus.
 - e. Primer mover. Pengalaman tentang syngas biomassa yang digunakan dalam pengoperasian penggerak utama sedikit, seperti tingkat kontaminasi yang disyaratkan, emisi yang diizinkan, mesin, sel bahan bakar, Stirling, dan turbin (spesifikasi untuk gas produk).
2. Hambatan non-teknis:
 - a. Standar emisi, standar emisi yang diizinkan untuk masing-masing Negara berbeda.
 - b. Persepsi publik, kurangnya kepercayaan dari masyarakat luas dalam penerapan teknologi gasifikasi karena biaya yang cukup tinggi.

- c. Infrastruktur, banyak aspek yang mempengaruhi ekonomi gasifikasi biomassa, investasi pengembangan teknologi, pengumpulan dan biaya transportasi.
- d. Capital cost, Biaya investasi proyek gasifikasi tinggi, terutama biaya pengumpulan dan transportasi bahan baku. Terkadang untuk mengurangi biaya, sistem harus sesederhana mungkin. Oleh karena itu, ini menghasilkan beberapa sektor seperti perawatan tar, dan pembersihan gas tidak dapat dirancang dengan sempurna, meninggalkan beberapa kesulitan operasi dan masalah lingkungan.
- e. Environmental protection. Dalam beberapa tahun terakhir, negara-negara di dunia menganjurkan perlindungan terhadap lingkungan dengan penuh semangat, serta penghematan energi dan pengurangan emisi. Tetapi kenyataannya adalah bahwa tidak semua teknologi gasifikasi biomassa dapat memenuhi persyaratan terkait dengan lingkungan. Meskipun beberapa teknik, seperti sistem pasokan gas terpusat untuk memasak domestik di daerah pedesaan, dapat mencapai manfaat sosial yang jelas, tetapi dalam praktiknya stasiun gasifikasi sulit untuk benar-benar mendapatkan keuntungan karena tingginya biaya

Berdasarkan tahap pengembangan teknologi konversi “thermochemical” saat ini, gasifikasi memberikan potensi untuk penyebaran jangka pendek, sementara pirolisis akan membantu memenuhi tujuan produksi biofuel jangka panjang dan dalam menyediakan rute menuju bahan bakar bensin, diesel,

dan bahan bakar jet yang terbarukan. Pirolisis memberikan manfaat tambahan dari meningkatkan investasi dalam industri perminyakan karena produk antara dari bio-oil setelah stabilisasi dan peningkatan, berpotensi digunakan sebagai bahan baku kilang minyak bumi.

Opsi teknologi konversi termokimia “thermochemical conversion” dapat memaksimalkan pemanfaatan sumber daya biomassa untuk menghasilkan biofuel karena dapat lebih mudah mengkonversi bahan biomassa rendah karbohidrat seperti sumber daya hutan dan kayu daripada opsi konversi biokimia. Selain itu, dapat mengkonversi residu non-fermentasi kaya lignin dari proses konversi biokimia. Skenario teknologi konversi canggih bergantung pada hasil bahan bakar cair yang cukup besar per ton biomassa dan memungkinkan efisiensi energi keseluruhan yang lebih tinggi dengan memungkinkan integrasi efisiensi tinggi sistem produksi panas dan daya. Secara umum alur pengkonversian biomassa ke biofuel dengan proses *thermochemical conversion*-gasifikasi disajikan pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.5. Alur konversi biomassa menjadi biofuels melalui konversi termokimia-gasifikasi (Energy Efficiency & Renewable Energy, 2010)dimana:

1. **Feed processing and handling:** membahas sifat biomassa utama yang memengaruhi keberhasilan teknis dan ekonomi jangka panjang dari proses konversi termokimia: kadar air, kadar karbon tetap dan volatil, konsentrasi pengotor, dan kadar abu. Kadar air dan abu yang tinggi mengurangi fraksi biomassa yang dapat digunakan. Memaksimalkan efisiensi sistem gasifikasi membutuhkan biomassa kering, abu rendah; namun, teknologi yang efektif untuk konversi residu basah juga dimungkinkan.
2. **Gasification:** Gasifikasi biomassa adalah proses termokimia kompleks yang dimulai dengan dekomposisi termal dari bahan baku lignoselulosa. Ini diikuti oleh oksidasi parsial atau reformasi bahan bakar dengan agen gasifikasi biasanya udara, oksigen, atau uap untuk menghasilkan syngas mentah. Komposisi dan kualitas gas tergantung pada berbagai faktor, termasuk komposisi bahan baku, jenis reaktor gasifikasi,

agen gasifikasi, stoikiometri, suhu, tekanan, dan ada tidaknya katalis.

3. **Gas cleanup:** adalah penghilangan kontaminan dari gas sintesis yang diturunkan dari biomassa. Biasanya melibatkan pendekatan multistep terintegrasi yang bervariasi tergantung pada yang dimaksud penggunaan akhir produk gas. Namun, pembersihan gas biasanya memerlukan penghapusan atau pembentukan kembali tar dan gas asam, ammonia scrubbing, menangkap logam alkali, dan menghilangkan partikel.
4. **Gas conditioning:** Langkah-langkah pengkondisian gas tipikal termasuk pemolesan sulfur (untuk mengurangi kadar hidrogen sulfida ke jumlah yang dapat diterima untuk sintesis bahan bakar) dan pergeseran air-gas (untuk menyesuaikan hasil akhir rasio hidrogen-karbon monoksida untuk sintesis bahan bakar yang dioptimalkan).
5. **Fuel synthesis:** Gas sintesis “dibersihkan dan dikondisikan” terdiri dari karbon monoksida dan hidrogen dalam rasio yang diberikan dapat dikonversi menjadi alkohol campuran atau hidrokarbon Fischer-Tropsch. Produksi bahan bakar transportasi cair sepadan dari perantara ini juga menghasilkan produk sampingan berbasis bio dan bahan kimia bernilai tambah. Karena langkah sintesis bahan bakar adalah eksotermik, panas pemulihan sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi proses.
6. **Balance of plant:** mencakup seluruh lokasi dan kebutuhannya untuk penggunaan energi, panas, uap, dan air yang terintegrasi dan efektif. Pinch analysis digunakan

untuk menganalisis jaringan energi dari memproses dan mengoptimalkan integrasi energi dari proses tersebut. Pengurangan biaya dicapai melalui penggunaan aliran panas limbah yang lebih baik.

3. Pyrolysis

Proses pyrolysis adalah teknologi konversi biomassa pada temperatur 650-800 K dengan tekanan 0.1-0.5 MPa tanpa melibatkan udara pada proses konversinya. Produk yang dihasilkan biasanya berupa minyak, karbon char, dan senyawa gas. Pyrolysis selanjutnya dapat diklasifikasikan ke menjadi pyrolysis lambat dan pyrolysis cepat. Sebagai produk terutama arang, pyrolysis lambat biasanya tidak dipertimbangkan untuk produksi hidrogen. Pyrolysis cepat adalah proses suhu tinggi, di mana bahan baku biomassa dipanaskan dengan cepat tanpa adanya udara, untuk membentuk uap, dan kemudian dikondensasi menjadi bio-cair seluler berwarna coklat gelap. Produk-produk pyrolysis cepat dapat ditemukan di semua fase gas, cair, dan padat. Beberapa produk dari proses pyrolysis adalah sebagai berikut:

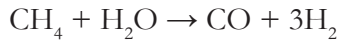
- a. Produk gas termasuk H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , dan gas lainnya tergantung pada sifat organik biomassa untuk pyrolysis.
- b. Produk cair termasuk tar dan minyak serta produk berupa aseton, asam asetat.
- c. Produk padatan terdiri dari arang dan karbon.

Meskipun sebagian besar proses pyrolysis dirancang untuk produksi biofuel, hidrogen dapat diproduksi secara langsung

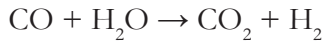
melalui pyrolysis cepat atau flash jika suhu tinggi dan residence time mengikuti reaksi di bawah ini:



Metana dan uap hidrokarbon lain yang dihasilkan dapat direformasi uap untuk menghasilkan lebih banyak hidrogen atau biasa disebut sebagai reaksi “metanation reaction”.



Untuk meningkatkan produksi hydrogen dalam proses pyrolysis melibatkan reaksi water-gas shif:



Selain produk gas, produk berminyak juga dapat diproses untuk produksi hidrogen. Minyak pirolisis dapat dipisahkan menjadi dua fraksi berdasarkan kelarutan air. Fraksi yang larut dalam air dapat digunakan untuk produksi hidrogen sedangkan fraksi yang tidak larut dalam air untuk formulasi perekat. Studi eksperimental telah menunjukkan bahwa ketika berbasis Ni Katalis yang digunakan, hasil maksimal hidrogen bisa mencapai 90%. Dengan reformasi uap tambahan dan reaksi pergeseran air-gas, hasil hidrogen dapat ditingkatkan secara signifikan.

Suhu, laju pemanasan, residence time, dan jenis katalis yang digunakan adalah parameter kontrol proses pirolisis yang penting. Untuk produk gas terutama dalam produksi hidrogen, diperlukan suhu tinggi, laju pemanasan tinggi, dan waktu tinggal (residence time) fase volatil yang panjang. Parameter ini dapat diatur dengan pemilihan di antara berbagai jenis reaktor dan mode perpindahan panas, seperti perpindahan panas konvektif

gas-padat dan perpindahan panas konduktif padat-padat. Tinggi rendahnya yield produk yang dihasilkan bergantung pada kondisi fisik seperti: temperatur, heating rate dan residence time. Secara umum pyrolysis dapat dibedakan menjadi 7 tipe seperti pada tabel 5.5 di bawah ini:

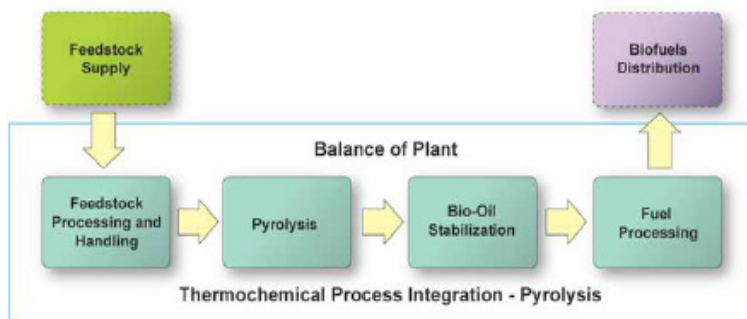
Tabel 5.5. Klasifikasi teknologi pyrolysis biomassa
(sumber:Huber et al., 2006; Mohan et al., 2006)

Pyrolysis type	Temperature (°C)	Heating rate	Residence time	Main products
Carbonization	400	Very low	Days	Charcoal
Slow pyrolysis	400–600	Low	Hours	Charcoal, liquids, gases
Conventional pyrolysis	600	Low	5–30 min	Charcoal, liquids, gases
Fast pyrolysis	400–650	High	0.1–2 s	Liquids
Flash pyrolysis	<650	Very high	<1 s	Liquids or chemicals and gases
Vacuum pyrolysis	400	Medium	2–30 s	Liquids

Slow pyrolysis mirip dengan proses karbonisasi dan menghasilkan sejumlah besar arang. Arang ini tidak mengandung timbal, belerang, atau merkuri sehingga baik untuk proses reduksi besi. Bahan bakar arang ini banyak digunakan sebagai bahan bakar padatan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Pada proses fast pyrolysis bio-oil dapat dihasilkan 60-75%, solid char 15-25%, serta 10-20% gas tak-terkondensasi yang bervariasi sesuai dengan bahan baku dapat dihasilkan pada proses fast pyrolysis ini. Produksi bio-oil maksimum dapat dihasilkan adalah 80%, dengan temperatur 500-520 °C dan residence time 1 detik. Fast pyrolysis memiliki beberapa keuntungan antara lain:

- a. Laju pemanasan dan perpindahan panas yang tinggi dalam hal penggunaan biomassa dengan ukuran partikel yang sangat kecil.
- b. Temperatur dapat dikontrol dengan baik dan berkisar pada 420-550 °C.
- c. Waktu tunggu (residence time) dalam proses sangat singkat serta waktu pendinginan reaktor yang relatif cepat.

Secara singkat proses konversi biomassa dengan menggunakan teknologi pyrolysis dapat dilihat pada gambar 42 di bawah ini:



Gambar 5.6. Alur konversi biomassa menjadi biofuels melalui konversi thermokimia-pyrolysis (Energy Efficiency & Renewable Energy, 2010)

dimana:

- a. **Feed Processing and Handling:** Mirip dengan gasifikasi, pada tahapan ini mengedepankan sifat-sifat biomassa utama yang mempengaruhi keberhasilan teknis dan ekonomi jangka panjang dari proses konversi

termokimia yakni kadar air, komposisi unsur, konsentrasi pengotor, ukuran partikel, porositas partikel, dan kadar abu. Kadar air dan abu yang tinggi mengurangi fraksi biomassa yang dapat digunakan. Proses pirolisis yang disebut “fast” membutuhkan bahan baku kering, sedangkan pendekatan hidrotermal dapat menggunakan biomassa lembab atau basah.

- b. **Pyrolysis:** adalah dekomposisi termal biomassa tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan zat antara minyak nabati yang menyerupai minyak bahan bakar no. 4. Reaksi pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) terjadi pada suhu reaksi yang lebih rendah daripada gasifikasi dan menghasilkan produk cair terutama bersama dengan beberapa gas dan bio-char. Beberapa jenis proses pirolisis cepat atau hidrotermal dapat digunakan untuk menghasilkan bio-oil, dan karakteristiknya seperti kandungan oksigen, kadar air, atau viskositas tergantung pada kondisi pemrosesan.
- c. **Bio-Oil Cleanup and Stabilization:** Pembersihan dan stabilisasi bio-oil mengubahnya menjadi zat antara cair yang dapat disimpan selama minimal 6 bulan. Pembersihan terdiri dari menghilangkan air, partikulat, dan abu dengan penyaringan dan metode serupa. Stabilisasi melibatkan hydrotreating awal dan pemrosesan termal dan katalitik serupa untuk mengurangi kandungan oksigen total antara dan kandungan asamnya untuk mengurangi reaktivitas.

- d. **Fuel Processing:** Diperlukan pemrosesan tambahan dari bio-oil untuk memungkinkan bio-oil menjadi bahan baku yang cocok untuk digunakan dalam kilang minyak. Proses hydrocracking mengubah bahan baku menjadi bensin terbarukan, bahan bakar jet, dan diesel menggunakan teknologi modifikasi yang digunakan oleh penyuling yang ada. Pemrosesan ini memanfaatkan skala ekonomi dan investasi industri minyak bumi dan menyediakan alternatif biofuel.
- e. **Balance of Plant:** Ini mencakup seluruh aspek dan kontribusi signifikan berasal dari hidrogen generation dan air-water operation. Pengurangan biaya dicapai melalui penggunaan hidrogen yang lebih efisien dan penggunaan daya dan air yang lebih baik.
- f. **Feedstock Interface:** R&D Logistik Feedstock menyediakan bahan baku olahan yang memenuhi persyaratan (komposisi, kualitas, ukuran, kadar air, dll.) Sebagaimana ditentukan oleh konfigurasi proses konversi termokimia. Koordinasi erat antara Logistik Bahan Baku dan Konversi Termokimia R&D diperlukan untuk memasok bahan baku yang memadai dalam kualitas dan bentuk yang sesuai ke pabrik.
- g. **Biofuels Distribution Infrastructure Interface:** Langkah selanjutnya dalam rantai pasokan biomassa ke biofuel adalah distribusi biofuel yang dihasilkan. Termokimia Konversi (R&D) menyediakan informasi tentang sifat fisik, reaktivitas, dan kompatibilitas antara dan biofuel untuk infrastruktur distribusi dan area

teknologi penggunaan serta memahami dan menentukan persyaratan dan keterbatasan infrastruktur distribusi dan penggunaan akhir pada biofuel dan perantara yang sedang dikembangkan.

4. Torrefaction

Torrefaction adalah proses untuk *thermal pre-treatment* biomassa dan melibatkan pemanasan biomassa dalam kisaran antara 200 - 300 °C, di atmosfer lembam. Prosesnya terjadi dalam dua tahap yakni:

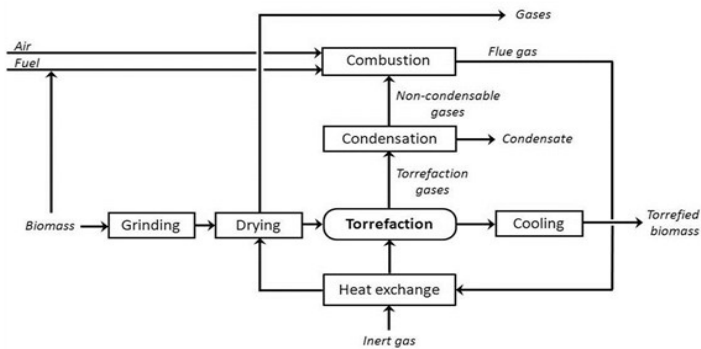
- a. Pengeringan pada 125 °C biomassa mengalami sedikit kerusakan dan pelepasan kandungan air, dengan beberapa volatil ringan menghasilkan penurunan berat di bawah 10%.
- b. Pada suhu hingga 300 °C air dengan kandungan kimia dihilangkan sebagai produk dari reaksi kimiawi melalui termo-kondensasi bersama dengan pembentukan karbon dioksida. Dalam kisaran 180-270 °C reaksi eksotermik terjadi bersama dengan degradasi parsial hemiselulosa dalam biomassa. Selanjutnya biomassa mencapai warna coklat sambil melepaskan karbon dioksida, kelembaban kimia, beberapa fenol dan sejumlah besar asam asetat.

Proses torrefaction biomassa memiliki empat tahap yakni:

- a. Persiapan biomassa (pengeringan dan penghalusan)
- b. Reaktor (konversi biomassa menjadi bahan yang mudah dibakar dan gas).

- c. Bagian pendinginan
- d. Bagian pembakaran (gas yang tidak terkondensasi dibakar dengan oksigen berlebih di dalam pembakaran dan panas yang dihasilkan digunakan dalam proses torrefaction).

Secara umum alur proses torrefaction dapat di tunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 5.7. Proses torrefaction pada biomassa

Kelebihan biomassa yang menggunakan metode torrefaction dibandingkan dengan biomassa biasa (tanpa proses torrefaction):

1. Nilai kalor (energi per unit berat) tetap meingkat.
2. Biomassa torrefied mudah haluskan (digiling) dan dapat dengan mudah dipadatkan menjadi produk dengan kepadatan energi volumetrik tinggi (energi per unit volume).
3. Bahan torrefied menjadi hidrofobik (mis. penahan air), artinya dapat disimpan untuk waktu yang lama tanpa disintegrasi.

4. Sifat fisik biomassa torrefied, seperti daya tahan dan homogenitas ditingkatkan secara signifikan, sedangkan aktivitas biologis sangat berkurang.

Teknologi ini menghasilkan alternatif berkelanjutan untuk bahan bakar fosil, sehingga mengurangi emisi karbon dioksida fosil. Biomassa torrefied dapat did produksi dalam bentuk pelet untuk membuat bahan bakar dengan sifat dan konversi yang homogen.

B. Biochemical Conversion

Dengan meningkatnya permintaan bahan bakar transportasi, sumber konten energi terbarukan, telah menjadi penting dalam beberapa tahun terakhir. Parameter bahan bakar penting adalah kandungan energi, kualitas pembakaran seperti angka oktan atau cetane, volatilitas, titik beku, toksisitas, dan kemampuannya beradaptasi dengan mesin pembakaran. Biofuel seperti hidrogen, metana, etanol, butanol, dan biodiesel menarik saat ini untuk menggantikan bensin untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

Pada biochemical conversion ini, pretreatment memegang peranan penting dalam hasil konversi yakni biofuel. Tujuan pretreatment ini adalah memecah struktur kompleks dalam biomassa menjadi subunit oligomer. Oligomer ini selanjutnya dipecah menjadi unit monomer selama hidrolisis dan fermentasi. Pretreatment meningkatkan hasil produk dengan mengganggu dan melarutkan hemiselulosa dan struktur lignin dalam biomassa. Idealnya proses pretreatment memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Meminimalisir jumlah senyawa beracun
2. Tidak memerlukan biomassa yang ukuran kecil
3. Operasional standard dan biaya sedang
4. Tidak memproduksi limbah padat
5. Efektif pada kadar air rendah
6. Dapat menghasilkan gula dengan konsentrasi tinggi
7. Panas dan daya yang dibutuhkan rendah

Pada biochemical konversi ini ada beberapa model konversi yang bisa diterapkan antara lain:

1. Fermentasi, Hidrolisis, dan An-aerobic digestions

1. Fermentasi

Fermentasi adalah salah satu proses konversi karbohidrat sederhana menjadi alkohol melalui aksi mikroba. Seperti pada proses pengkonversian biomassa menjadi ethanol biasanya dilakukan dengan menggunakan ragi seperti *Saccharomyces* dan *Pichia*, bakteri seperti *Zymomonas* dan *Escherichia*, dan jamur seperti *Aspergillus*. Mikroba yang umumnya terlibat dalam fermentasi adalah bakteri, khamir dan kapang. Prinsip dasar fermentasi adalah mengaktifkan kegiatan mikroba tertentu untuk tujuan mengubah sifat bahan agar dapat dihasilkan sesuatu yang bermanfaat. Keuntungan proses fermentasi dengan memanfaatkan jasa mikroba dibandingkan melalui proses kimiawi adalah selain prosesnya sangat spesifik, suhu yang diperlukan relatif rendah dan tidak memerlukan katalisator logam yang mempunyai sifat polutan.

Langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses fermentasi adalah sebagai berikut:

- a. Pilihlah enzim dan mikroba yang sesuai dengan tujuan akhir fermentasi
- b. Pilihlah media yang sesuai
- c. Sterilisasi semua bagian penting untuk mencegah kontaminasi oleh mikroba yang tidak dikehendaki

Berdasarkan produk akhir yang di hasilkan pada proses fermentasi, fermentasi dapat di gololongkan menjadi dua golongan yakni:

- a. Heterofermentatif, yaitu fermentasi yang produk akhirnya berupa asam laktat dan etanol sama banyak. Contoh heterofermentatif adalah proses fermentasi yang terjadi dalam pembuatan tape.
- b. Homofermentatif, yaitu fermentasi yang produk akhirnya hanya berupa asam laktat. Contoh homofermentatif adalah proses fermentasi yang terjadi dalam pembuatan yoghurt.

Selain itu, fermentasi dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan penggunaan oksigen yakni, aerobik dan anaerobik. Fermentasi aerobik adalah fermentasi yang memerlukan oksigen, sedangkan fermentasi anaerobik tidak memerlukan oksigen.

Berdasarkan proses yang dihasilkan oleh mikroba, fermentasi dibagi menjadi tiga tipe yakni:

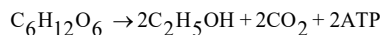
- a. Fermentasi yang memproduksi sel mikroba (biomassa). Produksi komersial dari biomass dapat dibedakan

menjadi produksi yeast untuk industri roti, dan produksi sel mikroba dan dapat digunakan sebagai makanan bagi manusia ataupun hewan.

- b. Fermentasi yang menghasilkan metabolit mikroba. Metabolit mikroba dapat dibedakan menjadi metabolit primer dan metabolit sekunder. Produk metabolisme primer yang dianggap penting contohnya etanol, asam sitrat, polisakarida, aseton, butanol, dan vitamin. Sedangkan metabolit sekunder yang dihasilkan mikroba contohnya antibiotik, pemacu pertumbuhan, inhibitor enzim, dan lain-lain.
- c. Fermentasi yang menghasilkan enzim dari mikroba. Enzim dapat diproduksi oleh tanaman, hewan, dan mikroba, akan tetapi enzim yang diproduksi oleh mikroba memiliki beberapa kelebihan yaitu, mampu dihasilkan dalam jumlah besar dan mudah untuk meningkatkan produktivitas bila dibandingkan dengan tanaman atau hewan.

Secara umum reaksi fermentasi berbeda-beda tergantung pada jenis gula yang digunakan dan produk yang dihasilkan. Secara sederhana, glukosa yang merupakan gula sederhana, melalui proses fermentasi akan menghasilkan etanol.

Reaksi kimianya dapat dilihat pada reaksi di bawah ini:



Reaksi dapat dijelaskan sebagai berikut: gula (glukosa, fruktosa dan sukrosa) = alkohol (etanol) + karbondioksida + energi (ATP).

Penerapan metode fermentasi yang banyak digunakan diantaranya adalah fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat.

Beberapa faktor yang berpengaruh dalam proses fermentasi adalah:

a. pH (keasaman)

Makanan yang mengandung asam biasanya tahan lama. Tingkat keasaman sangat berpengaruh dalam perkembangan bakteri. Kondisi keasaman yang baik untuk bakteri adalah 4,5–5,5.

b. Mikroba

Fermentasi biasanya dilakukan dengan kultur murni yang dihasilkan di laboratorium. Kultur ini dapat disimpan dalam keadaan kering atau dibekukan.

c. Oksigen

Oksigen selama fermentasi harus diatur sebaik mungkin untuk memperbanyak atau menghambat pertumbuhan mikroba tertentu. Setiap mikroba membutuhkan oksigen yang berbeda jumlahnya untuk pertumbuhan atau membentuk sel-sel baru dan untuk fermentasi.

d. Suhu

Suhu fermentasi sangat menentukan macam mikroba yang dominan selama fermentasi. Tiap-tiap mikroorganisme

memiliki suhu pertumbuhan yang maksimal, suhu pertumbuhan minimal, dan suhu optimal yaitu suhu yang memberikan terbaik dan perbanyak diri tercepat. Beberapa hal sehubungan dengan suhu untuk setiap mikroorganisme dapat digolongkan sebagai berikut :

- 1). Suhu minimum, di bawah suhu itu pertumbuhan mikroorganisme tidak terjadi lagi.
- 2). Suhu optimum, sebagai suhu yang memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme paling cepat.
- 3). Suhu maksimum, di atas suhu itu pertumbuhan mikroorganisme tidak mungkin terjadi lagi.

Manfaat dari fermentasi adalah:

- a. Memperkaya variasi makanan dengan mengubah rasa, aroma serta tekstur makanan
 - b. Mengawetkan makanan agar menghasilkan asam laktat, alkohol, dan asam asetat dalam jumlah yang cukup banyak
 - c. Memperkaya nutrisi makanan dengan menambahkan sejumlah vitamin, asam amino dan protein
 - d. Mengeliminasi senyawa anti nutrisi
 - e. Mengurangi waktu dan sumber daya yang diperlukan dalam memproses makanan
2. Hidrolisis

Hidrolisis adalah suatu proses kimia pemecahan molekul air kedalam bentuk kation H^+ (hidrogen) serta anion OH^- (hidroksida). Proses tersebut umumnya dipakai dalam memecah

suatu polimer tertentu, khususnya polimer dimana terbuat melalui suatu proses bertahap polimerisasi atau yang dikenal dengan istilah *step-growth-polymerization*. Selama hidrolisis terjadi pemecahan struktur selulosa polimer dan oligomer, menjadi molekul yang lebih sederhana seperti glukosa, selobiosa, xilosa, galaktosa, arabinosa, dan manosa. Hal ini terjadi karena adanya aksi agen kimia atau enzimatik. Hidrolisis enzimatik adalah proses kompleks yang terjadi pada permukaan padat/cair. Beberapa proses seperti, perubahan kimia dan fisik dalam biomassa padat, hidrolisis primer intermediet terlarut dari permukaan, dan hidrolisis sekunder menjadi molekul yang lebih sederhana seperti glukosa, terjadi secara bersamaan.

Ada 2 macam hidrolisis yang umum diketahui yakni:

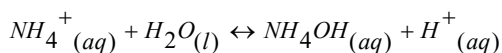
- a. Hidrolisis parsial atau sebagian

Contoh: garam NH_4Cl

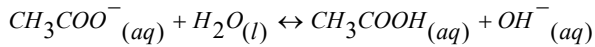
Hidrolisis parsial ini dapat terjadi apabila garamnya berasal dari asam lemah dan basa kuat atau sebaliknya dan pada hidrolisis sebagian hanya salah satu ion saja yang mengalami reaksi hidrolisis, yang lainnya tidak. Dalam air, NH_4Cl terionisasi sempurna membentuk ion Cl^- dan NH_4^+

Contoh reaksi

untuk garam asam:



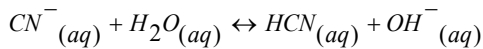
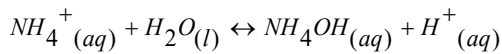
untuk garam basa:



b. Hidrolisis total

Hidrolisis ini dapat terjadi apabila garamnya berasal dari asam lemah dan basa lemah, dan semua ion yang berasal dari garam bereaksi dengan air.

Contoh: reaksi hidrolisis garam (NH_4CN):



Konsep hidrolisis:

- Garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa kuat tidak terhidrolisis
- Garam yang terbentuk dari asam lemah dan basa kuat mengalami hidrolisis anion.
- Garam yang terbentuk dari asam kuat dan basa lemah mengalami hidrolisis kation.
- Garam yang terbentuk dari asam lemah dan basa lemah akan mengalami hidrolisis total.

Manfaat dan fungsi hidrolisis adalah:

Berikut ini uraian lebih lanjut terkait beberapa pemanfaatan proses hidrolisis.

- Reaksi hidrolisis antara molekul asam dan basa yang direaksikan dengan air akan membentuk garam dengan rumus kimia NaCl.
- Dalam Bidang pertanian reaksi hidrolisis dimanfaatkan dalam suatu penyesuaian pH tanah dengan tanaman yang ditanam. Dapat menentukan keasaman pupuk yang tepat untuk tanaman.
- Reaksi hidrolisis antara garam yang terbentuk dari HOCl yang adalah asam lemah dengan NaOH yang merupakan basa kuat dengan air akan terjadinya hidrolisis HOCl sehingga akan menghasilkan ion OH⁻ yang sifatnya basa. Sedangkan NaOH sebagai basa kuat tidak terhidrolisis. Garam yang terbentuk melalui penggabungan kedua asam basa tersebut yaitu NaOCl. Garam ini adalah salah satu material yang dimanfaatkan dalam pembuatan bayclin atau sunclin untuk memutihkan pakaian kita.
- Reaksi hidrolisis mempunyai peran penting dalam pemecahan makanan menjadi nutrisi yang mudah diserap.
- Reaksi hidrolisis ini berperan penting dalam suatu proses pelapukan batuan. Proses ini penting dalam pembentukan tanah, dan membuat mineral penting tersedia bagi tanaman. Berbagai mineral silikat, seperti feldspar, mengalami suatu reaksi hidrolisis lambat dengan air, membentuk tanah liat dan lumpur, bersama dengan senyawa larut.

- Reaksi hidrolisis mempunyai andil dalam penjernihan air. Biasanya memakai senyawa aluminium fosfat yang mengalami hidrolisis total.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa reaksi hidrolisis terjadi ketika beberapa senyawa ionik, seperti asam, basa, dan garam dilarutkan dalam molekul air dan dapat menghasilkan sifat yang bervariasi baik itu asam, basa, maupun netral. Perbedaan sifat ini menjadi tolok ukur dalam menganalisa peran penting garam yang terhidrolisis tersebut dalam kehidupan makhluk hidup.

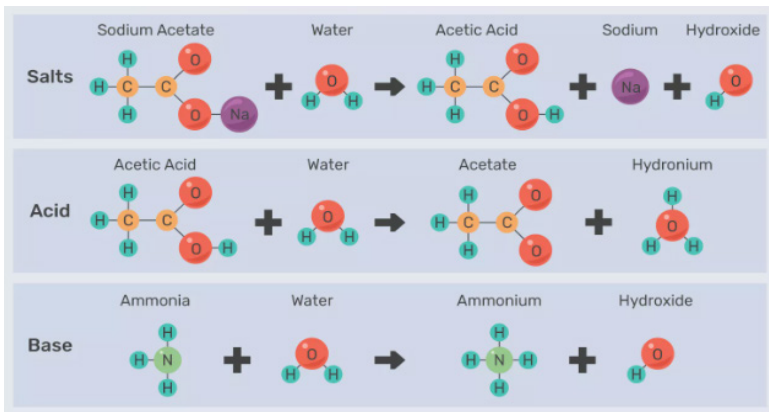
Struktur molekuler, dan faktor lingkungan meliputi suhu (apabila suhu naik 10°C maka hidrolisis naik dua kali lipat), pH larutan (H^+ dan OH^- bersifat mengkatalis atau mempercepat putus rantai dapat mempengaruhi kecepatan raksi dalam proses hidrolisis.

Selama proses hidrolisis, ada beberapa faktor penentu yang harus diperhatikan sehingga proses dapat berlangsung dengan baik yakni:

- a. Kandungan selulosa pada bahan baku, Kandungan selulosa pada bahan baku sangat berpengaruh terhadap hasil hidrolisis. Apabila bahan baku mengandung sedikit selulosa maka glukosa yang dihasilkan juga sedikit.
- b. pH hidrolisis, pH sangat berpengaruh terhadap konsentrasi asam dan hidrolisis. Apabila konsentrasi asam tinggi, maka pH yang dihasilkan rendah.
- c. Waktu hidrolisis, semakin lama waktu hidrolisis maka akan semakin besar pula konsentrasi glukosa yang dihasilkan.

- d. Suhu, semakin besar suhu maka semakin besar pula konstanta kecepatan reaksi.
- e. Tekanan, tekanan sangat berpengaruh terhadap proses hidrolisis. Tekanan yang digunakan saat proses hidrolisis yaitu 1 atm.
- f. Konsentrasi asam, semakin besar konsentrasi asam maka semakin banyak kadar glukosa yang dihasilkan sampai dengan konsentrasi optimum.

Hidrolisis juga dapat dianggap sebagai reaksi kebalikan dari kondensasi, yang merupakan proses di mana dua molekul bergabung untuk membentuk satu molekul yang lebih besar. Hasil akhir dari reaksi ini adalah bahwa molekul yang lebih besar mengeluarkan molekul air. Ada tiga tipe hidrolisis yakni, hidrolisis garam, hidrolisis asama, dan hidrolisis basa. Reaksi dari masing-masing hidrolisis di tunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 5.8. Tiga tipe dari hidrolisis (sumber: <https://www.thoughtco.com>.)

Dari gambar 5.8 di atas dijelaskan bahwa:

Salts: Hidrolisis terjadi ketika garam dari basa lemah atau asam larut dalam cairan. Ketika ini terjadi, air secara spontan terionisasi menjadi anion hidroksida dan kation hidronium. Ini adalah jenis hidrolisis yang paling umum.

Acid: Air dapat bertindak sebagai asam atau basa, menurut teori asam Bronsted-Lowry. Dalam hal ini, molekul air akan memberikan proton. Sebagai contoh adalah saponifikasi, pembentukan sabun.

Base: Reaksi ini sangat mirip dengan hidrolisis untuk disosiasi basa. Sekali lagi, berdasarkan catatan praktis, basa yang sering berdisosiasi dalam air adalah amonia.

Hidrolisis yang paling umum terjadi ketika garam asam lemah atau basa lemah (atau keduanya) dilarutkan dalam air. Air terionisasi menjadi ion hidroksil negatif dan ion hidrogen. Garam terurai menjadi ion positif dan negatif. Misalnya, natrium asetat berdisosiasi dalam air menjadi ion natrium dan asetat. Ion natrium bereaksi sangat sedikit dengan ion hidroksil sedangkan ion asetat bergabung dengan ion hidrogen untuk menghasilkan asam asetat netral, dan hasil bersihnya adalah kelebihan relatif dari ion hidroksil, yang menyebabkan larutan basa. Namun, dalam kondisi normal, hanya beberapa reaksi antara air dan senyawa organik terjadi. Umumnya, asam atau basa kuat harus ditambahkan untuk mencapai hidrolisis di mana air tidak berpengaruh. Asam atau basa dianggap sebagai katalis dengan tujuan untuk mempercepat reaksi. Hidrolisis asam-basa yang dikatalisis sangat umum; salah satu contohnya adalah hidrolisis

amida atau ester. Dalam basa berair, ion hidroksil adalah nukleofil yang lebih baik daripada dipol seperti air. Dalam asam, gugus karbonil menjadi terprotonasi, dan ini mengarah pada serangan nukleofilik yang jauh lebih mudah. Produk untuk kedua hidrolisis adalah senyawa dengan gugus asam karboksilat.

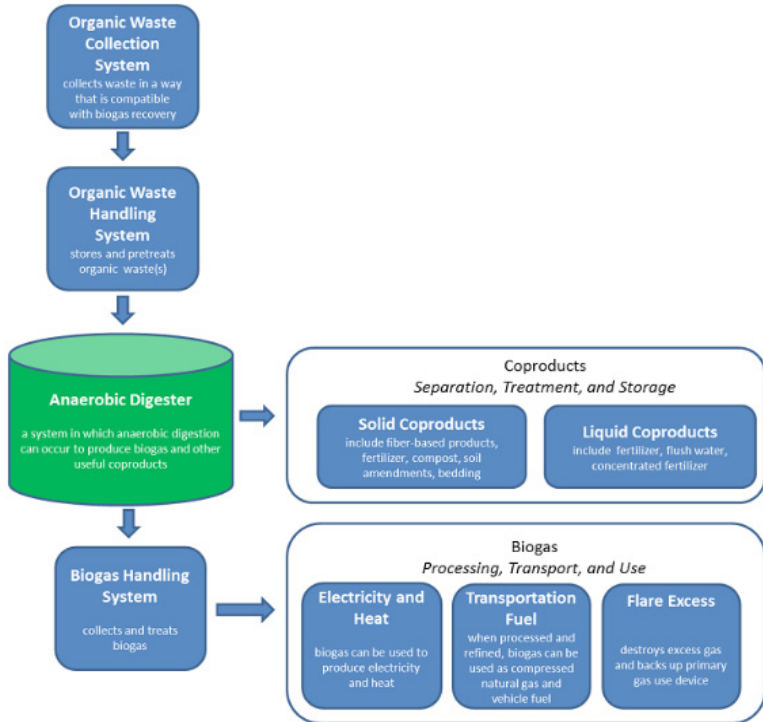
Selain itu, hidrolisis adalah proses penting pada tumbuhan dan hewan, contoh paling signifikan adalah metabolisme dan penyimpanan energi. Semua sel hidup membutuhkan pasokan energi secara terus menerus untuk dua tujuan utama: untuk biosintesis molekul kecil dan makromolekul, dan untuk transpor aktif ion dan molekul melintasi membran sel. Energi yang berasal dari oksidasi nutrisi tidak digunakan secara langsung tetapi, melalui serangkaian reaksi yang kompleks dan panjang.

3. Anaerobic digestion (Pencernaan anaerob)

Adalah urutan proses yang melibatkan penguraian mikroorganisme dari bahan organik tanpa adanya oksigen. Proses ini digunakan untuk keperluan industri atau domestik untuk mengelola limbah atau untuk menghasilkan bahan bakar. Anaerobic digestion ini banyak di manfaatkan di industri kertas dan perkayuan, karena tingkat permintaan COD yang tinggi dari air limbah, keberadaan pati yang mudah dicerna, serta tingginya toxic. Anaerobic digestion dapat mempengaruhi kebutuhan oksigen kimia 58-90%. Teknologi ini dapat bersaing dengan sistem aerobik, terutama untuk mengolah air limbah industri dan limbah padat organik dengan muatan organik tinggi.

Penggunaan anaerobic digestion ini dapat membantu pada pengelolaan limbah industri seperti pada pengolahan

limbah makanan, wastewater treatment menjadi sumber energi terbarukan seperti biogas, biofertilizer. Pada proses produksi biogas dari limbah seperti limbah kotoran hewan (manure), teknologi anaerobic digestion banyak digunakan. Saat bakteri “bekerja,” dapat menghasilkan biogas. Biogas yang dihasilkan sebagian besar terbuat dari metana, komponen utama gas alam. Komponen non-metana dari biogas dihilangkan sehingga metana dapat digunakan sebagai sumber energi. Secara umum, semakin “mudah dicerna” bahan organik, semakin banyak biogas yang bisa diproduksi. Co-digestion terjadi ketika pencernaan anaerob digunakan untuk memecah beberapa jenis sampah organik dalam satu digester anaerob. Limbah organik yang dapat digunakan dalam co-digestion dengan kotoran termasuk limbah makanan restoran atau kafetaria; limbah atau produk samping pengolahan makanan; lemak, minyak dan lemak dari perangkap minyak restoran; tanaman energi; dan sisa tanaman. Co-digestion dapat meningkatkan produksi biogas dari limbah organik hasil rendah atau sulit dicerna. Diagram dibawah ini menggambarkan elemen-elemen dari sistem produksi biogas (Gambar 5.9).



Gambar 5.9. Elemen-elemen pada produksi biogas (sumber: <https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work>)

Anaerobic digestion memiliki empat tahapan yakni:

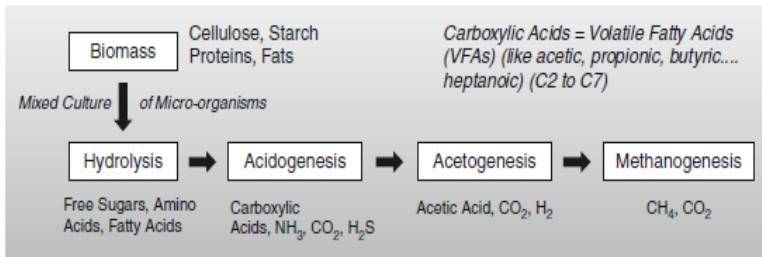
- Hydrolysis
- Acidogenesis
- Acetogenesis
- Methanogenesis

- # Pada tahap pertama (hidrolisis), molekul organik kompleks dipecah menjadi gula sederhana, asam amino, dan asam lemak dengan penambahan gugus hidroksil.
- # Pada tahap kedua (acidogenesis), asam lemak volatil (misalnya asetat, propionat, butirrat, valerik) terbentuk bersama dengan amonia, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida.
- # Pada tahap ketiga (acetogenesis), molekul sederhana dari acidogenesis selanjutnya dicerna untuk menghasilkan karbon dioksida, hidrogen, dan asam organik, terutama asam asetat.
- # Pada tahap keempat (methanogenesis), asam organik dikonversi menjadi metana, karbon dioksida, dan air.

Anaerobic digestion dapat dilakukan baik dalam kondisi basah atau kering. Dry digestion memiliki kandungan padatan 30% atau lebih dan wet digestion memiliki kandungan padatan 15% atau kurang. Baik operasi batch atau digester kontinu dapat digunakan. Dalam operasi yang berkelanjutan, ada produksi biogas yang konstan; sementara operasi batch dapat dianggap lebih sederhana, produksi biogas bervariasi. Proses standar untuk pencernaan anaerobik dari limbah selulosa menjadi biogas (65% methane - 35% CO₂) menggunakan kultur campuran bakteri mesofilik atau termofilik. Kultur campuran fungsi bakteri mesofilik paling baik pada 37-41 °C dan kultur termofilik paling baik berfungsi pada 50–52 °C untuk produksi biogas.

Gambar 5.10 di bawah ini menunjukkan proses sederhana anaerobic digestion. Ada dua produk sampingan dari anaerobic digestion proses yakni: acidogenik mencerna dan mencerna

metanogenik. Acidogenic digestate adalah bahan organik yang stabil yang sebagian besar terdiri dari lignin dan kitin menyerupai kompos domestik, dan dapat digunakan sebagai kompos atau untuk membuat produk bangunan kelas rendah seperti papan serat. Methanogenesis digestik adalah cairan yang kaya akan nutrisi, dan dapat digunakan sebagai fertiliser akan tetapi biasanya mengandung logam berat beracun atau bahan organik sistesi dengan konsentrasi yang rendah seperti pestisida atau PCBs tergantung pada sumber biofeedstock yang mengalami anaerobic digestions.



Gambar 5.10. Proses anaerobic digestions

Keuntungan dari anaerobic digestion:

- 1. Mengurangi Dampak Pemanasan Global.** Pemanfaatan biogas dari anaerobic digestion secara signifikan mengurangi dampak pemanasan global. Tanpa proses anaerobic digestion, gas metana yang ada dalam limbah organik akan dilepaskan ke atmosfer melalui dekomposisi alami. Metana memiliki dampak iklim yang jauh lebih kuat daripada CO₂ - hingga 84 kali lebih banyak.

2. **Proses Positif Energi.** Anaerobic digestion adalah proses produksi energi bersih. Hanya sebagian kecil dari energi yang dihasilkan digunakan untuk mendukung proses anaerobic digestion. Kelebihan energi dapat dimanfaatkan secara lokal atau terhubung ke jaringan listrik lokal.
3. **Konsistensi Operasi.** Anaerobic digestion adalah proses stabil dan konsisten yang tidak terpengaruh oleh cahaya atau hari yang tidak berangin. Pabrik 1.000 kw anaerobic digestion biasanya akan beroperasi pada 1.000 kw untuk 90% tahun ini.

C. Chemical Conversion

1. Transesterifikasi

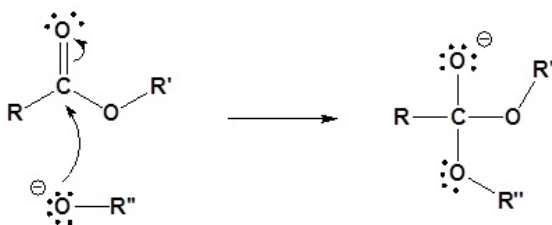
Dalam proses konversi biomassa, transesterifikasi mengacu pada reaksi alkohol dengan minyak alami yang mengandung trigliserida untuk menghasilkan ester monoalkil dan gliserol. Reaksi transesterifikasi adalah reaksi pertukaran gugus organik R^1 suatu ester dengan gugus organik R^2 suatu alkohol. Reaksi ini sering dikatalisasi dengan penambahan katalis asam atau basa. Reaksi dapat diselesaikan dengan bantuan enzim (biokatalis) khususnya lipase.

Asam kuat mengkatalisasi reaksi dengan mendonasikan sebuah proton pada gugus karbonil, sehingga membuatnya menjadi elektrofil kuat. Sedangkan katalis basa mengkatalisis reaksi dengan melepaskan sebuah proton dari alkohol, sehingga menjadikannya nukleofilik.

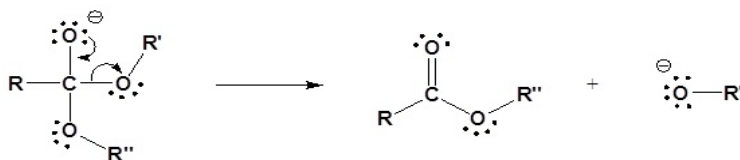
Mekanisme reaksi pada transesterifikasi adalah karbon karbonil dari ester awal (RCOOR^1) mengalami serangan nukleofilik oleh alkoksida (R^2O^-) untuk menghasilkan intermediet tetrahedral, yang bisa saja berubah menjadi bahan awal (reaktan) maupun produk reaksi (RCOOR^2). Bebbagai spesies yang ada dalam kesetimbangan, dan distribusi produk tergantung pada energy relative dari reaktan dan produk.

Mekanisme basa:

- a. Nukleofil \rightarrow alkoksida

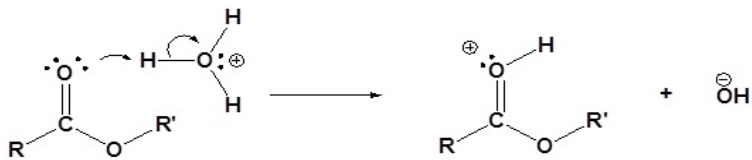


- b. Pelepasan gugus pergi

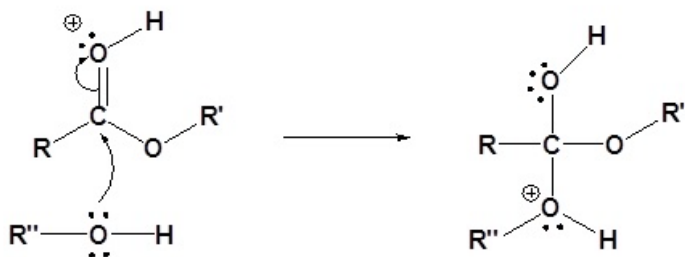


Mekanisme asam:

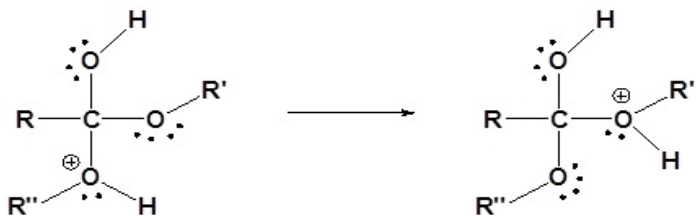
- a. Protonasi karbonil oleh asam, karbonil diaktifasi terhadap \rightarrow nukleofil



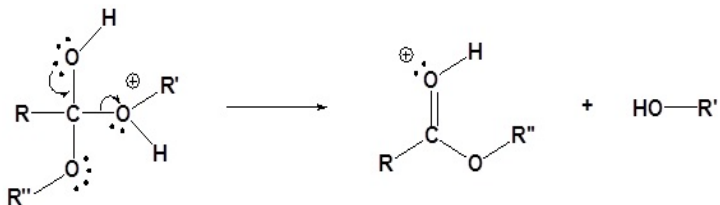
b. Nukleofil menyerang karbonil



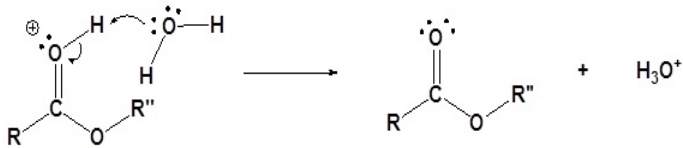
c. Transfer proton



d. Pelepasan gugus pergi

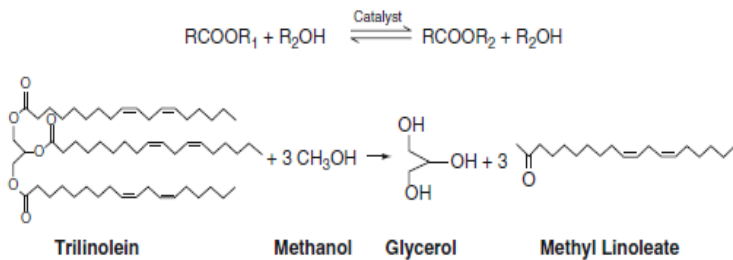


e. Deprotonasi



Karena kedua reaktan dan produk adalah ester dan alkohol, reaksi bersifat reversibel (dapat balik) dan konstanta kesetimbangan nilainya mendekati satu.

Reaksi umum transesterifikasi pada trilinolein representatif dari triglyceride dan methanol menjadi bagian dari alkohol (Gambar 5.11).



Gambar 5.11. Reaksi umum transesterifikasi (contoh pada RCOOR_1 sebagai trilinolein dan R_2OH sebagai methanol) (sumber: Anthony, 2016)

2. Biodiesel dari Proses Transesterifikasi

Indonesia merupakan salah satu negara dengan pertumbuhan konsumsi energi cukup tinggi di dunia, yaitu sekitar 7% per tahun. Konsumsi energi Indonesia tersebut terbagi untuk sektor

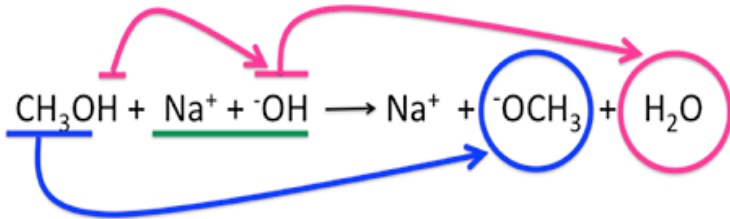
industri (50%), transportasi (34%), rumah tangga (12%) dan komersial (4%). Konsumsi energi Indonesia yang cukup tinggi tersebut hampir 95% dipenuhi dari bahan bakar fosil. Dari total tersebut, hampir 50%-nya merupakan Bahan Bakar Minyak (BBM). Konsumsi BBM yang cukup tinggi ini menjadi masalah bagi Indonesia. Biodiesel adalah salah satu upaya pengurangan penggunaan fosil fuel. Biodiesel terbentuk dari bahan baku minyak nabati atau lemak hewani yang mengandung monoalkil ester dari rantai panjang asam-asam lemak jenuh maupun tidak jenuh. Dewasa ini minyak nabati lebih sering digunakan sebagai bahan baku biodiesel dibandingkan dengan lemak hewani. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas yang tergantung pada kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Dalam proses pembuatan biodiesel (FAME) melalui reaksi transesterifikasi dapat berlangsung melalui empat langkah yakni:

- a. Langkah pertama, mencampurkan alkohol untuk reaksi dengan katalis, biasanya basa kuat seperti NaOH atau KOH.
- b. Langkah selanjutnya, alkohol/katalis kemudian direaksikan dengan asam lemak sehingga reaksi transesterifikasi dapat berlangsung.

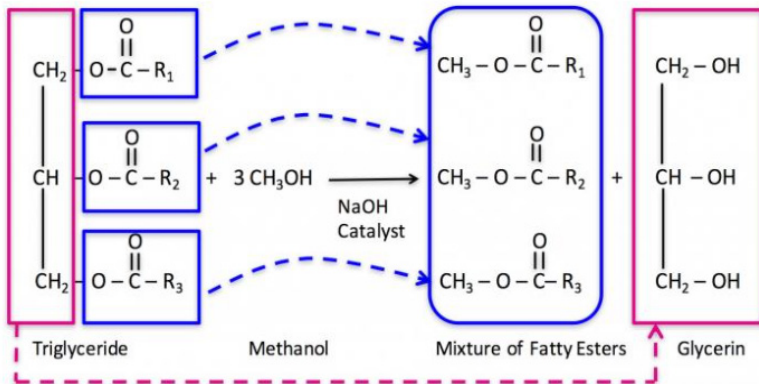
Gambar 5.12 menunjukkan formasi dari methoxide dan Gambar 5.13 menunjukkan reaksi transesterifikasi.

Dalam reaksi di bawah ini,

- Methanol dan NaOH (dalam kasus ini) divariasikan. NaOH terpisah menjadi ion pada methanol. OH⁻ bereaksi dengan H untuk membentuk H₂O, dan ⁻OCH₃ bereaksi dengan fatty acid.



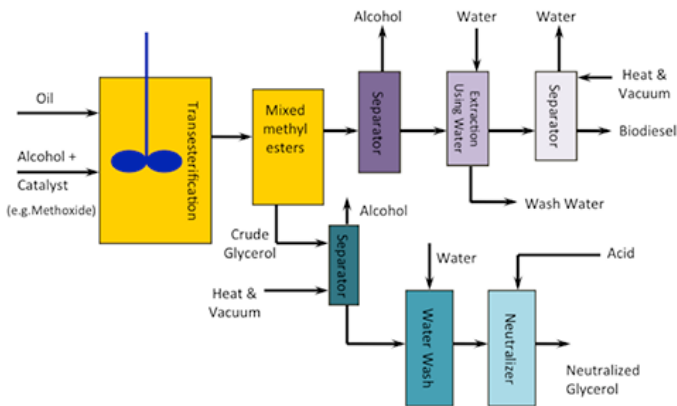
Gambar 5.12. Formasi dari methoxide



Gambar 5.13. Reaksi transesterifikasi pada proses pembuatan biodiesel

Pada proses pembuatan biodiesel, Gliserol terbentuk dan harus dipisahkan dari biodiesel. Gliserol dan biodiesel harus dihilangkan dan didaur ulang dalam prosesnya. Air ditambahkan ke biodiesel dan gliserol untuk menghilangkan produk samping

yang tidak diinginkan, terutama gliserol, yang mungkin tersisa dalam biodiesel. Air pencuci dipisahkan mirip dengan ekstraksi pelarut (mengandung beberapa gliserol), dan air jejak diuapkan keluar dari biodiesel. Asam ditambahkan ke gliserol untuk memberikan gliserol yang dinetralkan. Skema singkat proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi dapat di lihat pada gambar 5.14 di bawah ini:



Gambar 5.14. Skematik produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi (sumber: <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/684>)

BAB 6

-NOVEL TECHNOLOGY- KONVERSI BIOMASSA

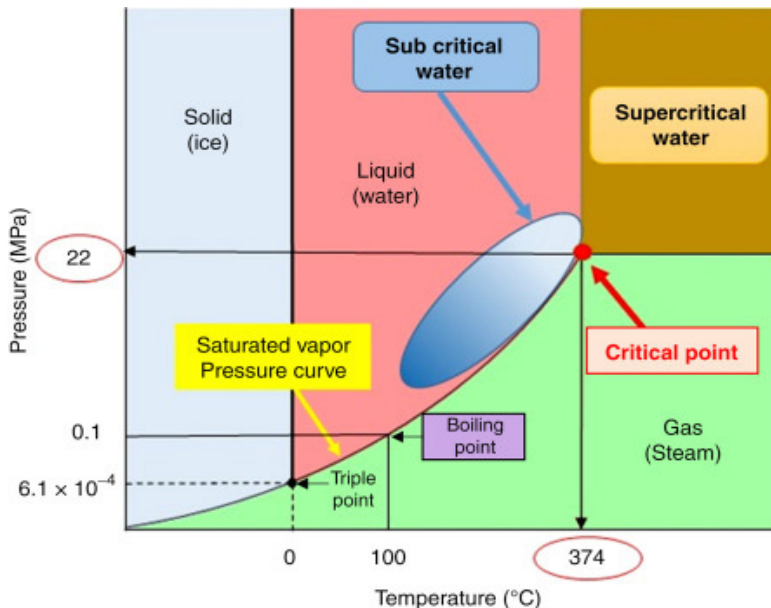
Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, banyak para peneliti mengembangkan teknologi alternative baru dalam pengkonversian biomassa menjadi sumber energy terbarukan. Teknologi-teknologi ini tentunya mempertimbangan beberapa aspek penting seperti lingkungan, ekonomi dan tentunya produksi hasil yang maksimal.

A. Supercritical Water Gasification (SCWG)

Teknologi supercritical water gasification ini dianggap sebagai salah satu pendekatan terbaik yang potensial untuk produksi hidrogen sebagai pembawa energi yang bersih dan terbarukan. Berbagai bahan baku baik itu terbarukan dan tidak terbarukan dapat dikonversi secara efektif dalam air superkritis. Teknologi ini cocok untuk biomassa basah dan limbah organik. Teknologi ini memanfaatkan sejumlah besar air dalam biomassa dengan menggunakan air sebagai media reaksi, menghilangkan langkah pengeringan bahan baku yang mahal. Air superkritis memiliki konstanta dielektrik rendah yang dekat dengan senyawa organik. Reaksi organik di bawah air superkritis, karenanya, menjadi lebih homogen, menghasilkan laju reaksi yang lebih

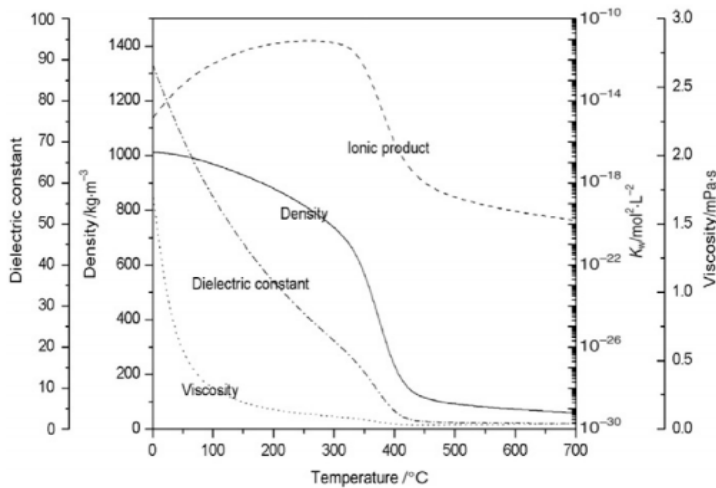
tinggi. Kondisi radikal bebas air superkritis juga meningkatkan pembentukan gas, yang mengarah pada hasil gas yang tinggi. Dibandingkan dengan gasifikasi kering konvensional, SCWG menghasilkan jumlah bahan tar dan arang yang lebih rendah sebagai produk sampingan, karena kelarutan dan reaktivitas senyawa organik yang lebih tinggi dalam air superkritis. Namun demikian, karena tar dan arang sulit untuk diminyaki, dan bertindak sebagai pengering untuk mencapai gasifikasi lengkap. Teknologi ini menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi. Biomassa dengan kandungan air tinggi lebih dari 80% dapat digunakan sebagai bahan baku. Di atas temperatur kritis air $T=374.12^{\circ}\text{C}$ dan tekanan $P=22.1\text{ MPa}$, air mencapai kondisi superkritis. Pada kondisi ini tidak dapat dibedakan antara fase gas dan cair. Sifat-sifat cairan dan fase gas diselaraskan pada titik kritis sehingga hanya satu fase yang ada. Air superkritis memiliki kerapatan air cair ($0,3\text{ g / cm}^3$ pada titik kritis) dan viskositas uap air (misalnya, $49 \cdot 10^{-6}\text{ Pa s}$ pada 375°C dan $22,5\text{ MPa}$). Selain itu, air superkritis memiliki struktur yang berubah dengan molekul air polar yang terpisah sesuai dengan penurunan konstanta dielektrik. Dengan konstanta dielektrik yang lebih rendah, kelarutan zat kutub organik meningkat dan kelarutan zat ion anorganik berkurang. Dengan demikian, air superkritis memiliki sifat unik sebagai pelarut. Kelarutan bahan organik dan gas meningkat secara signifikan dan bahan yang tidak larut dalam air atau uap air dapat larut, sedangkan kelarutan bahan anorganik menurun. Untuk gasifikasi biomassa, air superkritis juga merupakan reaktan aktif yang menghasilkan hidrogen yang tinggi.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa gasifikasi air superkritis dioperasikan pada suhu 500-700°C tanpa katalis, dan 350-500°C dengan katalis. Proses gasifikasi air superkritis (SCWG) berbeda dengan proses gasifikasi konvensional tidak memerlukan pengeringan biomassa, dan lebih tepatnya, proses ini menggunakan uap air dan air eksternal dalam reaksi. Untuk memahami lebih lanjut tentang gasifikasi air superkritis (SCWG), sifat-sifat air perlu dipahami dengan baik. Wilayah air superkritis membutuhkan suhu tinggi ($> 374.1 \text{ }^\circ\text{C}$) dan tekanan 22.1 MPa, rinciannya disajikan pada Gambar. 6.1 di bawah ini.



Gambar 6.1. Diagram fase air (Sumber: Amrullah, 2019 Doctoral Thesis “Supercritical water gasification of sewage sludge with phosphorus recovery”)

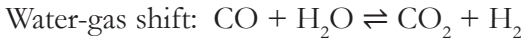
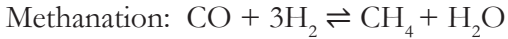
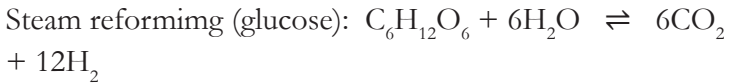
Gasifikasi air superkritis (SCWG) memiliki kemampuan eksklusif untuk mengatasi hambatan dalam gasifikasi konvensional. Karena sifat unik air pada keadaan superkritis (yaitu, suhu dan tekanan lebih tinggi dari 347 °C dan 22,1 MPa, masing-masing), kinetika yang sangat cepat dapat dicapai, sehingga menghindari pembentukan tar dan arang dan secara signifikan meningkatkan kualitas gas produk. Variasi beberapa sifat air dalam kondisi superkritis pada 25 MPa ditunjukkan pada Gambar. 6.2.



Gambar 6.2. Diagram fase air (Sumber: Amrullah, 2019 Doctoral Thesis “Supercritical water gasification of sewage sludge with phosphorus recovery”)

Mempertimbangkan medium reaksi, air superkritis adalah media reaksi unggul untuk biomassa basah atau bahan organik. Efisiensi panas tinggi dan gas produksi tercapai pada kondisi

ini (suhu dan tekanan tinggi). Reaksi sederhana dalam SCWG ditunjukkan pada reaksi di bawah ini:



1. Variabel penentu pada proses SCWG

a. Temperatur reaksi

Temperatur memainkan peran penting pada reaksi karena perubahan sifat air dengan temperatur akan memberikan pengaruh yang signifikan. Pada temperatur tinggi gas yang dihasilkan akan lebih dominan. Pada temperatur rendah (350°C) proses dehidrasi akan lebih dominan.

b. Tekanan pada proses reaksi

Dari literatur yang dilakukan, dalam proses SCWG, ditetapkan bahwa efek tekanan tidak mempengaruhi efisiensi gasifikasi dan karbon gasifikasi. Dalam hal reaksi, perubahan tekanan mengarah pada nilai sifat fisik air, seperti konstanta dielektrik, produk ion, dan kepadatan air. Tekanan yang meningkat, reaksi radikal bebas tertahan dan laju reaksi ion meningkat. Oleh karena itu, laju hidrolisis juga meningkat ketika dengan meningkatnya tekanan.

c. Waktu tunggu (*residence time*)

Waktu tunggu atau residence time sangatlah berpengaruh pada SCWG. Effisiensi pada proses gasifikasi dengan metode superkritis akan tercapai pada waktu tunggu yang pendek karena ini sesuai dengan propertis dari air dikondisi superkritis. Akan tetapi jika konsentrasi dari bahan baku tinggi akan memicu munculnya tar dan char pada proses gasifikasi dengan waktu tunggu yang pendek.

d. Konsentrasi dari bahan baku

Pada kondisi ini, konsentrasi dari bahan baku akan mempengaruhi produksi gas pada proses gasifikasi dan menurunkan gasifikasi effisiensi.

e. Katalis

Pada proses SCWG, penambahan katalis akan membantu pada pengurangan jumlah tar dan terkonversi menjad gas methane dan hidrogen.

f. Rate pemanasan (*heating rate*)

Pemanasan cepat akan meningkatkan dan mempercepat proses gasifikasi biomassa, serta meningkatkan decarboxylation dan formasi acetic acid.

B. Plasma gasification

Gasifikasi plasma adalah teknologi yang baru dan dapat memproses limbah TPA dengan mendaur ulang komoditas dan mengubah bahan berbasis karbon menjadi bahan bakar.

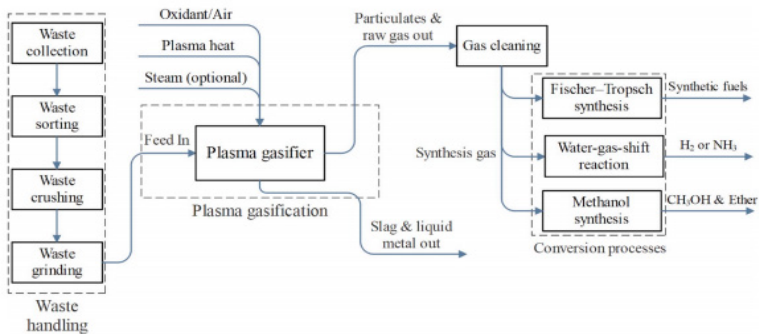
Gasifikasi plasma mengacu pada penggunaan plasma torches sebagai sumber panas, berbeda dengan api dan tungku konvensional. Plasma torches memiliki keuntungan sebagai salah satu sumber panas paling kuat yang tersedia sementara relatif mudah dioperasikan. Plasma adalah kolom superheated gas konduktif elektrik. Di alam, plasma ditemukan di petir dan di permukaan matahari. Plasma torches terbakar pada suhu yang mendekati 5500°C (10.000F) dan dapat menghancurkan semua material yang ditemukan di bumi dengan pengecualian limbah nuklir. Gasifikasi plasma dari MSW menghasilkan tiga keluaran yang berharga dan aman bagi lingkungan, termasuk syngas, logam dan batu kaca. Gasifikasi plasma sangat efektif sehingga bahkan digunakan untuk membuat inert senjata kimia berbahaya. Selain MSW, gasifikasi plasma cocok untuk mengkonversi bahan dari biomassa, limbah berbahaya kimia, dan limbah biologis, yang semuanya menimbulkan masalah lingkungan. Sebagai proses konversi termokimia, tujuan gasifikasi plasma adalah untuk memecah bahan organik menjadi elemen dasar dan kemudian mengkonversinya sebagai produk gas yang bermanfaat, melelehkan dan memulihkan logam, dan memulihkan segala sesuatu yang lain dalam matriks berbatu yang divitrifikasi. Beberapa keuntungan dalam penggunaan plasma gasifikasi adalah:

1. Menghasilkan sejumlah besar energi dari limbah
2. Bahan baku dapat bervariasi dan dicampur seperti limbah padat kota, biomassa, karet, limbah berbahaya, dan limbah dari proses penghancuran otomatis.
3. Tidak menghasilkan methane dan gas rumah kaca yang kuat.

4. Tidak menghasilkan abu yang dapat menyebabkan polusi karena tidak ada proses pembakaran yang terjadi.
5. Mengurangi penimbunan limbah
6. Menghasilkan syngas yang dapat dibakar dalam turbin gas atau mesin untuk menghasilkan listrik atau diproses lebih lanjut menjadi bahan kimia, pupuk, atau bahan bakar transportasi.
7. Ramah lingkungan.

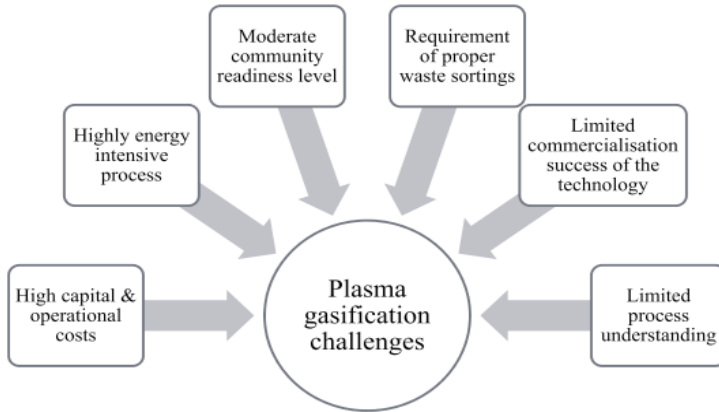
Dalam perkembangannya, plasma gasifikasi banyak diaplikasikan pada proses pengolahan limbah perkotaan. Sebagian besar produk akhir dalam pengkonversian limbah perkotaan (Municipal Solid Waste) adalah synthetics fuels, H_2 dan NH_3 atau CH_3OH .

Salah satu proses pengkonversian limbah perkotaan menjadi produk gas bersih dengan menggunakan metode plasma gasifikasi dapat dilihat pada gambar 6.3 berikut ini:



Gambar 6.3 Skematik dari plasma gasifikasi (sumber: Munir et al., 2019)

Tidak semudah yang dibayangkan, tentunya setiap metode akan memiliki kelebihan dan kekurangan. Penggunaan teknologi plasma gasifikasi ini tentunya memiliki banyak tantangan baik itu dari aspek sosial, ekonomi dan lainnya. Teknologi ini membutuhkan energi yang tinggi dalam prosesnya karena akan beroperasi pada temperatur yang ekstrim. Membutuhkan banyak kalor atau panas untuk melakukan proses peleburan biomassa. Hal ini berarti kebutuhan listrik yang digunakan cukup tinggi, sehingga berakibat kepada pelonjakan biaya. Teknologi ini tentunya membutuhkan perawatan ekstra karena melibatkan peralatan-peralatan yang cukup sensitive dengan keakurasian yang cukup tinggi. Gasifikasi plasma membutuhkan penyortiran yang cukup dari biomassa yang digunakan, karena limbah yang disortir dengan buruk dapat mempengaruhi produksi gas sintesis dan dapat merusak lapisan refraktori gasifier plasma. Lebih lanjut, limbah basah dapat mempengaruhi hasil gas sintesis dan membutuhkan lebih banyak energi untuk diproses, dibandingkan dengan limbah kering. Secara singkat beberapa tantangan terkait dengan penggunaan teknologi ini dipaparkan dalam skema singkat pada gambar 6.4 di bawah ini:



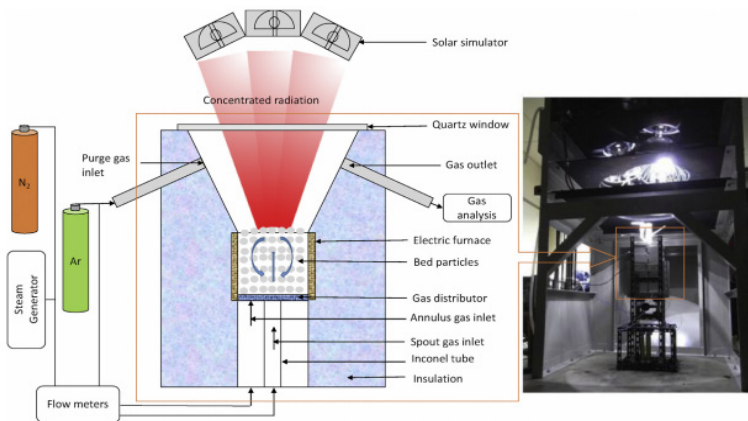
Gambar 6.4. Beberapa tantangan penggunaan plasma gasifikasi (sumber: Munir et al., 2019)

C. Solar Gasification

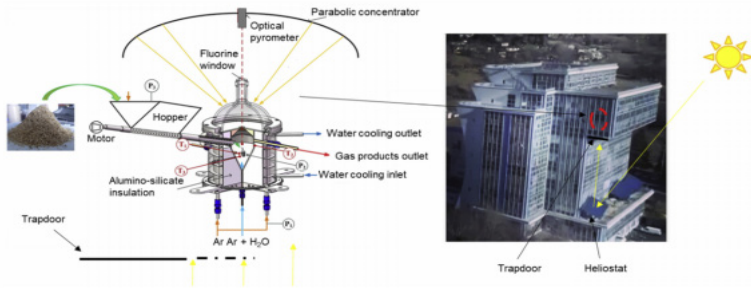
Mengingat pentingnya bahan baku padat karbon di masa depan seperti batubara, kokas, biomassa, bitumen, dan limbah yang mengandung karbon untuk industri tenaga dan kimia, teknologi gasifikasi untuk konversi termokimia menjadi bahan bakar fluida berkembang pesat. Gasifikasi yang digerakkan oleh matahari, di mana radiasi matahari terkonsentrasi dipasok sebagai sumber energi dari proses panas suhu tinggi untuk reaksi endotermik, menawarkan alternatif yang menarik untuk proses autotermal konvensional. Ini memiliki potensi untuk menghasilkan gas sintesis berkualitas tinggi dengan output yang lebih tinggi per unit bahan baku dan emisi CO₂ spesifik yang lebih rendah, karena nilai kalor bahan baku ditingkatkan melalui

input energi surya dengan jumlah yang sama dengan perubahan entalpi dari reaksi.

Solar gasifikasi adalah salah satu teknik yang menjanjikan untuk mengubah bahan berkarbon menjadi bahan bakar kimia bersih, yang menawarkan keuntungan karena dapat diangkut dan disimpan untuk waktu yang lama. Beberapa peneliti telah banyak menggunakan teknologi ini, karena dianggap memiliki keuntungan sendiri dengan memanfaatkan sinar matahari yang berlimpah. Beberapa skema dan gambaran penggunaan solar gasifikasi dari penelitain terdahulu.



Gambar 6.5 Solar gasifikasi tipe fluidized bed reaktor
(sumber: Bellan et al., 2018)



Gambar 6.6. Solar gasifikasi vertikal aksis parabolic (sumber: Boujjat et al., 2020)

D. Hydrothermal Treatment

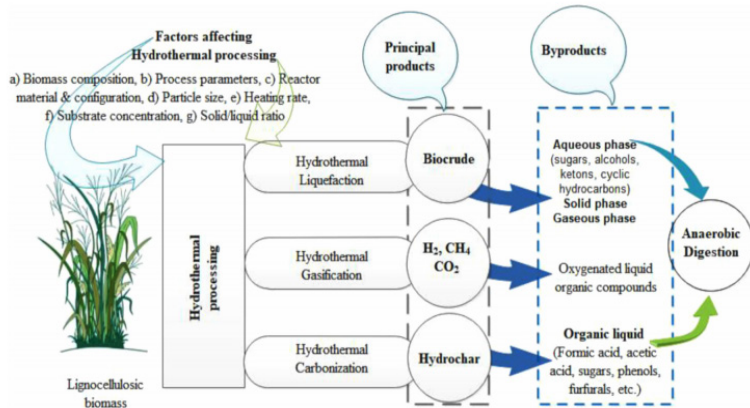
Teknologi ini telah banyak diimplementasikan untuk pretreatment biomassa, baik untuk biomassa lignoselulosa atau biomassa laut. Hal ini terutama disebabkan oleh sudut pandang ekonomi, di mana prosesnya yang umum dengan biaya yang relatif rendah dan efektif. Pada proses ini air bertindak sebagai pelarut dan tentunya akan lebih murah dibandingkan dengan pelarut kimia, sehingga dianggap sebagai proses yang ramah lingkungan. Selain itu, dalam proses ini tidak melibatkan bahan kimia yang keras sehingga peralatan akan memiliki permasalahan korosi yang rendah. Pada dasarnya, proses hidrotermal dilakukan pada suhu dan tekanan tinggi, di mana air sebagai media reaksi tetap dalam keadaan cair. Pada kondisi ini, ikatan hidrogen dalam biomassa mulai melemah akibatnya mempromosikan autoionisasi air menjadi ion hidronium (H_3O^+) dan ion hidroksida (OH^-)

Beberapa parameter penting yang berpengaruh pada hasil produk dari teknologi ini adalah temperatur reaksi, waktu tinggal

(residence time), dan rasio padat terhadap cair. Dalam kondisi ekstrem, reaksi yang mungkin tidak diinginkan terjadi ketika produk yang diinginkan terdekomposisi lebih lanjut. Dengan demikian, kondisi operasi yang tepat diperlukan untuk pemulihan produk target. Karena itu, studi kinetika pada dasarnya penting untuk menghindari reaksi yang tidak perlu. Secara praktis, teknologi hidrotermal adalah metode yang tepat untuk treatment biomassa yang umumnya mengandung jumlah air yang tinggi. Ini karena, prosesnya sendiri menggunakan air sebagai media reaksi, dan karenanya tidak memerlukan proses pengeringan untuk bahan baku basah. Selain itu, di bawah kondisi hidrotermal, air bertindak sebagai pelarut yang sangat baik dan mendukung konversi biomassa basah menjadi biofuel.

HT ini biasanya berada pada temperatur 250-374°C dan variasi tekanan antara 4–22 MPa. Ini merupakan salah satu thermochemical conversion teknologi dengan produk akhir yakni biofuel atau bahan kimia yang bernilai jual.

Proses HT sendiri dibagi menjadi tiga kategori yakni hydrothermal liquefaction, hydrothermal gasification, dan hydrothermal carbonization seperti yang di tunjukkan pada gambar 6.7 di bawah ini.



Gambar. 6.7 Kategori proses hidrotermal (sumber: Ahmad et al., 2018)

Dari beberapa uraian terkait dengan *-novel technology-* konversi biomassa, dapat ditarik kesimpulan bahwa pemilihan jenis teknologi yang akan digunakan harus mempertimbangkan beberapa hal yakni:

1. Karakteristik dari biomassa itu sendiri, dengan memperhatikan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku.
2. Tujuan akhir yang akan dicapai dari proses tersebut.
3. Pertimbangan ekonomi.
4. Pertimbangan dampak lingkungan jika salah satu teknologi tersebut di gunakan.
5. Pertimbangan waktu dan energi konsumsi dari masing-masing teknologi.

6. Kesesuaian dengan kondisi dan ketersediaan peralatan percobaan dan pengujian di masing-masing tempat.
7. Ketersediaan tenaga ahli dan *supporting financial*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. and Made, I.G. (2008). Lahan Gambut : Lahan Gambut : Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan.
- Ahmad, F., Silva, E.L. and Varesche, M.B.A. (2018). “Hydrothermal processing of biomass for anaerobic digestion – A review:” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd Vol. 98, No. December 2017, pp. 108–124.
- Anthony, E.J. Ben (2016). Oxy-fuel firing technology for power generation.
- Arora, A., Nandal, P., Singh, J. and Verma, M.L. (2020). “Materials Science for Energy Technologies Nanobiotechnological advancements in lignocellulosic biomass pretreatment:” *Materials Science for Energy Technologies*, KeAi Communications Co., Ltd Vol. 3, pp. 308–318.
- Bantuan, P., Asia, K. and Pertanian, K. “Buku Panduan Biomassa Asia Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa The Japan Institute of Energy:”
- Bellan, S., Gokon, N., Matsubara, K., Cho, H.S. and Kodama, T. (2018). “Numerical and experimental study on granular flow and heat transfer characteristics of directly-irradiated fluidized bed reactor for solar gasification:” *International Journal of Hydrogen Energy*, Elsevier Ltd Vol. 43, No. 34, pp. 16443–16457.
- Boujjat, H., Yuki Junior, G.M., Rodat, S. and Abanades, S. (2020). “Dynamic simulation and control of solar biomass gasification for hydrogen-rich syngas production during

- allothermal and hybrid solar/autothermal operation:” *International Journal of Hydrogen Energy*, No. xxxx, pp. 1–11.
- Cuellar-bermudez, S.P., Garcia-perez, J.S., Rittmann, B.E. and Parra-saldivar, R. (2020). “Photosynthetic bioenergy utilizing CO₂: an approach on flue gases utilization for third generation biofuels:” *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd Vol. 98, No. 2015, pp. 53–65.
- Dhir, B. (2013). Phytoremediation [electronic resource] : role of aquatic plants in environmental clean-up / Bhupinder Dhir.
- Dutta, K., Daverey, A. and Lin, J. (2014). “Evolution retrospective for alternative fuels : First to fourth generation:” *Renewable Energy*, Elsevier Ltd Vol. 69, pp. 114–122.
- Efficiency, E. (2010). “Biomass: Multi-year program plan:” *Biomass: Energy Data, Multi-Year Plan and Legislative Definitions*, pp. 221–430.
- Energy, B., Hierarchy, R. and Fuels, A. (1992). “Biomass Characteristics:” No. Figure 1, pp. 1–2.
- Giesen, W. and Sukotjo (2018). “Lake Kerinci & Wetlands of Kerinci Seblat National Park, Sumatra:” No. October 1991.
- Hawkins, G.B. “Biofuels Issues , Trends and:”
- Huang, J., Fang, Y., Chen, H. and Wang, Y. (2003). “Coal Gasification Characteristic in a Pressurized Fluidized Bed:” *Energy and Fuels*, Vol. 17, No. 6, pp. 1474–1479.
- Huber, G.W., Iborra, S. and Corma, A. (2006). “Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering:” *Chemical Reviews*, Vol. 106, No. 9, pp. 4044–4098.
- Karbon, S., Emisi, D.A.N., Lahan, C.O., Dariah, A., Susanti, E. and Agus, F. (2008). “Simpanan karbon dan emisi co₂ lahan gambut:” Vol. 1, pp. 57–72.

- Kelautan, J.I. (2014). “STRUKTUR KOMUNITAS MANGROVEDI KABUPATEN MUNA Mangrove Community Structure in District Muna Rahman, Dewi Yanuarita, Nadiarti Nurdin *: *Torani (Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan)*, Vol. 24, No. 2, pp. 29–36.
- Knight, R.L. (1999). “Critical Review The Use of Treatment Wetlands for Petroleum Industry Effluents:” Vol. 33, No. 7, pp. 973–980.
- Kobayashi, H., Komanoya, T., Guha, S.K., Hara, K. and Fukuoka, A. (2011). “Conversion of cellulose into renewable chemicals by supported metal catalysis:” *Applied Catalysis A: General*, Elsevier B.V. Vol. 409–410, pp. 13–20.
- Kunci, K. “Pendahuluan:”
- Lam, M.K. and Lee, K.T. (2012). “Microalgae biofuels : A critical review of issues , problems and the way forward:” *Biotechnology Advances*, Elsevier Inc. Vol. 30, No. 3, pp. 673–690.
- Latif, N.H.A., Rahim, A.A., Brosse, N. and Hussin, M.H. (2019). “The structural characterization and antioxidant properties of oil palm fronds lignin incorporated with p-hydroxyacetophenone:” *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 130, pp. 947–957.
- Liao, Y., de Beeck, B.O., Thielemans, K., Ennaert, T., Snelders, J., Dusselier, M., Courtin, C.M. and Sels, B.F. (2020). “The role of pretreatment in the catalytic valorization of cellulose:” *Molecular Catalysis*, Elsevier Vol. 487, No. January, p. 110883.
- Mahamadi C. (2012). “Water hyacinth as a biosorbent: A review:” *African Journal of Environmental Science and Technology*, Elsevier Ltd Vol. 5, No. 13, p. 122214.
- Melts, I., Ivask, M., Geetha, M., Takeuchi, K. and Heinsoo, K. (2019). “Combining bioenergy and nature conservation :

- An example in wetlands:” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd Vol. 111, No. August 2018, pp. 293–302.
- Mesin, J., Teknik, F and Hasanuddin, U. (2011). “METE DAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI:”
- Mohan, D., Pittman, C.U. and Steele, P.H. (2006). “Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review:” *Energy and Fuels*, Vol. 20, No. 3, pp. 848–889.
- Munir, M.T., Mardon, I., Al-Zuhair, S., Shawabkeh, A. and Saqib, N.U. (2019). “Plasma gasification of municipal solid waste for waste-to-value processing:” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd Vol. 116, No. October, p. 109461.
- Naik, S.N., Goud, V. V, Rout, P.K. and Dalai, A.K. (2010). “Production of first and second generation biofuels : A comprehensive review:” Vol. 14, pp. 578–597.
- Padban, N., Wang, W., Ye, Z., Bjerle, I. and Odenbrand, I. (2000). “Tar formation in pressurized fluidized bed air gasification of woody biomass:” *Energy and Fuels*, Vol. 14, No. 3, pp. 603–611.
- POTENSI LAHAN GAMBUT INDONESIA UNTUK MENYIMPAN KARBON Ign. Purwanto 1 dan A.Ng. Gintings 2 (2013). Vol. 2, pp. 1–10.
- Press, A.I.N. (2004). “Renewable energy — traditional biomass vs . modern biomass:” Vol. 32, pp. 711–714.
- Rastogi, R.P., Pandey, A., Larroche, C. and Madamwar, D. (2018). “Algal Green Energy – R & D and technological perspectives for biodiesel production Generation Generation:” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd Vol. 82, No. November 2017, pp. 2946–2969.
- Rodionova, M. V, Poudyal, R.S., Tiwari, I. and Voloshin, R.A. (2016). “ScienceDirect Biofuel production : Challenges

- and opportunities:” *International Journal of Hydrogen Energy*, Elsevier Ltd Vol. 42, No. 12, pp. 8450–8461.
- Roth, F.H.& C. “Solid biomass fuels for cooking:”
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S. and Sharma, P.K. (2020). “Review article A review on feedstocks , production processes , and yield for different generations of biodiesel:” *Fuel*, Elsevier Vol. 262, No. July 2019, p. 116553.
- Tezara, C., Siregar, J.P., Lim, H.Y., Fauzi, F.A., Yazdi, M.H., Moey, L.K. and Lim, J.W. (2016). “Factors that affect the mechanical properties of kenaf fiber reinforced polymer: A review:” *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, Vol. 10, No. 2, pp. 2159–2175.
- Warren, M.W., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D. and Kurnianto, S. (2011). “A cost-efficient method to assess carbon stocks in tropical peat soil:” No. November 2016.
- World Energy Resources | 2016 (2016). .
- Wu, S., Vymazal, J. and Brix, H. (2019). “Critical Review : Biogeochemical Networking of Iron in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment:”
- <https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work>
- <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/684>

BIODATA PENULIS



Dr. Eng Apip Amrullah, ST., M.Eng lahir di Lombok Timur tahun 1981. Menempuh pendidikan dasar di Lombok Timur, NTB, periode 1987-1993; Pendidikan menengah pertama dan atas di SMPN 1 dan SMAN 1 Selong, Lombok Timur, NTB, periode 1993-1997 dan 1997-2000. Mendapatkan gelar Sarja di Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta (2000-2005), mendapatkan gelar Master of Engineering di Universitas Gadjah Mada periode 2008-2010, serta memperoleh gelar Doktor of Engineering di Hiroshima University Japan, periode 2016-2019.

Bergabung dengan Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin pada tahun 2012 pada bidang konversi energi, biomassa, gasifikasi superkritis serta hydrothermal treatment.