

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zapusek dkk (2003) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi temperatur karbonasi terhadap sifat-sifat dasar batubara setelah proses karbonisasi. Variasi temperatur yang digunakan mulai dari 550, 600, 650, 700, dan 750 °C, dengan variabel konstan berupa selang waktu selama 30 menit dan ukuran partikel sebesar 10-20 mm. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonasi maka kandungan karbon, nilai kalor, abu, dan sulfur semakin meningkat, namun kandungan air, *volatile matter*, dan hidrogen menurun. Pada perubahan ukuran partikel disimpulkan bahwa dengan semakin besar ukuran partikel, akan menurunkan kadar *volatile matter* dan meningkatkan *fixed carbonnya*.

Saptoadi (2006) meneliti ukuran partikel terhadap laju pembakaran briket. Hasilnya diperoleh bahwa semakin kecil ukuran partikel akan menurunkan laju pembakaran briket dari sekam padi, hal ini disebabkan oleh densitas briket yang semakin tinggi sehingga porositas menjadi lebih rendah dan difusi menjadi terhambat.

Setiawan (2010) melakukan penelitian terhadap karakteristik char sampah organik (bambu dan daun pisang) dan anorganik (plastik kemasan) hasil pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak semua bahan jika dipirolisis akan menaikkan nilai kalor *char* yang dihasilkan, seperti proses pirolisis pada plastik kemasan yang malah cenderung menurunkan nilai kalornya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh abu yang dihasilkan saat pirolisis sehingga *char* yang dihasilkan lebih banyak mengandung abu daripada karbon. Bahan yang terbaik untuk dipirolisis adalah bambu dengan kenaikan nilai kalor sebesar 55,3% dan *char* yang dihasilkan sebesar 27,63% sedangkan energi aktivasinya (E_a) = 32.391,34J/gram mol.

Panthera (2012) melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi temperatur pirolisis terhadap nilai kalor arang kotor sapi. Variasi temperatur yang digunakan adalah 100, 200, 300, 400, dan 500 °C dengan kadar air 4% dan lolos

ayakan 36 mesh (ukuran butir spesimen $<484 \mu\text{m}$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi temperatur akan meningkatkan jumlah arang (char) yang terbentuk, semakin besar pengurangan massa dan volume dari spesimen, dan kenaikan nilai kalor sebesar 6-10%.

2.2 Sampah Kota (*Municipal Solid Waste*)

Sampah kota (*municipal solid waste*) merupakan material-material padat yang dihasilkan dari aktivitas harian manusia dan dibuang karena dianggap tidak berguna lagi dan atau tidak diinginkan (Tchobanoglous dan Kreith, 2002), dimana material tersebut dapat berupa sisa-sisa makanan, kertas bekas, bekas kemasan, daun, kain, dan material lain yang sudah tidak digunakan lagi oleh manusia. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No.18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah pada Pasal 1 ayat 1, disebutkan bahwa yang dimaksud dengan sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat, dimana sampah yang dimaksud disini adalah tidak termasuk sampah spesifik yang karena sifat, konsentrasi dan/atau volumenya memerlukan pengelolaan khusus.

Permasalahan sampah secara menyeluruh adalah menyangkut bagaimana mengelola jumlah timbunan sampah yang dihasilkan setiap hari, bagaimana melakukan reduksi volume timbunan sampah dan memanfaatkan setiap potensi sampah yang ada untuk menghasilkan sesuatu yang lebih berguna.

2.2.1 Jenis-Jenis Sampah

Berdasarkan sifatnya sampah dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Sampah Organik, yaitu sampah yang mudah membusuk seperti sisa makanan, daun-daun kering, sayuran, kotoran hewan, kertas dan sebagainya
2. Sampah anorganik, yaitu sampah yang tidak mudah membusuk, seperti plastik pembungkus makanan, botol dan gelas minuman, kaleng, kayu, dan sebagainya. Sampah ini dapat dijadikan sampah komersil atau sampah yang laku dijual untuk dijadikan produk lainnya.

Berdasarkan bentuknya sampah dibedakan menjadi :

1. Sampah Padat

Sampah padat adalah segala bahan buangan selain kotoran manusia, urine dan sampah cair. Dapat berupa sampah rumah tangga, sampah dapur, sampah kebun, plastik, metal, gelas dan lain-lain.

2. Sampah Cair

Sampah cair adalah sampah yang merupakan hasil dari kegiatan rumah tangga maupun industri yang berbentuk cair dan tidak digunakan lagi, sehingga dibuang ke tempat pembuangan sampah.

Berdasarkan asalnya sampah cair dibedakan menjadi 2 jenis :

- a. Limbah hitam, yaitu sampah cair yang berasal dari toilet. Sampah ini mengandung patogen yang berbahaya.
- b. Limbah rumah tangga, adalah sampah yang dihasilkan dari dapur, kamar mandi dan tempat cucian.

2.2.2 Metode Pengelolaan Sampah

Pada umumnya pemusnahan sampah saat ini masih dilakukan pada tingkat reduksi dan daur ulang. Pada prinsipnya pemusnahan sebaiknya dilakukan dengan konsep mutakhir 4R (*reduce, recycle, reuse and recovery*) dapat memberikan manfaat luas, serta fungsi pengelolaan yang tidak hanya menghabiskan anggaran pengelolaan, tetapi juga perolehan pendapatan bagi pengelola (Djatnika.S, 2009). Secara umum, beberapa metode dalam pengelolaan sampah di Indonesia adalah :

a. Komposting dan penimbunan

Cara ini merupakan metode yang paling banyak diterapkan di Indonesia. Pengurangan sampah yang terjadi rata-rata sekitar 25%-35% berat, sisanya kemudian ditimbun. Penimbunan sering menimbulkan masalah mulai dari degradasi tanah dan air tanah sampai kerentanan terhadap longsor.

b. Insinerasi (pembakaran langsung)

Merupakan pembakaran sampah secara oksidasi penuh didalam sebuah ruang pembakar (insenerator). Insinerasi masih menggunakan

bahan bakar fosil dan masih akan menyisakan abu yang kemungkinan besar masih memiliki kandungan unsur yang berbahaya.

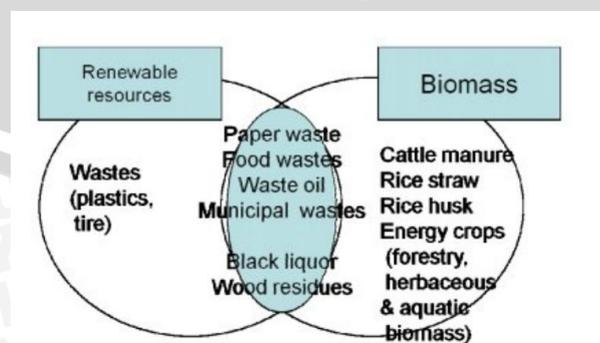
c. Pirolisis

Merupakan cara dekomposisi termal di dalam tungku tanpa adanya oksigen yang terlibat untuk menghasilkan cairan, gas dan arang. Cairan hasil pirolisis dapat di proses lebih lanjut dan dikonversikan secara katalitik menjadi berbagai jenis bahan bakar , bahan kimia industri, perekat dan sebagainya.

2.3 Biomassa

Adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian dan limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer seperti serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai bahan energi (bahan bakar). Umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Gambar 2.1 menunjukkan definisi energi biomassa di Jepang. Biomassa yang semula dianggap sebagai salah satu jenis sumber daya terbarukan, kini dianggap sebagai satu kategori bebas dari energi baru. Namun beberapa limbah seperti limbah kertas, limbah makanan, limbah penghancuran, dan lindi hitam bisa juga dianggap sebagai sumber daya yang dapat didaur ulang berdasarkan kondisi tertentu.



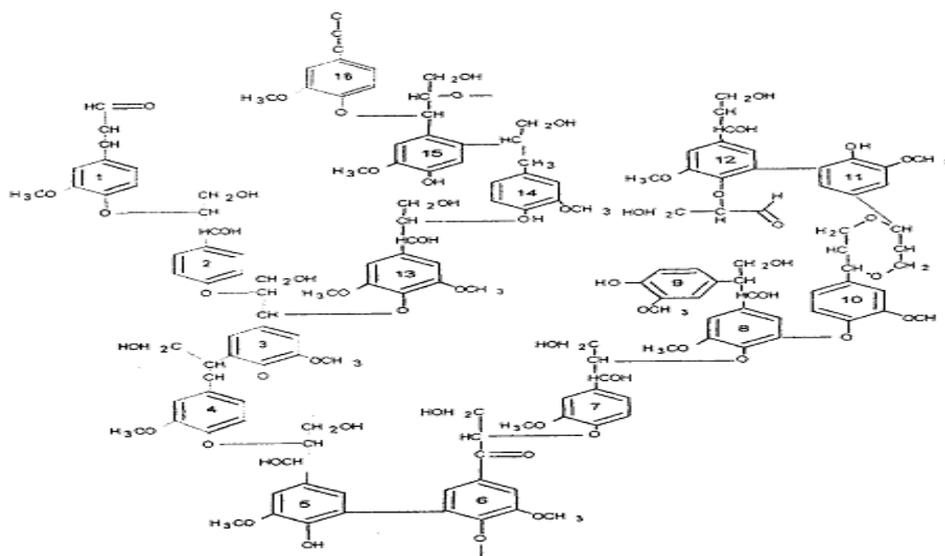
Gambar 2.1 Definisi Energi Biomassa di Jepang
Sumber : Asian Biomassa Handbook, 2008

Biomassa tidak hanya mencakup produk dan sisa konvensional dari pertanian, kehutanan, dan perikanan tetapi juga mencakup biomassa tanaman.

2.4 Komposisi Biomassa

2.4.1 Lignin

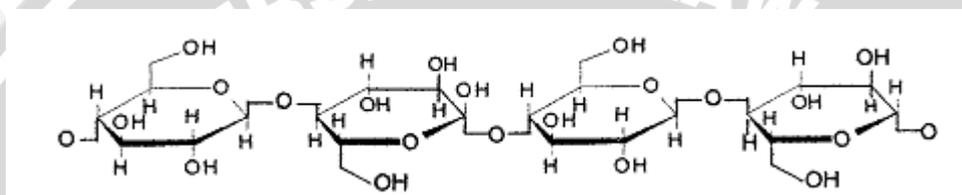
Lignin adalah senyawa yang kompleks dengan bobot molekul tinggi dan tersusun atas unit-unit fenilpropana dan turunannya. Strukturnya kompleks dan hingga saat ini masih sulit untuk dipahami. Polimer lignin merupakan polimer bercabang yang membentuk struktur tiga dimensi. Struktur tiga dimensi yang kompleks 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). Struktur kimia lignin dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 : Struktur Kimia Lignin
Sumber : Sjostrom, 1995

2.4.2 Selulosa

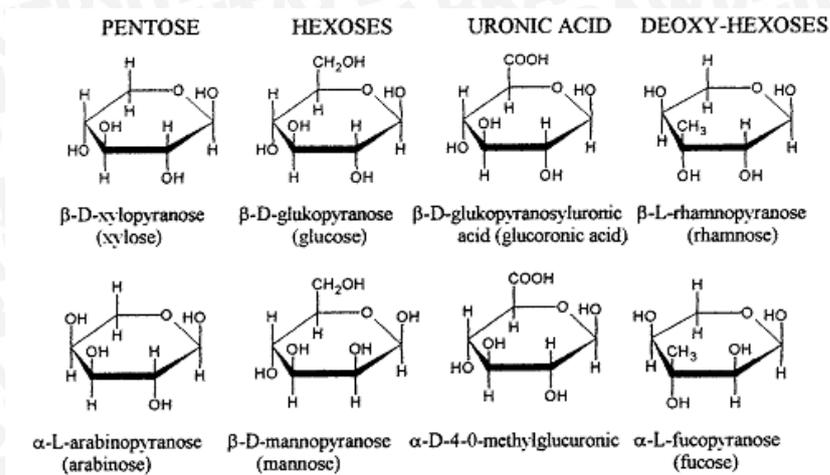
Selulosa yang memiliki rumus molekul $(C_6H_{12}O_6)_n$ adalah polimer dari β -glukosida dengan ikatan β -1-4 antara unit-unit glukosa. Selulosa terdapat pada kayu, kapas, rami dan tumbuhan lainnya. Selulosa pertama kali diisolasi dari kayu pada tahun 1885 oleh Charles F. Cross dan Edward Bevan (Pardosi, 2008). Derajat polimerasinya, ditunjukkan oleh n , dengan nilai kisaran yang lebar mulai dari beberapa ribu hingga puluhan ribu. Hidrolisis total selulosa menghasilkan sebuah monosakarida berupa D-glukosa, akan tetapi hidrolisis parsial menghasilkan disakarida (selobiosa) dan polisakarida yang memiliki n berurutan dari 3 ke 10. Struktur kimia selulosa dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Struktur Kimia Selulosa
Sumber : Sjostrom, 1995

2.4.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polisakarida dimana unit-unitnya terdiri dari monosakarida dengan 5 karbon seperti D-arabinosa, D-xilosa dan monosakarida karbon 6 seperti D-glukosa, D-galaktosa dan D-manosa. Jumlah monosakarida karbon-5 lebih banyak dibandingkan monosakarida karbon-6 dan rumus molekul rata-ratanya adalah $(C_5H_8O_4)_n$. Hemiselulosa memiliki derajat polimerisasi (n) antara 50 sampai 200, dimana lebih kecil dari selulosa sehingga ia lebih mudah terurai daripada selulosa, dan kebanyakan hemiselulosa dapat larut dalam larutan alkali. Hemiselulosa yang umum adalah xilan, yang terdiri atas xilosa dengan ikatan 1, 4. Semua hemiselulosa beragam jumlahnya bergantung pada jenis pohon dan juga bagian tumbuhan itu sendiri (JIE, 2002). Struktur kimia hemiselulosa dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Struktur Kimia Hemiselulosa
Sumber : Walker, 1993

2.5 Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan suatu material yang dapat menghasilkan energi panas melalui proses pembakaran. Unsur utama yang terdapat dalam bahan bakar antara lain adalah karbon (C) dan hidrogen (H), sehingga sering disebut dengan senyawa hidrokarbon. Selain unsur utama tersebut juga terdapat unsur-unsur lain yang disebut dengan impuritas atau senyawa pengganggu, seperti nitrogen (N), sulfur (S), abu, air (H₂O), dan lain-lain. Berdasarkan bentuknya bahan bakar dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu bahan bakar padat, cair, dan gas.

2.5.1. Asal Usul Bahan Bakar

Secara umum, baik bahan bakar cair seperti minyak bumi, maupun bahan bakar padat seperti batu bara, didapatkan dari hasil pembusukan dan penguraian atau dekomposisi sisa makhluk hidup yang telah mati. Dibutuhkan waktu yang sangat panjang untuk sisa makhluk hidup tersebut terdekomposisi dan kemudian menghasilkan zat-zat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar.

2.5.2 Bahan Bakar Padat

Beberapa jenis bahan bakar padat yang sering digunakan adalah batu bara, cokes, dan biomassa. Dalam pemilihan bahan bakar padat, harus dipertimbangkan sifat fisik dan sifat kimianya. Yang meliputi sifat fisik bahan bakar adalah nilai kalor, kadar air, bahan yang mudah menguap, dan abu. Sedangkan yang termasuk

sifat kimia adalah kandungan berbagai bahan kimia seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan sulfur (S).

Untuk menganalisa sifat bahan bakar padat, dapat digunakan beberapa analisa, diantaranya adalah analisa *proximate* dan analisa *ultimate*. Analisa *proximate* menganalisa *fixed carbon*, bahan yang mudah menguap (*volatile matter*), kadar air (*moisture*), dan persen abu (*ash*). Sedangkan analisa *ultimate* menganalisa seluruh elemen komponen kimia dari bahan bakar padat yang terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan sulfur (S). Berikut adalah jenis pengujian untuk mengetahui kualitas dari bahan bakar padat :

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 100-110 °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 adalah zat yang terkandung dalam bahan bakar padat yang berupa 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 tertentu. Hasilnya merupakan persentase *volatile matter* (VM).

c. Kadar Abu (*Ash*)

Abu merupakan bahan yang tidak dapat terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Pengukuran nilai kadar abu (*ash*) dapat dilakukan setelah 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 :

- Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan
- Mengurangi kapasitas pembakaran

d. *Fixed Carbon*

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah *volatile matter* didestilasi. Kandungan utamanya adalah karbon, tetapi juga mengandung hidrogen (H), 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 :

$$FC = 100 - (M + VM + A) \quad (\text{ASTM D3172})$$

2. Analisa *Ultimate*

Analisa *Ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), 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 dibuat suatu hubungan antara analisa *ultimate* dan analisa *proximate* yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 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*

2.6 Bio Oil

Bio oil merupakan salah satu jenis bioenergi yang dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan bakar solar. Bio oil adalah bahan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap dan diproduksi dari biomassa seperti kayu, kulit kayu, kertas atau biomassa lainnya melalui teknologi pirolisis.

Pemanfaatan bio oil sebagai substitusi bahan bakar sebenarnya telah dikenal sejak lama. Bio oil terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen dengan sedikit kandungan sulfur yang dapat diabaikan. Komponen organik terbesar dalam bio oil yaitu lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Karakteristik tersebut menjadikan bio oil sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Selain itu, bio-oil memiliki nilai kalor (*heating value*) yang lebih besar dibandingkan bahan bakar oksidasi lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan diesel oil dan fuel oil lainnya.

Produksi bio oil sangat menguntungkan karena dengan pengolahannya bio oil dapat menghasilkan produk berupa bahan bakar minyak bio, seperti bio diesel.

Bahan Baku untuk bio oil pada dasarnya bahan yang mengandung selulosa berpotensi untuk dijadikan bahan baku bio oil. Bahan baku tersebut diantaranya kayu, kulit kayu, kertas, sayuran dan bahan-bahan lain dengan rendemen bervariasi tergantung dari komposisi bahan bakunya. Perbandingan nilai kalor dari tiap-tiap bahan bakar ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Perbandingan nilai kalor tiap-tiap bahan bakar

Bahan Bakar	Heating Value	
	MJ/L	BTU/US Gal
Bio Oil	22,1	75.500
Diesel Oil	38,9	138.500
Metanol	17,5	62.500
Etanol	23,5	84.000

Sumber : Cahyono, 2009

2.7 Pirolisis

Pirolisis didefinisikan sebagai proses degradasi termal dari padatan dalam kondisi tidak adanya oksigen, yang memungkinkan terjadinya beberapa jalur konversi thermokimia sehingga padatan tersebut menjadi gas (permanent gasses), cairan (pyrolitic liquid) dan padatan (char) (Di Blasi (2008)). Sementara Swithenbank et.al (2005) mendefinisikan pirolisis sebagai degradasi termal atau deformasi limbah organik dalam kondisi tanpa oksigen dan dalam kondisi tekanan atmosfer atau vakum untuk menghasilkan char (*carbonaceous char*), minyak pirolisis, dan gas pada temperatur yang relatif rendah. Penelitian Produk dari pirolisis itu sendiri dapat digunakan sebagai bahan bakar. Material yang dapat digunakan untuk proses pirolisis antara lain, batubara, kotoran manusia dan hewan, kertas, plastik, karet dan biomassa.

2.7.1 Jenis Pirolisis

Secara umum pirolisis dapat digolongkan menjadi 3 jenis, antara lain :

a. Pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pirolisis konvensional atau pirolisis lambat ditandai oleh laju pemanasan yang lambat, temperatur rendah dan waktu tinggal (*residence time*) gas dan solid yang lama. Laju pemanasan yang digunakan berkisar antara 0,1 – 2 °C/detik. Tujuan dari pirolisis lambat adalah untuk mendapatkan produk char, tapi ini akan selalu disertai dengan produk-produk cair dan gas.

b. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis cepat adalah dekomposisi thermal dari komponen organik tanpa oksigen dalam prosesnya untuk menghasilkan cairan dari bahan organik. Pirolisis jenis ini memiliki keuntungan yaitu biaya produksi yang rendah, efisiensi panas yang tinggi, penggunaan bahan bakar fosil yang rendah, dan netralitas CO₂ (Mohan et al, 2006). Pirolisis cepat ditandai dengan tingkat pemanasan tinggi ($2 < HR < 200$ °C/detik) dan pendinginan yang cepat dari produk cair untuk menghentikan reaksi sekunder dari produk (Klass, 1998; Bridgwater, 2004; Bock, 2006).

c. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi, yaitu berkisar antara 200-10⁵ °C/detik. Proses ini akan menghasilkan produk char dan tar yang sedikit.

2.7.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Hasil Pirolisis

Ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam proses pirolisis, antara lain adalah :

- a) Suhu Pirolisis, yang berpengaruh terhadap hasil pirolisis, karena dengan bertambahnya suhu maka proses peruraian semakin sempurna
- b) Waktu pirolisis, yang berpengaruh terhadap kesempatan untuk bereaksi. Semakin lama waktu pirolisis akan meningkatkan hasil cair dan gas, sedangkan hasil padatnya akan menurun. Waktu yang dibutuhkan tergantung pada jumlah dan jenis bahan yang diproses.
- c) Kadar air bahan, dimana semakin tinggi kadar airnya akan menyebabkan timbulnya uap air dalam proses pirolisis yang mengakibatkan tar tidak bisa mengembun di dalam pendingin sehingga waktu yang digunakan untuk pemanasan semakin banyak.
- d) Ukuran bahan, semakin kecil ukuran bahan, akan menyebabkan transfer panas yang terjadi antar partikel menjadi semakin besar akibat rasio luas permukaan dengan volume semakin besar. Hal ini menyebabkan jumlah produk tar, char, dan gas lebih besar.

2.7.3 Produk Hasil Pirolisis

Proses pirolisis akan menghasilkan beberapa produk yang memiliki nilai kalor tertentu, antara lain :

1. Arang (*Char*)

Padatan arang atau *char* merupakan produk dari proses pirolisis. Berikut ini merupakan sifat fisik dari arang :

- Warna : Hitam
- Bentuk Fisik : Menyerupai tepung
- pH : 7,5
- Specific Gravity : 1,7 – 1,9

2. Asap Cair (*Tar*)

Sifat Fisik dari Bio Oil, meliputi :

1. Warna : Hitam pekat
2. Bentuk fisik : Cair
3. Bau : Berbau seperti asap

3. Gas yang Tidak Terkondensasi

Pada saat proses kondensasi, terdapat gas yang tidak dapat dikondensasikan dan gas tersebut biasanya digunakan sebagai fuel gas pada combustor. Komposisi gas yang tidak terkondensasi dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi gas tak terkondensasi selama proses pirolisis

No	Komponen	% Berat
1	CO ₂	5,42
2	CO	6,56
3	CH ₄	0,035
4	C ₂ H ₄	0,142
5	H ₂	0,588
6	C ₃ H ₆	0,152
7	NH ₃	0,0121

Sumber : Clean Fuels Handbook, 2008

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 (H_2O). Sedangkan nilai kalor rendah (LHV) adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar dengan memperhitungkan kerugian panas akibat terbentuknya uap air (H_2O).

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) :

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

Dimana m adalah massa dari produk H_2O per satuan massa bahan bakar dan h_{fg} adalah entalpi penguapan dari air pada temperatur tertentu (Cengel, Y. A. 2002).

2.8.1 Cara Mengukur Nilai Kalor

Pengukuran nilai kalor dilakukan dengan menggunakan alat kalorimeter.

Macam-macam kalorimeter :

a. *Ishothermal 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 kalorimeter 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 kalornya degan dibakar di dalam suatu bomb yang berisi oksigen yang berlebihan, kemudian kenaikan

maksimum dari bomb diukur dengan *thermocouple* dan *galvanometer*. Dengan membandingkan kenaikan suhu degan sampel standar yang telah diketahui nilai kalornya dengan cara pembakaran asam benzoat dalam *bomb calorimeter*.

Adapun rumus untuk mengetahui nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter* dapat dilihat pada persamaan (2-1) dibawah ini.

$$NK = \frac{(EE \times \Delta T) - (Acid) - Fulse}{m} \quad (2-1)$$

Sumber : *ASTM Standards for Bomb Calorimetry and Combustion Methods*, 1987

dengan :

NK = Nilai Kalor (kal/°C)

ΔT = Perubahan Temperatur Pada Termometer (°C)

Acid = Sisa Abu Yang Terbakar (gr)

Fulse = Panjang Kawat Yang Terbakar (cm = cal/gr)

m = Massa Awal Bahan Yang Dibakar (gr)

EE = Standart Nilai Kalor Benzoid (2401,459 cal/gr)

2.9 Hipotesis

Dengan semakin besar densitas bahan pirolisis, maka jarak antar partikel sampah menjadi semakin kecil, sehingga porositas menjadi lebih rendah dan difusi dari zat *volatile matter* akan terhambat. Hal ini mengakibatkan sulitnya proses dekomposisi dari bahan pirolisis menjadi cair atau gas. Selain itu, kemungkinan *char* yang kaya akan karbon semakin menurun.