

TEKNOLOGI PIROLISIS BIOMASSA

“Energi Terbarukan”



Janter P. Simanjuntak
Robert Silaban
Agus Noviar Putra

TEKNOLOGI PIROLISIS

BIOMASSA
Eenergi Terbarukan

Janter P. Simanjuntak

Robert Silaban

Agus Noviar Putra

THE
Character Building
UNIVERSITY



**TEKNOLOGI PIROLISIS
BIOMASSA
Eenergi Terbarukan**

Penulis:

Janter P. Simanjuntak, Robert Silaban, Agus Noviar Putra

**ISBN 978-623-10-0071-2
Tebal: ix + 138 hlm., 21 x 14 cm
2024**

Editor: **Faisal Syah**

Penata Letak: **Nugiana Rayana**

Penata Sampul: **B. Fahrunityah**

Penerbit

**ECHA PROGRES: LEMBAGA PENGEMBANGAN
PROFESIONALISM SDM**

Jalan Kartika Chandra Kirana

BTN Tossore II Ascha 85 Sengkang

Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan

Email: echaprogres@gmail.com

Telp. 0485-2106832

HP/WA 0858 7776 6661

ANGGOTA IKAPI TAHUN 2024

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

*Dilarang memperbanyak isi buku ini dalam bentuk dan dengan cara
apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.*

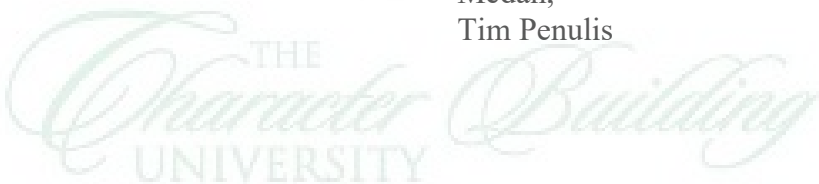
Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya, sehingga Buku Teknologi Pirolisis Biomassa sebagai Energi Terbarukan ini dapat diselesaikan dengan baik.

Buku ini memaparkan tentang Pirolisis dimana proses dekomposisi termokimia bahan organik pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Ini melibatkan perubahan komposisi kimia dan fase fisik secara simultan, dan digunakan dalam berbagai proses industri, seperti produksi arang, biochar, dan bio-oil dari biomassa. Pirolisis juga sedang dieksplorasi sebagai metode untuk mengubah bahan limbah, termasuk sisa pertanian dan sampah plastik, menjadi produk berharga seperti biofuel dan bahan kimia.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat, dan sebagai referensi untuk pengembangan energi terbarukan dari Biomassa, dan juga kami menerima saran dan masukan dari pembaca.

Medan,
Tim Penulis



Daftar Isi

BAB 1 ENERGI

1.1. Energi	1
1.2. Sumber Energi	5
1.2.1. Energi Konvensional	5
1.2.2. Energi Terbarukan	6
1.3. Sumber Energi Terbarukan	9
1.3.1. Energi Matahari	10
1.3.2. Energi Angin	11
1.3.3. Energi Mikrohidro	12
1.3.4. Energi Biomassa	13
1.3.5. Energi Hidrogen	14
1.3.6. Energi Panas Bumi	15
1.3.7. Energi Gelombang Laut	16
1.3.8. Energi Pasang Surut	17
1.4. KEKURANGAN DAN KELEBIHAN ENERGI TERBARUKAN	18

BAB II BIOMASSA

2.1. BIOMASSA	22
2.2. KARAKTERISTIK BIOMASSA	25
2.3. PEMANFAATAN BIOMASSA	26
2.4. POTENSI LIMBAH BIOMASSA SEBAGAI ENERGI	31
2.5. KOMPOSISI BIOMASSA	32
2.5.1. Selulosa	33
2.5.2. Hemiselulosa	34
2.5.3. Lignin	34
2.5.4. Pati	36
2.5.5. Protein	37
2.5.6. Komponen Organik dan Anorganik	38
2.6. KANDUNGAN ENERGI PADA BIOMASSA	38

BAB III KONVERSI BIOMASSA	
3.1. PEMBAKARAN LANGSUNG	44
3.2. KONVERSI TEOKIMIA	51
3.2.1. Combustion (Pembakaran)	52
3.2.2. Gasifikasi	53
3.2.3. Pirolisis	55
3.3. KONVERSI BIOKIMIA	58
3.3.1. Fermantasi	59
3.3.2. Hidrolisis	64
3.3.3. Anaerobic Digestion (Pencernaan Anaerob)	68
BAB IV PIROLISIS	
4.1. PROSES PIROLISIS	71
4.1.1 Prinsip Proses Pirolisis	71
4.1.2. Raksi Dekomposisi pada Proses Pirolisis	89
4.1.3. Parameter yang Mempengaruhi Proses Pirolisis	100
4.2. REAKTOR PIROLISIS	105
4.2.1. Reaktor Pirolisis	105
4.2.2. Kondensor	107
BAB V JENIS dan PRODUK PIROLISIS	
5.1. JENIS PIROLISIS	116
5.1.1. Pirolisis Cepat	116
5.1.2. Pirolisis Vakum	117
5.1.3. Pirolisis Lambat	117
5.2. PRODUK PIROLISIS	118
5.2.1. Asap Cair	119
5.2.2. Arang	126
5.2.3. Gas	131
5.2.4. Tar	132
DAFTAR PUSTAKA	133
BIODATA PENULIS	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Perbandingan Siste Biomassa dan Fosil Siklus Karbon	26
Gambar 2.	Struktur Kimia pada Komponen Biomassa	33
Gambar 3.	Lignin Structure Unit	35
Gambar 4.	Teknologi Konversi Biomassa	42
Gambar 5.	Sistem Pengolahan Kayu menjadi Arang dan Asap Cair	43
Gambar 6.	Rute Konversi energi dari Biomassa secara Termal	51
Gambar 7.	Proses Gasifikasi	55
Gambar 8.	Rumus Excess air	74
Gambar 9.	Substruktur Lignin dan Analisis	92
Gambar 10.	Struktur Kimia dari Jenis Senayawa pada Asap Cair Proses Piorlisis	94
Gambar 11.	Struktur Monemar Gula dalam Hemiselolsa	97
Gambar 12.	Skema Proses Reaksi dari Proses Pirolisis Hemiselulosa	98
Gambar 13.	Rute Dekomposisi Xilan pada Proses Pirolisis Biomassa	99
Gambar 14.	Variasi produk dari Asap Polar dengan jenis Suhu	118
Gambar 15.	Yield Organik dari Bahan Baku yang Berbeda	119
Gambar 16.	Arang hasil Pirolisis	131
Gambar 17.	Tar	132

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Jenis Biomassa dan Rasio Ketersediaan	31
Tabel 2.	Analisis Nilai Kalor	40
Tabel 3.	Komposisi Unsur Khas dan Nilai Kalor	41
Tabel 4.	Jenis – Jenis Pembakaran Biomassa	47
Tabel 5.	Karakteristik Prodik Asap Cair	121



BAB I

ENERGI

1.1. ENERGI

Setiap kegiatan perlu adanya suatu energi, dalam dunia kehidupan manusia membutuhkan untuk bertahan hidup dengan cara mengkonsumsi makanan, kendaraan untuk penggerak membutuhkan suatu bahan bakar, seperti batrai, atau bahan bakar,

Kehidupan sehari – hari untuk mempertahankan hidup membutuhkan suatu energi, energi dapat diperoleh dari makanan, adapun setiap kendaran juga memerlukan suatu energi untuk suatu penggerak

Segala sesuatu yang kita lakukan dalam kehidupan sehari-hari memerlukan energi. Untuk bertahan hidup kita memerlukan energi yang diperoleh dari makanan. Setiap kendaraan memerlukan energi untuk bergerak dan energi tersebut diperoleh dari bahan bakar. Hewan juga membutuhkan energi untuk hidup, sama seperti manusia dan tumbuhan. Energi adalah salah satu konsep terpenting dalam fisika. Salah satu konsep yang sangat erat kaitannya dengan bisnis adalah konsep energi. Secara sederhana, energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Definisi sederhana ini kurang tepat atau kurang valid untuk beberapa jenis energi (misalnya energi panas atau energi cahaya tidak dapat melakukan usaha). Definisi ini hanya bersifat umum. Usaha dilakukan ketika energi dipindahkan dari satu benda ke benda lain. Contoh ini juga menjelaskan salah satu konsep penting dalam ilmu pengetahuan,

yaitu kekekalan energi. Total energi dalam sistem dan lingkungan bersifat abadi alias tetap.

Energi tidak pernah hilang, tetapi hanya dapat berubah bentuk dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Hukum Kekekalan Energi akan kita bahas secara rinci pada pembahasan tersendiri. Energi dalam ilmu fisika merupakan satuan kemampuan untuk melakukan usaha, energi mempunyai beberapa jenis antara lain energi kinetik, termal, listrik, kimia, nuklir dan berbagai bentuk energi lainnya. Satuan energi dalam sistem Internasional adalah "SI" atau disebut joule, yaitu energi yang ditransfer ke suatu benda dengan cara memindahkannya sejauh satu meter melawan gaya satu newton.

Dalam kehidupan kita sehari – hari terdapat banyak jenis-jenis energi, energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja atau menyebabkan perubahan. Energi kimia dalam bahan bakar, seperti bensin dapat membantu kita menggerakkan kendaraan dari satu tempat ketempat lain. energi kimia dalam makanan juga memberikan energi bagi makhluk hidup untuk bertahan hidup dan melakukan aktivitas sehari-hari. energi listrik juga sangat penting dalam kehidupan kita, seperti menonton TV atau menyalakan komputer. Contoh beberapa jenis-jenis energi dalam kehidupan kita. Misalnya, ketika kita menyalakan lampu neon, energi listrik diubah menjadi energi cahaya. ketika kita menggunakan setrika listrik, energi listrik diubah menjadi energi panas. Begitu pula dengan kipas angin, energi listrik diubah menjadi energi gerak. dan ada banyak sekali contoh energi dalam kehidupan.

kita, secara umum energi berguna bagi kita ketika energi bisa berubah bentuk, Misalnya energi listrik berubah menjadi energi mekanik seperti kipas angin, atau energi kimia berubah menjadi energi mekanik seperti mesin kendaraan.

Hukum kekekalan energi mengatakan bahwa energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan, selalu ada jumlah energi yang sama di sana dalam satu bentuk atau yang lainnya. Energi dipendam atau disimpan. Bentuk energi apapun bisa dikonversi menjadi bentuk energi yang lain. Namun, konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya sering sangat tidak efisien. Hal ini berarti ada kehilangan dan energi yang bisa dipakai untuk mengerjakan sesuatu berkurang pada setiap transformasinya. Contohnya pada saat kita makan, maka energi dalam makanan dikonversi oleh tubuh kita sehingga kita bisa menggunakannya untuk bergerak, bernafas dan berpikir. Namun, tubuh kita hanya memiliki efisiensi sebesar 5% dalam menghasilkan energi yang bisa dipakai, sisa energi pada makanan hilang dalam bentuk panas tubuh yang anda rasakan pada saat berolah raga.

Untuk penggunaan energi seperti yang kita ketahui bahwa ada tiga sektor utama energi di mana energi digunakan di Indonesia yaitu :

a. Sektor Industri

Termasuk fasilitas dan peralatan yang digunakan untuk produksi, pertanian, pertambangan, dan konstruksi.

b. Sektor Transfortasi

Terdiri dari kendaraan bermotor yang mengangkut orang dan barang, seperti mobil, truk, sepeda motor, kereta api, pesawat terbang dan kapal.

c. Sektor Komersial / Residensial

Terdiri dari rumah tinggal, bangunan komersial seperti gedung perkantoran bertingkat, pusat perbelanjaan, usaha kecil seperti warung dan industri rumah tangga.

Energi ini kebanyakan dimanfaatkan dalam sektor industri seperti untuk menggerakkan mesin-mesin industri maupun untuk kegiatan industri lainnya. Adanya peningkatan dalam aktivitas industri ini secara otomatis sangat meningkatkan konsumsi energi pada masyarakat yang akhirnya mulai memanfaatkan alam dalam keuntungan pribadi secara berlebihan. Maka sangat diperlukan pengembangan sumber-sumber energi baru untuk mengatasi kebutuhan energi tersebut. Dengan demikian, agar sektor industri dapat berjalan dengan baik sehingga terciptalah pembangunan. Ketersediaan energi sangat diperlukan guna menjamin pembangunan nasional yang berkelanjutan. Selain itu, sektor energi memegang peran sangat penting dalam pembangunan ekonomi yang sangat sering berkelanjutan

1.2. SUMBER ENERGI

Pengurangan penggunaan sumber energi fosil secara konvensional adalah konsekuensi logis penurunan emisi Gas Rumah Kaca. Meski demikian, terlanjur tingginya ketergantungan teknologi terhadap bahan bakar fosil, ditambah masih belum kompetitifnya harga sumber energi terbarukan, menyulitkan berbagai negara, terutama negara dengan kemampuan finansial dan teknologi terbatas (seperti Indonesia), untuk menyatakan sayonara kepada sumber energi fosil. Beberapa skenario yang kemudian dipilih adalah penetrasi bertahap penggunaan sumber energi yang mengemisikan CO₂ neto yang rendah, terutama yang berasal dari sumber energi baru dan terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan implementasi teknologi untuk menangkap dan menyimpan CO₂ di dalam lapisan bumi (Carbon Capture and Storage - CCS). Di bawah ini akan diuraikan kondisi energi di berbagai sektor pengguna energi di Indonesia, serta usulan strategi untuk menjamin pemenuhan kebutuhan energi dengan dampak lingkungan seminimal mungkin. Sumber Energi Ada banyak sumber-sumber energi utama dan digolongkan menjadi dua kelompok besar yang dibahas pada alinea- alinea berikut:

1.2.1. Energi Konvensional

Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.

Sumber – sumber energi konvensional merupakan energi yang belum bisa digantikan dengan waktu yang singkat, perlu adanya suatu pengembangan – pengembangan dalam menghasilkan energi – energi baru yang dapat menggantikan energi konvensional, dalam hal ini energi konvensional merupakan energi yang saat ini dikatakan dapat merusak suatu lingkungan, yang mana menimbulkan polusi udara, air, dan tanah, dengan kata lain dapat menimbulkan penurunan tingkat kesehatan dan standar hidup.

Bahan bakar fosil terbentuk dari sisa-sisa organik tanaman dan hewan, yang mati ribuan tahun lalu dan tetap terkubur dalam pasir dan lumpur. Tahun-tahun berlalu, lapisan pasir dan lumpur kian menumpuk di atasnya dan berubah bentuk menjadi batuan karena panas dan tekanan. Sisa tumbuhan dan hewan yang terkubur di dalamnya berubah menjadi bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil harus diekstraksi dari kedalaman bumi di mana mereka terbentuk.

1.2.2. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini.

Ada beragam jenis energi terbarukan, yaitu seperti Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi

yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat

Penyatuan energi konvensional dan terbarukan dapat menjadi sumber energi sekunder, salah satunya energi listrik yang dapat disatukan dari energi konvensional dan energi sekunder, dimana energi listrik dapat disimpan dan dikeluarkan ketika akan digunakan, dan juga dapat dipindahkan.

Sektor energi adalah salah satu sektor terpenting di Indonesia karena merupakan dasar bagi semua pembangunan lainnya. Ada banyak tantangan yang terkait dengan energi, dan salah satu hal yang menjadi perhatian pemerintah Indonesia adalah bagaimana memperluas jaringan listrik, terutama dengan membangun infrastruktur pasokan listrik ke daerah perdesaan. Masih ada banyak daerah perdesaan yang sering mengalami pemadaman listrik oleh karena infrastruktur yang tidak memadai. Banyak tempat yang tidak memiliki akses terhadap infrastruktur listrik, sehingga masyarakat menggunakan sumber-sumber energi yang mahal dan tidak efisien, seperti lampu minyak tanah dan genset, atau kayu untuk memasak.

Energi terbarukan adalah energi yang pada umumnya sumber daya non fosil yang dapat diperbaharui dan apabila dikelola dengan baik maka sumber dayanya tidak akan habis. Jenis energi terbarukan meliputi biomasa, panas bumi, energi surya, energi hidro, energi angin dan samudera.

Pada tahun 2010, banyak negara telah menyadari pentingnya memanfaatkan sumber-sumber Energi Terbarukan sebagai pengganti energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batubara dan gas yang telah menimbulkan dampak yang sangat merusak terhadap bumi. Dengan semakin menipisnya cadangan sumber energi tidak terbarukan, maka biaya untuk penambangannya akan meningkat, yang berdampak pada meningkatnya harga jual ke masyarakat. Pada saat yang bersamaan, energi tidak terbarukan akan melepaskan emisi karbon ke atmosfer, yang menjadi penyumbang besar terhadap pemanasan global.

Dibanyak daerah pedalaman di Indonesia, solusi energi tidak terbarukan belum tersedia. Karena akses kepada jaringan PLN belum ada ataupun masih sangat terbatas. Daerah pedesaan ini sering menjadi tempat-tempat yang terisolasi dan bergantung kepada pemakaian energi tradisional yang tidak bisa diandalkan, seperti generator yang berbahan bakar minyak, kayu atau tabung LPG sebagai sumber energi yang digunakan untuk memasak, penerangan, serta kebutuhan listrik dasar lainnya. Solusi Energi Terbarukan menjadi jawaban terhadap permintaan kebutuhan pembangunan desa di Indonesia, serta mempromosikan solusi praktis dan berkelanjutan yang bisa langsung diadopsi oleh masyarakat pedesaan yang menjadi prioritas bagi bangsa Indonesia.

Ada banyak alasan mengapa energi terbarukan menjadi pilihan, diantaranya; relatif tidak mahal, bersifat netral karbon, kebanyakan tidak menimbulkan polusi dan semakin mendapatkan dukungan dari berbagai LSM untuk menggantikan solusi energi

tidak terbarukan berbasis bahan bakar minyak. Lebih lanjut, mengimplemantasikan teknologi ini dalam masyarakat pedesaan bisa memberikan peluang kemandirian kepada masyarakat pedesaan untuk mengelola dan mengupayakan kebutuhan energi mereka sendiri beserta solusinya.

Dengan semakin banyaknya penyebarluasan informasi tentang energi terbarukan maka akan memberikan referensi yang berguna kepada masyarakat terutama di daerah pedesaan, karena Teknologi Energi Terbarukan merupakan hal baru bagi kebanyakan daerah pedesaan di Indonesia. Juga kepada pembuat keputusan serta pemangku kepentingan di masyarakat. Juga untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai pilihan energi terbarukan untuk digunakan di berbagai konteks pedesaan di Indonesia. Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Air skala kecil, Tenaga Angin dan Biomassa yang berasal dari berbagai sumber.

Energi terbarukan merupakan sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini.

1.3. SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Energi terbarukan ada beberapa jenis ragam untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan, yang dapat di hasilkan dari limbah – limbah pedesaan, seperti limbah biomassa, kotoran, dan

hewani, yang bisa digunakan untuk menghasilkan energi terbarukan dan dapat digunakan oleh penduduk desa itu sendiri.

Energi terbarukan seperti tenaga angin, biomassa, dan tenaga air suatu teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan suatu energi terbarukan di daerah – daerah terpencil yang mana masih banyaknya terdapat persedian, seperti dari kencangnya angin dikarenakan lokasi pedesaan masih hijau dan belum padatnya gedung – gedung tinggi, banyaknya aliran aliran sungai yang memiliki arus deras dari daerah ketinggian seperti bukit dan gunung, dengan menghasilkan dari arus deras air untuk menghasilkan energi listrik, dan juga dari limbah biomassa yang dapat diolah untuk energi listrik, bahan bakar, dan energi lainnya.

Limbah biomassa merupakan penghasil energi yang paling banyak diperoleh, dimana energi biomassa ini dapat dilakukan suatu treatmen – treatmen untuk menghasilkan suatu energi terbarukan dalam waktu yang singkat untuk proses pengolahannya.

1.3.1. Energi Matahari

Matahari terletak berjuta-juta kilometer dari Bumi (149 juta kilometer) akan tetapi menghasilkan jumlah energi yang luar biasa banyaknya. Energi yang dipancarkan oleh matahari yang mencapai Bumi setiap menit akan cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet kita selama satu tahun, jika bisa ditangkap dengan benar.

Kehidupan sehari – hari yang telah dijalani masih menggunakan energi matahari untuk hal – hal seperti, penjemuran pakaian, dan pengeringan hasil perkebunan. Tenaga matahari

merupakan energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi terbarukan dengan cara mentreatmen sinar matahari dengan menampung hasil panas matahari kemudian dikonversi menjadi tenaga listrik, dimana energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk kebutuhan sehari – hari dalam penggunaan listrik di rumah tangga maupun di Industri.

1.3.2. Energi Angin

Angin bukan hanya pergerakan udara yang biasa, melainkan hasil dari adanya proses konversi atmosfer. Udara hangat memiliki suatu massa jenis yang lebih ringan sehingga cenderung naik ke atas, sedangkan udara yang dingin dan massa jenisnya yang lebih berat akan mengalir kebawah untuk menggantikanya. Pergerakan inilah yang menghasilkan angin. Pemanfaatan angin untuk energi digunakan oleh perahu layar dimana tenaga angin digunakan untuk mendorong layar, memungkinkan perahu melaju tanpa perlu dayung atau mesin, adapun kincir angin juga menggunakan tenaga angin dengan memanfaatkan baling – baling dimana fungsi kincir angin untuk menggiling gandum, memompa air, dan melakukan pekerjaan mekanis lainnya.

Faktor – faktor yang mempengaruhi keefektifan energi angin yaitu kecepatan angin, ketinggian, dan kepadatan udara, dan kekurangan energi angin yaitu sebagai sumber energi terbarukan, energi bersih, dan tidak membutuhkan lahan yang cukup besar, dalam hal penjelasan diatas bahwasanya enegi angin adalah suatu sumber energi terbarukan yang memiliki banyak potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dengan pengembangan

teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi angin dapat menjadi bagian penting dari bauran energi di masa depan.

1.3.3. Energi Mikrohidro

Mikrohidro adalah sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan energi listrik. Kapasitas daya mikrohidro berkisar antara 5 kW hingga 1 MW per unit. Mikrohidro biasanya dibangun di daerah pedesaan yang memiliki sumber air seperti sungai, mata air, atau saluran irigasi dengan ketinggian tertentu. Energi mikrohidro merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki banyak potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah pedesaan. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi mikrohidro dapat menjadi bagian penting dari bauran energi di masa depan.

Energi mikrohidro dihasilkan dari tenaga Air yang mengalir dari hulu ke hilir merupakan energi yang sangat besar. Air merupakan sumber daya terbarukan, yang secara terus menerus tersirkulasi oleh penguapan dan peresapan. Panas matahari menyebabkan air di danau dan lautan menguap untuk membentuk awan. Kemudian air tersebut jatuh kembali ke bumi dalam bentuk hujan dan salju dan mengalir melalui sungai dan aliran lain menuju lautan. Air yang mengalir dapat dijadikan energi untuk memutar kincir yang selanjutnya energi tersebut digunakan untuk proses mekanis industri. Energi aliran air juga dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik melalui turbin dan generator.

1.3.4. Energi Biomassa

Energi biomassa adalah sumber energi terbarukan yang memiliki banyak potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan. Dengan perkembangan teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi biomassa dapat menjadi suatu bagian penting dari bauran energi di masa depan dimana energi biomassa mudah didapatkan dimana dari bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk atau buangan, seperti :

- Tumbuhan : kayu, daun, ranting, batang pohon, rumput, tanaman energi (singkong, jarak, pagar) dan lainnya.
- Limbah Pertanian : Jerami pada, sekam padi, ampas tebu, bagas tebu, kulit buah, dan lainnya.
- Kotoran Ternak : Kotoran sapi, kerbau, kambing, domba, dan lainnya.
- Limbah Perkotaan : Sampah organik seperti sisa makanan, daun kering dan sampah kebun.

Penggunaan energi biomassa ini dapat digunakan sebagai :

- Sumber energi terbarukan : biomassa dapat dijadikan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan karena dapat dipanen kembali secara berkala
- Ramah lingkungan : pembakaran biomassa menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil

- Meningkatkan ketahanan energi : penggunaan energi biomassa dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil impor.

Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan sebagai bahan bakar transportasi. Beberapa contoh proses atau hasil dari biomassa seperti biogas, etanol, biodiesel, arang briket, gasifikasi, pirolisis.

1.3.5. Energi Hidrogen

Hidrogen mempunyai potensi yang luar biasa sebagai bahan bakar dan sumber energi, tetapi teknologi yang dibutuhkan untuk mendukungnya masih dalam tahap-tahap awal. Hidrogen merupakan zat yang berlimpah di bumi. Energi hidrogen memiliki potensi besar untuk menjadi sumber energi yang bersih, berkelanjutan dan efisien dimasa depan. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi hidrogen dapat memainkan peran penting dalam transisi ke energi terbarukan dimana energi hidrogen dihasilkan dari reaksi kimia antara hidrogen dan oksigen. Reaksi ini menghasilkan listrik dan air sebagai produk sampingan.

Hidrogen merupakan unsur paling melimpah di alam semesta, dan dapat ditemukan di air, udara, dan bahan organik hidrogen dapat diproduksi melalui berbagai metode, antara lain :

- Elektrolisis : Proses memisahkan air (H_2O) menjadi Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) dengan bantuan listrik)

- Reforming Gas Alam : Proses mengubah alam (Metana) menjadi hidrogen dan karbon dioksida.
- Pirolisis proses memecah bahan organik seperti biomassa atau sampah menjadi hidrogen dan gas lainnya.

Sebagai contoh, air mengandung dua pertiga hidrogen, tetapi di alam hidrogen dijumpai bersama-sama dengan elemen lain. Sekali terpisah dari elemen lainnya, hidrogen dapat digunakan untuk menggerakkan kendaraan, menggantikan gas alam untuk memasak dan memanaskan, juga untuk menghasilkan energi listrik.

1.3.6. Energi Panas Bumi

Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki banyak potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi panas bumi dapat menjadi bagian penting dari bauran energi di masa depan.

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang sangat besar, dengan perkiraan cadangan sebesar 20.000 MW. Indonesia memanfaatkan energi panas bumi untuk menghasilkan listrik melalui 21 PLTP dengan total kapasitas terpasang sebesar 2.135 MW. Adapun pemanfaatan energi panas bumi yang berasal dari unsur kandungan didalam bumi antara lain :

- Radioaktif : unsur – unsur radioaktif di dalam bumi secara alami mengalami peluruhan dan menghasilkan panas
- Sisa panas pembentukan bumi : bumi terbentuk dari material yang sangat panas, dan sisa panas ini masih terperangkap di dalam bumi hingga saat ini.

- Gaya tarik antar planet : gaya tarik antar planet, terutama antara bumi dan matahari, menghasilkan gesekan yang menghasilkan panas.

Adapun panas bumi yang terkandung dalam perut bumi menghasilkan uap dan air panas yang dapat digunakan untuk memberikan tenaga pada generator dan menghasilkan listrik, atau untuk pemakaian lain seperti pemanasan rumah dan pembangkit daya pada industri. Energi panas bumi dapat diambil dari sumber di bawah tanah dengan pengeboran atau dari sumber lain yang lebih dekat dengan permukaan bumi.

1.3.7. Energi Gelombang Laut

Energi gelombang laut adalah sumber energi terbarukan yang memiliki banyak potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi gelombang laut dapat menjadi bagian penting dari bauran energi di masa depan. Indonesia memiliki potensi energi gelombang laut yang sangat besar, dengan garis pantai sepanjang 91.000 kilometer. Diperkirakan, potensi energi gelombang laut di Indonesia mencapai 47 GW. Saat ini, Indonesia sedang mengembangkan beberapa proyek PLTGL di berbagai daerah, seperti di Bali, Jawa Barat, dan Nusa Tenggara Timur.

Energi gelombang laut merupakan energi yang berasal dari pergerakan naik turun permukaan air laut yang membentuk gelombang. Gelombang laut dapat terjadi karena adanya angin, pergerakan benda di permukaan laut, Gerakan seismic, serta medan

gravitasi bumi dan bulan. Gelombang laut memiliki potensi energi yang sangat besar. Diperkirakan energi gelombang laut di seluruh dunia mencapai 2 miliar terawatt jam/ tahun. Potensi ini jauh lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan energi global saat ini.

Lautan menyediakan banyak bentuk energi terbarukan, dan setiap bentuknya dikendalikan oleh kekuatan tersendiri. Energi dari gelombang lautan dan ombak dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik dan juga tenaga panas dari lautan dapat juga diubah menjadi listrik. Dengan teknologi yang ada sekarang ini, kebanyakan energi dari lautan kurang efektif dalam hal biaya dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang lain, namun tetap saja lautan menyimpan potensi energi yang besar untuk masa depan.

1.3.8. Energi Pasang Surut

Energi pasang surut adalah sumber energi terbarukan yang memiliki banyak potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan dan kebijakan yang tepat, energi pasang surut dapat menjadi bagian penting dari bauran energi di masa depan. Energi pasang surut adalah energi yang berasal dari pergerakan naik turun permukaan air laut akibat gaya gravitasi Bulan dan Matahari. Pergerakan ini menghasilkan pasang dan surut air laut yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi.

Indonesia memiliki potensi energi pasang surut yang cukup besar, dengan garis pantai sepanjang 91.000 kilometer. Diperkirakan, potensi energi pasang surut di Indonesia mencapai

40 GW. Saat ini, Indonesia sedang melakukan penelitian dan pengembangan teknologi untuk memanfaatkan energi pasang surut. Energi pasang surut ini lebih kecil penghasilannya daripada energi gelombang air laut.

Dua kali sehari, air pasang naik dan turun menggerakkan volume air yang sangat banyak saat tingkat air laut naik dan turun di sepanjang garis pantai. Energi air pasang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik seperti halnya listrik tenaga air tetapi dalam skala yang lebih besar. Pada saat air pasang, air bisa ditahan di belakang bendungan. Ketika surut, maka tercipta perbedaan ketinggian air antara air pasang yang ditahan di bendungan dan air laut, dan air laut di belakang bendungan bisa mengalir melalui turbin yang berputar, untuk menghasilkan listrik. Memang tidak mudah membangun penahan air pasang ini, karena pantai harus terbentuk secara alami dalam bentuk kuala, dan hanya 20 lokasi di seluruh dunia yang telah diidentifikasi sebagai tempat yang berpotensi.

1.4. KEKURANGAN DAN KELEBIHAN ENERGI TERBARUKAN

Energi terbarukan memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu:

- a. Tersedia secara melimpah
- b. Lestari tidak akan habis
- c. Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi)
- d. Sumber energi bisa dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai

- e. Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
- f. Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja
- g. Mandiri' energi tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga
- h. Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang Bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil
- i. Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil
- j. Distribusi Energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.
- k. Sebagai sumber energi yang berkelanjutan : Energi terbarukan berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara alami, seperti sinar matahari, angin, air, dan panas bumi. Hal ini berbeda dengan energi fosil yang merupakan sumber daya alam yang tidak terbarukan dan akan habis pada akhirnya.
- l. Ramah lingkungan: Energi terbarukan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara lainnya, sehingga membantu mengurangi dampak perubahan iklim dan pencemaran lingkungan.
- m. Meningkatkan ketahanan energi: Penggunaan energi terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil impor, sehingga meningkatkan ketahanan energi suatu negara.

n. Meningkatkan akses energi: Energi terbarukan dapat diakses di daerah terpencil yang tidak terhubung ke jaringan listrik, sehingga meningkatkan akses energi bagi masyarakat di daerah tersebut.

Namun demikian energi terbarukan juga memiliki berbagai kekurangan yaitu diantaranya :

- a. Biaya awal besar : Membangun infrastruktur untuk energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya dan angin, membutuhkan biaya awal yang besar.
- b. Keandalan pasokan Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
- c. Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.
- d. Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di negara-negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
- e. Kurangnya tradisi/pengalaman Energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang
- f. Masing-masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.
- g. Kapasitas penyimpanan terbatas: Teknologi penyimpanan energi untuk energi terbarukan masih dalam tahap pengembangan, sehingga masih ada keterbatasan dalam

menyimpan energi yang dihasilkan untuk digunakan pada saat dibutuhkan.

- h. Dampak lingkungan: Pembangunan infrastruktur energi terbarukan dapat berdampak pada lingkungan, seperti perubahan habitat flora dan fauna.
- i. Ketergantungan pada teknologi: Pemanfaatan energi terbarukan membutuhkan teknologi yang canggih dan mahal, sehingga negara-negara berkembang mungkin tidak memiliki akses yang mudah terhadap teknologi tersebut.



BAB II

BIOMASSA

2.1. BIOMASSA

Biomassa adalah bahan yang berasal dari tanaman, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang digunakan sebagai sumber energi atau bahan dalam jumlah besar. Penggunaan "secara tidak langsung" mengacu pada produk yang berasal dari peternakan dan industri makanan. Biomassa juga dikenal sebagai "fitomassa" dan sering diterjemahkan sebagai sumber daya hayati. Sumber daya ini mencakup berbagai spesies tanaman, baik dari daratan maupun lautan, serta berbagai limbah pertanian, hutan, industri, dan kotoran hewan. Tanaman energi yang dapat ditanam dalam skala besar menjadi salah satu jenis biomassa yang menjanjikan, meskipun belum banyak dikomersialkan. Secara khusus, biomassa mencakup kayu, rumput Napier, rapeseed, eceng gondok, rumput laut raksasa, chlorella, serbuk gergaji, serpihan kayu, jerami, sekam padi, sampah dapur, lumpur pulp, kotoran hewan, dan lain-lain. Biomassa dari perkebunan seperti kayu putih, poplar hibrid, kelapa sawit, tebu, rumput gajah, juga masuk dalam kategori ini.

Pengertian biomassa berdasarkan publik ialah komponen yang tersedia dari tanaman, yang dimanfaatkan secara langsung ataupun tidak langsung yang dipergunakan sebagai energi, Hasil pertanian atau perkebunan yang diperoleh dengan menanam benih langsung di lahan tempat tanaman tersebut akan tumbuh, tanpa melalui tahap penanaman di tempat lain seperti dalam polibag,

disebut sebagai tanaman secara langsung. Sementara itu, hasil yang diperoleh dari peternakan dan industri makanan disebut sebagai tanaman tidak langsung. Biomassa juga dikenal sebagai fitomassa, yang merujuk pada sumber daya hayati yang terdiri dari ratusan hingga ribuan jenis tanaman dari daratan dan lautan, termasuk limbah pertanian, perhutanan, residu proses industri, dan limbah hewan. Tanaman energi yang ditanam dalam skala besar, seperti perkebunan energi, dianggap sebagai salah satu jenis biomassa yang memiliki potensi, meskipun belum banyak digunakan secara komersial.

Biomassa secara spesifik merujuk pada limbah pertanian seperti jerami, sekam padi, limbah perhutanan seperti serbuk gergaji, MSW, tinja, kotoran hewan, sampah dapur, lumpur kubangan, dan sebagainya. Dalam kategori jenis tanaman, yang termasuk biomassa adalah kayu putih, poplar hybrid, kelapa sawit, tebu, rumput, rumput laut, dan lain-lain.

Biomassa merupakan sumber daya terbarukan dan energi yang diperoleh dari biomassa disebut energi terbarukan. Walau bagaimanapun, di negara Jepang biomassa dinamakan sebagai energi baru dan ia merupakan istilah yang sah menurut undang-undang. Undang-undang berkaitan dengan dorongan penggunaan energi baru telah ditetapkan pada April 1997. Walaupun pada saat ini biomassa belum disetujui sebagai salah satu energi baru, namun ia telah terbukti secara sah ketika undang-undang diamandemenkan pada Januari 2002.

Berdasarkan undang-undang, pembangkit listrik melalui tenaga surya (fotovoltaik), energi angin, sel bahan bakar, limbah, biomassa, dan juga energi panas dari limbah telah ditetapkan sebagai energi baru. Undang-undang berkaitan dengan energi baru ini menyangkut produksi, pembangkitan, dan penggunaan sumber alternatif minyak bumi, termasuk kekurangan akibat pembatasan ekonomi, dan juga yang ditentukan secara khusus oleh pemerintah dengan tujuan untuk mempromosikan penggunaan energi baru. Indonesia juga menetapkan beberapa jenis pembangkit listrik yang menghasilkan energi dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui sebagai energi terbarukan, hal ini bertujuan untuk mendorong penggunaan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan.

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

Selulosa : $(C_6H_{10}O_5)_x$

Hemiselulosa : $(C_5H_8O_4)_y$

Lignin : $(C_9H_{10}O_3(CH_3O)_{0,9-1,7})_z$

Banyak kajian telah menyarankan bahwa energi turunan biomassa akan memberikan sumbangan yang besar terhadap suplai energi keseluruhan karena harga bahan bakar fosil semakin meningkat pada beberapa dekade yang akan datang. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi adalah sangat menarik karena ia

merupakan sumber energi dengan jumlah bersih CO₂ yang nol, oleh karenanya tidak berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Ini juga berarti biomassa adalah netral karbon.

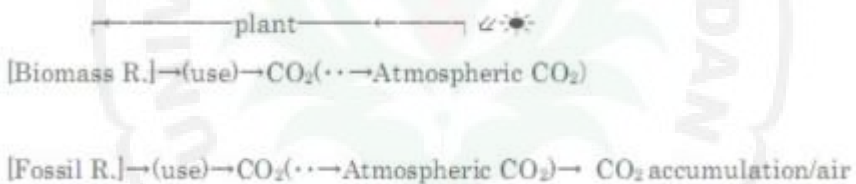
Perluasan dari penggunaan energi biomassa telah menimbulkan kekhawatiran terhadap ketersediaan tanah, yang mungkin juga digunakan untuk produksi makanan, atau penggunaan komersial seperti produksi kayu. Laporan terakhir menunjukkan bahwa prediksi potensi energi biomassa untuk masa depan diperkirakan mencapai 42E J sampai hampir 350 EJ pada tahun 2100 yang mendekati jumlah produksi energi untuk masa kini. Oleh karena itu, energi biomassa seharusnya dimanfaatkan secara luas dan cermat sesuai dengan produksi pangan atau bahan berharga dan juga perlindungan lingkungan.

Konsep ini merujuk kepada perkebunan energi yang dikelola secara tepat, tetapi ia tidak bisa diaplikasikan untuk negara-negara berkembang dimana sebagian besar energi biomassa diperoleh dari hutan yang tidak ditanam kembali.

2.2.KARAKTERISTIK BIOMASSA

Biomassa disebut juga “fitomassa” dan seringkali diterjemahkan sebagai *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan dan ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, dan limbah residu dan proses industri, limbah dan kotoran hewan.

Sumber daya biomassa dapat digunakan berulang kali dan bersifat tidak terbatas berdasarkan siklus dasar karbon melalui proses fotosintesis. Sebaliknya, sumber daya fosil secara prinsip bersifat terbatas dan hanya untuk sementara. Selain itu, emisi CO₂ yang takterbalikkan dari pembakaran fosil akan memberikan efek yang serius terhadap iklim global, Kondisi yang diperlukan untuk biosistem adalah mempertahankan keseimbangan panen versus laju pertumbuhan dan juga perlindungan lingkungan untuk lahan pertanian. Jika tidak, keberlanjutan jangka panjang untuk sistem biomassa tidak akan tercapai.



Gambar 1. Perbandingan sistem biomassa dan fosil pada siklus karbon

Kondisi yang diperlukan untuk biosistem adalah mempertahankan keseimbangan panen versus laju pertumbuhan dan juga perlindungan lingkungan untuk lahan pertanian. Jika tidak, keberlanjutan jangka panjang untuk sistem biomassa tidak akan tercapai.

2.3. PEMANFAATAN BIOMASSA

Biomassa terkenal sebagai sumber hayati yang awalnya berasal dari tumbuhan dan sejenisnya. Hewan dan mikro organisme serta bahan organik lainnya yang berasal dari hewan tumbuhan tersebut sama pentingnya. banyak jenis-jenis tumbuhan yang

berguna sebagai biomassa. Biomassa tanah pada umumnya terdiri dari biomassa herbal yang berasal dari tanaman perkebunan utama dan biomassa kayu berasal dari hutan. beberapa dari biomassa tersebut di tanam dan diolah kemudian digunakan untuk tujuan yang telah ditentukan. Biomassa air dari lautan, danau dan sungai juga bisa ditanami tumbuhan laut seperti rumput laut. Biomassa yang ditanam diladang atau yang diperoleh dari hutan untuk asli, sedangkan bahan hayati yang tidak terpilah dari hasil proses produksi, konvensi dan pemanfaat biasanya dinamakan untuk tujuan lain. Ada beberapa contoh misalnya, ampas tebu yang biasanya dianggap sebagai salah satu bahan baku utama untuk bahan bakar bio(biofuel) generasi kedua.

Pengangkutan dan penyimpanan biomassa tidaklah mudah karena ukurannya terlalu besar dan mudah terurai. Oleh karena itu, biomassa layak untuk digunakan di daerah dimana biomassa tersebut diproduksi. Berdasarkan alasan ini, biomassa sering digunakan di dalam daerah atau daerah terdekat dimana pasokan dan permintaan biomassa seimbang. Akan tetapi, jika biomassa diubah menjadi bentuk yang mudah untuk diangkut seperti pelet atau bahan bakar cair, maka ia dapat dimanfaatkan di daerah yang lebih jauh.

Biomassa dapat digunakan baik sebagai bahan atau energi. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai makanan, pakan ternak, serat, bahan baku, produk kehutanan, pupuk dan bahan kimia. Pemanfaatan sebagai energi dalam bentuk bahan bakar bio (biofuel)

terjadi pada tahap akhir dan biomassa akan terurai menjadi karbon dioksida atau metana serta dibebaskan ke udara.

Meskipun energi yang dihasilkan dari biomassa secara umum tidak hemat biaya dibandingkan bahan bakar fosil dalam kondisi teknologi dan pasar saat ini, produksi biomassa untuk bahan mentah dan energi memberikan berbagai keuntungan. manfaat-manfaat ini mempunyai banyak aspek, bagi emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil, menciptakan lapangan kerja dan pendapatan melalui industri- industri baru dan penggunaan bahan baku lokal, dan meningkatkan ketahanan energi dan mengurangi ketergantungan pada barang- barang impor. Namun, nilai seluruh manfaat di atas dibandingkan dengan biaya biomassa dan biaya produksi bioenergi belum dapat ditentukan. Menilai manfaat-manfaat ini memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai daya saing biomassa dan bioenergi dan dapat mempunyai implikasi yang jelas terhadap pengembangan bioenergi dan pembuatan kebijakan terkait.

Sumber daya hutan dan batu bara sangat melimpah dan cukup untuk memenuhi permintaan energi. Akan tetapi, akibat kreativitas manusia yang melebihi harapan, diperlukan teknologi berbasis batu bara dan minyak bumi untuk menghasilkan energi yang lebih efisien.

Cadangan minyak bumi dunia diperkirakan sebanyak 2000 miliar barel. Konsumsi global per hari adalah sekitar 71,7 juta barel. Diperkirakan sekitar 1000 milyar barel telah digunakan dan hanya tersisa 1000 miliar barel cadangan minyak bumi di seluruh

dunia (Asifa dan Muneer, 2007). Harga bensin dan bahan bakar yang lain akan meningkat seiring dengan efek ekonomi yang buruk sehingga manusia akan beralih ke alternatif lain selain bahan bakar fosil. Peningkatan penggunaan biomassa akan memperpanjang umur pasokan minyak mentah yang semakin berkurang. Carpentieri et al. (2005) menunjukkan manfaat lingkungan yang penting dari pemanfaatan biomassa dalam hal pengurangan pasokan sumber daya alam, meskipun metodologi. Asian Biomass Handbook penilaian dampak yang lebih baik harus dilakukan untuk membuktikan kelebihan pemanfaatan biomassa.

Peningkatan laju emisi gas rumah kaca seperti CO₂ secara global menimbulkan ancaman terhadap iklim dunia. Berdasarkan perkiraan pada tahun 2000, lebih dari 20 juta ton metrik CO₂ diperkirakan akan dilepaskan ke atmosfer setiap tahun (Saxena et al., in press). Jika tren ini berlanjut, diperkirakan bencana alam yang ekstrem seperti hujan lebat yang mengakibatkan banjir, kekeringan atau ketidakseimbangan lokal mungkin terjadi. Biomassa merupakan sumber netral karbon dalam siklus hidupnya dan merupakan penyumbang utama terhadap efek rumah kaca. Biomassa merupakan sumber energi keempat terbesar di dunia setelah batu bara, minyak bumi, dan gas alam serta berkontribusi kepada hampir 14% konsumsi energi primer dunia (Saxena et al., in press). Biomass saat ini dianggap sebagai sumber energi yang penting di seluruh dunia.

Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari konsumsi energi, beberapa alternatif kebijakan seperti pajak emisi dan izin

pembebasan perdagangan telah diajukan. Kebijakan mitigasi ini akan membantu untuk meningkatkan manfaat persaingan energi biomassa terhadap bahan bakar fosil karena biomassa dapat menggantikan emisi CO₂ yang dilepaskan oleh bahan bakar fosil. Akan tetapi, telah dipahami dengan baik bahwa konversi biomassa ke bioenergi membutuhkan input energi tambahan, biasanya dari bahan bakar fosil itu sendiri. Siklus hidup keseimbangan energi biomassa harus positif jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang lazim, tetapi bergantung pada jenis proses, permintaan kumulatif energi fosil terkadang hanya sedikit lebih rendah atau bahkan terkadang lebih tinggi dari apa yang diperlukan oleh bahan bakar fosil cair. Sistem bioenergi seharusnya dibandingkan dengan sistem bahan bakar berdasarkan dasar siklus hidup atau menggunakan LCA.

Ada 2 cara utama untuk membantu para petani (The Japan Institute of Energi, 2007). Salah satu cara adalah dengan memberikan energi agar para petani ini mendapat akses ke bahan bakar yang berguna. Di Thailand, para petani menggunakan gas untuk memasak yang berasal dari proses biometanasi skala kecil, sehingga mereka tidak perlu membeli gas propana untuk keperluan memasak. Bantuan kepada para petani ini juga efektif untuk menciptakan pertanian yang berkelanjutan dikarenakan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil. Bantuan yang lain adalah melalui pemberian uang tunai. Jika para petani ini menanam bahan baku untuk produksi etanol lalu menjualnya dengan harga yang lebih tinggi, maka mereka akan mendapatkan uang untuk

membeli listrik. Karena mereka yang menggunakan etanol sebagai bahan bakar lebih kaya jika dibandingkan para petani, maka mekanisme ini bisa dianggap sebagai “redistribusi kekayaan”.

2.4. POTENSI LIMBAH BIOMASSA SEBAGAI ENERGI

Sebagian stok limbah biomassa saat ini telah digunakan untuk aplikasi lain, sehingga cukup sulit untuk mendapatkan kembali semua massa secara efisien serta menggunakan kembali sebagai sumber energi. Sebagai contoh, beberapa jerami digunakan sebagai pakan ternak saat ini. Hampir mustahil untuk mengumpulkan kotoran sapi di padang rumput ternak. Oleh karena itu, ketika stok kuantitas biomassa saat ini diperkirakan, perlu untuk mempertimbangkan ketersediaannya, sehingga potensi energi limbah biomassa dihitung sebagai bagian dari sumber energi yang tersedia dari keseluruhan stok saat ini. Rasio ketersediaan yang diajukan oleh Hall et al. disajikan pada Table 1

Tabel 1. Jenis Biomassa dan Rasio Ketersediaan

	Jenis Biomasa	Rasio Ketersediaan Energi (%)
Limbah Pertanian	Padi, gandum, jagung, akar dan umbi, tebu (residu hasil panen)	25
Limbah Perternakan	Sapi, kambing dan domba, babi, kuda, kerbau dan onta, unggas	12,5

Limbah Kehutanan	Kayu Indutry	75
	Kayu Bahan Bakar	25
	Limbah Kayu	100

[Hall et al., 1993]

Potensi energi yang dapat dihasilkan dari limbah biomassa dapat diperkirakan dengan menggunakan rasio ketersediaan, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.2. Bagian terbesar dari potensi energi limbah biomassa, dengan nilai tahunan sekitar 22 EJ, berasal dari limbah kehutanan di seluruh dunia. Sisa kayu merupakan kontributor terbesar dengan sekitar 15 EJ, atau sekitar dua pertiga dari limbah biomassa kehutanan, setara dengan sekitar 36% dari total sumber daya biomassa. Limbah biomassa pertanian mencapai sekitar 15 EJ dari seluruh dunia, dengan setiap jenis biomassa dalam kategori ini rata-rata berkontribusi sekitar 1,5 hingga 3,5 EJ. Di sisi lain, limbah biomassa dari ternak hanya berkontribusi sekitar 5,4 EJ dari seluruh dunia, dengan kotoran sapi sebagai penyumbang utama sekitar 2,8 EJ.

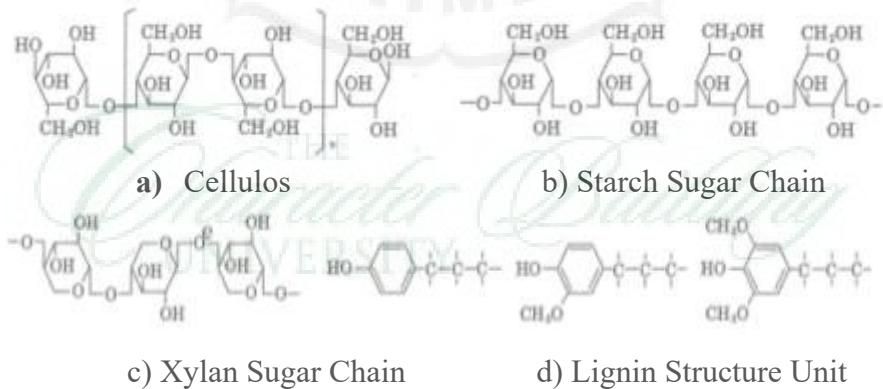
2.5. KOMPOSISI BIOMASSA

Biomassa memiliki beragam jenis dan komposisi, dengan beberapa komponen utama seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, kanji, dan protein. Meskipun persentasenya bisa berbeda, pohon dan tanaman herba umumnya mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Setiap jenis biomassa memiliki komposisi yang berbeda; misalnya, gandum kaya akan pati, sementara limbah peternakan mengandung lebih banyak protein. Karena perbedaan

struktur kimianya, komponen-komponen ini juga memiliki reaktivitas yang berbeda. Biomassa yang mengandung banyak lignin dan selulosa, seperti pohon, memiliki potensi besar dalam hal penggunaan energi. Adapun khas komponen biomassa yaitu :

2.5.1. Selulosa

Polisakarida yang tersusun dari D-glukosa yang terhubung secara seragam oleh ikatan β glukosida. Rumus molekulnya adalah $(C_6H_{12}O_6)_n$. Derajat polimerasinya, ditunjukkan oleh n, dengan nilai kisaran yang lebar mulai dari beberapa ribu hingga puluhan ribu. Hidrolisis total selulosa menghasilkan D-glukosa (sebuah monosakarida), akan tetapi hidrolisis parsial menghasilkan disakarida (selobiosa) dan polisakarida yang memiliki n berurutan dari 3 ke 10. Selulosa memiliki struktur kristal dan memiliki resistensi yang tinggi terhadap asam dan basa. Gambar 2. menunjukkan rumus struktur selulosa.



Gambar 2. Struktur Kimia Pada Komponen Biomassa

2.5.2. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan komponen penting dalam dinding sel tumbuhan yang memiliki beberapa fungsi dan potensi pemanfaatan. Dengan penelitian dan pengembangan lebih lanjut, hemiselulosa dapat menjadi sumber bahan bakar, bahan kimia, dan produk lainnya yang ramah lingkungan. Hemiselulosa ini sejenis polisakarida, yaitu molekul gula kompleks, yang ditemukan bersama selulosa dalam dinding sel tumbuhan. Hemiselulosa berperan penting dalam memberikan struktur dan kekuatan pada dinding tumbuhan.

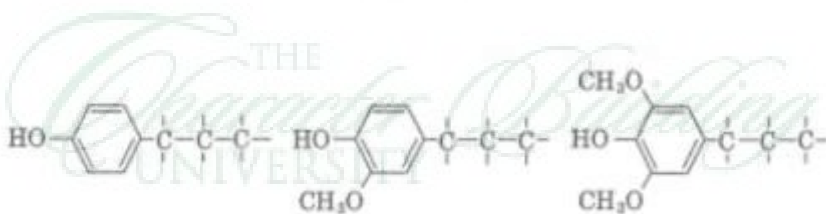
Polisakarida dimana unit-unitnya adalah terdiri atas monosakarida dengan 5 karbon seperti D-xilosa, D-arabinosa dan monosakarida karbon-6 seperti D-manosa, D-galaktosa dan Dglukosa. Jumlah monosakarida karbon-5 lebih banyak dibandingkan monosakarida karbon-6 dan rumus molekul rata-ratanya adalah $(C_5 H_8 O_4)_n$. Karena derajat polimerisasi (n) hemiselulosa adalah antara 50 sampai 200, yaitu lebih kecil dari selulosa, maka ia lebih mudah terurai dibandingkan selulosa, dan kebanyakan hemiselulosa dapat larut dalam larutan alkalin.

2.5.3. Lignin

Lignin merupakan komponen penting dalam dinding sel tumbuhan yang berperan dalam memberikan kekuatan, struktur, dan perlindungan. Meskipun lignin dapat menjadi tantangan dalam beberapa proses industri, lignin juga memiliki potensi sebagai bahan baku untuk produksi biofuel, bioplastik, dan produk bernilai lainnya. Dengan penelitian dan pengembangan lebih lanjut, lignin

diharapkan dapat dimanfaatkan secara optimal untuk aplikasi yang ramah lingkungan. Lignin adalah komponen kompleks yang ditemukan pada dinding sel tumbuhan, bersama dengan selulosa dan hemiselulosa. Lignin berfungsi sebagai "lem" alami yang merekatkan selulosa dan hemiselulosa, sehingga dinding sel menjadi kokoh dan kuat.

Lignin merupakan senyawa dimana unit komponennya, fenilpropana dan turunannya, terikat secara 3 dimensi. Strukturnya kompleks dan sejauh ini belum sepenuhnya dipahami. Gambar 3 menunjukkan unit komponennya. Struktur 3 dimensi yang kompleks ini menyebabkan ia sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme dan bahan-bahan kimia. Berdasarkan pengamatan ini, maka dapat disimpulkan bahwa lignin memberikan kekuatan mekanis dan juga perlindungan untuk tumbuhan itu sendiri. Selulosa, hemiselulosa dan lignin dapat ditemukan secara universal dalam berbagai jenis biomassa dan merupakan sumber daya karbon alami yang paling berlimpah di bumi.



Gambar 3. Lignin Structure Unit

2.5.4. Pati

Pati merupakan karbohidrat kompleks yang penting bagi tumbuhan dan manusia. Pati berfungsi sebagai sumber energi utama bagi tumbuhan dan menjadi sumber energi penting dalam makanan manusia. Pati juga memiliki berbagai macam kegunaan dalam industri makanan, farmasi, tekstil, dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku bioplastik ramah lingkungan. Pati adalah sejenis karbohidrat kompleks yang tersimpan dalam berbagai bagian tumbuhan, terutama biji-bijian, umbi-umbian, dan batang. Pati merupakan sumber energi utama bagi tumbuhan dan juga menjadi sumber energi penting dalam makanan manusia.

Seperti selulosa, pati merupakan polisakarida dimana unit komponennya adalah Dglukosa, tapi ia dihubungkan oleh ikatan α -glikosida. Karena perbedaan dalam struktur ikatan, maka selulosa tidak larut dalam air sedangkan sebagian pati dapat larut dalam air panas (amilosa, dengan bobot molekul antara 10.000 sampai 50.000, mencakup hampir 10% -20% dari pati) dan sebagian lagi tidak dapat larut (amilopektin, dengan bobot molekul antara 50.000 sampai 100.000, mencakup hampir 80% - 90% dari pati). Pati ditemukan di dalam biji, umbi (akar) dan batang, dan mempunyai nilai yang tinggi sebagai makanan. Adapun struktur dan sifat pati :

- Polisakarida : Pati terdiri dari unit-unit gula sederhana yang saling berikatan, terutama glukosa.
- Tidak larut dalam air dingin3 Pati dalam bentuk butiran tidak larut dalam air dingin, tetapi akan mengembang dan membentuk gel ketika dimasak dalam air panas.

- Sumber energi: Pati dapat dipecah menjadi glukosa oleh enzim pencernaan, dan glukosa inilah yang digunakan oleh sel tubuh untuk menghasilkan energi.

2.5.5. Protein

Protein merupakan senyawa makromolekul dimana asam amino dipolimerisasi dengan derajat yang tinggi. Sifat-sifatnya berbeda bergantung pada jenis dan rasio komponen asam amino dan derajat polimerisasi itu sendiri. Protein bukan merupakan komponen utama biomassa dan hanya meliputi proporsi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan 3 komponen yang sebelumnya.

Protein merupakan molekul yang sangat penting bagi kehidupan. Protein memiliki berbagai fungsi vital dalam tubuh dan diperoleh dari makanan yang kita konsumsi. Dengan mencukupi kebutuhan protein tubuh, kita dapat menjaga kesehatan dan fungsi tubuh secara optimal. Protein adalah molekul kompleks yang sangat penting bagi semua bentuk kehidupan. Protein terdiri dari rantai panjang asam amino yang beragam jenis dan urutannya menentukan bentuk dan fungsi protein tersebut. Tubuh manusia dan hewan dibangun dari protein, dan protein juga berperan penting dalam hampir semua proses biologis.

2.5.6. Komponen Organik dan Anorganik

Komponen organik dan anorganik merupakan dua elemen penting yang saling berinteraksi dan membangun kehidupan di bumi. Masing-masing komponen memiliki peran unik dan tidak

dapat tergantikan. Pemahaman tentang komponen organik dan anorganik sangat penting untuk mempelajari biologi dan berbagai ilmu pengetahuan lainnya.

Jumlah komponen organik yang lain berbeda bergantung pada jenis biomassa, tetapi ada juga komponen organik dengan jumlah yang tinggi seperti gliserida (contohnya minyak rapeseed, minyak sawit dan minyak sayur lainnya) dan sukrosa di dalam tebu dan gula bit. Contoh yang lain adalah alkaloid, pig men, terpena dan bahan berlilin. Meskipun komponen ini ditemukan dalam jumlah yang sedikit, namun memiliki nilai tambah yang tinggi sebagai ramuan obat. Biomassa tidak hanya terdiri atas senyawa organik makromolekul tetapi juga mengandung bahan anorganik (abu) dalam jumlah yang sangat kecil. Unsur logam primer termasuk Ca, K, P, Mg, Si, Al, Fe dan Na. Bahan dan jumlahnya berbeda bergantung pada jenis bahan baku.

2.6. KANDUNGAN ENERGI PADA BIOMASSA

Sistem energi biomassa dapat ditentukan berdasarkan kandungan energi setiap jenis bahan baku biomassa dengan menentukan bahan baku yang digunakan. Nilai kalor seringkali digunakan sebagai indikator kandungan energi yang dimiliki oleh biomassa. Nilai kalor adalah jumlah panas yang dihasilkan saat bahan menjalani pembakaran sempurna atau dikenal sebagai kalor pembakaran. Nilai kalor ditentukan melalui rasio komponen dan jenisnya serta rasio unsur di dalam biomassa itu sendiri (terutama kadar karbon). Biomassa terdiri dari bahan organik yaitu karbon, hidrogen, dan oksigen dan saat dibakar secara sempurna

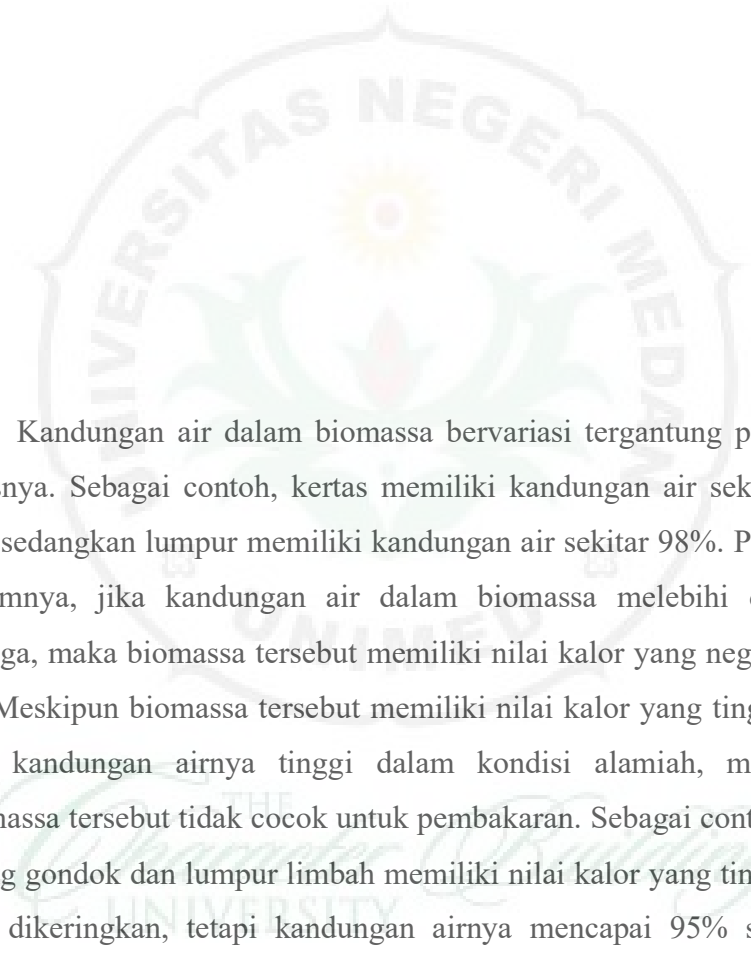
menghasilkan air dan karbon dioksida, adapun air dan uap akan terkondensasi menjadi kalor. Nilai kalor yang meliputi kalor laten disebut sebagai nilai kalor tinggi/high heating value (HHV), sedangkan untuk nilai kalor dimana kalor laten tidak termasuk dalam sistem tersebut disebut sebagai nilai kalor rendah/low heating value (LHV).

Kandungan energi pada biomassa bervariasi tergantung pada jenis biomassa, kelembapan, komposisi kimia, dan metode pengukuran. Biomassa memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Perolehan nilai kalor yang dihasilkan dari pembakaran sempurna per unit bahan dibawah kondisi standar, dalam menghasilkan energi dari biomassa perlu diperhatikan kandungannya dimana biomassa merupakan suatu bahan yang mengandung banyak air dan abu. Pada tabel 2 menunjukkan kadar nilai kalor dari masing – masing jenis biomassa.

Tabel 2. Analisis Nilai kalor

Kategori	Biomassa	Kadar air* [%bobot]	Bahan organik [%berat kering]	Abu** [%bobot]	Nilai kalor tinggi [MJ/kering-kg]
Limbah	Pupuk kandang sapi	20-70	76,5	23,5	13,4
	Padatan bio (biosolid) teraktivasi	90-97	76,5	23,5	18,3
	Bahan bakar yang diperoleh dari sampah, <i>Refuse-derived fuel</i> (RDF)	15-30	86,1	13,9	12,7
	Serbuk gergaji	15-60	99,0	1,0	20,5



Kandungan air dalam biomassa bervariasi tergantung pada jenisnya. Sebagai contoh, kertas memiliki kandungan air sekitar 3%, sedangkan lumpur memiliki kandungan air sekitar 98%. Pada umumnya, jika kandungan air dalam biomassa melebihi dua pertiga, maka biomassa tersebut memiliki nilai kalor yang negatif (-). Meskipun biomassa tersebut memiliki nilai kalor yang tinggi, jika kandungan airnya tinggi dalam kondisi alamiah, maka biomassa tersebut tidak cocok untuk pembakaran. Sebagai contoh, eceng gondok dan lumpur limbah memiliki nilai kalor yang tinggi saat dikeringkan, tetapi kandungan airnya mencapai 95% saat diambil sampel, sehingga sebenarnya tidak cocok untuk pembakaran.

Bahan organik total dalam suatu bahan dapat dihitung dengan mengurangi kadar abu dari bahan kering total. Karena abu tidak memiliki nilai energi, semakin tinggi jumlah bahan organik dalam

suatu bahan, semakin tinggi pula nilai kalorannya. Nilai kalor yang tinggi sangat penting sebagai sumber energi. Selain itu, nilai kalor dari bahan organik bervariasi tergantung pada jenis dan rasio unsur penyusunnya. Biomassa memiliki nilai kalor per unit bobot yang lebih rendah dibandingkan dengan batu bara dan minyak bumi karena biomassa mengandung lebih banyak oksigen dan lebih sedikit karbon dan hidrogen. Biomassa jenis kayu dan herba memiliki kadar karbon sekitar 45-50% dan kadar hidrogen sekitar 5%-6%, memberikan rasio molar H:C sekitar 2 dengan variasi nilai yang kecil. Hal ini disebabkan oleh komposisi utama biomassa, yaitu selulosa dan lignin.

Tabel 3. Komposisi Unsur Khas dan Nilai Kalor

Sumber energi	Selulosa	Pinus	Rumput laut coklat raksasa	Eceng gondok	Limbah peternakan	RDF	Lumpur	Gambut	Bitumen
Karbon [%bobot]	44.44	51.8	27.65	41.1	35.1	41.2	43.75	52.8	69.0
Hidrogen [%bobot]	6.22	6.3	3.73	5.29	5.3	5.5	6.24	5.45	5.4
Oksigen [%bobot]	49.34	41.3	28.16	28.84	33.2	38.7	19.35	31.24	14.3
Nitrogen [%bobot]	-	0.1	1.22	1.96	2.5	0.5	3.16	2.54	1.6
Sulfur [%bobot]	-	0	0.34	0.41	0.4	0.2	0.97	0.23	1.0
Abu [%bobot]	-	0.5	38.9	22.4	23.5	13.9	26.53	7.74	8.7
Nilai kalor [MJ/keering-kg]	17.51	21.24	10.01	16.0	13.37	12.67	19.86	20.79	28.28

BAB III

KONVERSI BIOMASSA

Terdapat beberapa teknologi untuk konversi biomassa, dijelaskan pada Gambar 4 dimana perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan.



Gambar 4. Teknologi Konversi Biomassa

Secara umum, teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibagi menjadi tiga jenis: pembakaran langsung, konversi termokimiawi, dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung adalah teknologi yang paling sederhana karena sebagian besar biomassa dapat dibakar langsung. Namun, beberapa jenis biomassa perlu dikeringkan dan dijadikan lebih padat agar lebih praktis dalam penggunaannya. Konversi termokimiawi melibatkan perlakuan termal untuk memicu reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sementara itu, konversi biokimiawi menggunakan mikroba untuk menghasilkan bahan bakar. Adapun cara

pemanfaatan biomassa meliputi pembuatan biobriket, gasifikasi, pirolisis, likuifikasi, dan biokimia.

Diindustri yang memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi, biasanya adalah dengan membakar secara langsung untuk mendapatkan energi panas. Proses seperti ini sangat tidak direkomendasikan. Hal ini akan menyebabkan udara pembakaran tidak terkontrol sehingga menimbulkan emisi dan asap pembakaran yang melimpah. Emisi dan asap pembakaran dilepaskan begitu saja ke lingkungan bebas hingga mengakibatkan polusi udara. Namun, selain menghasilkan energi panas yang terkandung dalam asap pembakaran, ternyata asap panas itu sendiri masih memiliki zat-zat yang sangat berguna dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi.



Gambar 5. Sistem Pengolahan Kayu menjadi Arang dan Asap Cair

Industri yang mengolah kayu menjadi arang seperti ditunjukkan pada gambar 1 menggunakan sistem tungku sederhana yang terbuat dari material batu bata dan dilapisi tanah liat. Selama proses pembakaran bahan baku menjadi arang, produk lain yang terbentuk adalah asap. Pada dasarnya, asap dapat diubah menjadi wujud cairan dengan menurunkan suhunya menggunakan alat

pendingin. Alat pendingin yang digunakan masih sangat sederhana, yaitu dengan menggunakan beberapa rangkaian drum minyak bekas dengan pendinginan alami yaitu dengan memanfaatkan udara sekeliling.

3.1. PEMBAKARAN LANGSUNG

Pembakaran adalah proses kimia yang melepaskan panas dan cahaya, yang dapat berlangsung secara spontan karena panas yang dihasilkan oleh reaksi. Ketika biomassa digunakan sebagai bahan bakar, reaksi oksidasi terjadi, di mana karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen yang terkandung dalam biomassa bereaksi dengan udara atau oksigen. Proses ini dikenal sebagai pembakaran dalam industri. Pembakaran dimulai dengan reaksi gas, reaksi permukaan, atau keduanya, yang kemudian diikuti oleh proses-proses seperti peleburan, penguapan, dan pirolisis. Dalam proses pembakaran, fenomena kompleks seperti penguapan, pencampuran, difusi, konveksi, konduksi panas, radiasi, dan cahaya akan terjadi dengan cepat. Bahan bakar gas akan terbakar dalam fase gas sebagai pembakaran pracampur atau pembakaran difusi. Bahan bakar cair akan terbakar sebagai gas yang terkondensasi setelah penguapan permukaan, yang disebut sebagai pembakaran penguapan. Bahan bakar berat akan terbakar selama pembakaran penguapan, tetapi juga akan mengalami dekomposisi, di mana sebagian bahan bakar akan terurai karena panas yang dihasilkan.

Bentuk-bentuk pembakaran dari pembakaran langsung biomassa dalam bentuk padat termasuk pembakaran penguapan,

pembakaran dekomposisi, pembakaran permukaan, dan pembakaran membara. Dalam pembakaran penguapan, bahan bakar yang mengandung komponen sederhana dengan struktur molekul yang memiliki titik peleburan yang rendah akan melebur dan menguap melalui pemanasan, dan bereaksi dengan oksigen dalam fase gas dan terbakar. Dalam pembakaran dekomposisi, gas yang diproduksi dari dekomposisi termal melalui pemanasan (H_2 , CO , $C_m H_n$, $H_2 O$, dan CO_2) akan bereaksi dengan oksigen dalam fase gas, membentuk api dan terbakar. Biasanya, arang akan tersisa setelah pembakaran ini dan akan terbakar melalui pembakaran permukaan. Pembakaran permukaan akan terjadi apabila komponen yang hanya terdiri atas karbon yang mengandung sebagian kecil bahan volatil seperti arang, dan oksigen, CO_2 atau uap yang terserap ke dalam pori-pori yang ada di dalam atau pada permukaan padat komponen itu, dan akan terbakar melalui reaksi permukaan. Pembakaran membara merupakan reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada suhu yang lebih rendah dari suhu penyalaan komponen volatil bahan bakar reaktif seperti kayu. Jika api dipaksa untuk terbakar atau suhu di atas titik api, pembakaran akan mudah terjadi. Dalam pembakaran langsung di industri, pembakaran dekomposisi dan pembakaran permukaan merupakan bentuk pembakaran yang utama.

Pembakaran biomassa adalah cara paling sederhana untuk menghasilkan panas dari biomassa, dan digunakan secara luas karena teknologi yang ada untuk bahan bakar fosil dapat diterapkan dengan mudah. Keuntungan utama pembakaran biomassa adalah

emisi gas pencemar seperti NO_x, SO_x, HCl, dan dioksin yang rendah, serta kemampuan biomassa untuk terbakar dengan baik. Panas yang dihasilkan dari pembakaran biomassa dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan pemanas, dimana panasnya dikembalikan melalui media pemindah panas seperti uap dan air panas menggunakan ketel uap dan penukar panas. Dalam penyediaan air panas dan tenaga untuk kompleks industri, kogenerasi yang menggunakan sisa kayu dan limbah pertanian secara luas digunakan. Banyak pembangkit listrik dan pemanas, tanpa memandang skala, menggunakan bahan bakar seperti sekam padi, ampas tebu, sisa kayu, sisa kelapa sawit, kotoran ayam, dan limbah ternak sebagai bahan bakar.

Di industri, udara tambahan disertakan dalam jumlah yang lebih banyak daripada yang sebenarnya diperlukan untuk membakar biomassa. Jika jumlah udara tambahan terlalu tinggi, hal ini dapat mengurangi suhu pembakaran dan efisiensi termal. Ada berbagai metode yang digunakan untuk membakar biomassa, termasuk pembakaran dalam tungku (baik tetap maupun bergerak), pembakaran dalam lapisan yang mengalir, pembakaran dalam tungku berputar, dan pembakaran menggunakan burner. Pembakaran biomassa dalam industri sering dilakukan dengan udara berlebihan untuk memastikan bahwa bahan bakar terbakar sepenuhnya dan efisien.

Udara berlebihan ini disertakan bersamaan dengan jumlah teoretis yang diperlukan untuk pembakaran yang sempurna.

Namun, jika tingkat udara berlebihan terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan penurunan suhu pembakaran dan efisiensi termal. Metode-metode yang digunakan untuk membakar biomassa meliputi pembakaran dalam tungku, baik tetap maupun bergerak, di mana biomassa dibakar dalam lingkungan yang terkendali. Metode lainnya termasuk pembakaran dalam lapisan beralir, di mana biomassa dibakar di atas lapisan bahan bakar yang bergerak secara perlahan, serta pembakaran dalam tungku berputar, di mana biomassa dibakar dalam tungku yang berputar untuk memastikan kontak yang baik dengan udara. Metode terakhir adalah pembakaran menggunakan burner, di mana biomassa dibakar dengan menggunakan burner yang dirancang khusus untuk pembakaran biomassa. Ciri-ciri setiap metode pembakaran disajikan dalam tabel 4.

Tabel 4. Jenis – Jenis Pembakaran Biomassa

Metode Pembakaran	Jenis Pembakaran	Ciri - Ciri
Pembakaran lapisan tetap	<ul style="list-style-type: none"> - Perapian horizontal /miring - Perapian pendinginan air - Perapian penimbunan 	Perapian adalah sejajar atau miring. Menyala dan membakar sebagai pembakaran permukaan ketika biomassa dikirim ke perapian. Digunakan dalam tanur berskala kecil untuk biomassa yang mengandung kadar abu yang kecil.

<p>Pembakaran lapisan bergerak</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Perapian bergerak maju - Perapian berbalik - Perapian bertingkat - Perapian “Louver” 	<p>Perapian bergerak secara bertahap dan dibagi menjadi zona pembakaran dan setelah pembakaran. Karena emisi abu yang berkelanjutan, beban perapian adalah besar. Halangan pembakaran yang disebabkan oleh abu dapat dihindari. Dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis bahan bakar dari jenis serpihan hingga jenis block.</p>
<p>Pembakaran lapisan beralir</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gelembung - sirkulasi 	<p>Menggunakan pasir sebagai bahan lapisan, memepertahankan bahan bakar dan pasir didalam tanur dalam kondisi mendidih melalui pembakaran udara bertekanan tinggi, dan terbakar melalui penyimpanan termal dan efek transmisi panas oleh pasir. Sesuai untuk bahan bakar kelas rendah.</p>
<p>Pembakaran tanur berputar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tanur Klin 	<p>Diguanakan untuk pembakaran bahan bakar berkelembapan tinggi seperti lumpur organik cair dan limbah makanan, atau limbah besar dan</p>

		sebagainya. Dibatasi oleh ukuran bahan bakar karena dluiditasnya.
Pembakaran burner	- Burner	Membakar serbuk kayu dan serbuk halus seperti empulur ampas tebu menggunakan burner, sama untuk bahan bakar cair.

a. Pengeringan (Drying)

Pengeringan bahan bakar merupakan sebuah langkah penting dalam proses pembakaran. Pengeringan bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi emisi polutan, dan mempermudah penyimpanan dan transportasi. Metode pengeringan yang tepat harus dipilih berdasarkan jenis bahan bakar, ketersediaan sumber daya, dan pertimbangan ekonomi.

Dalam proses ini bahan bakar mengalami proses kenaikan temperatur yang akan mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada di dalam akan menguap melalui pori-pori bahan bakar padat tersebut. Waktu pengeringan adalah waktu yang diperlukan untuk memanaskan partikel sampai ke titik penguapan dan melepaskan air tersebut.

b. Devolatilisasi (Devolatilization)

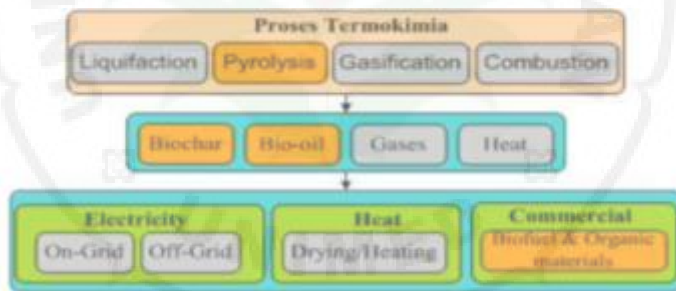
Devolatilisasi adalah proses termokimia di mana zat yang mudah menguap dihilangkan dari bahan padat dengan memanaskannya dalam atmosfer yang terkontrol. Bahan mudah menguap biasanya terdiri dari hidrokarbon dengan berat molekul rendah, seperti metana, etana, propana, butana, serta gas dan uap lainnya. Bahan padat yang tersisa disebut arang atau kokas.

Devolatilisasi adalah proses termokimia kompleks yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Proses devolatilisasi melibatkan penghilangan bahan mudah menguap dari bahan padat dengan memanaskannya dalam atmosfer yang terkontrol. Produk devolatilisasi adalah bahan mudah menguap dan arang. Proses devolatilisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis bahan, ukuran partikel, laju pemanasan, waktu tinggal, dan atmosfer. Beberapa teknologi berbeda digunakan untuk devolatilisasi, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

Devolatilisasi yaitu proses bahan bakar mulai mengalami dekomposisi setelah terjadi pengeringan. Setelah proses pengeringan, bahan bakar mulai mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan zat terbang (volatile matter) akan keluar dari partikel. Volatile matter adalah hasil dari proses devolatilisasi. Volatile matter terdiri dari gas-gas combustible dan non combustible serta hidrokarbon.

3.2. KONVERSI TEROKIMIA

Terus meningkat, dengan metode termokimia, khususnya pirolisis, menjadi yang paling populer saat ini. Industri bioenergi yang menggunakan proses pirolisis telah mengalami perkembangan yang signifikan. Seiring dengan perkembangan ini, penelitian dan pengembangan tungku pirolisis yang efektif dan efisien juga mengalami perkembangan pesat. Ada berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengolah biomassa agar nilainya meningkat. Salah satu metode yang paling populer saat ini adalah metode termokimia, khususnya pirolisis. Pemanfaatan dan pengolahan biomassa sebagai sumber energi alternatif terus meningkat, terutama dalam industri bioenergi yang menggunakan sistem pirolisis. Dengan perkembangan sistem pirolisis, penelitian dan pengembangan terhadap tungku pirolisis yang efektif dan efisien juga mengalami kemajuan yang pesat.



Gambar 6. Rute Konversi Energi dari Biomassa secara Termal



3.2.1. Combustion (Pembakaran)

Pembakaran, atau **combustion** dalam bahasa Inggris, adalah suatu proses kimia eksotermis yang melibatkan reaksi oksidasi cepat antara bahan bakar dan oksigen, menghasilkan panas, cahaya, dan gas buang. Pembakaran merupakan proses kimia yang penting dengan berbagai aplikasi dalam kehidupan sehari-hari. Namun, pembakaran, terutama pembakaran bahan bakar fosil, juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan teknologi dan praktik yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif pembakaran.

Bahan Bakar + Oksigen ---> Karbon Dioksida + Air + Panas + Cahaya

Pembakaran adalah konversi klasik biomassa menjadi energi panas. Biomassa yang digunakan sebagai bahan bakar setelah mengalami perbaikan sifat fisik dalam bentuk padat. Energi panas yang dihasilkan selain dapat langsung dimanfaatkan untuk proses panas, juga dapat diubah menjadi bentuk energi lain (listrik, mekanis) dengan menggunakan jalur konversi yang lebih panjang. Pada prinsipnya pembakaran adalah reaksi sesuatu zat dengan oksigen dan menghasilkan energi. Bahan bakar umumnya adalah merupakan suatu senyawa hidrokarbon. Semakin besar energi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar tersebut maka semakin baik fungsinya sebagai bahan bakar. Mekanisme pembakaran biomassa yang terdiri dari tiga tahap yaitu pengeringan (drying), devolatilisasi (devolatilization), dan pembakaran arang (char combustion).

2.3.2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses termokimia yang mengubah bahan berkarbon, seperti batu bara, biomassa, atau limbah, menjadi campuran gas yang mudah terbakar yang disebut gas produser. Gasifikasi adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengubah bahan karbon menjadi sumber energi yang bersih dan serbaguna. Teknologi ini menawarkan manfaat potensial dalam pembangkit listrik, proses industri, transportasi, dan pengelolaan limbah. Namun, tantangan terkait kompleksitas teknologi, pembentukan tar, dan pembersihan gas perlu diatasi agar gasifikasi dapat diadopsi secara lebih luas dan layak secara komersial.

Secara sederhana, gasifikasi biomassa dapat didefinisikan sebagai proses konversi bahan selulosa dalam suatu reaktor gasifikasi (gasifier) menjadi bahan bakar. Gasifikasi merupakan salah satu alternatif dalam rangka program penghematan dan diversifikasi energi. Selain itu gasifikasi akan membantu mengatasi masalah penanganan dan pemanfaatan limbah pertanian, perkebunan dan kehutanan.

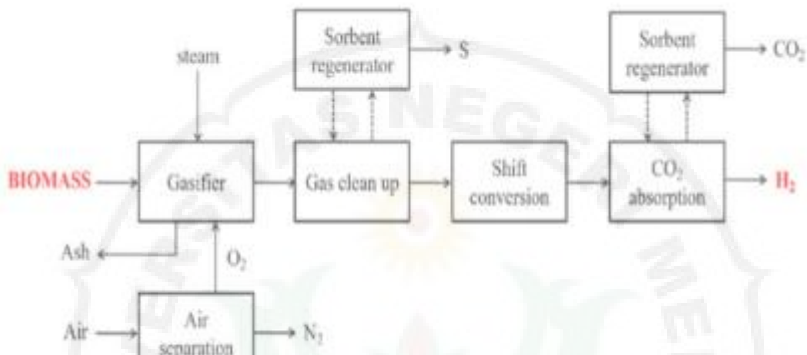
Gasifikasi biomassa adalah suatu proses konversi energi yang mengubah biomassa menjadi gas sintesis atau syngas. Proses ini terjadi dalam sebuah reaktor yang disebut gasifier. Dalam gasifier, biomassa diubah menjadi gas dengan cara mengurai bahan bakar biomassa menggunakan udara terbatas. Gasifikasi biomassa merupakan proses pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar biomassa padat, di mana oksigen bereaksi secara terbatas dengan biomassa untuk menghasilkan gas. Hasil dari proses ini

adalah gas yang mudah terbakar, seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄), yang disebut sebagai gas sintetis atau syngas.

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄, dan H₂) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar. Berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, petcoke (petroleum coke), dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifikasi yang dikenal dengan nama gasifier. Di dalam gasifier inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya.

Jenis gasifier yang umum digunakan dan relatif sederhana adalah gasifier updraft. Kelebihan dari gasifier ini adalah desain reaktor yang sederhana, cocok untuk bahan bakar berukuran kecil, dan memiliki efisiensi termal yang tinggi. Namun, kekurangannya adalah sensitivitas yang tinggi terhadap tar dan kelembaban dalam bahan bakar, serta waktu yang diperlukan untuk menyalakan reaktor yang cukup lama. Penggunaan udara yang dipanaskan dalam gasifier updraft dapat meningkatkan kinerja, dan variasi

bukaan blower juga dapat mempengaruhi suhu reaktor dan kinerja gasifier secara keseluruhan. Contoh gambar 6 Proses Gasifikasi.



Gambar 7. Proses Gasifikasi

2.3.3. Pirolisis

Pirolisis adalah proses termokimia yang berpotensi untuk mengolah berbagai bahan organik menjadi produk yang bermanfaat. Namun, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses pirolisis. Penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk memaksimalkan potensi pirolisis sebagai solusi pengelolaan bahan organik dan produksi energi terbarukan.

Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia bahan organik melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen atau pereaksi kimia lainnya. Dalam proses ini, material mentah mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas, fase cair (minyak pirolisis), dan fase padat (char). Pirolisis dapat dianggap

sebagai kasus khusus dari termolisis, yaitu dekomposisi termal material karena panas.

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Komponen utama biomassa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen ini akan terdekomposisi seiring dengan kenaikan suhu. Sehingga semakin tinggi laju pemanasan pada proses pirolisis akan mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, dan waktu tinggal pendek dari produk yang menguap.

Metode termokimia menjadi metode paling populer hingga saat ini. Terbukti bahwa saat ini pemanfaatan dan pengolahan biomassa sebagai sumber energi alternative terbarukan semakin meningkat. Bahkan industri yang bergerak dibidang bioenergi dengan sistem pengolahan pirolisis juga sudah sangat berkembang. Seiring dengan berkembangnya sistem pengolahan pirolisis, riset dan pengembangan terhadap tungku pirolisa (pyrolizer) yang efektif dan efisien juga berkembang dengan pesat.

Posisi teknologi pirolisa diantara proses termokimia memang sangat superior, hal ini disebabkan karena dapat menghasilkan produk-produk bernilai ekonomi dan relatif mudah untuk dilaksanakan. Proses gasifikasi memang potensial dan memiliki keunggulan pada produk gas yang dihasilkan dan dapat terbakar

(producer gas), namun dalam hal reactor dan pengoperasiannya lebih rumit dari pirolisa.

Umumnya, produk-produk utama yang dihasilkan dari metode pirolisis ini ialah arang (*char*), gas dan cairan, hasil arang ini nantinya bisa digunakan sebagai karbon aktif karena sifatnya yang mudah terbakar. Sedangkan minyak atau cairan (bio-oil) dapat digunakan sebagai zat adiktif atau campuran dalam bahan bakar. Sementara gas yang dihasilkan bisa dibakar secara langsung. Namun, gas yang dihasilkan terdiri dari CO, CO₂, CH₄, dan lainnya. Perlu diketahui bahwa proses pirolisis ini dapat dibedakan berdasarkan prosesnya. Umumnya, proses pirolisis ini berjalan pada suhu di atas 300C dalam kurun waktu 4-7 jam. Namun, hal tersebut amat bergantung pada bahan baku yang digunakan. Proses pirolisis ini sendiri dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yakni flash pyrolysis dengan suhu reaksinya berada pada 450 °C dan 1000 °C dengan waktu tinggal gas yang sangat singkat (Kurang dari 1s), fast pyrolysis dengan suhu 400 °C–700 °C, tanpa kehadiran oksigen, dan slow pyrolysis memerlukan waktu tinggal uap yang terlalu tinggi, yakni mencapai 5 sampai 30 menit, penggunaan pirolisis ini berdasarkan temperatur, laju pemanasan, serta waktu tinggal.

3.3. KONVERSI BIOKIMIA

Konversi biokimia biomassa meliputi penggunaan bakteri, mikroorganisme, dan enzim untuk penguraian biomassa menjadi bahan bakar gas atau cair, termasuk biogas atau bioetanol. Pencernaan anaerobik dan fermentasi, merupakan istilah yang mengacu pada metode konversi biokimia umum dari biomassa. Umumnya, pencernaan anaerobik melibatkan serangkaian reaksi kimia pada penguraian bahan organik seperti kotoran manusia melalui jalur metabolisme mikroorganisme yang secara alami terjadi di lingkungan yang kekurangan oksigen. Selain itu, limbah biomassa dapat menghasilkan bahan bakar cair, termasuk etanol selulosa yang dapat menggantikan bahan bakar berbasis minyak bumi.

Energi biomassa dapat dimanfaatkan melalui proses biokimia, yang meliputi hidrolisis, fermentasi, dan pencernaan anaerobik. Pencernaan anaerobik adalah proses di mana bahan organik atau selulosa diurai menjadi CH_4 dan gas lain melalui proses biokimia. Proses lain dalam konversi biokimia adalah pembuatan etanol dari biomassa. Biomassa yang mengandung banyak karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi menjadi etanol dan CO_2 , tetapi karbohidrat harus dihidrolisis terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol yang dihasilkan biasanya memiliki kadar air yang tinggi dan tidak cocok sebagai pengganti bensin. Oleh karena itu, etanol harus didistilasi hingga mencapai kadar di atas 99.5% agar dapat digunakan sebagai bahan bakar.

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:

3.3.1. Fermantasi

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.

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, pertumbuhan minimal, dan suhu optimal yaitu suhu yang memberikan terbaik dan memperbanyak 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 :

- 1) Memperkaya variasi makanan dengan mengubah rasa, aroma serta tekstur makanan.
- 2) Mengawetkan makanan agar menghasilkan asam laktat, alcohol, dan asam asetat dalam jumlah yang cukup banyak
- 3) Memperkaya nutrisi makanan dengan menambahkan sejumlah vitamin, asam amino dan protein
- 4) Mengeliminasi senyawa anti nutrient
- 5) Mengurangi waktu dan sumber daya yang diperlukan dalam memperoleh makanan.

3.3.2. 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-polimerization. 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 kimia atau enzimatik. Hidrolisis enzimatik adalah proses

Dalam air, NH_4Cl terionisasi sempurna membentuk ion Cl^- dan NH_4^+ . Hidrolisis ini dapat terjadi apabila garamnya berasal dari asam lemah dan basa lemah, dan semua ion yang berasal dari garam bereaksi dengan air, dari asam lemah dan basa lemah, dan semua ion yang berasal dari garam bereaksi dengan air.

Konsep Hidrolisis :

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

Berikut ini uraian lebih lanjut terkait beberapa pemanfaatan proses hidrolisis.

- a. Reaksi hidrolisis antara molekul asam dan basa yang direaksikan dengan air akan membentuk garam dengan rumus kimia NaCl.
- b. Dalam Bidang pertanian reaksi hidrolisis dimanfaatkan dalam suatu penyesuaian pH tanah dengan tanaman yang ditanam. Dapat menentukan keasaman pupuk yang tepat untuk tanaman.
- c. 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 memutihkannya pakaian kita.
- d. Reaksi hidrolisis mempunyai peran penting dalam pemecahan makanan menjadi nutrisi yang mudah diserap.
- e. 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.

- f. 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 10oC 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. 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.

- c. pH hidrolisis, pH sangat berpengaruh terhadap konsentrasi asam dan hidrolisis. Apabila konsentrasi asam tinggi, maka pH yang dihasilkan rendah.
- d. Waktu hidrolisis, semakin lama waktu hidrolisis maka akan semakin besar pula konsentrasi glukosa yang dihasilkan. Suhu, semakin besar suhu maka semakin besar pula konstanta kecepatan reaksi.
- e. Tekanan, tekanan sangat berpengaruh terhadap proses hidrolisis.
- f. Tekanan yang digunakan saat proses hidrolisis yaitu 1 atm. 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 asam, dan hidrolisis basa.

3.3.3. Anaerobic Digestion (Pencernaan Anaerob)

Adalah urutan proses yang melibatkan penguraian mikroorganisme dari bahan organaik 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 diindustri kertas dan perkayuan, karena tingkat permintaan COD yang tinggi dari air limbah, keberadaan pati yang mudah dicerna, serta tingginya toxic. Anaerobic digerstion 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.

Anaerobic digestion dapat digunakan untuk mengelola limbah industri, seperti limbah makanan dan pengolahan air limbah, menjadi sumber energi terbarukan seperti biogas dan biofertilizer. Dalam proses produksi biogas dari limbah, seperti kotoran hewan, teknologi anaerobic digestion banyak digunakan. Saat bakteri bekerja dalam proses ini, mereka menghasilkan biogas, yang sebagian besar terdiri dari metana, komponen utama gas alam. Komponen non-metana dari biogas dihilangkan untuk meningkatkan kandungan metana yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Pada umumnya, semakin mudah bahan organik tercerna, semakin banyak biogas yang dapat diproduksi. Co-digestion terjadi ketika beberapa jenis sampah organik dipecah dalam satu digester anaerob. Limbah organik yang dapat dicerna bersama dengan kotoran termasuk limbah makanan restoran atau

kafetaria, limbah atau produk sampingan pengolahan makanan, lemak dari perangkap minyak restoran, tanaman energi, dan sisa tanaman. Co-digestion dapat meningkatkan produksi biogas dari limbah organik yang sulit dicerna atau memiliki hasil rendah. Proses anaerobic digestion melalui empat tahapan, yaitu:

a. Hydrolysis

Pada tahap pertama (hidrolisis), molekul organik kompleks dipecah menjadi gula sederhana, asam amino, dan asam lemak dengan penambahan gugus hidroksil.

b..Acidogenesis

Pada tahap kedua (acidogenesis), asam lemak volatile (misalnya asetat, propionat, butirrat, valerik) terbentuk bersama dengan amonia, karbon dioksida, dan hydrogen sulfida.

c. Acetogenesis

Pada tahap ketiga (acetogenesis), molekul sederhana dari acidogenesis selanjutnya dicerna untuk menghasilkan karbon dioksida, hidrogen, dan asam organik, terutama asam asetat.

d. Methanogenesis

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.



BAB IV

PIROLISIS

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa udara yang bertujuan untuk menguraikan komponen-komponen penyusunnya. Proses ini juga dikenal sebagai penguraian tidak teratur bahan organik karena pemanasan tanpa udara luar. Misalnya, jika tempurung kelapa dipanaskan tanpa udara pada suhu yang cukup tinggi, maka senyawa kompleks yang menyusun tempurung akan terurai menjadi padatan, cairan, dan gas. Dalam pembuatan arang dari kayu melalui pirolisis, komponen kimia kayu mengalami perubahan menjadi arang pada suhu antara 200-500 derajat Celsius. Kayu terdiri dari tiga komponen utama: selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Proporsi ketiga komponen ini bervariasi tergantung pada jenis kayu. Resin dan senyawa lain hanya terdapat dalam jumlah kecil. Secara umum, kayu mengandung dua bagian selulosa, satu bagian hemiselulosa, dan satu bagian lignin.

4.1. PROSES PIROLISIS

4.1.1. Prinsip Proses Pirolisis

Proses pirolisa biomassa secara umum mekanismenya mengikuti 3 tahapan reaksi yakni reaksi hidrolisa, reaksi primer dan reaksi sekunder. Dehidrasi, depolimerisasi dan fragmentasi merupakan reaksi yang saling bersaing saat terjadinya reaksi penguraian awal bahan biomass tersebut. (Chen, et. al ,2015).

Distribusi produk pirolisis dan kualitasnya sangat bergantung pada parameter proses biomassa. Parameter proses pirolisis seperti

jenis biomassa, suhu, waktu tinggal uap panas, pemisahan char, dan kandungan abu biomassa (Bridgwater. 2012).

a. Udara

Udara merujuk kepada campuran gas yang terdapat pada permukaan bumi. Oksigen (O_2) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 21% dari udara. Hampir 78% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen (N_2) dan sisanya merupakan . Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran (wikipedia.co.id). Udara teoritis adalah udara minimum yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna. Dalam prakteknya, kebutuhan udara pembakaran selalu lebih besar dari kebutuhan udara teoritis, dan disebut sebagai udara berlebih (excess air).

Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam burner (sebelum pembakaran) dan udara sekunder yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah burner, melalui ruang disekitar burner atau melalui tempat lain pada dinding dapur. Dalam prakteknya, kebutuhan udara pembakaran selalu lebih besar dari kebutuhan udara teoritis, dan disebut sebagai udara berlebih (excess air). Besarnya jumlah udara yang harus disuplai ke dalam proses pembakaran dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, ukuran partikel bahan bakar, dan teknik pembakarannya. Ketika diasumsi bahan bakar dibakar dengan udara teoritis, berarti proses pembakaran tersebut sempurna atau tepat secara kimiawi dan tidak ada atom-

atom oksigen yang tidak tercampur hadir di dalam gas yang dihasilkan.

Stoikiometri adalah metode yang sering digunakan untuk menentukan rumus empiris senyawa yang belum diketahui, terutama untuk senyawa yang mengandung karbon. Dalam analisis pembakaran, sampel senyawa yang diketahui dimasukkan ke dalam aliran gas oksigen. Seluruh karbon dalam sampel diubah menjadi karbon dioksida, dan seluruh hidrogen diubah menjadi air. Nitrogen dapat mengurangi efisiensi pembakaran dengan menyerap panas dan mengencerkan gas buang. Hal ini juga mengurangi transfer panas dan meningkatkan volume hasil samping pembakaran yang perlu dilewatkan melalui alat penukar panas. Nitrogen juga dapat bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi untuk membentuk oksida nitrogen (NO_x), yang merupakan polutan berbahaya. Karbon, hidrogen, dan sulfur dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen dari udara, menghasilkan karbon dioksida (CO₂), uap air, dan sulfur dioksida (SO₂).

Dalam proses pembakaran sulit untuk mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terjadinya pembakaran secara sempurna seluruh bahan bakar yang ada. Untuk memastikan bahwa pembakaran terjadi secara sempurna, ruang bakar harus mendapatkan tambahan udara (excess air). Udara berlebih akan meningkatkan jumlah oksigen dan kemungkinan terbakarnya seluruh bahan bakar. Saat seluruh bahan bakar dan oksigen di udara

mencapai titik kesetimbangan, pembakaran dapat dikatakan mencapai stoikiometri. Efisiensi pembakaran akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah excess air, sampai panas hilang dalam udara berlebih lebih besar dari pada panas yang dihasilkan oleh pembakaran yang lebih efisien. Secara teoritis, oksigen dan karbon monoksida tidak dapat muncul secara serempak dalam gas buang tetapi biasanya keduanya muncul dalam proses pembakaran actual disebabkan oleh pencampuran tak sempurna. Apabila angka perbandingan antara udara dan bahan bakar actual diketahui, maka persentase kelebihan udara dapat dihitung. Persentase kelebihan udara ditentukan melalui persamaan:

$$\% \text{ excess air} = \frac{(\text{mol udara actual}) - (\text{mol udara teoritis})}{(\text{mol udara teoritis})} \times 100\%$$

Gambar 8. Rumus Excess Air

Berikut ini adalah kisaran pemakaian udara berlebih untuk beberapa bahan bakar :

- 1) Udara 3 - 15% untuk bahan bakar gas
- 2) Udara 5 - 20% untuk bahan bakar minyak
- 3) Udara 15 - 60% untuk batubara

Produk pembakaran adalah energi panas, karbon dioksida, uap air, nitrogen dan gas lainnya. Dalam teori ada jumlah spesifik oksigen yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan bahan bakar secara sempurna. Oksigen teoritis adalah laju alir mol (untuk sistem batch) atau molar O₂ (untuk sistem kontinyu) yang dibutuhkan agar terjadi

pembakaran sempurna pada bahan bakar, dengan asumsi bahwa semua karbon pada bahan bakar teroksidasi menjadi CO_2 , semua hidrogen teroksidasi menjadi H_2O dan sulfur teroksidasi menjadi SO . Penambahan excess-air dapat meningkatkan aliran udara turbulen sehingga akan meningkatkan pencampuran udara dan bahan bakar di ruang bakar mengakibatkan pembakaran akan sempurna. Excess-air akan mempengaruhi jumlah gas CO pada gas buang dan kehilangan panas (heat losses) pembakaran serta akan mempengaruhi efisiensi pembakaran.

b. Bahan Bakar

Bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor atau panas. Bahan bakar dibakar dengan tujuan untuk memperoleh kalor tersebut, untuk digunakan baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai contoh penggunaan kalor secara langsung yaitu untuk memasak di dapur rumah tangga dan penggunaan kalor secara tidak langsung yaitu kalor diubah menjadi energi mekanik pada motor bakar.

Bahan bakar pada pembakaran pirolisis merupakan sumber panas yang menyebabkan bahan baku pirolisis yaitu biomassa terbakar sehingga menghasilkan asap yang jika didinginkan menjadi asap cair dan menghasilkan bioarang yang merupakan bahan bakar bernilai kalor tinggi. Pemilihan dan penggunaan jenis bahan bakar yang tepat dan untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien sangat mempengaruhi hasil bioarang dan asap cair. Seperti bahan bakar padat, cair atau gas. Dan

untuk bahan bakar padatnya jenis apa, batu bara atau biomassa, biomasnya apa, dan lain sebagainya.

Spesifikasi dari bahan bakar yang baik dan karakteristik utama yang dapat mempengaruhi hasil dari pembakaran tersebut dan yang terpenting adalah :

1. Nilai kalor atau Kalor Pembakaran.

Nilai kalor adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna 1 kilogram atau satu satuan berat bahan bakar padat atau cair atau 1 meter kubik atau 1 satuan volume bahan bakar gas, pada keadaan baku. Berdasarkan jumlah panas yang dihasilkan nilai kalor dapat dibagi menjadi :

- Nilai kalor atas atau high heating value (HHV) adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan tetap, suhu 250 C, apabila semua air yang mula-mula berujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali.
- Nilai kalor bawah atau low heating value (LHV) adalah kalor yang besarnya sama dengan nilai kalor atas dikurangi kalor yang diperlukan oleh air yang terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar untuk menguap pada 250 C dan tekanan tetap. Air dalam sistem setelah pembakaran berwujud uap air pada 250 C.

2. Kandungan Air di dalam Bahan Bakar.

Air yang terkandung dalam bahan bakar padat terdiri dari :

- Kandungan air internal atau air Kristal, yaitu air yang terikat secara kimiawi.
- Kandungan air eksternal atau air mekanikal, yaitu air yang menempel pada permukaan bahan dan terikat secara fisis atau mekanis.

Air dalam bahan bakar cair merupakan air eksternal, bisa masuk kedalam bahan bakar dari proses pengembunan dari udara yang masuk kedalam tangki, berperan sebagai pengganggu. Air dalam bahan bakar gas merupakan uap air yang bercampur dengan bahan bakar tersebut. Air yang terkandung dalam bahan bakar menyebabkan penurunan mutu bahan –bakar dan dapat merusak pelumasan pada bagian-bagian yang bergerak sliding pada pompa dan sistim bahan bakar, juga mengakibatkan karat pada permukaan yang kena air, dan filter akan cepat kotor dengan demikian kandungan air dalam bahan bakar harus serendah mungkin. Semakin tinggi kadar air maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air. Dalam proses ini terjadi proses karbonisasi tidak sempurna sehingga kualitas air yang dihasilkan jelek.

Kadar air akan berpengaruh pada nilai kalor yang dihasilkan di mana semakin tinggi kadar air maka nilai kalor yang dihasilkan semakin rendah. Semakin tinggi kadar air dalam arang maka dalam proses pembakarannya akan dibutuhkan kalor yang besar untuk mengeluarkan air menjadi uap sehingga

energi yang tersisa dalam arang tersebut menjadi lebih kecil. Keberadaan air dalam kayu dan produk olahannya berkaitan erat dengan sifat higroskopis kayu, di mana kayu mempunyai sifat afinitas yang besar terhadap air sehingga kayu tidak pernah kering sama sekali dari air.

c. Kandungan Abu

Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tak dapat terbakar (Non-BDT) yang tertinggal setelah proses pembakaran dan perubahan-perubahan atau reaksi-reaksi yang menyertainya selesai. Ash didalam bahan bakar secara umum terdiri dari beberapa macam seperti partikel-partikel padat, larutan garam anorganik. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor. Di dalam dapur atau dalam generator gas, abu dapat meleleh pada suhu tinggi, menghasilkan massa yang disebut “slag”. Sifat kandungan abu dapat ditandai oleh perubahan –perubahan yang terjadi bila suhunya naik. Abu merupakan mineral, abu terdiri dari bahan mineral seperti lempung, silika, kalsium serta magnesium oksida. Semakin besar kadar abu berarti kualitasnya semakin jelek.

d. Kandungan Belerang

Apa bila bahan bakar yang mengandung belerang dibakar, belerang akan terbakar membentuk gas belerang dioksida (SO_2) dan belerang trioksida (SO_3), gas-gas ini bersifat sangat korosif terhadap logam dan beracun. Kandungan sulfur didalam bahan bakar sangat mempengaruhi keausan mesin dan emisi gas buang, sulfur teroksidasi ketika terjadi proses pembakaran.

e. Kandungan BTG dan daya pembentukan Kokas

Jika bahan bakar padat dibakar tanpa udara berlebihan, pertamamula yang menguap adalah air, baru kemudian gas-gas yang terbentuk dari terbakarnya (BTG). Sisa akhir pembakaran adalah KT atau kokas serta abu. Makin tua umur geologis bahan bakar padat, maka makin rendah kandungan BTG –nya.

f. Berat jenis (Spesific Gravity).

Berat jenis dinyatakan dalam gram/ml, dalam derajat API, dalam lb/gallon, atau lb/cu-ft, dan derajat Baume berat jenis disingkat sp.gr. atau sg. Berat jenis berhubungan dengan kerapatan. Kerapatan akan memberikan pengaruh terhadap nilai kalor suatu bahan, kerapatan yang tinggi cenderung memberi nilai kalor yang tinggi dibandingkan yang berkerapatan rendah.

g. Viskositas atau kekentalan

Viskositas adalah kebalikan fluiditas atau daya alir. Makin tinggi viskositas makin sukar mengalir. Mengingat kecepatan mengalir juga tergantung pada berat jenis, maka pengukuran viskositas demikian dinyatakan sebagai “viskositas kinematik”. Viskositas absolute = viskositas kinematik x berat jenis cairan. Satuan viskositas antara lain: poise, gram / cm detik, cST (centi Stoke), atau dengan skala Saybolt Universal (SU) diukur dalam detik.

h. Densitas

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volum bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Densitas diukur dengan suatu alat yang disebut hydrometer. Pengetahuan

mengenai densitas ini berguna untuk penghitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalaan. Satuan densitas adalah kg/m^3 .

i. Specific gravity

Didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volum yang sama pada suhu tertentu. Densitas bahan bakar, relatif terhadap air, disebut specific gravity. Specific gravity air ditentukan sama dengan 1. Karena specific gravity adalah perbandingan, maka tidak memiliki satuan. Pengukuran specific gravity biasanya dilakukan dengan hydrometer. Specific gravity digunakan dalam penghitungan yang melibatkan berat dan volum.

j. Titik Nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. Titik nyala untuk minyak tungku/ furnace oil adalah 66°C .

k. Titik Tuang

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan dibawah kondisi yang sudah ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

l. Panas Jenis

Panas jenis adalah jumlah kKal yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg minyak sebesar 10°C . Satuan panas jenis adalah $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$. Besarnya bervariasi mulai dari 0,22 hingga 0,28

tergantung pada specific gravity minyak. Panas jenis menentukan berapa banyak steam atau energi listrik yang digunakan untuk memanaskan minyak ke suhu yang dikehendaki. Minyak ringan memiliki panas jenis yang rendah, sedangkan minyak yang lebih berat memiliki panas jenis yang lebih tinggi.

m. Residu Karbon

Residu karbon memberikan kecenderungan pengendapan residu padat karbon pada permukaan panas, seperti burner atau injeksi nosel, bila kandungan yang mudah menguapnya menguap. Residu minyak mengandung residu karbon 1 persen atau lebih.

n. Kadar zat mudah menguap

Zat mudah menguap dalam briket arang bukan merupakan komponen penyusun arang, tetapi merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun arang akibat proses pemanasan. Kadar zat mudah menguap dalam arang selain air dapat dihitung dengan menguapkan semua zat-zat menguap dalam arang selain air. Suhu yang digunakan dalam proses pembuatan arang akan mempengaruhi besarnya kadar zat mudah menguap. Kadar zat mudah menguap dapat diperkecil bila suhu pengarangan dinaikkan.

o. Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia cepat antara oksigen dan bahan bakar pada suhu tertentu, yang disertai pelepasan suatu kalor. Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Berdasarkan kondisinya,

pembakaran dibagi menjadi tiga, yaitu; pembakaran spontan, pembakaran sempurna dan pembakaran parsial. Sebelum proses pembakaran berlangsung, terlebih dahulu bahan bakar dinaikkan suhunya hingga titik bakarnya tercapai (flash point). Penguraian dan oksidasi dimulai pada suhu yang rendah ke suhu tinggi. Jika bahan bakar mengandung unsur oksigen dan zat penguap (volatile matter) yang tinggi maka suhu penguraian dan oksidasi akan semakin rendah.

Pada proses pembakaran biomassa, 80% energi yang dilepaskan dalam bentuk gas yang mudah terbakar dan sisanya dalam bentuk karbon. Oleh karena itu, selama proses pembakaran sangat penting untuk mempertahankan agar oksigen dapat selalu dijaga dalam kontak dengan bahan bakar dan gas-gas yang terbentuk ketika pembakaran berlangsung pada suhu penyalanya. Kontak yang baik antara bahan bakar dengan oksigen akan menghasilkan proses pembakaran secara cepat dan komplit, sehingga diperoleh efisiensi pembakaran yang relatif tinggi.

Jika bahan bakar dalam bentuk gas, maka pencampuran reaktan (oksigen dan bahan bakar) dapat dicapai secara optimal karena substansi gas-gas tersebut dapat dengan mudah dicampur secara cepat dan tepat sesuai dengan rasio kebutuhan udara yang diperlukan. Proses pembakarannya pun mungkin dapat terjadi secara cepat, dan kemudian pengontrolannya pun juga lebih cepat terutama dalam penambahan atau pengurangan bahan bakar maupun oksigen yang diperlukan. Supaya proses pembakaran bahan bakar biomassa juga dalam situasi yang sama dengan proses

pembakaran gas alam, maka bahan bakar biomassa yang dioksidasi perlu direduksi ukurannya menjadi partikel-partikel lebih kecil dari kondisi awalnya.

Proses pembakaran pada bahan bakar pada umumnya dibagi menjadi 3 tahap, antara lain;

1. Proses pengeringan
2. Proses devolatilisasi
3. Proses pembakaran karbon

Pada saat biomasa dipanasi, kandungan air di dalam bahan bakar sedikit demi sedikit mulai menguap pada suhu antara 90 - 100°C. Kandungan air yang dilepaskan dari bahan bakar biomasa tersebut kemudian mengalir keluar bersama dengan gas buang melalui cerobong. Pada suhu antara 140 – 400°C terjadi proses devolatilisasi yang akan melepaskan gas-gas pembentuk unsur biomassa (volatile). Gas-gas tersebut kemudian dioksidasi dengan udara sekunder dan akan melepaskan kalor hingga suhunya mencapai 800 – 1.026°C. Proses pembakaran tersebut terjadi secara sinambung mengikuti ketiga reaksi di atas.

Sebagaimana diketahui bahwa pembakaran adalah proses oksidasi dimana oksigen diberikan dengan mengikuti rasio udara berlebih terhadap massa bahan bakar agar diperoleh reaksi pembakaran yang komplit. Reaksi utama dari proses pembakaran antara karbon dengan oksigen akan membentuk karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida merupakan produk pembakaran yang memiliki temperatur rendah. Oksidasi karbon monoksida ke karbon dioksida hanya dapat terbentuk jika

memiliki sejumlah oksigen yang seimbang. Kandungan CO yang tinggi mengindikasikan proses pembakaran tidak komplit dan ini harus seminimal mungkin dihindari, karena:

1. CO adalah gas yang dapat dibakar. Kandungan CO yang tinggi akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang rendah
2. Dapat menyebabkan gangguan bau (odour)
3. Bila konsentrasi gas CO sangat tinggi mempunyai resiko yang tinggi bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya.

Emisi gas CO₂ di atmosfer sangat problematik, sejak kehadiran CO₂ menjadi pertimbangan utama dalam kasus efek pemanasan global maka keberadaan CO₂ saat ini mulai dipertimbangkan lagi. Selama proses pembakaran bahan bakar biomasa gas CO₂ yang dikeluarkan akan segera diikat kembali oleh tanaman selama proses pertumbuhannya berlangsung. Hal ini dapat terjadi karena CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran biomasa adalah CO₂ netral berbeda dengan bahan bakar fosil.

Selama proses pembakaran biomassa juga akan menghasilkan gas metan (CH₄) yang merupakan komponen dasar dari gas alam. CH₄ mempunyai kontribusi yang besar terhadap efek pemanasan global, bahkan lebih kuat 21 kali dari pada CO₂. Keberadaan CH₄ di atmosfer dapat mencapai jangka waktu 12 tahun sebelum akhirnya terdegradasi secara alami. Beberapa gas lainnya juga akan dihasilkan dari reaksi oksidasi antara oksigen dengan komponen bahan bakar seperti oksida oksida nitrogen, yaitu; NO, N₂O, dan NO₂. Pada beberapa literatur menyebutkan bahwa jumlah oksida nitrogen diperoleh dari dua sumber, yaitu; panas dan

udara. Untuk mendapatkan proses pembakaran secara komplit diperlukan sejumlah udara pembakaran yang cukup untuk mengoksidasi unsur-unsur pembentuk biomassa.

Jumlah kebutuhan udara untuk keperluan oksidasi bahan bakar biomassa dapat ditentukan berdasarkan persentase kandungan unsur pembentuknya. Komposisi unsur senyawa bahan bakar dapat diketahui melalui analisis proksimasi (analisis pendekatan) dan analisis ultimasi (analisis tuntas).

Pembakaran merupakan suatu runutan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (fuel) dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala : Bahan bakar padat + O₂ Gas buang + abu - ΔH. Reaksi pembakaran secara umum terjadi melalui 2 cara, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran habis. Pembakaran sempurna adalah proses pembakaran yang terjadi jika semua karbon bereaksi dengan oksigen menghasilkan CO₂ , sedangkan pembakaran habis adalah proses pembakaran yang terjadi jika bahan bakar terbakar habis adalah proses pembakaran yang tidak semuanya menjadi CO₂ . Proses pembakaran actual dipengaruhi oleh 5 faktor, yaitu :

1. Pencampuran udara dan bahan dengan baik
2. Kebutuhan udara untuk proses pembakaran
3. Suhu pembakaran

4. Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran
5. Berat jenis bahan yang akan dibakar

Pencampuran udara dan bahan bakar yang baik dalam pembakaran actual biasanya tidak dapat dicapai tetapi didekati melalui penambahan excess udara. Penambahan excess udara harus baik dengan nilai minimum karena apabila terlalu banyak dapat meningkatkan kehilangan energy dalam pembakaran dan meningkatnya emisi NO_x. Proses pembakaran sampah/biomassa berlangsung secara bertahap. Tahap awal terjadi penguapan kandungan air sampah yang belum terbakar menggunakan panas dari bahan terbakar yang berada di sekelilingnya atau menggunakan energi panas yang ditambahkan dari luar. Pada saat pemanasan sampah terjadi pelepasan karbon atau bahan volatile yang terkonversi menjadi gas yang mudah terbakar, proses ini disebut gasifikasi. Gas ini selanjutnya bercampur dengan oksigen yang dapat mengalami reaksi oksidasi. Kondisi ini apabila menghasilkan temperature cukup tinggi dan berlangsung lama dapat terkonversi secara sempurna (complete combustion) menghasilkan uap air dan CO₂ yang dilepaskan ke udara.

Kondisi sebaliknya dapat terjadi yaitu apabila temperatur pembakaran rendah dan waktu tinggal pada ruang bakar cepat terjadi pembakaran yang tidak sempurna (incomplete combustion) yang dapat menghasilkan asap. Dampak lain dari pembakaran tidak sempurna adalah terbentuknya polutan lain yang semula tidak terdapat dalam sampah karena terjadi reaksisintesa yang disebut

denovo menghasilkan dioksidan furan. Tingkat kesempurnaan pembakaran di pengaruhi oleh beberapa variable berikut :

1. Temperatur

Temperatur pembakaran merupakan fungsi nilai bakar (heatingvalue) sampah dan bahan bakar tambahan dari luar, rancangan alat pembakar (incinerator), supply udara dan control pembakaran. Pembakaran sempurna memerlukan temperature tinggi, secara umum temperatur lebih tinggi dari 650°C dan waktu tinggal 1-2 detik dapat menghasilkan pembakaran sempurna pada makanan dan sampah biomassa. Temperatur lebih tinggi sekitar 1000°C diperlukan untuk membakar campuran sampah yang mengandung bahan berbahaya (hazardous) seperti sampah medis dengan waktu tinggal minimal 1 detik dapat menghasilkan polutan seperti dioksidsin, furan, asap dan abu minimal.

2. Waktu Tinggal

Pembakaran sempurna membutuhkan waktu tinggal yang cukup yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menjamin terjadinya percampuran yang sempurna antara udara dan bahan bakar agar dapat bereaksi secara sempurna. Pembakaran pada temperatur rendah, sampah dengan nilai panas rendah dan turbulensi campuran gas yang rendah memerlukan waktu tinggal yang lebih lama untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.

3. Turbulansi

Turbulensi pencampuran gas yang terbakar dan udara diperlukan untuk menjamin terjadinya kontak yang cukup antara bahan bakar dan udara. Hal ini dapat menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan pembakaran sempurna. Tingkat pencampuran tergantung dari rancangan ruang bakar insinerator dan sistem injeksi udara. Sistem pembakaran dengan sirkulasi udara alami pada sistem pembakaran terbuka tidak dapat menghasilkan pencampuran yang baik. Demikian juga tumpukan sampah yang terlalu tinggi dapat mengganggu turbulensi pencampuran udara dan gas yang mudah terbakar karena tersumbatnya rongga jalur aliran kedua bahan ini. Rancangan insinerator yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna menggunakan system sirkulasi paksa (forced circulation) untuk memperoleh turbulensi pencampuran.

4. Komposisi Bahan

Karakteristik bahan seperti nilai panas, kandungan air dan sifat kimia (kandungan C, H, O, N, S dan Cl) sampah berpengaruh terhadap proses pembakaran dan jenis polutan pada gas buang dan abu. Semakin tinggi temperatur, waktu tinggal dan derajat pencampuran gas dan udara semakin mendekati pembakaran sempurna dan semakin kecil pengaruh karakteristik bahan terhadap tingkat kesempurnaan pembakaran.

Dalam proses pirolisis, biomassa terdekomposisi secara termal tanpa oksigen dan proses ini sangat kompleks, melibatkan begitu banyak reaksi biomolekul biomassa yang terdekomposisi menghasilkan asap cair.

4.1.2. Reaksi Dekomposisi Pada Proses Pirolisis

Pirolisis pada dasarnya terdiri dari dua tahap yang dikenal sebagai pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Golongan karboksil, karbonil dan hidroksil yang berbeda juga terbentuk pada tahap pertama proses pirolisis. Proses devolatilisasi melibatkan dehidrasi, dekarboksilasi dan dehidrogenasi biomassa. Selanjutnya terjadi proses pirolisis sekunder terjadi yang mengubah biomassa menjadi gas – gas. Bagian pertama di sisi produk mewakili hasil gas dengan berbagai gas yang dihasilkan selama proses berlangsung. Bagian kedua sisi produk menunjukkan campuran berbagai jenis produk cair dan yang terakhir adalah hasil padat. (Tripathi.M.et.al.2016).

Jalur degradasi komponen biomassa utama telah diteliti secara terpisah. Dekomposisi hemiselulosa, yang secara genetis diwakili oleh xilan, terutama terjadi antara 250°C dan 350°C, diikuti oleh dekomposisi selulosa, yang terutama terjadi antara 325°C dan 400°C dengan levo glucosan sebagai produk pirolisa utama (Richards. et.al 1994) dan (Stanfanidis. et.al 2014). Lignin adalah komponen yang paling stabil yang terurai pada suhu yang lebih tinggi dari 300-550°C (Williams. et.al. 1996). Jalur reaksi disederhanakan dari pirolisis selulosa, yang merupakan mekanisme Waterloo yang diterima secara genetis. Dehidrogenasi,

depolymerisation dan fragmentasi adalah reaksi persaingan utama yang dominan pada rentang suhu yang berbeda (Kan T.et.al. 2015).

a. Dekomposisi Lignin

Lignin merupakan sebuah polimer kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi dan tersusun atas unit-unit fenil propana. Senyawa-senyawa yang diperoleh dari pirolisis struktur dasar lignin berperan penting dalam memberikan aroma asap produk asapan. Senyawa ini adalah fenol, eter fenol seperti guaiakol, siringol dan homolog serta derivatnya (Girard. 1992). Lignin mulai mengalami dekomposisi pada temperatur 300-350°C dan berakhir pada 400- 450°C.

Sebagai sumber potensial untuk sumber energi dan bahan kimia. Lignin merupakan senyawa polimer aromatik alami yang paling melimpah, 3 (tiga) jenis lignin memiliki struktur fenolik tiga dimensi bercabang tinggi termasuk unit fenilpropan utama, yaitu p-coumaril, coniferil dan sinapil. Lignin kayu lunak mengandung unit sinapil yang relatif lebih sedikit dan terutama terdiri dari struktur guaiacil, sedangkan lignin kayu keras mengandung struktur guaiacil, siringil (Brebu.M dan Vasele.C.2009). Lignin secara termal terurai pada rentang suhu yang tinggi, penguraian golongan fungsional dengan pengaturan temperatur tinggi menghasilkan 30–50 % arang menghasilkan produk berat molekul rendah dan pelepasan produk volatil (Brebu.M &Vasele.C.2009).

Pemecahan ikatan aril-eter menghasilkan pembentukan radikal bebas yang sangat reaktif dan tidak stabil yang dapat

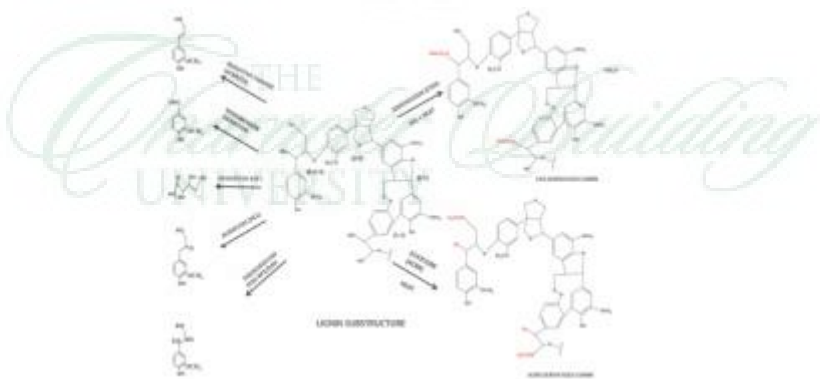
bereaksi melalui penyusunan kembali, susunan elektron atau interaksi radikal radikal, membentuk produk dengan stabilitas yang tinggi. Kondensasi sederhana pada zat antara menyebabkan peningkatan awal massa molekul produk reaksi. Beberapa fragmen yang berasal dari lignin dapat menghambat kondensasi sendiri, sehingga mempengaruhi distribusi massa molekul produk dalam keadaan kesetimbangan (Brebun & Vasele, 2009).

Menurut Wittkowski et al. 2010, degradasi rantai sisi propanoid lignin terjadi pada kisaran suhu 230-260°C, dengan pembentukan metil, etil dan vinil- guaiakol dan vanilin. Hasil serupa dilaporkan untuk degradasi pada 240-260 °C dari rantai sisi propanoid dalam asam ferrulic, senyawa model lignin. Pada suhu rendah, dibawah 310°C ikatan β -eter memiliki mekanisme pemecahan produk pirolisis yang berbeda, tergantung pada struktur rantai samping lignin. metil, dimetil, etil dan vinil fenol terbentuk dari zat antara guaiakol yang sesuai dengan pembelahan rantai O-C (alkil) dan O-C (aril), menunjukkan peningkatan hasil pada suhu tinggi. Demetilisasi dari kelompok dimetoksi menyebabkan konversi fenol menjadi pyrocatechols pada 350-450°C, ketika pirolisis hampir selesai.

Lignin lebih sulit mengalami dehidrasi dari pada selulosa atau hemiselulosa. Dehidrasi struktur lignin memberikan produk pirolisa dengan rantai samping tak jenuh. Produk asam asetat dan gas yang tidak dapat dikondensasi, terutama utamanya CO, CO₂ dan CH₄ , terbentuk selama pirolisis lignin. Reaksi sekunder di atas 600°C melibatkan dekomposisi bertahap zat antara lignin, gas char

dan gas kondensasi. Waktu tinggal yang sangat singkat menghasilkan depolimerisasi lignin, karena pembelahan ikatan acak dan reaksi antar makromolekul lignin, menghasilkan produk cair yang kurang homogen. Lignin sendiri dapat menghambat polimerisasi termal levo glucosan dan meningkatkan pembentukan produk dengan berat molekul rendah dari selulosa dengan penurunan fraksi char. Dalam lignin hydrocracking, struktur makromolekul biasanya didepolimerisasi ke berbagai macam produk, yang umumnya dapat dikelompokkan menjadi padatan, cairan dan gas. Hasil dan distribusi produk bergantung pada tingkat keparahan kondisi reaksi dan jenis katalis. Di bawah kondisi hydrocracking, aril eter β -O-4 dan ikatan CC yang tidak stabil dari struktur lignin dibelah, hydrodealkylation selanjutnya menyebabkan pecahnya kelompok rantai samping alkil yang terkait dengan cincin aromatik (Brebun. &Vasele.C.2009).

Adapun untuk lebih jelasnya dekomposisi sellulosa dengan proses pirolisis dapat dilihat pada gambar 2. 3 berikut ini :



Gambar 9. Substruktur Lignin dan Analisis

Sumber: Welker.C.m.et.al (2015)

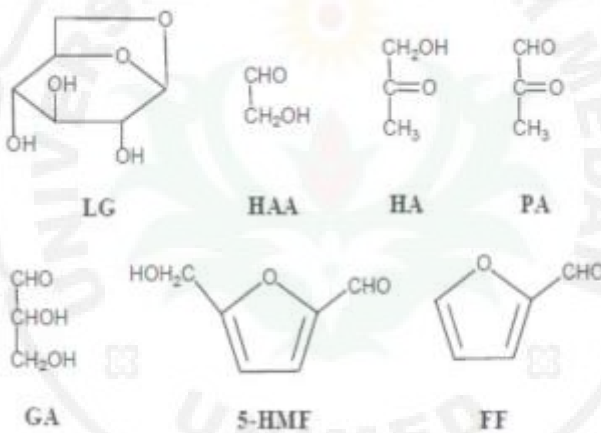
b. Dekomposisi Sellulosa

Selulosa adalah makromolekul yang dihasilkan dari kondensasi linear struktur heterosiklis molekul glukosa. Selulosa terdiri dari 100-1000 unit glukosa. Selulosa terdekomposisi pada temperatur 280⁰C dan berakhir pada 300-350⁰C Girard (1992), menyatakan bahwa pirolisis selulosa berlangsung dalam dua tahap, yaitu : Tahap pertama adalah reaksi hidrolisis menghasilkan glukosa dan tahap kedua merupakan reaksi yang menghasilkan asam asetat dan homolognya, bersama-sama air dan sejumlah kecil furan dan fenol.

Zat volatil baik yang terkondensasi atau yang tidak dapat dikondensasikan dari pirolisis selulosa pada suhu proses sedang atau tinggi sebagian besar telah diidentifikasi dengan menggunakan peralatan analisis seperti FTIR, GC-MS, HPLC, NMR dan sebagainya. Berbagai senyawa turunan piran dan furan (senyawa yang mengandung cincin C5-6), senyawa organik C2-4 beroksigen alifatik dan spesies/gas ringan (hidrokarbon ringan, CO dan CO₂) yang diperoleh, dipengaruhi oleh parameter proses. Bahan baku untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia, beberapa produk yang diproduksi dengan hasil yang baik dengan seksama mengenai bahan kimia mekanisme pembentukan dan fraksinasi mereka (Shen DK.et.al. 2013).

Berbagai senyawa turunan piran dan furan (senyawa yang mengandung cincin C5-6), senyawa organik C2-4 beroksigen alifatik dan spesies/gas ringan (seperti hidrokarbon ringan, CO dan CO₂) dapat diperoleh, dan daftar ekstensif bersama-sama dengan pola spektrometri/kromatografi dan hasil panen tersedia dalam

literatur, dimana hasilnya sangat dipengaruhi oleh reaktor pirolitik, kondisi operasi, metode kondensasi dan sumber sampel. Karena potensi yang besar sebagai bahan baku untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia, beberapa produk yang diproduksi dengan hasil yang baik (seperti levo glucosan, furfural, hydroxyacetaldehyde, acetol, CO, CO₂ dan sebagainya (Shen DK,et.al. 2013).



Gambar 10. Struktur Kimia dari Jenis Senyawa pada Asap Cair proses Pirolisis

Senyawa yang mengandung cincin C5-6 dari pirolisis selulosa dapat dikondensasikan menjadi anhidrosuari dan turunan furan, diantaranya levo glucosan (1,6-anhidro-β-D-glukopirosa). Pembentukan levoglucosan diprakarsai oleh gangguan rantai selulosa, terutama pada hubungan 1,4 glukosidin dalam makromolekul, diikuti oleh penataan ulang intramolekul dari unit monomer selulosa.

Interaksi antara komponen kimia biomassa dalam proses pirolisis terjadi dalam proses pirolisis, (Hosoya.T et.al 2007) melaporkan bahwa interaksi selulosa-hemiselulosa dan

selulosalignin selama pirolisis pada suhu gasifikasi 800°C selama 30 detik dalam reaktor tabung, sedangkan sampel selulosa yang dicampur dengan hemiselulosa (2:1,wt/wt) disiapkan dengan menggiling selulosa-hemiselulosa campuran dalam adukan mortar dan selulosa yang dicampur dengan MWL (lignin kayu giling) (2: 1, wt / wt) dibuat dengan menambahkan selulosa ke larutan 1,4-dioksan (0,5 ml) MWL diikuti penguapan pelarut. Dalam pirolisis selulosahemiselulosa, hasil percobaan dan taksiran tidak berbeda begitu banyak. Hasilnya menunjukkan bahwa interaksi selulosahemiselulosa tidak signifikan pada hasil gas, tar dan char (Shen D.K.et.al. 2013).

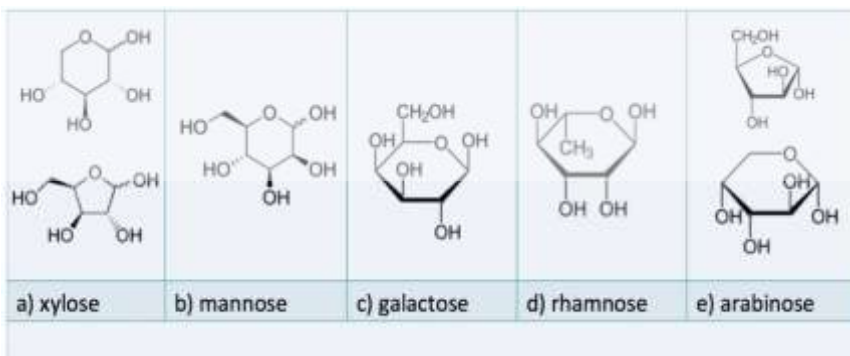
Selain itu, interaksi antara komponen untuk pembentuk karakter sekunder juga diselidiki, yang melibatkan reaktor setelah ekstraksi pirolisis dan tar (Hosoya. et.al 2007). Sampel polisakarida kayu membentuk arang sekunder di sisi atas reaktor sedangkan karbonisasi fase uap dari produk dari lignin mengarah pada pembentukan arang sekunder dari bawah ke sisi atas secara terus menerus. Pada pirolisis selulosa-hemiselulosa, perilaku pembent arang char ini dapat dijelaskan sebagai gabungan perilaku pirolisa selulosa dan hemiselulosa. Di sisi lain, pirolisa selulosa secara substansial mengurangi pembentukan sekunder basa uap .

c. Dekomposisi Hemisellulosa

Hemiselulosa merupakan polimer dari beberapa monosakarida seperti pentosan (C₅ H₈ O₄) dan heksosan (C₆ H₁₀

O5). Pirolisis pentosan menghasilkan furfural, furan dan derivatnya beserta satu seri panjang asam-asam karboksilat. Pirolisis heksosan terutama menghasilkan asam asetat dan homolognya. Hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur 200 - 250 o C.

Hemiselulosa adalah kelompok polisakarida yang memiliki struktur acak dan amorf dengan sedikit kekuatan dibandingkan dengan selulosa yang bersifat kuat, kristalin serta merupakan cross link daripada selulosa dan lignin. Sebagai komponen utama biomassa, kandungan hemiselulosa adalah 10-15% pada kayu lunak, 18 - 23 % pada kayu keras dan 20-25% pada tanaman herbal. Kandungan sakarida yang terdapat didalam hemiselulosa adalah pentosa, heksosa, asam uranic, salah satu kelas senyawa yang berasal dari gula dengan mengoksidasi gugus CH -CH OH menjadi gugus asam (-COOH) dapat menghasilkan asam askorbat, asam, dan termasuk xilosa, galaktosa, glukosa, dan arabinosa. Untuk lebih jelasnya struktur struktur senyawa hemiselulosa dapat dilihat pada gambar 2.6. Dimana gula – gula yang lainnya seperti r amnosa dan fruktosa juga terdapat dalam jumlah kecil dan gugus hidroksil gula dapat disubstitusi X.et.al.2011).

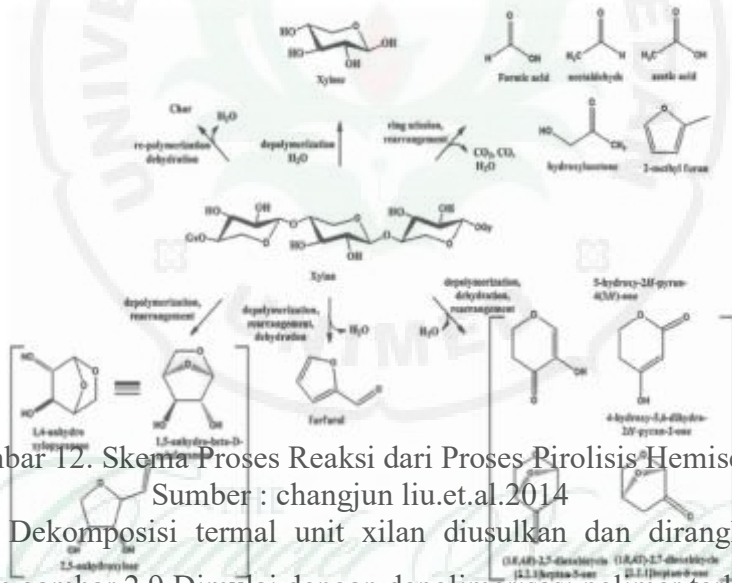


Gambar 11. Struktur Monemer Gula dalam Hemiselulosa
Sumber : <https://www.e-education.psu.edu/egge439/node/664>.

Dekomposisi xilan terutama terjadi pada kisaran 220-315°C dengan laju penurunan berat yang cepat untuk menghasilkan lebih banyak CO₂. Distribusi produk utama (bio-oil, gas dan char) yang dihasilkan oleh degradasi xilan diselidiki menghasilkan gas, tar, air dan char. Dari gasifikasi xilan pada suhu 800° C masing-masing 14,1% berat, 54,3% berat, 11,5% berat dan 20,1% berat, dan furan adalah senyawa yang paling melimpah pada tar. Sementara itu, hemiselulosa memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku pirolisis biomassa melalui interaksi antara selulosa dan lignin. Berbagai perlakuan digunakan untuk menghasilkan gula dari hidrolisis hemiselulosa seperti hidrolisis asam, perawatan hidrotermal, cairan ionik, cairan superkritis, dan lainnya. Namun, laporan tentang pirolisis katalisis hemiselulosa jarang terjadi. Untuk lebih jelasnya pirolisis hemiselulosa dapat dilihat pada gambar 2.8 dan 2.9

Berbeda dengan perilaku selulosa, pirolisis lignin memiliki penurunan massa berat kontinu dari awal sampai akhir, dan hasil residu akhir sekitar 40% berat. Selain itu, interaksi antara tiga komponen juga memiliki pengaruh yang jelas terhadap perilaku pirolisa biomassa. Analisis kinetik menunjukkan bahwa dekomposisi termal levo glucosan diperpanjang pada rentang suhu

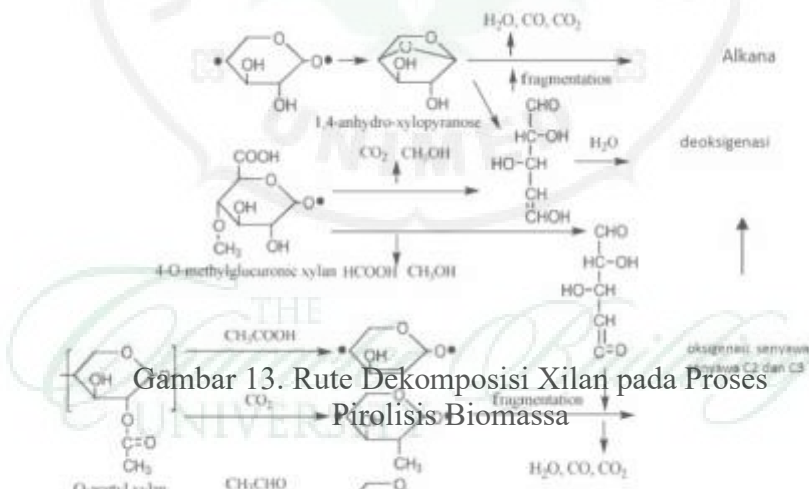
yang lebih luas sesuai dengan interaksi hemiselulosa atau lignin pada pirolisis selulosa; pembentukan asam 2-furfural dan asetat diperkuat dengan adanya selulosa dan lignin pada kisaran 350-500°C, dan jumlah fenol 2,6 - dimetoksi ditingkatkan dengan pengaruh selulosa dan hemiselulosa yang terintegrasi (Guo.X.et.al.2011).



Gambar 12. Skema Proses Reaksi dari Proses Pirolisis Hemiselilosa
 Sumber : changjun liu.et.al.2014

Dekomposisi termal unit xilan diusulkan dan dirangkum dalam gambar 2.9 Dimulai dengan depolimerisasi polimer terlebih dahulu. Pembentukan asam asetat terlibat dengan reaksi eliminasi primer dari gugus O-Ac aktif dalam rantai samping O-asetil xilan dan furfural diperoleh melalui pembelahan ikatan antara O-C 5 dan cincin yang membentuk antara Posisi C2 -C 5 pada rantai utama xilan. Jalur lain untuk pembentukan furfural terkait dengan penguraian 4-Omethylglucuronic xylan bersamaan dengan

pelepasan CO₂ dan metanol. Selain itu, alkana jelas diperoleh dari deoksigenasi kedalaman senyawa beroksigen C₂ atau C₃, seperti asetaldehid, aseton, etanol, dan glikolaldehida dll. Hal ini diamati bahwa pembelahan ikatan kimia pada rantai samping lebih mudah daripada yang ada pada cincin gula. Dengan adanya zeolit, pembentukan furfural terkendali dan reaksi fragmentasi menjadi kuat untuk menghasilkan lebih banyak air, CO₂, CO dan alkana (Guo.X, et.al, 2011).



Gambar 13. Rute Dekomposisi Xilan pada Proses Pirolisis Biomassa

4.1.3. Parameter yang Mempengaruhi Proses Pirolisis

Parameter pirolisis memberikan pengaruh pada jumlah dan sifat produk yang diperoleh dilaporkan oleh Chen. W. et.al. 2015 yaitu mencakup tipe biomass, cara penanganan awal atas sifat (fisik, kimia dan biologi), reaksi yang terjadi dengan udara,

temperatur, tingkat pemanasan dan lamanya uap yang tertinggal dalam sistem.

Sedangkan Kan.T.et al. 2016 melaporkan lebih lengkap beberapa parameter yang mempengaruhi proses pirolisis biomassa sehingga juga berpengaruh pada sifat- sifat dan aplikasi produk pirolisis. Parameter pirolisis itu meliputi seleksi jenis bahan baku (jenis biomassa yang digunakan, ukuran partikel, penanganan awal biomassa, kondisi reaksi (suhu pirolisis, tekanan, laju pemanasan partikel dan waktu kontak), konfigurasi reaktor yang digunakan, proses yang dilakukan dan berbagai variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap.

Kandungan selulosa yang ada dalam biomassa membantu pembentukan tar sementara kandungan lignin tinggi menguntungkan untuk produksi char. Kelembaban dalam biomassa tidak hanya meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk mencapai suhu pirolisis tetapi juga menghambat pembentukan char. Analisis keseluruhan dari parafin ini menunjukkan bahwa untuk produksi asap cair, biomassa dengan kadar lignin tinggi dan kadar air rendah harus digunakan dalam proses pirolisis (Manoj.et.al. 2016) .

Beberapa parameter pirolisis yang digunakan berpengaruh pada sifat-sifat dan aplikasi produk pirolisis yang dihasilkan yaitu : (suhu pirolisa, tekanan, laju pemanasan partikeln waktu kontak), konfigurasi reaktor yang digunakan , proses yang dilakukan, variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap (Chen ,et.al.2015) dan (Kan..et.al.2015).

a.)Jenis Bahan Baku

Biomassa diklasifikasi dalam 5 (lima) kelompok yang berbeda tergantung pada sumber dari mana diperolehnya yaitu limbah kayu, pertanian, air, manusia dan hewan serta limbah industri. Pengklasifikasian ini dapat memberikan perkiraan beberapa unsur yang ada di dalamnya dan bukan klasifikasi berdasarkan komponen selulosa, hemiselulosa atau lignin. Sumber utama biomassa tanaman pertanian, batang, jerami, kulit tanaman, berbagai tanaman rumput, jenis mikroalga, tumbuhan, mikroba, ganggang biru, ganggang hijau, jamur dan berbagai jenis gulma air, makanan yang dimasak atau tidak dimasak, buah, kertas, plastik, pulp, limbah industri kertas, residu tebu dari pabrik gula, limbah industri pengolahan makanan dan lain-lain. Biomassa limbah hewan, manusia dan industri dikategorikan berbeda karena biomassa industri mengandung berbagai jenis bahan kimia beracun dan zat aditif berbahaya di dalamnya, sementara kotoran hewan dan manusia terbebas dari jenis senyawa kimia berbahaya. Selain itu, biomassa dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan selulosa dan lignin yang ada di dalamnya. Prediksi unsur dapat membantu dalam pemilihan pirolisis biomassa untuk membandingkan kandungan energi dalam biomassa. Klasifikasi berdasarkan lignin dan selulosa dapat mengubah distribusi produk. Oleh karena itu klasifikasi berdasarkan kandungan lignin dan selulosa sangat membantu bila jenis produk tertentu diinginkan setelah pirolisa (Tripathi. M. et.al. 2016).

Biomassa lingo selulosa terdiri dari (25 - 50 %) selulosa, (15 40 %) hemiselulosa, (0 – 15 %) bahan–bahan hasil ekstraksi, (10 40 %) lignin dan sejumlah kandungan mineral organik lainnya. Jenis biomassa mempengaruhi proses pirolisis dan produk dalam berbagai metode yang dilakukan. Hal ini disebabkan karena rasio masa relatif antara senyawa organik dan anorganik bervariasi pada tiap jenis biomassa, tempat tumbuhnya dan waktu panen. Kandungan lignin yang tinggi meningkatkan beratmolekul rata–rata dan visikositas rata serta menurunkan kandungan air biomassa (Kan.et al 2016).

b.)Pretreatment

Bahan baku umpan biomass biasanya memerlukan beberapa bentuk penanganan awal sebelum diproses bertujuan untuk merubah atau merusak struktur lignoseselulosa sehingga lebih mudah terdekomposisi. Menurut Kan. et.al. 2014 ada 5 kategori pretreatment yaitu:

- 1) Secara fisik (penghalusan dan penghancuran)
- 2) Termal (torefection letupan atau kontak dengan cairan panas secara mendalam (irradiasi ultrasonic).
- 3) Secara kimia (pemberian asam, basa dan cairan yang mengandung ion)
- 4) Secara biologis (adanya jamur, mikroba dan enzim)
- 5) Kombinasi keempat katagori diatas.

c.)Kondisi Reaksi

- 1) Suhu

Suhu pirolisis mempengaruhi distribusi dan sifat sifat produk. Secara umum perolehan hasil asap cair pada konsentrasi tertinggi dicapai pada suhu operasi 400 - 550 0 C dan kondisi akan menurun pada suhu diatasnya. Pada suhu lebih dari 600 0 C asap cair dan char akan berubah menjadi gas oleh karena banyak terjadi pembentukan reaksi sekunder. Suhu pirolisis berpengaruh terhadap distribusi bahan dari produk karena didominasi reaksi pemutusan kedua fraksi senyawa polar, alifatik dan aromatik. Pembentukan asap cair seiring dengan kenaikan temperatur dari 300–500°C ke suhu 600–800°C, biasanya suhu mencapai hingga 700°C menambah pembentukan senyawa poliaromatik hidrokarbon dalam asap cair seperti pirene and penantrene, juga reaksi pembentukan dekarboksilasi, dehidrasi, dan variasi perolehan komposisi gas (Kan..et al 2016).

2) Laju Pemanasan Partikel

Laju pemanasan merupakan parameter dasar yang menentukan jenis pirolisis apakah sangat cepat, cepat dan lambat. Pirolisis cepat memberikan efek fragmentasi cepat menghasilkan lebih banyak gas dan sedikit arang. Produksi asap cair meningkat karena berkurangnya massa dan terbatasnya transfer panas serta singkatnya waktu hingga reaksi sekunder tidak sampai terjadi. Efek laju pemanasan dalam perolehan produk telah ditemukan dimana penambahan laju aliran panas dari 500 °C/min hingga 700 °C/min menambah perolehan asap cair dari show dust hingga

8 %. Bagaimanapun perubahan perolehan asap cair dideteksi saat penambahan panas dari 700 hingga 1000°C/min (Kan.T.et al 2016). Tingkat pemanasan yang tinggi cenderung meningkatkan depolimerisasi biomassa menjadi komponen volatil primer yang pada akhirnya menghambat hasil tangkapan. Pada tingkat pemanasan tinggi, pirolisis sekunder mendominasi dan reaksi sekunder ini membantu pembentukan komponen gas. Pengaruh laju pemanasan pada hasil biochar lebih nyata dan kuat pada suhu yang lebih rendah (Manoj, T. et.al. 2016).

3) Lamanya Uap Tinggal

Singkatnya waktu pemberian uap dalam sistem memberikan peluang terbentuknya asap cair karena berpindahannya uap organik dalam reaktor akan meminimalisir terjadinya reaksi sekunder. Pada pirolisis bahan baku jerami, gandum pada suhu 525°C. Scott et al (2011) melaporkan bahwa penambahan waktu tinggal uap dalam sistem dari 0,2 hingga 0,9 detik menyebabkan penurunan perolehan asap cair didalam sistem dari 75 % hingga 57 % dan juga terjadi penambahan perolehan arang dan gas. Dalam proses pirolisis sweet gum dan hardwood pada suhu 700 °C perolehan asap cair menurun dari 22 % berat menjadi 15 % berat dengan penambahan waktu tinggal uap dari 0,7 detik hingga 1,7 detik (Kan.et al 2016).

Interaksi antara waktu tinggal uap dan suhu pirolisis tidak hanya dalam perolehan produk tetapi juga pada kualitas

produk (Kan.T.et al 2016). Suhu tinggi dan waktu tinggal yang lebih lama meningkatkan konversi biomassa menjadi gas, dan suhu sedang dan waktu tinggal uap pendek optimum untuk menghasilkan cairan 3 (tiga) produk selalu diproduksi, namun proporsinya dapat bervariasi dalam rentang yang luas dengan menyesuaikan parameter proses. Distribusi produk yang diperoleh dari berbagai proses pirolisa, hal ini menunjukkan fleksibilitas yang cukup besar yang dapat dicapai dengan mengubah kondisi proses (Brigwater 2012).

4.2. REAKTOR PIROLISIS

4.2.1. Reaktor Pirolisis

Reaktor Pirolisis adalah alat pengurai senyawa-senyawa organik yang dilakukan dengan proses pemanasan tanpa berhubungan langsung dengan udara luar dengan suhu 300-600°C. Reaktor pirolisis dibalut dengan selimut dari bata dan tanah untuk menghindari panas keluar berlebih, memakai bahan bakar kompor minyak tanah atau gas. Menurut Hadi (2014) Instalasi dengan ceret dapat menghasilkan biochar dengan biaya sangat murah, efisiensi rendah, kualitas biochar rendah. Sedangkan instalasi wajan dan drum menghasilkan efisiensi tinggi, biaya murah, asap cair tidak dapat ditampung. Dan desain instalasi kombinasi drum-wajan mempunyai rendement tinggi, biaya murah, asap bisa ditampung.

Perubahan suhu pada proses pemanasan reaktor mengikuti persamaan polynomial dan pada proses pendinginan perubahan suhu berlangsung secara logaritmik. Kecepatan reaksi dikendalikan oleh langkah reaksi kimia, berorde satu, mengikuti model

unreacted-core. Penelitian Caturwati (2015) bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis yang diberikan maka produk padatan (Char) yang dihasilkan semakin sedikit. Setiap kenaikan temperatur pada proses pirolisis akan disertai dengan penurunan massa padatan (Char) biomassa, kenaikan temperatur pirolisis mengakibatkan meningkatnya energi panas untuk mendekomposisi biomassa terutama kandungan zat mudah terbangnya (volatilematter).

Berbagai metoda dan teknik yang digunakan untuk menentukan jumlah kehilangan dari tungku dan metoda untuk melakukan pengkajian kinerja tungku. Kehilangan panas yang mempengaruhi kinerja tungku Idealnya, seluruh panas yang dimasukkan ke tungku harus digunakan untuk memanaskan muatan atau stok. Namun demikian dalam prakteknya banyak panas yang hilang dalam beberapa cara. kehilangan panas dalam tungku meliputi, yaitu :

1. Kehilangan gas buang: merupakan bagian dari panas yang tinggal dalam gas pembakaran dibagian dalam tungku. Kehilangan ini juga dikenal dengan kehilangan limbah gas atau kehilangan cerobong.
2. Kehilangan dari kadar air dalam bahan bakar: bahan bakar yang biasanya mengandung kadar air dan panas digunakan untuk menguapkan kadar air dibagian dalam tungku.
3. Kehilangan dikarenakan hidrogen dalam bahan bakar yang mengakibatkan terjadinya pembentukan air
4. Kehilangan melalui pembukaan dalam tungku: kehilangan radiasi terjadi bilamana terdapat bukaan dalam penutup

tungku dan kehilangan tersebut dapat menjadi cukup berarti terutama untuk tungku yang beroperasi pada suhu diatas 540°C . Kehilangan yang kedua adalah melalui penyusupan udara sebab draft tungku/ cerobong menyebabkan tekanan negatif dibagian dalam tungku, menarik udara melalui kebocoran atau retakan atau ketika pintu tungku terbuka.

5. Kehilangan dinding tungku/permukaan, juga disebut kehilangan dinding: sementara suhu dibagiandalam tungku cukup tinggi, panas dihantarkan melalui atap, lantai dan dinding dan dipancarkan ke udara ambien begitu mencapai kulit atau permukaan tungku.
6. Kehilangan lainnya: terdapat beberapa cara lain dimana panas hilang dari tungku, walupun menentukan jumlah tersebut seringkali sulit.

4.2.2. Kondensor

Kondensasi adalah proses untuk mengubah suatu gas/uap menjadi cairan. Gas dapat berubah menjadi cairan dengan menurunkan temperaturnya melalui alat yang disebut kondensor. Kondensor berfungsi menurunkan temperatur gas dengan cara dilewatkan pada media pendingin air atau udara. Kondensor terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensor diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoprasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.

Distilasi merupakan suatu proses yang di dalamnya terdapat suatu cairan atau uap campuran dari dua atau lebih substansi yang dipisahkan ke dalam fraksi-fraksi komponennya dengan pemurnian yang diinginkan melalui pemakaian atau pelepasan kalor. Pemisahan komponen dari campuran cairan melalui distilasi tergantung atas perbedaan titik didih masing-masing komponen. Juga, tergantung atas konsentrasi komponen yang ada, campuran cairan akan memiliki karakteristik titik didih yang berbeda. Karenanya, proses distilasi tergantung atas karakteristik tekanan uap campuran cairan. Tekanan uap suatu cairan pada suhu tertentu merupakan tekanan kesetimbangan yang dilakukan oleh molekul-molekul yang keluar dan masuk permukaan cairan.

Pada dasarnya kondensator dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Air cooled condenser (kondensator berpendingin udara), Merupakan kondensator yang membawa kalor dengan menggunakan udara sebagai mediumnya. Kondensator ini banyak dipakai untuk AC (air conditioner) dan biasanya digunakan pada sistem AC berskala rendah dan sedang dengan kapasitas hingga 20 ton refrigerasi. Air Cooled Condenser merupakan peralatan AC (Air Conditioner) standard untuk keperluan rumah tinggal (residential) atau digunakan di suatu lokasi di mana pengadaan air bersih susah diperoleh atau mahal. Untuk melayani kebutuhan kapasitas yang lebih besar biasanya digunakan multiple air cooled condenser. Udara sebagai pendingin kondensator dapat

mengalir secara alamiah atau dialiri paksa oleh fan. Kulkas pada umumnya menggunakan kondensor berpendingin udara secara alamiah (konveksi natural) yang umum disebut sebagai kondensor statis. Fan dapat meniupkan udara kearah kondensor dalam jumlah yang lebih besar, sehingga dapat memperbesar kapasitas pelepasan panas oleh kondensor.

2. Water cooled condensor (kondensor berpendingin air), Merupakan kondensor yang membawa kalor dengan menggunakan air sebagai medium. Kondensor jenis ini digunakan pada system yang berskala besar untuk keperluan komersil di lokasi yang mudah memperoleh air bersih. Kondensor jenis ini menjadi pilihan yang ekonomis bila terdapat suplai air bersih mudah dan murah. Pada umumnya kondensor seperti ini berbentuk tabung yang di dalamnya berisi pipa (tubes) tempat mengalirnya air pendingin. Kondensor seperti ini disebut shell and tube water cooled condenser. Air yang menjadi panas, akibat kalor yang dilepas oleh refrigeran yang mengembun, kemudian air yang telah menjadi panas ini didinginkan di dalam alat yang disebut menara pendingin (cooling tower). Setelah keluar dari cooling tower, air menjadi dingin kembali dan disalurkan dengan pompa kembali ke kondensor. Dengan cara inilah pendingin disirkulasikan. Kondensor jenis ini biasanya digunakan pada sistem berkapasitas besar.

3. **Water and air cooled condensor** (kondensor berpendingin air dan udara) Merupakan kondensor yang membawa kalor dengan menggunakan air dan udara sebagai medium. Kondensor jenis ini merupakan kombinasi dari kondensor berpendingin udara dan kondensor berpendingin air. Koil kondensor ini diletakkan berdekatan dengan media pendinginnya yang berupa udara tekan dan air yang disemprotkan melalui suatu lubang nozzle. Kondensor jenis ini disebut juga evaporative condenser. Kondensornya sendiri berbentuk seperti kondensor dengan pendingin air, namun diletakkan di dalam menara pendingin. Percikan air dari atas menara akan membasahi muka kondensor jadi kalor dari refrigeran yang mengembun diterima oleh air dan kemudian diberi pada aliran udara yang mengalir dari bagian bawah ke bagian atas menara. Sebagai akibatnya air yang telah menjadi panas tersebut diatas, didinginkan oleh aliran udara, sehingga pada saat air mencapai bagian bawah menara, air ini sudah menjadi dingin kembali. Selanjutnya air dingin ini dipompakan ke bagian atas menara demikian seterusnya. Dalam Negara yang bermusim empat, pada musim dingin sering kali tidak dibutuhkan percikan air dari atas menara, karena udara sudah cukup dingin dan mampu secara langsung menerima beban kondensor. Dalam keadaan seperti ini, dikatakan bahwa evaporative condenser dioperasikan secara kering. Dengan cara ini maka evaporative condenser dioperasikan secara kering. Maka

evaporative condenser ini akan berfungsi seperti kondensor berpendingin udara.

Prinsip kerja kondensor tergantung dari jenis tersebut, secara umum terdapat tiga jenis kondensor yaitu :

1. Surface condenser

Prinsip kerja surface condenser Steam masuk ke dalam shell kondensor melalui steam inlet connection pada bagian atas kondensor. Steam kemudian bersinggungan dengan tube kondensor yang bertemperatur rendah sehingga temperature steam turun dan terkondensasi, menghasilkan kondensat yang terkumpul pada hotwell. Temperatur rendah pada tube dijaga dengan cara mensirkulasikan air yang menyerap kalor dari steam pada proses kondensasi. Kalor yang dimaksud disini disebut kalor laten penguapan dan terkadang disebut juga kalor kondensasi (heat of condensation) dalam lingkup bahasan kondensor. Kondensat yang terkumpul di hotwell kemudian dipindahkan dari kondensor dengan menggunakan pompa kondensat ke exhaust kondensat. Ketika meninggalkan kondensor, hampir keseluruhan steam telah terkondensasi kecuali bagian yang jenuh dari udara yang ada di dalam sistem. Udara yang ada di dalam sistem secara umum timbul akibat adanya kebocoran pada perpipaan, shaft seal, katup-katup, dan sebagainya. Udara ini masuk ke dalam kondensor bersama dengan steam. Udara dijenuhkan oleh uap air, kemudian melewati air cooling section dimana

campuran antara uap dan udara didinginkan untuk selanjutnya dibuang dari kondensor dengan menggunakan air ejectors yang berfungsi untuk mempertahankan vacuum di kondensor. Untuk menghilangkan udara yang terlarut dalam kondensat akibat adanya udara di kondensor, dilakukan de-aeration.

De-aeration dilakukan di kondensor dengan memanaskan kondensat dengan steam agar udara yang terlarut pada kondensat akan menguap. Udara kemudian ditarik ke air cooling section dengan memanfaatkan tekanan rendah yang terjadi pada air cooling section. Air ejector kemudian akan memindahkan udara dari sistem.

2. Direct-Contact Condenser

Direct-contact condenser mengkondensasikan steam dengan mencampurnya langsung dengan air pendingin. Direct-contact atau open condenser digunakan pada beberapa kasus khusus, seperti :

- a) Geothermal powerplant
- b) Pada powerplant yang menggunakan perbedaan temperatur di air laut (OTEC)

3. Spray Condenser

Spray condenser, pencampuran steam dengan air pendingin dilakukan dengan jalan menyemprotkan air ke steam. Sehingga steam yang keluar dari exhaust turbin pada bagian

bawah bercampur dengan air pendingin pada bagian tengah menghasilkan kondensat yang mendekati fase saturated. Kemudian dipompakan kembali ke cooling Tower . Sebagian dari kondensat dikembalikan ke boiler sebagai feedwater. Sisanya didinginkan, biasanya didalam dry- (closed-) cooling tower. Air yang didinginkan pada Cooling tower disemprotkan ke exhaust turbin dan proses berulang.

Kondensor dengan perencanaan yang baik harus dapat membuat cairan dingin lanjut (sub colling) dari bahan pendingin cairan sebelum meninggalkan kondensor tersebut. Tekanan yang rendah di dalam kondensor adalah baik dan ekonomis, tetapi tekanan yang uap atau gas meninggalkan kondensor harus masih cukup tinggi untuk mengatasi gesekan pipa dan tahanan dar alat ekspansi. Pemilihan macam dan ukurankondensor untuk suatu sistem, terutama didasarkan pada pertimbangan yang paling ekonomis, seperti harga dari kondensor, jumlah energi yang diperlukan, harga dan keadaan zat yang akan dipakai untuk mendinginkan kondensor. Selain tempat atau ruangan yang diperlukan oleh kondensor juga harus diperhitungkan.

Uap mengalir di luar pipa-pipa (shell side) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (tube side). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe surface (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah

turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi.

Laju perpindahan panas tergantung pada aliran air pendingin, kebersihan pipa-pipa dan perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin. Proses perubahan uap menjadi air terjadi pada tekanan dan temperatur jenuh, dalam hal ini kondensor berada pada kondisi vakum. Karena temperatur air pendingin sama dengan temperatur udara luar, maka temperatur air kondensatnya maksimum mendekati temperatur udara luar. Apabila laju perpindahan panas terganggu, maka akan berpengaruh terhadap tekanan dan temperatur.

Kondensor merupakan suatu alat untuk terjadinya kondensasi refrigeran uap dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor sebagai alat penukar kalor berguna untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari uap menjadi cair. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas kondensor adalah:

1. Luas muka perpindahan panasnya meliputi diameter pipa kondensor, panjang pipa kondensor dan karakteristik pipa kondensor
2. Aliran udara pendinginnya secara konveksi natural atau aliran paksa oleh fan.
3. Perbedaan suhu antara refrigeran dengan udara luar
4. Sifat dan karakteristik refrigeran di dalam sistem.

Destilasi Asap Cair Asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan bahan baku tempurung kelapa masih mengandung

tar dengan warna kecoklatan dan pekat, selanjutnya asap cair ini dinamakan asap cair dengan grade 3 yang masih perlu dimurnikan lagi untuk mendapatkan grade 2 dan 1



BAB V

JENIS DAN PRODUK PIROLISIS

5.1. JENIS PIROLISIS

Berkaitan dengan kondisi operasi, pirolisa dapat dikategorikan menjadi 6 (enam) subkelas. Setiap kelas pirolisa memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri. Pirolisa lambat memiliki sejarah panjang yang digunakan untuk produksi arang. Ini adalah jenis pirolisa konvensional yang ditandai dengan laju pemanasan yang lambat dan waktu tinggal yang lama. Pada pirolisa lambat, biomassa dipirolisis sampai suhu 400-500°C dengan laju pemanasan sekitar 0,1 sampai 1 °C/s untuk waktu yang berkisar antara 5 dan 30 menit. Pirolisis yang lambat mendukung pembentukan produk char namun cairan dan gas juga terbentuk dalam jumlah kecil. Selain itu laju pemanasan lebih rendah dan waktu tinggal uap yang lebih lama menghasilkan suasana yang sesuai dan waktu yang cukup untuk menyelesaikan reaksi sekunder. Selain itu, waktu tinggal uap yang lebih lama memungkinkan uap tersebut dilepaskan yang dihasilkan selama reaksi sekunder sehingga menghasilkan pembentukan arang karbonat padat.

5.1.1. Pirolisis Cepat

Pirolisis cepat, biomassa dipanaskan sampai suhu 850-1250°C dengan laju pemanasan 10-200°C untuk rentang waktu yang pendek antara 1 dan 10 detik. Pirolisis cepat menghasilkan 60-75% produk cair, 15-25% arang dan 10-20% produk gas yang tidak dapat dikondensasi.

Pada pirolisis primer cepat, reaksi keseluruhan menghasilkan uap air, arang, gas, dan 50% - 70% uap minyak pirolisis (PPO = primary pyrolysis oil) yang menyusun ratusan senyawa monomer, oligomer, monomer penyusun selulosa dan lignin.

5.1.2. Pirolisis Vakum

Pirolisis vakum adalah degenerasi termal biomassa di bawah tekanan rendah dan tanpa adanya oksigen. Kisaran tekanan selama pirolisis vakum biasanya 0,05-0,20 MPa dan suhu dijaga antara 450 dan 600°C. Tingkat pemanasan dalam pirolisis vakum sebanding dengan pirolisis lambat. Meskipun beberapa kondisi operasi dari pirolisis vakum mirip dengan pirolisis lambat, metode untuk menghilangkan uap dari daerah reaksi memberi perbedaan besar antara keduanya. Dalam vakum pirolisis tekanan rendah / vakum digunakan untuk menghilangkan uap dan bukan gas pembersih yang digunakan pada sebagian besar teknik pirolisis. Selain itu, tekanan rendah cenderung bahan organik terdekomposisi dan didevolatisasi menjadi komponennya pada suhu yang relatif rendah. Penghilangan uap organik cepat yang terbentuk selama pirolisis primer juga mengurangi waktu ketahanan uap secara signifikan yang mengurangi reaksi sekunder dan memastikan hasil produk cair tinggi.

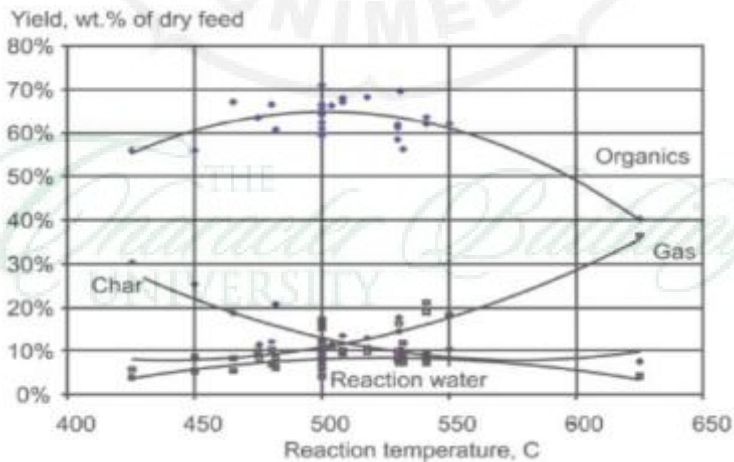
5.1.3. Pirolisis Lambat

Pirolisis primer lambat akan terjadi pada kisaran suhu 150 - 300°C. Pirolisis primer lambat biasa digunakan untuk proses pembuatan arang. Pada pirolisis primer lambat, reaksi utama yang terjadi adalah proses dehidrasi. Sedangkan hasil reaksi keseluruhan

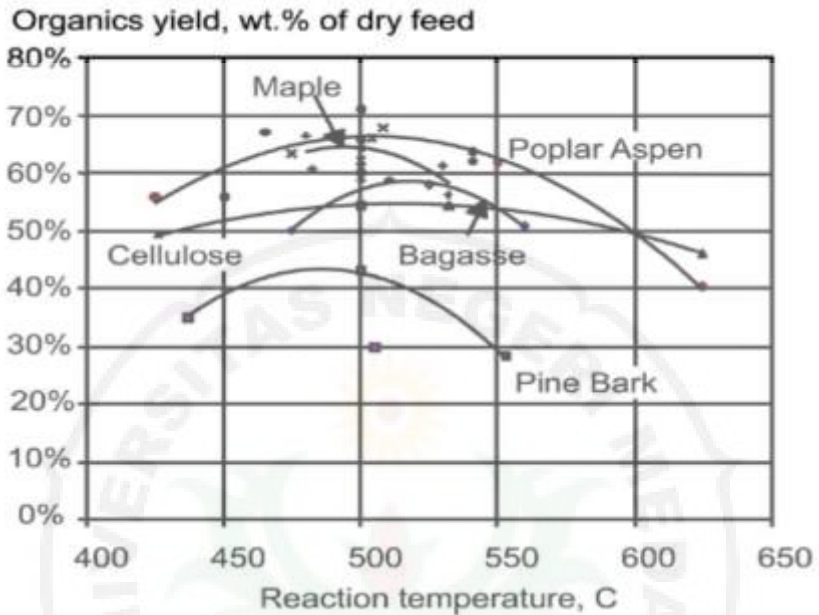
proses adalah karbon, uap air, karbon monoksida, dan karbon dioksida. Semakin lambat proses, semakin banyak dan semakin baik mutu karbon yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk menghasilkan arang dalam jumlah besar dan baik mutunya diperlukan waktu sehari-hari bahkan berminggu-minggu.

5.2. PRODUK PIROLISIS

Produk pirolisis dihasilkan dari degradasi konstituen biomassa yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terjadi pada suhu tinggi menghasilkan produk berupa cairan, padat dan gas dengan dengan jumlah dan sifat produk yang berbeda-beda tergantung dari kondisi proses pirolisa dan karakteristik sumber biomassa. Tipe yield senyawa organik yang dihasilkan dari bahan baku yang berbeda dengan variasi suhu ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan 3.2 ketergantungan suhu dari empat produk utama dari berbagai bahan baku.



Gambar 14. Variasi Produk dari Asap Polar dengan Jenis Suhu



Gambar 15. Yield Organik dari Bahan Baku yang Berbeda
 Sumber : Brihtwater 2012

5.2.1. Asap Cair

Asap cair merupakan larutan encer yang berasal dari. Cairan berwarna coklat tua berasal dari campuran hidrokarbon beroksigen yang sangat kompleks dengan proporsi air yang cukup banyak. Hasil yang sama diperoleh untuk sebagian besar bahan baku biomassa, walaupun hasil maksimumnya dapat terjadi antara 480 dan 520°C tergantung pada bahan baku.

Asap cair adalah campuran cairan hidrokarbon yang terdiri dari campuran kompleks senyawa beroksigen yang potensial untuk dimanfaatkan. Asap cair pirolisis berwarna coklat tua, aliran tergantung dari bahan baku yang kompoisisnya mengandung mikrokarbon dan komposisi senyawa kimia. Penyaringan uap

panas memberi kesan merah-cokelat yang tembus pandang karena tidak adanya arang sedangkan adanya kandungan nitrogen yang tinggi bisa memberi warna hijau gelap pada cairan. Selain itu golongan-golongan senyawa penyusun asap cair adalah air (11-92 %), fenol (0,2-2,9 %), asam (2,8-9,5 %), karbonil (2,6-4,0 %) dan tar (1-7 %). Kandungan senyawa-senyawa penyusun asap cair sangat menentukan sifat organoleptik asap cair serta menentukan kualitas produk pengasapan.

Kompleksitas pirolisis biomassa timbul dari perbedaan dekomposisi komponen biomassa dengan mekanisme reaksi yang bervariasi dan tingkat reaksi yang juga sebagian bergantung pada kondisi proses termal dan desain reaktor. Interaksi antara unsur utama biomassa misalnya hemiselulosa dan lignin sebagai penghasil fenol dapat menghambat pembentukan hidrokarbon. Lignin juga secara signifikan berinteraksi dengan selulosa selama pirolisis karena lignin menghalangi polimerisasi levoglukosan dari selulosa sehingga mengurangi formulasi arang, sedangkan interaksi selulosa-hemiselulosa memiliki efek yang lebih rendah terhadap pembentukan dan distribusi produk pirolisis (Hosoya T, et.al, 2007).

Ada banyak karakteristik asap cair yang dijadikan pertimbangan untuk aplikasi dan metode terhadap karakteristik produk asap cair seperti dijelaskan pada tabel 5 (Brightwater 2012).

Tabel 5. Karakteristik Produk Cair

gbbxTSifat fisik	Nilai
Moisture content	25%
pH	2.5
Specific gravity	1.20
Elemental analysis	
C	56%
H	6%
O	38%
N	0e0.1%
HHV as produced	17 MJ/kg
Viscosity (40 C and 25% water)	40e100 mpa s
Solids (char)	0.1%
Residu destilasi vakum	Diatas 50%

a. Senyawa Fenol

Senyawa fenol diduga berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada temperatur pirolisis kayu. Menurut Girard (1992), kuantitas fenol pada kayu sangat bervariasi yaitu antara 10-200 mg/kg Beberapa jenis fenol yang biasanya terdapat dalam produk asapan adalah guaiakol, dan siringol. Senyawa-senyawa fenol yang terdapat dalam asap kayu umumnya hidrokarbon aromatik yang tersusun dari cincin benzena dengan sejumlah gugus hidroksil yang terikat. Senyawa-senyawa fenol ini juga dapat mengikat gugusgugus lain seperti aldehid, keton, asam dan ester (Maga, 1987).

b. Senyawa Karbonil

Senyawa-senyawa asam mempunyai peranan sebagai anti bakteri dan membentuk citarasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirrat dan valerat.

c. Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis

Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis (HPA) dapat terbentuk pada proses pirolisis kayu. Senyawa hidrokarbon aromatik seperti benzo(a)pirena merupakan senyawa yang memiliki pengaruh buruk karena bersifat karsinogen (Girard, 1992). Pembentukan berbagai senyawa HPA selama pembuatan asap tergantung dari beberapa hal, seperti temperatur pirolisis, waktu dan kelembaban udara pada proses pembuatan asap serta kandungan udara dalam kayu. Dikatakan juga bahwa semua proses yang menyebabkan terpisahnya partikel-partikel besar dari asap akan menurunkan kadar benzo(a)pirena. Proses tersebut antara lain adalah pengendapan dan penyaringan.

d. Senyawa Benzo (a) Pirena

Benzo(a)pirena mempunyai titik didih 310 oC dan dapat menyebabkan kanker kulit jika dioleskan langsung pada permukaan kulit. Akan tetapi proses yang terjadi memerlukan waktu yang lama (Winaprilani, 2003).

Colard F.X.(2014), melaporkan bahwa selama pirolisis biomassa, sejumlah besar reaksi terjadi secara paralel dan seri, termasuk dehidrasi, depolimerisasi, isomerisasi, aromatisasi, dekarboksilasi, dan penggandaan (Kan. et.al 2015).

Dekomposisi biomassa umumnya terjadi selama dekomposisi primer membentuk char padat pada suhu 200-400°C, yang bertanggung jawab atas degradasi biomassa terbesar. Reaksi sekuensial berlangsung dalam matriks padat dengan kenaikan temperatur lebih lanjut (Fisher T, et.al 2002).

Peran masing-masing komponen dalam asap cair berbedabeda. Senyawa fenol disamping memiliki peranan dalam aroma asap juga menunjukkan aktivitas anti oksidan. Senyawa aldehid dan keton mempunyai pengaruh utama dalam warna (reaksi maillard) sedangkan efeknya dalam cita rasa sangat kurang menonjol. Asamasam pengaruhnya kurang spesifik namun mempunyai efek umum pada mutu organoleptik secara keseluruhan, sedangkan senyawa hidrokarbon aromatik polisiklis seperti 3,4 benzopiren memiliki pengaruh buruk karena bersifat karsinogenik (Girard, 1992).

Penggunaan asap cair mempunyai banyak keuntungan dibandingkan metode pengasapan tradisional, yaitu lebih mudah diaplikasikan, proses lebih cepat, memberikan karakteristik yang khas pada produk akhir berupa aroma, warna, dan rasa, serta penggunaannya tidak mencemari lingkungan (Pszczola 1995). Girard (1992) melaporkan bahwa komponen terdeteksi di dalam asap dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu: 1. Fenol, 85 macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan. 2. Karbonol, keton, dan aldehid, 45 macam diidentifikasi dalam kondensat. 3. Asam-asam 35 macam diidentifikasi dalam kondensat. 4. Furan, 11 macam. 5. Alkohol dan

ester, 15 macam diidentifikasi dalam kondensat. 6. Lakton, 13 macam. 7. Hidrokarbon alifatis 1 macam, diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan, 8. Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) 47 macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan.

Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, fenolat dan karbonil. Seperti yang dilaporkan Darmadji dkk, (1996) yang menyatakan bahwa pirolisis tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol sebesar 4,13 %, karbonil 11,3 % dan asam 10,2 %. Asap memiliki kemampuan untuk pengawetan bahan makanan telah dilakukan di Sidoarjo untuk bandeng asap karena adanya senyawa fenolat, asam dan karbonil (Tranggono, 1997). Asap cair banyak digunakan pada industri berfungsi untuk mengawetkan serta memberi aroma dan cita rasa yang khas. Asap cair memiliki sifat fungsional sebagai anti oksidan, anti bakteri dan pembentuk warna serta cita rasa yang khas. Sifat-sifat fungsional tersebut berkaitan dengan komponen-komponen yang terdapat di dalam asap cair tersebut.

Penggunaan asap cair mempunyai banyak keuntungan dibandingkan metode pengasapan tradisional, yaitu lebih mudah diaplikasikan, proses lebih cepat, memberikan karakteristik yang khas pada produk akhir berupa aroma, warna, dan rasa, serta penggunaannya tidak mencemari lingkungan (Pszczola 1995). Girard (1992) melaporkan bahwa komponen terdeteksi di dalam asap dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu: 1. Fenol, 85

macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan. 2. Karbonol, keton, dan aldehid, 45 macam diidentifikasi dalam kondensat. 3. Asam-asam 35 macam diidentifikasi dalam kondensat. 4. Furan, 11 macam. 5. Alkohol dan ester, 15 macam diidentifikasi dalam kondensat. 6. Lakton, 13 macam. 7. Hidrokarbon alifatis 1 macam, diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan, 8. Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) 47 macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan.

Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, fenolat dan karbonil. Seperti yang dilaporkan Darmadji dkk, (1996) yang menyatakan bahwa pirolisis tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol sebesar 4,13 %, karbonil 11,3 % dan asam 10,2 %. Asap memiliki kemampuan untuk pengawetan bahan makanan telah dilakukan di Sidoarjo untuk bandeng asap karena adanya senyawa fenolat, asam dan karbonil (Tranggono, 1997). Asap cair banyak digunakan pada industri berfungsi untuk mengawetkan serta memberi aroma dan cita rasa yang khas. Asap cair memiliki sifat fungsional sebagai anti oksidan, anti bakteri dan pembentuk warna serta cita rasa yang khas. Sifat-sifat fungsional tersebut berkaitan dengan komponen-komponen yang terdapat di dalam asap cair tersebut.

Asap cair memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, derivat fenol, dan karbonil. Komponen asap yang berperan dan termasuk dalam kelompok

phenol adalah guaicol dan 1,3-dimethyl phyragallol, yang berfungsi sebagai anti oksidan, cita rasa produk asap (Pearson and Tauber, 1984; Muga, 1987; Burt, 1988; Girard, 1992). Asap cair seperti asap dalam fasa uap mengandung senyawa fenol yang selain menyumbang cita rasa asap, juga mempunyai aksi sebagai antioksidan dan bakterisidal pada makanan yang diasap. Fenol merupakan anti oksidan utama dalam asap cair. Peran anti oksidatif dari asap air ditunjukkan oleh senyawa fenol bertitik didih tinggi terutama 2,6- dimetoksifenol; 2,6 dimetoksi-4-metilfenol dan 2,6-dimetoksi-4-etilfenol yang bertindak sebagai donor hidrogen terhadap radikal bebas dan menghambat reaksi rantai. Asap cair pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan pengawet karena memiliki derajat keasaman (pH) dengan nilai 2,8-3,1 sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Asap cair terbukti menekan tumbuhnya bakteri pembusuk dan patogen seperti *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* dan *Salmonella* (Darmadji, 2005).

5.2.2. Arang

Dari produk pirolisis yang dihasilkan arang adalah produk samping dari proses pirolisis yang dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif. Menurut Kan et.al 2015, arang atau biochar juga disebut charcoal adalah produk padat yang mengandung padatan organik yang telah terkonversikan dan juga debu karbon yang dihasilkan dari proses dekomposisi sejumlah komponen biomassa dari proses pirolisis pada suhu operasi berkisar 300–800°C. Seperti fraksi mineral, sifat fisik, kimia, dan sifat mekanis dari

cairan tersebut tergantung dari jenis bahan baku yang diumpankan dalam kondisi operasi proses.

Arang atau karbon merupakan residu hitam berbentuk padatan berpori yang mengandung 85-95 % karbon yang nantinya akan dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen volatile dari bahan-bahan yang mengandung karbon melalui pemanasan pada suhu tinggi. Kendati demikian, masih terdapat sebagian pori – pori yang tetap tertutup dengan hidrokarbon, ter dan senyawa organik lain. Kualitas arang karbon juga dipengaruhi oleh kesempurnaan dalam proses karbonisasinya. karbonisasi merupakan proses penguraian selulosa menjadi karbon pada suhu berkisar 275°C. Proses ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan akan menentukan kualitas dari arang karbon yang dihasilkan. Banyaknya arang karbon yang dihasilkan ditentukan oleh komposisi awal biomassa yang digunakan. Bila dalam proses karbonisasi kandungan zat menguap semakin banyak maka akan semakin sedikit karbon yang dihasilkan karena banyak bagian yang terlepas ke udara. Proses karbonisasi memiliki 4 tahapan tertentu, yaitu :

1. Pada suhu 100 - 120°C penguapan air akan berlangsung, selanjutnya saat suhu mencapai 270°C mulai terjadi penguapan selulosa. Destilat yang dihasilkan akan mengandung asam organik dan sedikit metanol.
2. Pada suhu 270 - 310°C reaksi eksotermik berlangsung. Pada suhu ini selulosa akan mengalami penguraian secara intensif menjadi larutan pirolignat, gas kayu, dan sedikit ter. Asam

pirolignat merupakan asam organik dengan titik didih rendah seperti asam cuka dan metanol, sedangkan gas kayu terdiri atas CO dan CO₂ .

3. Pada suhu 310 - 510°C lignin mulai mengalami penguraian sehingga akan dihasilkan lebih banyak ter. Larutan pirolignat akan menurun dan produksi gas CO₂ pun ikut menurun. Namun hal berbeda terjadi pada gas CO, CH₄ , dan H₂ yang jumlahnya meningkat.
4. Pada suhu 500 - 1000°C merupakan tahap terjadinya pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon.

Karbon atau arang yang telah mengalami perbesaran pori atau luas permukaan sehingga dapat menyerap zat-zat lain yang ada di sekitarnya. Karbon juga memiliki kelebihan lain yakni mudah untuk dibuat, sebab proses pembuatannya termasuk proses yang cukup sederhana. Dalam pembuatan arang karbon, tidak hanya bahan bakunya saja yang perlu diperhatikan, juga proses aktivasinya. Karena merupakan hal penting yang turut berpengaruh dalam pembuatan karbonaktif. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap karbon agar karbon mengalami perubahan sifat, baik fisik maupun kimia, dimana luas permukaannya meningkat tajam akibat terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan.

Ada dua metode aktivasi yang dapat digunakan dalam pembuatan arang karbon, yakni :

1. Aktivasi kimia yaitu pengaktifan arang atau karbon dengan menggunakan bahan-bahan kimia sebagai activating agent yang dilakukan dengan cara merendam arang dalam larutan kimia, seperti $ZnCl_2$, KOH , HNO_3 , $H_3 PO_4$, dan sebagainya.
2. Aktivasi fisika, yaitu pengaktifan arang atau karbon dengan menggunakan panas, uap, dan CO_2 dengan suhu tinggi dalam sistem tertutup tanpa udara sambil dialiri gas inert.

Dari kedua jenis proses aktivasi yang ada, cara aktivasi kimia memiliki berbagai keunggulan tertentu dibandingkan dengan cara aktivasi fisik, diantaranya adalah :

1. Dalam proses aktivasi kimia, zat kimia pengaktif sudah terdapat dalam tahap penyiapannya sehingga proses karbonisasi dan proses aktivasi karbon terakumulasi dalam satu langkah yang umumnya disebut one-step activation atau metode aktivasi satu langkah.
2. Dalam proses aktivasi kimia, suhu yang digunakan umumnya lebih rendah dibanding pada aktivasi fisik.
3. Efek dehydrating agent pada aktivasi kimia dapat memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon.
4. Produk yang dihasilkan dalam aktivasi kimia lebih banyak dibandingkan dengan aktivasi fisik.

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 8595% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Bio-arang merupakan

bahan bakar arang yang dibuat dari bahan tumbuh-tumbuhan dengan cara proses pirolisis dan dengan kualitas kalori yang lebih baik dibanding arang biasa. Pambayun (2013) mengatakan persen removal tertinggi didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na_2CO_3 5% dengan persen removal sebesar 99,745%. Kapasitas optimum penyerapan fenol dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa terbaik didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na_2CO_3 5% dengan kapasitas serapan sebesar 220,751 mg fenol/gram karbon aktif. Bio-arang yang dihasilkan dari pembakaran pirolisis kemudian dibuat beriket agar membentuk gumpalan lebih padat, bahkan dapat menaikkan nilai kalorinya.

Arang diperoleh dengan memanaskan kayu sampai lengkap pirolisis (karbonisasi), hanya meninggalkan karbon dan anorganik abu. Di banyak bagian dunia, arang masih diproduksi semi-industri, dengan membakar tumpukan kayu yang telah sebagian besar tertutup lumpur atau batu bata. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran bagian dari kayu dan produk sampingan pyrolyzes volatile sisa tumpukan. Terbatasnya pasokan oksigen mencegah dari pembakaran arang juga. Alternatif yang lebih modern adalah dengan memanaskan kayu dalam kapal logam kedap udara, yang jauh lebih sedikit polusi dan memungkinkan produk volatile akan terkondensasi.

Arang adalah produk sampingan padat dari karbon stabil atau bahan organik lainnya (Kan. et.al 2015). Sebagai produk samping arang mengandung sekitar 25% dari bahan baku biomassa. Proses

pirolisis itu sendiri membutuhkan sekitar 15% energi dalam dan produk sampingannya (Bridgwater A, 2012).



Gambar 16. Arang Hasil Pirolisis

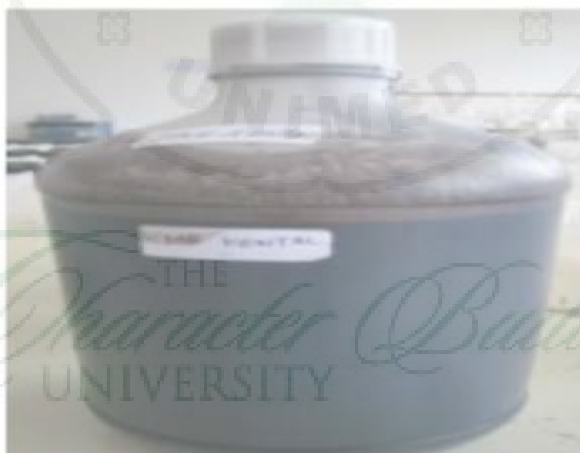
5.2.3. Gas

Gas adalah produk samping dari proses pirolisis biasanya mengandung 5% energi dalam bahan umpan masing-masing produk gas dari pirolisis terdiri dari aerosol, uap dan gas yang tidak dapat dikondensasi. Produk gas ini membutuhkan pendinginan yang cepat untuk meminimalkan reaksi sekunder dan proses pengembunan uap (Bridgwater A 2012).

Aliran produk gas selama proses pirolisis tertinggi untuk seluruh bahan baku dicapai pada suhu 250- 350 0 C, suhu puncak dalam aliran gas 500 0 C terdiri dari CO₂ , CO, H₂ , CH₄ , etana, etilen,propana, Amonia, NO, SO₂ (Kan,T. et.al 2015).

5.2.4. Tar

Dari produk cairan asap cair, tar merupakan fraksi tak larut dalam air pada proses pirolisa biomassa lignoselulosa kental dan berat jenisnya lebih tinggi daripada asap cair. Tar bersifat sangat asam dan tajam tersusun dari turunan lignin, senyawa monomer seperti phenol, guaniacol dan catecols, atau senyawa dimetrik seperti, biphenyle, resinol dan diphenyleeter. Konsentrasi phenolic eter dalam gugusnya relatif tinggi dari sumber tar (87%) dan relatif rendah dari tar sumber buah palm putih (68%). Kandungan senyawa kimia dengan bobot molekul lebih dari 130 gr/ mol dalam tar cukup tinggi 50% bersumber dari PAH serta 70% berasal dari ResPal.



Gambar 17. Tar Hasil Pirolisis

DAFTAR PUSTAKA

- Achmady, S.S., Mubarik, N.R., Nursyamsyi and Septiajin. 2013. Characterization of redistilled liquid Smoke of oil-palm .shell and its aplication as fish preservatives. *Journal of Applied Science* .13: 401-408.
- Acma, H.A., Yaman, S. and Kucukbayrak, S. 2013. Effects of fragmentation and particle size on the fuel properties of hazelnut shells. *Journal home page. www.elsevier.com/locate/ Fuel*. 112: 326-330.
- Bansal, R. and Goyal, M. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. Published by CRC Press Taylor and Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW. Suite 3.
- Budaraga, I.K., Usman, A. 2016. Toxicity of Liquid Smoke Cinnamon (Cinnamomum Burmanni) Production of Ways for Purification and Different Concentration. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 6:2250-3153.
- Chen, W. H. And Jhih Lin, B., 2015. Characteristics of products from the pyrolysis of oil palm fiber and its pellets in nitrogen and carbon dioxide atmospheres. *Energy*. 94 : 569-578.
- Czemik, S. and Bridgwater. 2004 .A Overview of aplication of biomass fast pyrolysis oil. *Energy Fuel*. 18: 590-598.
- Darmadji, P. 2012. Optimition of liquid smoke purification by encapsulation of coconut shell liquid smoke in chitosan – maltodekstrin based nanoparticle. 11: 173-179.
- Darmawan, S., Wistara, Pari, G., Maddu, A. and Syafii, W. 2016. Characterization of Lignocellulosic Biomass as Raw Material for the Production of Porous Carbon-based Material. *Bioresources.com*. 11 : 3561-3674.
- Pranata, J. 2007. *Pemanfaatan Sabut dan tempurung Kelapa serta Cangkang SAWit untuk Pembuatan Asap Cair*. Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikkussaleh: Lhokseumawe.
- Pszczola, D. E. 1995. Tour highlights production and uses of smoke- based flavors. Liquid smoke a natural aqueous condensate of wood smoke provides various advantages in addition to flavors and aroma. *J Food Tech* 1:70-74.
- Tranggono, Suhardi, Setiaji, B., 1997. *Produksi Asap Cair dan Penggunaannya pada Pengolahan Beberapa Bahan Makanan Khas Indonesia*. Laporan RUT III.

- AN Putra, M. Sabri, TB Nur. 2021. Design And Analysis Of Biomass Pyrolysis Briquette Molding Machine. E3S Web of Conferences 206, 04024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130604024>.
- Violet, Hatta,. 2007, Manfaat Kulit Durian Selezat Buahnya. Jurnal. Universitas Lambung Mangkurat.
- Winaprilani, A., 2003. Pemanfaatan asap cair Hasil Pirolisis Kayu Randu Alas (*Gossamphus hepta phyla*) untuk Pengawetan Ikan Kembung (*Scomber negletus*). UGM, Yogyakarta.
- Kemas R, Dwi I, Rizki I., 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan.
- Luthfi P, Taufik P., 2020. Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. EISSN: 2598 – 1099, ISSN: 2502 – 3624.
- Kemas R., Dwi I., Yulita Z., Fendi F., 2019. Pengaruh Jenis Biomassa pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik dan Efisiensi Biorang – Asap air yang Dihasilkan. Jurnal Ilmiah Teknik mesin Vol. 20, No. 1, Januari : 18 – 27.
- Janter P.S, Hanapi H, Binsar M.T.P, Agus N.P. 2022. Pengaruh Suhu Kondensasi pada Produksi Asap Cair dari Biomassa Tempurung Kelapa dengan proses Pirolisis. SJoME. Vol 4. No. 1.
- 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.
- 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.
- J P Simanjuntak, E Daryanto, Baharuddin, BH Tambunan. 2021. Performance Improvement Of Biomass Combustion – Basedstove Byimplementing Internally Air – Distribution. IOP Science. DOI 10.1088/1742-6596/1811/1/012015.
- 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.
- 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.
- J P Simanjuntak. B H Tambunan, Junifer L S, Potential Of Pyrolytic Oil From Plastic Waste As An Alternative Fuel Through Thermal Cracking in Indonesia : A Mini Reviw To Fill The Gap Og The Future Research. *Fluid Mechanics And Thermal Sciences*. Vol. 102. No. 2.
- Uden, A.G., Berruti, F., Scott, D.S., 1988. A Kinetic Model For The Production of Liquids From the Flash Pyrolysis Of Biomass. *Chen. Eng. Commun.* 65 (1), 207 – 221.
- Van Loo, S., Koppejan, J., 2003. *Handbook on Biomass Combustion and Cofiring*. Task 32. International Energy Agency (IEA), Twente University Press, Enschede, The Netherlands.
- Hadiwiyoto, S., P. Darmadji, S.R. Purwasari, 2000. Perbandingan Panas dan Penggunaan Asap Cair Pada Pengolahan Ikan. Tinjauan Kandungan Benzopirene, fenol, dan sifat organoleptik ikan asap. *Agritech.*, 20 : 14-19.
- Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Haggerty, Alfred P, *Biomass crops production, Energi and The Environment*, Nova Science Publishers, New York, 2011.
- Brethauer S & MH Studer (2015) Biochemical conversion processes of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals – A Review. *Chimia* 69, 572–581.

BIODATA PENULIS



Ir. Janter P. Simanjuntak, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., seorang dosen di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan, lahir di desa Sigumpar Julu, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara pada tanggal 10 April 1971. Memenuhi pendidikan

dari Sekolah Dasar (SD) Negeri Pargaolan lulus tahun 1984, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri Sigumpar lulus tahun 1987 hingga menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Balige di Laguboti lulus pada tahun 1990. Menempuh perkuliahan S1 di Universitas Sumatera Utara pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik dalam bidang Konversi Energi, lulus dengan gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada tahun 1997. Pada bulan November tahun 1998 diterima menjadi dosen di Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (FPTK) Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Medan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, sekarang Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan. Pada tahun 2001 mendapat beasiswa pada program pasca sarjana di Universitas Gajah Mada Yogyakarta dalam bidang Konversi Energi lulus pada Tahun 2004. Dalam masa beberapa tahun sebelum menempuh pendidikan doktor telah aktif mengajar mata kuliah Termodinamika, Perpindahan Panas, Mekanika Fluida, dan Mesin Konversi Energi serta melakukan beberapa riset terkait dengan Konversi Energi dan pada tahun 2009 mendapatkan kesempatan menempuh pendidikan doktor di Universiti Sains Malaysia yang dibiayai oleh pemerintah Indonesia melalui Beasiswa Program Pasca Sarjana (BPPS) Luar Negeri lulus pada tahun 2014. Hingga saat ini, beberapa riset dalam bidang Konversi Energi, khususnya dalam kajian energi terbarukan dengan resource Biomassa dan Solid Waste sudah diselesaikan serta sejumlah artikel nasional maupun internasional bereputasi/terindeks Scopus dan WoS sudah publikasi. Untuk hal yang sifatnya akademis dapat melakukan kontak melalui e-mail: janterps@unimed.ac.id



Drs. Robert Silaban, M.Pd lahir pada tanggal 28 Agustus 1962 di Sipariama Taput. Memulai pendidikan formal yang ditempuh mulai di tingkat

Sekolah Dasar (SD), yaitu di SD Negeri 1 Silaban dan selesai pada tahun 1974. Melanjutkan pendidikan di SMP RK St Yosef Lintongnihuta dan selesai pada tahun 1977, kemudian melanjutkan studi di STM Negeri Pansurnapitu Tarutung dan selesai tahun 1981.

Kemudian pada tahun 1981 melanjutkan pendidikan di IKIP Negeri Medan sekarang bernama Universitas Negeri Medan (Unimed) pada jurusan Pendidikan Teknik Mesin dan selesai pada tahun 1986. Pada tahun 2008 melanjutkan studi di Pascasarjana Universitas Negeri Medan, Program Studi Teknologi Pendidikan dan selesai tahun 2011. Memulai profesi sebagai Dosen pada tahun 1987 di Fakultas Teknik jurusan Pendidikan Teknik Mesin Unimed sampai sekarang. Adapun keilmuan yang di perdalam tentang CNC, CAD/ CAM, Desain Produk, dan Kewirausahaan, penulis dapat dihubungi di robertsilaban@unimed.ac.id





Ir. Agus Noviar Putra, S.Pd., MT., merupakan seorang Dosen di STKIP Al Maksum Langkat, lahir di kota binjai, 04 Agustus 1987. Menempuh pendidikan dari Diploma III, Sarjana, dan Keinsinyuran di Universitas Negeri Medan (UNIMED) dengan konsentrasi yang di ambil yaitu Teknik Mesin.

Adapun Pendidikan Magister S2 diperoleh di Universitas Sumatera Utara (USU) Teknik Mesin dengan bidang keahlian Energi Terbarukan dengan tema pembahasan pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit menjadi energi terbarukan berupa briket. Penulis saat ini memperdalam ilmu tentang Konversi Energi dengan pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Energi Terbarukan, dan Desain Engenering menggunakan Software Solidworks, Ansys, dengan Simulasi dan Animasi. Penulis juga mahir dalam penggunaan aplikasi corel draw, photoshop, skatchap, dan juga bergerak di bidang IT. Penulis aktif melakukan penelitian dan menulis artikel ilmiah dibidang Teknik mesin, teknologi informasi, sistem control, dan juga dalam penyusunan buku keteknikan. Penulis dapat dihubungi di email agusnoviarp.an@gmail.com