

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Fatimah (2004) melakukan penelitian tentang pengaruh laju pemanasan terhadap komposisi bio-oil hasil pirolisis serbuk kayu. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi jenis kayu yang berbeda dan laju pemanasan yang digunakan. Pada penelitian tersebut laju pemanasan yang dipakai adalah 1,815 K/menit, 2,013 K/menit, 2,955 K/menit, 3,260 K/menit dan 3,330 K/menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pemanasan mempengaruhi komposisi bio-fuel, karena semakin tinggi laju pemanasan menyebabkan semakin banyaknya hidrokarbon dengan rantai kimia yang lebih pendek.

Abraham (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kalor arang kotoran sapi produk hasil *pyrolysis*. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan laju pemanasan dan waktu pemanasan yang konstan. Pada awal pelaksanaan penelitian, spesimen dihaluskan dan dipanaskan hingga memiliki besar dan kadar air yang sama. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin tinggi kandungan *fixed carbon* yang dihasilkan, sehingga nilai kalornya akan semakin tinggi pula. Namun semakin tinggi temperatur yang digunakan akan menghasilkan sedikit *char* yang terbentuk. Kenaikan nilai kalor kotoran sapi yang diperoleh melalui metode pirolisis pada penelitian tersebut meningkat sebesar 6-10% dari nilai kalor biomassa kotoran sapi sebelum dilakukan proses pirolisis.

2.2 Sampah

Pengertian sampah menurut World Health Organization (WHO) adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Menurut Suprihatin (1999), sampah merupakan limbah padat yang terbuang atau dibuang dari hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Sementara dalam UU No 18 Tahun 2008 tentang pengolahan sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang

berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai yang dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang di lingkungan.

Gelbert, Prihanto, dan Suprihatin (Artiningsih, 2008) menyebutkan bahwa sampah sumber-sumber timbulan sampah, yaitu dari pemukiman penduduk, tempat-tempat umum dan perdagangan, sarana pelayanan masyarakat milik pemerintah, industri, dan pertanian. Sampah dari sumber-sumber timbulan tersebut kemudian dikumpulkan untuk dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Berdasarkan sifatnya, Gelbert dkk (Artiningsih, 2008) menggolongkan sampah dalam dua golongan, yaitu:

a. Sampah anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan nonhayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang. Sampah anorganik dibedakan menjadi : sampah logam dan produk-produk olahannya, sampah kaca, logam, dan keramik. Sebagian besar anorganik tidak dapat diurai oleh alam/mikroorganisme secara keseluruhan (unbiodegradable).

b. Sampah organik

Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang dapat didegradasi oleh mikroba atau bersifat *biodegradable*. Sampah ini dengan mudah dapat diuraikan melalui proses alami. Sampah rumah tangga sebagian besar merupakan bahan organik. Termasuk sampah organik, misalnya sampah dari dapur, sisa-sisa makanan, tepung, sayuran, kulit buah, daun dan ranting.

Murtadho dan Said (1997) mengklasifikasikan sampah organik menjadi 2 (dua) kelompok yaitu :

- 1.) Sampah organik yang mudah membusuk (*garbage*) yaitu limbah padat semi basah berupa bahan-bahan organik yang berasal dari sektor pertanian dan pangan termasuk dari sampah pasar. Sampah ini mempunyai ciri mudah terurai oleh mikroorganisme dan mudah membusuk, karena mempunyai rantai kimia yang relatif pendek.

2.) Sampah organik yang tak mudah membusuk (*rubish*) yaitu limbah padat organik kering yang sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga sulit membusuk. Hal ini karena rantai kimia panjang dan kompleks yang dimilikinya, contoh dari sampah ini adalah kertas dan selulosa.

Sampah organik memiliki potensi sebagai sumber energi, dengan memanfaatkan material organik yang dapat diuraikan secara cepat maupun cukup lama. Oleh karena itu, sampah organik dapat digolongkan sebagai biomassa.

2.3 Metode Pengolahan Sampah

Peran masyarakat dalam minimasi sampah kota khususnya sampah anorganik pada prinsipnya dilakukan dengan konsep 4R (*reuse, recycle, reduce, recovery*), sedangkan untuk sampah organik dapat secara sederhana dilakukan dengan cara komposting. Dengan demikian pengelola mendapatkan keuntungan dari kegiatan tersebut. Proses minimasi sampah kota secara masal yang dilakukan di dunia secara umum adalah sebagai berikut :

a. *Sanitary landfill*

Sanitary landfill adalah sistem pemusnahan yang paling baik. Dalam metode ini, pemusnahan sampah dilakukan dengan cara menimbun sampah dengan cara menimbun sampah dengan tanah yang dilakukan selapis demi selapis. Dengan demikian, sampah tidak berada di ruang terbuka dan tentunya tidak menimbulkan bau atau menjadi sarang binatang pengerat. *Sanitary landfill* yang baik harus memenuhi persyaratan yaitu tersedia tempat yang luas, tersedia tanah untuk menimbunnya, tersedia alat-alat besar. Semua jenis sampah diangkut dan dibuang ke suatu tempat yang jauh dari lokasi pemukiman. *Landfill* sering menimbulkan masalah mulai dari degradasi tanah dan air sampai kerentanan terhadap longsor.

b. *Incerenation*

Incerenation atau insinerasi merupakan suatu metode pemusnahan sampah dengan cara membakar sampah secara besar-besaran di dalam sebuah insenerator. Bahan bakar yang digunakan dalam metode insinerasi adalah menggunakan bahan bakar fosil, dengan demikian akan

menyebabkan timbulnya abu dan masih memiliki unsur berbahaya lainnya setelah proses pembakaran. Manfaat sistem ini adalah volume sampah dapat dikurangi sepertiganya, tidak memerlukan ruang yang luas, panas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber uap, pengolahan sampah dapat disesuaikan dengan jadwal yang tepat.

c. *Composting*

Merupakan metode konvensional yang banyak digunakan Negara di dunia. Composting merupakan pemusnahan sampah dengan cara proses dekomposisi zat organik oleh kuman-kuman pembusuk pada kondisi tertentu. Proses ini menghasilkan bahan berupa kompos atau pupuk hijau.

d. *Biogas*

Keuntungan dari produksi biogas salah satunya adalah mereduksi sampah lingkungan sekaligus mengubah sampah menjadi energi terbarukan. Beberapa negara di eropa menghadapi *overproduction* sampah organik pada industri, pertanian dan rumah tangga. Biogas merupakan salah satu cara yang diterapkan dengan menggunakan bantuan bakteri (*fertilizer*) sehingga didapatkan gas yang dapat digunakan untuk bahan bakar. Sehingga produksi biogas dapat digunakan untuk mereduksi volume sampah dan mengurangi biaya pengolahan sampah (biogass handbook, 2008). Metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama.

e. *Pyrolysis*

Pirolisis merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mereduksi volume dan massa sampah kota. Sampah organik yang dipirolisis akan menghasilkan bentuk padat, cair dan gas. Produk hasil pirolisis ini dapat digunakan sebagai energi alternatif. Proses pirolisis sendiri tidak memerlukan fertilizer untuk mendekomposisi bahan organik, sehingga hanya diperlukan waktu yang singkat, yang merupakan salah satu keuntungan dibandingkan pembuatan biogas.

2.4 Biomassa

Biomassa dapat disebut dengan bahan bakar hayati atau nabati, yang merupakan produk fotosintensis, yaitu butir-butir hijau daun yang dihasilkan

klorofil yang bekerja sebagai semacam sel-sel surya, menyerap energi matahari dan mengkonversi karbondioksida menjadi suatu senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen. Senyawa ini dapat dipandang sebagai suatu penyerapan energi yang dapat dikonversi menjadi suatu produk lain, misalnya arang/karbon, alkohol kayu, dan lain-lain.

2.4.1. Komponen Biomassa

Terdapat berbagai jenis biomassa sangat dan memiliki komposisi yang berbeda-beda pula. Beberapa komponen utama biomassa terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

a. Selulosa

Selulosa adalah 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 (JIE, 2008).

b. Hemiselulosa

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 D-glukosa. Jumlah monosakarida karbon-5 lebih banyak dibandingkan monosakarida karbon-6 dan rumus molekul rata-ratanya adalah $(C_5H_8O_4)_n$. Karena derajat polimerisasi (n) hemiselulosa adalah antara 50 sampai 200, yaitu lebih kecil dari selulosa, maka hemiselulosa lebih mudah terurai dibandingkan selulosa, dan kebanyakan hemiselulosa dapat larut dalam larutan alkali. Hemiselulosa yang umum adalah xilan, yang terdiri atas xilosa dengan ikatan 1, 4. Hemiselulosa yang lain adalah glukomanan, tetapi semua hemiselulosa beragam jumlahnya bergantung pada jenis pohon dan juga bagian tumbuhan itu sendiri (JIE, 2002).

c. Lignin

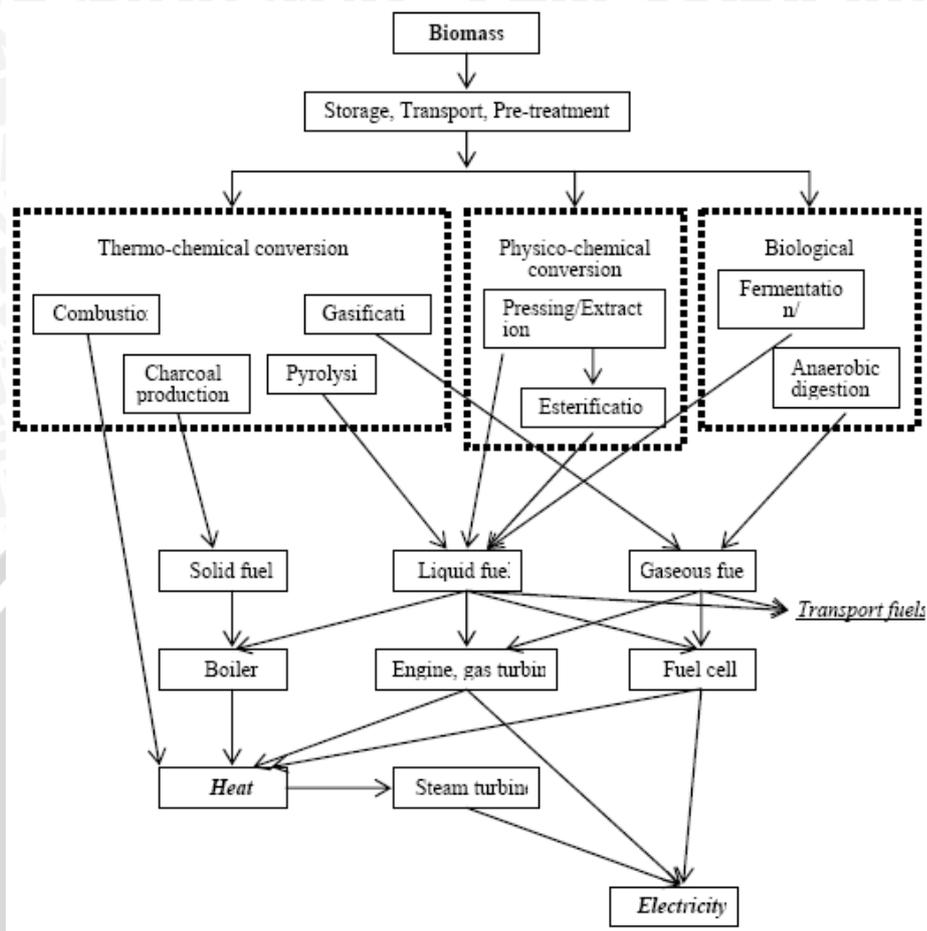
Merupakan senyawa dimana unit komponennya, fenilpropana dan turunannya, terikat secara 3 dimensi. Strukturnya kompleks dan sejauh ini belum sepenuhnya dipahami. Struktur 3 dimensi yang kompleks ini menyebabkan ia sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme dan bahan-bahan kimia. Berdasarkan pengamatan 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 (JIE, 2002).

2.4.2. Biomassa sebagai energi alternatif

Biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara. Siklus terbentuknya biomassa menjadikan sumber energi ini ramah lingkungan karena biomassa berasal dari bahan organik non fosil yang hasil pembakarannya tidak menimbulkan CO₂ yang berbahaya bagi lingkungan. Karbon ini disebut karbon netral (*carbon neutral*) karena karbon dioksida yang dilepaskan saat pembakaran biomassa diserap kembali oleh tumbuhan, karena itu pengembangan energi dari biomassa tidak akan berdampak buruk bagi atmosfer.

Teknologi pemanfaatan energi biomassa yang telah dikembangkan terdiri dari pembakaran langsung dan konversi biomassa menjadi bahan bakar. Penggunaan biomassa langsung sebagai bahan bakar kurang efisien, sehingga konversi biomassa menjadi bahan bakar dianggap lebih baik dalam pemanfaatannya. Pemanfaatan biomassa dapat dilihat pada gambar 2.1 :

Dalam teknologi konversi termal biomassa, proses pembakaran langsung adalah proses yang paling mudah dibandingkan dengan lainnya. Namun teknologi pembakaran langsung biomassa seperti ini relatif memiliki nilai kalor dan efisiensi rendah. Proses termokimia merupakan proses konversi biomassa menjadi bentuk lain (padat, cair, maupun gas) menggunakan energi panas dengan mengubah komposisi kimia biomassa.



Gambar 2.1 Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi

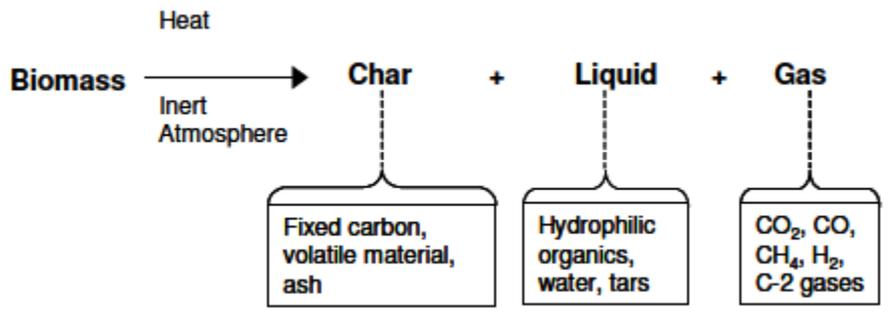
Sumber : Heriansyah I., 2005

Contoh dari termokimia adalah gasifikasi dan pirolisis. Gasifikasi dilakukan dengan temperatur yang sangat tinggi dan menggunakan udara lingkungan, sedangkan pirolisis tidak melibatkan oksigen dalam prosesnya.

2.5 Pyrolysis

Pyrolysis adalah proses dekomposisi kimia bahan organik menjadi bentuk padat, cair dan gas melalui proses pemanasan tanpa melibatkan oksigen (Sadaka : 2007). Bahan yang biasa digunakan untuk proses pirolisis adalah batu bara, limbah manusia dan hewan, sisa makanan, kertas, plastik, dan biomassa. Komposisi kimia bahan tersebut berubah ketika dilakukan pemanasan dalam keadaan tanpa adanya oksigen. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis berupa arang (karbon padat), tar (minyak), dan gas permanen yang meliputi

metana, hidrogen, karbon monoksida dan karbon dioksida. Presentase padatan, cair, dan gas yang dihasilkan dari proses pirolisis dipengaruhi oleh temperatur dan laju pemanasan yang digunakan. Proses pirolisis ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses pirolisis

Sumber : Brownsort, 2009

Secara umum proses pirolisis meliputi *dehydration* atau penghilangan kadar air dalam bahan organik mulai dari temperatur 100°C. Seiring bertambahnya temperatur akan terjadi dekomposisi bahan organik, pemecahan hemiselulosa menjadi produk volatil diantaranya karbon monoksida, karbon dioksida, dan uap (*condensable vapour*). Pada temperatur lebih tinggi terjadi dekomposisi selulosa juga menghasilkan volatil, dalam temperatur lebih tinggi lignin akan dipecah, sehingga meningkatkan kadar karbon yang terdapat pada produk arang (padatan karbon). Berikut beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses pirolisis:

a. Suhu pirolisis

Suhu berpengaruh terhadap hasil pirolisis, karena dengan bertambahnya suhu maka proses penguraian semakin sempurna.

b. Waktu pirolisis

Waktu pirolisis berpengaruh terhadap kesempatan bereaksi. Waktu pirolisis yang panjang akan meningkatkan hasil char dan gas, sedangkan hasil padatnya akan menurun.

c. Kadar air bahan

Kadar air yang tinggi menimbulkan timbulnya uap air dalam proses pirolisis sehingga waktu yang digunakan untuk pemanasan semakin banyak.

Berdasarkan temperatur dan waktu tinggal (*residence time*), pirolisis dibedakan menjadi tiga tipe utama.

- Slow Pyrolysis

Slow pyrolysis dicirikan dengan laju pemanasan lambat, temperatur kecil, dan waktu pemanasan yang lama. Laju pemanasan yang digunakan adalah kurang dari 1°C/s. Produk utama dari slow pyrolysis adalah char.

Produk-produk Non-combustible, seperti CO₂, senyawa organik, dan uap air, dihilangkan pada temperatur antara 100 °C dan 200 °C. Di atas temperatur 200 °C, terjadi pemecahan struktur komponen bahan organik menjadi gas dengan massa molekul yang rendah (*volatile*) dan char karbon. Pada temperature 500 °C semua *volatile* hilang, yang tersisa adalah char (Beall & Eickner, 1970).

- Fast Pyrolysis

Laju pemanasan yang digunakan antara 500 hingga 10⁵°C/s. Ukuran spesimen yang digunakan 2mm agar panas lebih cepat merata dan waktu pemanasan yang digunakan relatif cepat yaitu 0,5-5 detik.

Untuk menghasilkan produk cair yang maksimal, temperatur yang diperlukan kira-kira 500 °C, ukuran partikel biomassa (<2mm), kelembaban (<10%) dan uap harus segera dipisahkan dari char mencegah reaksi sekunder yang menyebabkan terbentuknya produk gas (Bridgwater, 2004;. Kersten et al, 2005). Hasil dari proses pirolisis cepat adalah 60-75% bio-oil, 15-25% char, dan 10-20% *non-condensable gas*, tergantung pada bahan baku yang digunakan (Mohan et al, 2006).

- Flash Pyrolysis

Karakteristik dari flash pyrolysis yaitu laju pemanasan yang sangat cepat yaitu lebih besar dari 10⁵°C/s. Jika dibandingkan dengan *slow pyrolysis*, char dan gas yang dihasilkan lebih sedikit. Pada pirolisis tipe ini dihasilkan tar yang lebih banyak.

Tabel 2.1. Tipe proses pirolisis

pyrolysis process	heating velocity [°C/s]	residence time [s]	main product(s)
slow	$\ll 1$	300 – 1800	char gas, oil, char
fast	500 – 100000	0.5 – 5	oil
flash	$> 10^5$	< 1 < 1 < 0.5	oil gas gas

Sumber : Meijer (2001)

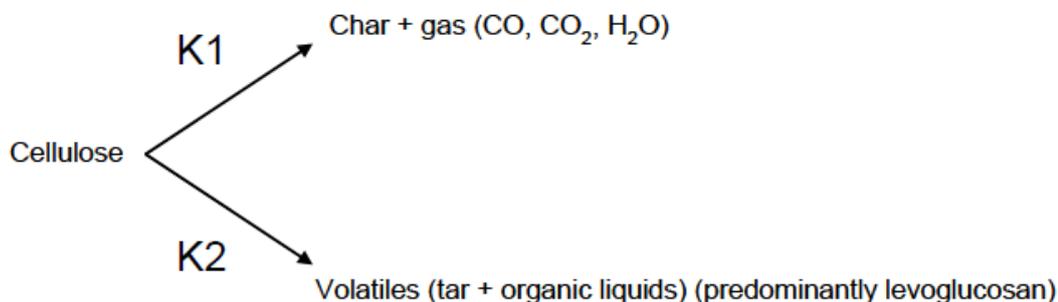
2.6 Pirolisis Biomassa

Selulosa, hemiselulosa, dan lignin merupakan komponen utama dari biomassa, yang memiliki properties yang berbeda. Hemiselulosa adalah konstituen yang paling reaktif dan lignin sebaliknya (Probstein dan Hicks, 1982). Pirolisis biomassa keseluruhan dapat digambarkan dalam hal perilaku komponen-komponen ini. Laju reaksi, produk, dan perilaku termal lainnya dari pirolisis biomassa dianggap sebagai kombinasi dari perilaku komponen utamanya.

2.6.1. Pirolisis selulosa

Selulosa adalah komponen utama dari biomassa yang paling banyak dipelajari. Hal ini karena selulosa merupakan komponen utama dari biomassa yang paling banyak. Selulosa adalah sumber utama dari *combustible volatiles*. Selulosa muncul secara alami dalam keadaan murni pada kapas.

Sejumlah penelitian dari pirolisis selulosa dalam berbagai kondisi telah dilaporkan dan disederhanakan melalui dua jalur mekanisme dekomposisi pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Model reaksi sederhana dari dekomposisi selulosa

Sumber : Sadaka S., 2007

Reaksi 1 terjadi pada suhu rendah sementara reaksi 2 terjadi pada suhu tinggi. Adanya dua jalur ini ditunjukkan oleh studi tentang tingkat kehilangan berat selulosa. Transisi ini ditemukan terjadi pada temperatur sekitar 300°C. Di bawah temperatur tersebut, reaksi kimia yang mungkin terjadi yaitu pengurangan berat molekul, munculnya radikal bebas, oksidasi, dehidrasi, dekarboksilasi, dan decarbonylation. Produk utamanya adalah CO, CO₂, H₂O, dan residu char.

Jalur kedua terjadi pada temperatur di atas 300 °C dan melibatkan dekomposisi selulosa menjadi tar yang mengandung levoglucosan sebagai komponen utama (22-50%), yang menguap dan kemudian terurai seiring dengan meningkatnya temperatur. Karena suhu yang meningkat dari 300 °C sampai 500 °C, jumlah produk tar meningkat sedangkan proporsi komponen char (arang) berkurang dan hasil dari levoglucosan yang tertinggal tetap.

Produk utama dari pirolisis selulosa di bawah 500 °C adalah char, tar (terutama levoglucosan), air, CO₂ dan CO. Hasil dari hidrokarbon ringan, yaitu C₁ - C₄, saat di bawah 500 °C diabaikan tetapi akan diperhitungkan apabila terjadi pada temperatur tinggi (Scott et al, 1988.). Hasil tar mulai turun ketika suhu pirolisis dinaikkan di atas 600 °C. Peningkatan jumlah dari produk gas terjadi pada temperatur yang sama dengan temperatur dimana produk tar mulai berkurang. Hal ini merupakan indikasi bahwa pemecahan struktur utama tar memberikan kontribusi terhadap produksi total gas pada temperatur tinggi.

2.6.2. Pirolisis hemiselulosa

Glucoronoxylans (sering disebut sebagai xilan) adalah hemiselulosa yang paling penting yang terdapat pada kayu keras (*hardwood*), dan glukomanan adalah hemiselulosa yang dominan pada kayu lunak (*softwood*). Xilan telah digunakan dalam beberapa penelitian (Koufopoulos et al., 1989) untuk model pirolisis hemiselulosa. Hemiselulosa merupakan komponen utama yang paling reaktif dari dekomposisi kayu yaitu pada rentang temperatur 200-260 °C. Ketidakstabilan termal pada hemiselulosa mungkin disebabkan karena kurangnya crystallines. Dekomposisi hemiselulosa dalam kondisi pirolitik ini terjadi dalam dua tahap (Soltes dan Elder, 1981). Pertama adalah pemutusan ikatan dari polimer menjadi fragmen-fragmen yang larut dalam air diikuti oleh konversi ke unit monomer, dan akhirnya dekomposisi dari unit-unit monomer menjadi *volatil*

matter. Hemiselulosa menghasilkan gas lebih banyak dan tar yang lebih sedikit dibandingkan dengan selulosa, dan tidak mengandung levoglucosan. Hemiselulosa juga memproduksi metanol dan asam asetat yang lebih banyak dibandingkan dengan selulosa.

2.6.3. Pirolisis lignin

Lignin, komponen utama ketiga dari biomassa, merupakan jaringan polimer 3 dimensi, yang bersifat amorf dan berat molekul senyawa fenoliknya tinggi. Lignin berfungsi mempererat antar serat kayu dan juga berfungsi sebagai pengerasan. Lignin merupakan komponen biomassa yang kurang reaktif. Temperatur yang lebih tinggi diperlukan untuk pirolisis lignin. Dekomposisi termal dari lignin terjadi pada kisaran temperatur 280 °C sampai 500 °C, meskipun beberapa perubahan fisik atau kimia (misalnya, depolimerisasi dan kehilangan beberapa metanol) dapat terjadi pada temperatur rendah (Koufopoulos et al., 1989).

Pada tingkat pemanasan lambat, lignin kehilangan hanya sekitar 50% dari berat ketika pirolisis ini dihentikan pada 800 °C. Pirolisis lignin menghasilkan char dan tar yang lebih banyak dibandingkan dengan selulosa. Soltes dan Elder (1981) telah melaporkan komposisi produknya, terdiri dari 51-66% char, 14-15% tar, asam pyroligneous sebesar 13-28% dan 12% produk gas (terutama terdiri dari CO, CH₄ dan C₂H₆).

2.7 Bahan Bakar

Ditinjau dari sudut teknis dan ekonomis, bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Secara umum bahan bakar yang selama ini digunakan dapat digolongkan ke dalam dua kelompok besar yaitu bahan bakar primer dan bahan bakar sekunder. Bahan bakar yang digunakan secara langsung disebut bahan bakar primer. Beberapa contoh dari bahan bakar primer adalah kayu bakar dan gas alam. Sedangkan bahan bakar sekunder adalah bahan bakar yang diolah terlebih dahulu dari bahan bakar primer sebelum dipakai. Yang termasuk bahan bakar jenis ini yaitu bensin, minyak tanah, dan solar.

Untuk menganalisa bahan bakar padat, dapat digunakan beberapa analisa, yaitu analisa *ultimate* dan analisa *proximate*. Analisa *ultimate* menganalisa seluruh

elemen komponen kimia dari bahan bakar padat yang terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H₂), oksigen (O), dan sulfur (S). Sedangkan analisa *proximate* menganalisa *fixed carbon*, bahan yang mudah menguap (*volatile matter*), kadar air (*moisture*), dan persen abu. Ada beberapa jenis pengujian untuk mengetahui kualitas dari bahan bakar padat, yaitu :

1. Analisa *Proximate*

Pada analisa *proximate* ini, parameter yang dianalisa adalah :

a. Kadar Air (*Moisture*)

Kadar air dapat menurunkan kandungan panas per kg bahan bakar padat. Kandungannya berkisar antara 0,5% hingga 10%. Penentuan kadar air dilakukan dengan menempatkan sampel bahan baku bahan bakar padat yang dihaluskan sampai ukuran 200 mikron dalam krus terbuka. Kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 108-110 °C selama satu jam dan diberi penutup. Sampel kemudian didinginkan hingga suhu kamar dan ditimbang lagi. Kehilangan berat dikalikan 100%. Hasilnya merupakan kadar airnya (M), pengaruh kadar air terhadap proses pembakaran adalah :

- Meningkatkan kehilangan panas, karena penguapan dan pemanasan yang berlebih dari uap.
- Membantu pengikatan partikel halus pada tingkatan tertentu.
- Membantu radiasi transfer panas.

b. Bahan yang Mudah Menguap (*Volatile Matter*)

Volatile matter dalam bahan bakar padat adalah gas hidrokarbon (C_xH_y), karbon monoksida (CO), dan gas-gas yang tidak mudah terbakar seperti karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N). *Volatile matter* merupakan indeks dari kandungan bahan bakar dalam bentuk gas pada bahan bakar padat. Kandungan *volatile matter* berkisar antara 20% hingga 35%.

Penentuan *volatile matter* dapat ditentukan dengan cara sampel bahan baku yang masih baru ditimbang, ditempatkan pada krus tertutup, kemudian dipanaskan dalam tungku pada suhu 900-915 °C selama 7 menit. Hasilnya merupakan persentase *volatile matter* (VM).

c. Kadar Abu (*Ash*)

Abu merupakan bahan yang tidak dapat terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Penentuan kadar abu dilakukan setelah dilakukan uji *volatile matter*. Setelah itu memanaskan bahan bakar padat dengan pembakaran Bensen hingga seluruh karbon terbakar pada suhu 700-750 °C. Kemudian abunya ditimbang (A). Pengaruh abu terhadap proses pembakaran adalah :

- Mengurangi kapasitas pembakaran
- Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan

d. *Fixed Carbon*

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didestilasi. Kandungan utamanya adalah karbon, tetapi juga mengandung hidrogen (H₂), oksigen (O), sulfur (S), dan nitrogen (N) yang tidak terbawa oleh asap. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai kalor bahan bakar padat. Besarnya *fixed carbon* (FC) dapat ditentukan dengan cara menghitung sisa dari jumlah bahan di atas, sehingga diperoleh :

$$FC = 100 - (M + VM + A) \quad (\text{ASTM}) \quad (2-1)$$

2. Analisa *Ultimate*

Analisa *Ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon (C), hidrogen (H₂), oksigen(O), dan sulfur (S). Analisa ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran, volume serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang.

Dari kedua analisa di atas dapat dibua suatu hubungan antara analisa *ultimate* dan analisa *proximate* yang dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Hubungan antara analisa *ultimate* dan analisa *proximate*

% C	=	$0,97 + 0,7 (VM + 0,1 A) - M (0,6 - 0,01 M)$
% H	=	$0,03 FC + 0,086 (VM - 0,1 A) - 0,0035 M^2 (1 - 0,02 M)$
% N ₂	=	$2,10 - 0,020 VM$

Sumber : UNEP, 2006

Keterangan :

FC = % *fixed carbon*A = % abu (*ash*)M = % kadar air (*moisture*)VM = % *volatile matter*

2.8 Nilai Kalor

Nilai kalor pembakaran adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar ketika terjadi pembakaran sempurna dalam keadaan *steady-flow* (Cengel, Y. A. 2002). Nilai kalor pembakaran diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu : nilai kalor pembakaran tinggi (*High Heating Value* atau HHV) dan nilai kalor pembakaran rendah (*Low Heating Value* atau LHV).

Nilai kalor pembakaran tinggi (HHV) adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar tanpa memperhitungkan jumlah kalor yang dikeluarkan akibat terbentuknya uap air (H₂O). Sedangkan nilai kalor rendah (LHV) adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar dengan memperhitungkan kerugian panas akibat terbentuknya uap air (H₂O).

Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan antara HHV dan LHV merupakan panas laten dari sejumlah uap air dalam gas hasil pembakaran bahan bakar apabila pembakarannya memakai udara kering dan dapat dirumuskan sebagai berikut (Cengel, Y. A. 2002) :

$$HHV = LHV + (mh_{fg}) H_2O \quad (\text{Cengel, 2002: 714}) \quad (2-2)$$

Dimana m adalah massa dari produk H₂O per satuan massa bahan bakar dan h_{fg} adalah entalpi penguapan dari air pada temperatur tertentu (Cengel, Y. A. 2002).

Pengukuran nilai kalor dilakukan dengan menggunakan alat kalorimeter. Berikut merupakan macam-macam kalorimeter :

a. Ishotermal Oxigen Bomb Calorimeter

Kenaikkan suhu dari inner vessel (Calorimeter Bucket) dapat diperiksa, sedang suhu out vessel (jacket) konstan. Suhu jacket dapat diatur terus menerus selama penetapan untuk tetap sama dipertahankan terhadap Calorimeter Bucket.

b. Adiabatic Oxigen Bomb Calorimeter

Tidak diperlukan koreksi radiasi panas dan hanya memerlukan pemeriksaan suhu awal dan akhir calorimeter dan suhu jacket terpaku sama terhadap suhu linier vessel selama penetapan. Perbedaannya dengan jenis yang pertama bahwa isothermal memerlukan pengukuran suhu awal, antara dan suhu akhir.

c. Ballistic Oxigen Bomb Calorimeter

Sampel yang diketahui beratnya ditetapkan kalorinya degan dibakar di dalam suatu bomb yang berisi oksigen yang berlebihan, kemudian kenaikan maksimum dari bomb diukur dengan termokopel dan galvanometer. Dengan membandingkan kenaikan suhu degan sampel standar yang telah diketahui nilai kalornya dengan cara pembakaran asam benzoat dalam bomb calorimeter.

Dalam analisa nilai kalor menggunakan adiabatic oxygen bomb calorimeter digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$NK = \frac{(EE \times \Delta T) - (Acid) - Fulse}{m} \quad (2-3)$$

Dimana :

NK = Nilai Kalor (kal/gr)

ΔT = Perubahan Temperatur Pada Termometer ($^{\circ}C$)

Acid = Sisa Abu Yang Terbakar (gr); 1 gr acid = 10 kal

Fulse = Panjang Kawat Yang Terbakar (cm); 1 cm fulse = 1 kal

m = Massa Awal Bahan Yang Dibakar (gr)

EE = Kapasitas Kalor Benzoid (2401,459 kal/ $^{\circ}C$)

2.9 Hipotesis

Semakin besar waktu tinggal sampah organik, maka semakin banyak tar yang terbentuk, sedangkan char yang terbentuk akan semakin sedikit. Tetapi kadar karbon yang terikat didalam char akan semakin banyak sehingga nilai kalor dari char akan meningkat.

