

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biomassa**

##### **2.1.1 Pengertian Biomassa**

Biomassa adalah campuran material organik yang kompleks, biasanya terdiri dari karbohidrat, lemak, protein dan beberapa mineral lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kalsium dan besi. Komponen utama tanaman biomassa adalah karbohidrat (berat kering kira-kira 75%), lignin (sampai dengan 25%) dimana dalam beberapa tanaman komposisinya bisa berbeda-beda. Keuntungan penggunaan biomassa untuk sumber bahan bakar adalah keberlanjutannya, diperkirakan 140 juta ton matrik biomassa digunakan pertahunnya. Keterbatasan dari biomassa adalah banyaknya kendala dalam penggunaan untuk bahan bakar kendaraan bermobil.

Potensi limbah biomassa terbesar adalah dari limbah kayu hutan, kemudian diikuti oleh limbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa, kelapa sawit dan tebu. Secara keseluruhan potensi energi limbah biomassa Indonesia diperkirakan sebesar 49.807,43 MW. Dari jumlah tersebut, kapasitas terpasang hanya sekitar 178 MW atau 0,36% dari potensi yang ada (Hendrison, 2003; Agustina, 2004). Biomassa merupakan bahan energi yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dengan cepat. Karena itu bahan organik yang diproses melalui proses geologi seperti minyak dan batubara tidak dapat digolongkan dalam kelompok biomassa. Biomassa umumnya mempunyai kadar volatile relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara. Biomassa juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatile batubara, sehingga biomassa lebih reaktif dibandingkan batubara (Hendrison, 2003; Agustina, 2004).

Teknologi biomassa telah diterapkan sejak zaman dahulu dan telah mengalami banyak perkembangan. Biomassa memegang peran penting dalam menyelamatkan kelangsungan energi di bumi ditinjau dari pengaruhnya terhadap kelestarian lingkungan. Sifat biomassa yang merupakan energi dengan kategori sumber energi terbarukan mendorong penggunaannya menuju ke skala yang lebih besar lagi sehingga manusia tidak hanya tergantung dengan energi fosil. Biomassa

memiliki kelebihan yang memberi pandangan positif terhadap keberadaan energi ini sebagai alternatif energi pengganti energi fosil. Beberapa kelebihan itu antara lain, biomassa dapat mengurangi efek rumah kaca, mengurangi limbah organik, melindungi kebersihan air dan tanah, mengurangi polusi udara, dan mengurangi adanya hujan asam dan kabut asam.

Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil, karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian.

### **2.1.2 Kayu**

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan dalam menggantikan bahan bakar fosil adalah dengan mengkonversikan biomassa menjadi gas yaitu dengan cara gasifikasi. Sebagai contoh bahan yang dapat digunakan adalah limbah kayu. Bahan bakar limbah kayu, mudah diperoleh dan dapat terbarukan. Bahan ini juga banyak terdapat di Indonesia sebagai negara yang kaya akan kayu hutan.

Industri penggergajian kayu menghasilkan limbah yang berupa serbuk gergaji 10,6%, sebetan 25,9% dan potongan 14,3% dengan total limbah sebesar 50,58% dari jumlah bahan baku yang digunakan. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2,6 juta m<sup>3</sup> pertahun. Asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24% dari produksi total, maka dihasilkan limbah penggergajian kayu sebanyak 1,4 juta m<sup>3</sup> pertahun. Angka tersebut cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian (Fitrotin *dkk*, 2007).

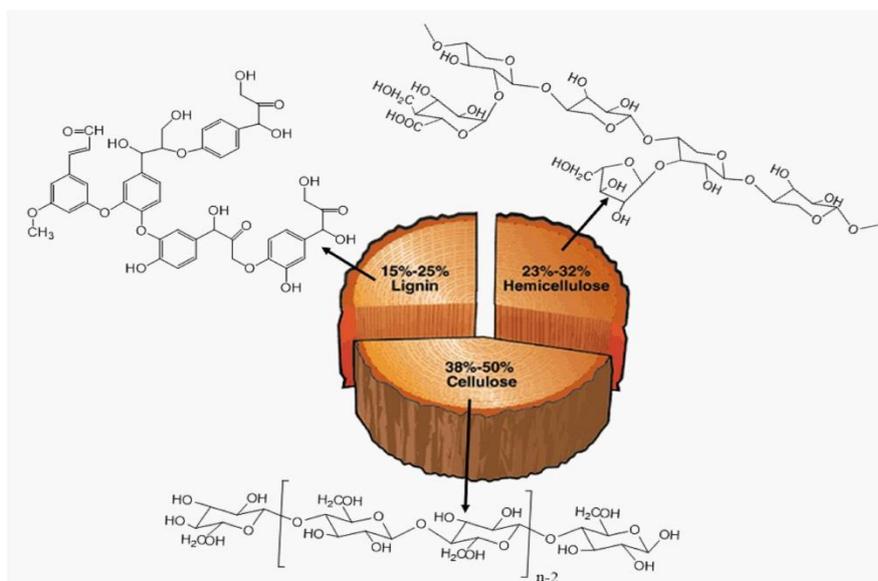
Pada tabel *proximate* dan *ultimate analysis* kandungan utama yang terdapat pada kayu adalah karbon, oksigen, dan hidrogen. Pada tabel *proximate* dan *ultimate analysis* memperlihatkan komposisi dari kayu.

Tabel 1. Analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor dari kayu

Parameter	Nilai
<b>Analisa Proksimat</b>	
<i>Moisture</i> (%)	9,79
<i>Volatile Matter</i> (%)	78,33
<i>Fixed Carbon</i> (%)	11,88
<b>Analisa Ultimat</b>	
<i>Carbon</i> (C) (%)	43,01
<i>Hydrogen</i> (H) (%)	6,42
<i>Oxygen</i> (O) (%)	39,6
<i>Nitrogen</i> (N) (%)	0,17
<i>Ash</i> (%)	10,78
<b>Nilai Kalor Bahan Baku</b>	
<i>Low Heating Value</i> (MJ/Kg)	14,88

Sumber : Jurnal *Experimental Study on Sawdust Air Gasification in An Entrained-Flow Reactor*-Yijun Zhao dkk, dan LHV diuji di Lab. PSE ITS oleh Ferry Ardianto, 2010.

### 2.1.3 Struktur Kimia Kayu



Gambar 1. Struktur Kimia Kayu

Komponen kimia utama penyusun struktur kayu terdiri dari selulosa (sebagai framework/ kerangka), hemiselulosa dan poliskarida lainnya (sebagai matriks/ bahan pengisi atau medium) dan lignin (encrusting material/ pembungkus). Selulosa berperan besar dalam memberikan kekuatan tarik pada kayu, sedangkan lignin memberi kekuatan tekan dan mencegah pelipatan mikrofibril. Selulosa dan lignin diikat dengan hemiselulosa. Dibanding softwood, proporsi lignin dalam

hardwood lebih sedikit, tapi kandungan selulosa, hemiselulosa, dan ekstraktifnya relatif tinggi (Walker, 1993. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure).

Salah satu sifat kimia kayu yakni selulosa. Selulosa adalah komponen terbesar struktur kayu (40-50 % berat kering). Selulosa merupakan polimer murni tersusun dari rantai-rantai lurus dan panjang dari beta-1,4- glukosa. Rantai-rantai selulosa bersatu membentuk bundel yang dinamakan mikrofibril. Dalam setiap mikrofibril ada daerah kristalin dan daerah amorf. Daerah kristalin terdiri dari selulosa yang paralel, sedangkan daerah amorf terdiri dari selulosa yang orientasinya acak.

Proporsi hemiselulosa dalam kayu adalah sekitar 25-40 % berat kayu. Hemiselulosa merupakan polisakarida yang terdiri dari gula-gula pentosa (Larabinose and D-xylose) dan gula-gula hexosa (D-glucose, D-mannose and D-galactose). Kelarutan dan kepekaan hemiselulosa terhadap hidrolisis lebih besar dibanding selulosa (Walker, 1993).

Lignin dalam kayu berkisar antara 20-35 %, merupakan polimer tiga dimensi yang terdiri dari tiga tipe unit phenil-propane (Deacon, 2004). Lignin memiliki struktur yang amorf (tidak kristalin). Pada umumnya lamela tengah, dinding primer dan lapisan S1 memiliki proporsi lignin tertinggi, diikuti kemudian oleh hemiselulosa dan selulosa (Walker, 1993).

Dalam lapisan S2 dan S3 proporsi selulosa lebih tinggi daripada komponen lainnya, terutama yang tertinggi ada pada S2. Walau demikian sekitar 75 % lignin ada dalam dinding sekunder, sedangkan dalam lamela tengah dan ujung sel hanya 25 %, karena dinding sekunder sangat tebal (Walker, 1993). Pada Lapisan S3 (dalam beberapa hardwood), kadar ligninnya relatif tinggi (Wilcox, 1973). Keberadaan lignin menyebabkan kayu menjadi kaku, melindungi kayu dari degradasi kimia dan fisik, serta meningkatkan stabilitas dinding sel. Lignin sangat tahan dari serangan enzim dan menyelimuti komponen utama kimia kayu lainnya.

Selain tiga komponen utama sifat kimia kayu atau penyusun dinding sel kayu (selulosa, hemiselulosa dan lignin), terdapat juga bahan yang menempati lumen dan dinding sel yang dinamakan zat ekstraktif. Ekstraktif terdiri dari berbagai senyawa yang dapat diekstrak/ dikeluarkan dari kayu dengan pelarut polar atau non polar. Contoh ekstraktif yang larut air adalah: karbohidrat, asam-asam resin, asam lemak,

trigliserida, dan senyawa-senyawa ester dan netral (sterol) lainnya. Yang larut alkali encer (NaOH) adalah getah dan resin. Beberapa pelarut organik (ether, benzene and alkohol-benzene) dapat mengeluarkan lemak, lilin, dan resin dari kayu.

Kadar ekstraktif dalam kayu sekitar 1 % – 2 %, tergantung jenis kayu dan posisinya dalam pohon. Umumnya kadar ekstraktif menurun dengan semakin tinggi posisi pada pohon dan jauh lebih banyak pada kayu teras dibanding pada kayu gubal. Ekstraktif seperti senyawa polyfenol berperan dalam meningkatkan ketahanan kayu dari biodeteriorasi. Keberadaan fenol dan tanin berdampak pada pewarnaan dan karat pada pengerjan kayu.

Kadar ekstraktif yang tinggi dapat menimbulkan masalah dalam pembuatan kertas. Kayu juga mengandung komponen anorganik, seperti kalsium, magnesium, dan potasium yang kadarnya sekitar 0.1 % – 0.3 %. Bahkan di daerah tropis bisa mencapai 0.5 % terutama karena kandungan silika yang bermasalah dalam permesinan kayu (Walker, 1993).

#### 2.1.4 Tempurung Kelapa

Indonesia adalah salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia. Indonesia menempati posisi pertama dengan 31,2% dari total luas area kelapa di dunia, dengan produksi buah kelapa rata-rata 15,5 miliar butir pertahun (Departemen Pertanian, 2007). Dari total tersebut juga ikut menghasilkan limbah tempurung kelapa sebesar 1,1 juta ton. Potensi limbah tempurung tersebut sampai saat ini masih belum dimanfaatkan dengan maksimal, pemanfaatannya baru sebatas untuk dibakar dan digunakan sebagai arang aktif.

Dengan mengetahui komposisi dan kandungan kimia yang terdapat di dalam tempurung kelapa, bahan tersebut dapat dijadikan sumber energi alternatif melalui proses gasifikasi

Tabel 2. Analisis ultimate dan proximate tempurung kelapa

Parameter	Nilai
<b>Analisa Proksimat</b>	
<i>Moisture (%)</i>	7,57
<i>Volatile Matter (%)</i>	72,82
<i>Fixed Carbon (%)</i>	19,61
<b>Analisa Ultimat</b>	
<i>Carbon (C) (%)</i>	44,52
<i>Hydrogen (H) (%)</i>	5,66

<i>Oxygen (O) (%)</i>	42,53
<i>Nitrogen (N) (%)</i>	0,21
<i>Sulphur (S) (%)</i>	0,05
<i>Ash (%)</i>	7,03
Nilai Kalor Bahan Baku	
<i>Low Heating Value (MJ/Kg)</i>	20,89

*Sumber: Hasil pengujian pada laboratorium studi energi dan rekayasa LPPM ITS, 2012.*

## 2.2 Konversi Energi Gasifikasi

Biomassa memiliki tiga metode konversi energi, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Perbedaan jenis konversi energi tersebut terletak pada banyaknya udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung. Konsumsi oksigen yang diperlukan dalam pembakaran setidaknya memiliki perbandingan AFR 6,25 atau lebih. Pada proses gasifikasi memiliki batasan AFR 1,5. Sedangkan untuk pirolisis cenderung tidak memerlukan oksigen dalam prosesnya.

Gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon (padat ataupun cair) menjadi gas yang disebut *syngas (synthesis gas)* atau gas sintetis dimana gas tersebut memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub>) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri) (Guswendar, 2012). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar. Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar yang mengandung karbon menjadi gas yang memiliki nilai bakar pada temperatur tinggi (Pahlevi, 2012).

Tetapi sejauh ini teknologi ini umumnya masih stagnan pada skala penelitian karena konsumsi energinya yang terlalu besar. Namun ada beberapa negara yang telah menerapkan teknologi ini pada bidang pembangkit listrik, dimana gas yang dihasilkan oleh reaktor gasifikasi dipakai untuk menggerakkan generator.

Proses gasifikasi telah dikenal sejak abad lalu untuk mengolah batubara, gambut. Atau kayu menjadi bahan bakar gas yang kini mulai dimanfaatkan. Pada tahun-tahun terakhir ini. Proses gasifikasi mendapat perhatian kembali di seluruh

dunia, terutama untuk mengolah biomassa sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan.

Secara sederhana proses gasifikasi dapat dikatakan sebagai reaksi kimia pada temperatur tinggi antara biomassa dengan udara. Yang tahapannya dapat dilihat pada gambar 2.

### 1. Tahap Pengeringan (*Drying*)

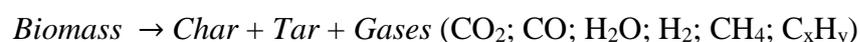
Akibat pengaruh panas, biomassa mengalami pengeringan pada temperatur sekitar 100°C. Proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung di dalam biomassa bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-300°C. Kadar air pada biomassa dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan. Semakin tinggi temperature pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomassa sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat.

### 2. Tahap Pirolisis

Bila temperatur mencapai 250°C, biomassa mulai mengalami proses pirolisis yaitu peretakan molekul besar menjadi molekul-molekul kecil akibat pengaruh temperatur tinggi. Proses ini berlangsung sampai temperatur 500°C. Hasil proses pirolisis ini adalah arang, uap air, uap tar, dan gas- gas.

Proses pirolisis merupakan proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan oleh proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti temperatur, tekanan dan waktu. Pada zona ini biomassa mulai bereaksi dan membentuk tar dan senyawa gas yang *flammable*.

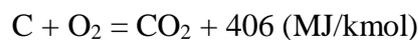
Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 250°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk pirolisis biasanya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>), tar, dan arang. Secara umum reaksi yang terjadi pada pirolisis beserta produknya adalah:



### 3. Tahap Oksidasi

Sebagian kecil biomassa atau hasil pirolisis dibakar dengan udara untuk menghasilkan panas yang diperlukan oleh ketiga tahap tersebut di atas. Proses oksidasi (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200°C, yang berguna untuk proses perekahan tar lebih lanjut.

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya lebih dari 900°C. Pada temperatur ini *gasifier downdraft* akan memecah substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :



Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang merata akan menyempurnakan proses oksidasi sehingga dihasilkan temperatur maksimal.

Pada zona ini, sekitar 20% arang bersama *volatile* akan mengalami oksidasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplaikan ke dalam reaktor (hanya 20% dari keseluruhan udara yang digunakan dalam pembakaran dalam reaktor). Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan *reduction* dimana di bagian ini hampir seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu.

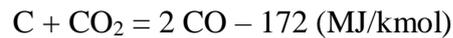
### 4. Tahap Reduksi

Pada temperatur di atas 600°C arang bereaksi dengan uap air dan karbon dioksida. Untuk menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida sebagai komponen utama gas hasil.

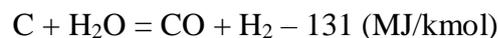
Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Di antaranya adalah *Bourdouar reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa – senyawa yang berguna untuk menghasilkan

*flammable gas*, seperti hidrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 400-900° C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

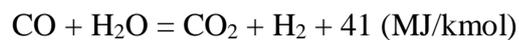
*Bourdouar reaction* merupakan reaksi antara karbondioksida yang terdapat di dalam *gasifier* dengan arang untuk menghasilkan CO. Reaksi yang terjadi pada *boudouard reaction* adalah:



*Steam-carbon reaction* :



*Water-gas shift reaction* merupakan reaksi oksidasi parsial karbon oleh kukus yang dapat berasal dari bahan bakar padat itu sendiri (hasil pirolisis) maupun dari sumber yang berbeda, seperti uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air. Reaksi yang terjadi pada *water-gas shift reaction* adalah:

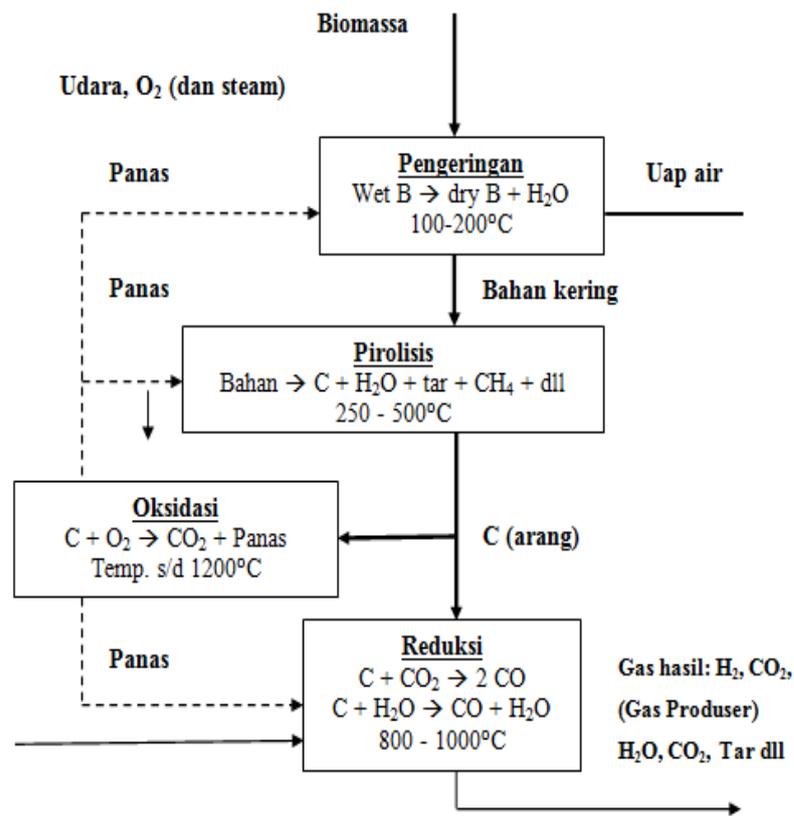


*CO methanation* merupakan reaksi pembentukan gas metan. Reaksi yang terjadi pada *methanation* adalah:



Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

Tahap-tahap proses diatas dilaksanakan dalam satu alat yang disebut *gasifier* atau reaktor gasifikasi.



Gambar 2. Tahapan Proses Gasifikasi  
(Sumber : Witoyo, J.E, 2010)

### 2.3 Reaktor Gasifikasi (*Gasifier*)

Terdapat berbagai macam tipe *gasifier* dan beberapanya dapat dibedakan berdasarkan :

- Mode fluidisasi
- Arah aliran
- Gas yang diperlukan untuk proses gasifikasi

Berdasarkan mode fluidisasinya, jenis *gasifier* dapat dibedakan menjadi 3 jenis. *Gasifier* tersebut adalah : gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), gasifikasi unggun bergerak (*moving bed gasification*), gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), dan *entrained bed*.

Berdasarkan arah aliran, *gasifier* dapat dibedakan menjadi gasifikasi aliran searah (*downdraft gasification*), gasifikasi aliran berlawanan (*updraft gasification*) dan gasifikasi aliran menyilang (*crossdraft gasification*).

### 2.3.1 *Downdraft Gasifier*

Pada gasifikasi *downdraft*, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama - sama ke bawah. *Gasifier downdraft* dirancang untuk mengurangi tar yang terkondensasi serta minyak yang diproduksi dari *counterflow gasifier (updraft)*. Dalam mekanismenya, aliran biomassa dan udara gasifikasi bergerak ke bawah dalam arah yang sama (*co-flow*) menuju *bed* bahan bakar. Ketika bahan bakar di dalam reaktor bergerak ke bawah, uap akan terpirolisis dan *char* langsung masuk ke bagian pengecilan pada bagian bawah reaktor. Pada saat itu udara akan diinjeksikan ke bagian tersebut melalui di dinding reaktor. Kondisi temperatur yang tinggi pada bagian pengecilan akan membakar tar dan minyak pada *producer gas*. Kemudian *producer gas* akan keluar dari bagian bawah reaktor dengan dihisap melalui anulus pada dinding reaktor. Dikarenakan rendahnya kandungan tar dan minyak, *gasifier* tipe *downdraft* banyak diaplikasikan untuk mesin pembakaran *internal*.

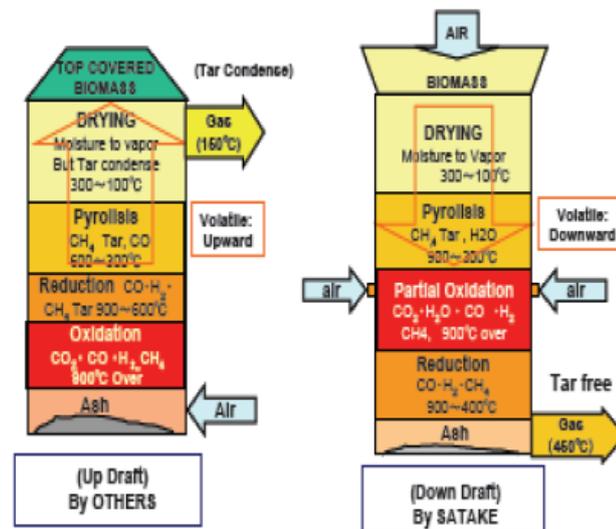
### 2.3.2 *Updraft Gasifier*

Pada gasifikasi *updraft*, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas mengalir ke atas. Pada tipe ini umpan dimasukan pada bagian atas reaktor dan bergerak kebawah melewati zona pengeringan, pirolisis, reduksi, dan oksidasi. Sedangkan udara masuk pada bagian bawah dan gas keluar pada bagian atas. Keunggulan tipe ini yaitu kesederhanaanya, tingkat pembakaran arang yang tinggi, pertukaran panas internal sehingga suhu gas keluar rendah, dan efisiensi gasifikasi yang tinggi. Selain itu bahan baku yang diumpankan dapat berada pada kondisi kadar air yang cukup tinggi (50% wb). Kekurangannya, *producer gas* yang keluar dari reaktor berada pada kondisi temperatur rendah ( $<500^{\circ}\text{C}$ ), membawa tar yang terkon-densasi serta minyak yang berasal dari proses pirolisis. *Gasifier* ini sesuai untuk pemanfaatan panas langsung.

### 2.3.3 *Crossdraft Gasifier*

Gasifikasi *crossdraft* arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan ke bawah. *Gasifier* tipe *crossdraft* didesain untuk pemakaian arang, dimana mekanis-menya aliran udara mengalir tegak lurus terhadap zona pembakaran. Gasifikasi arang menghasilkan suhu yang sangat tinggi ( $>1500^{\circ}\text{C}$ ) di daerah oksidasi, yang dapat mengakibatkan masalah pada material reaktor. Selain itu

kinerja pemecahan tar termasuk rendah, sehingga diperlukan arang berkualitas tinggi. Keunggulan tipe ini adalah, dapat dioperasikan pada skala sangat kecil dan konstruksi bagian pemurnian *producer gas* (siklon dan *baghouse filter*) relatif sederhana.



Gambar 3. Skema Reaktor Gasifikasi *Updraft* dan *Downdraft*  
(Sumber : *xteknologi.blogspot.com*, 2010)

Kelebihan dan kekurangan ketiga jenis reaktor tersebut yang akan di uraikan pada tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan Jenis *Gasifier*

Tipe <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
<i>Updraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menghasilkan pembakaran yang sangat bersih</li> <li>- Lebih mudah dioperasikan</li> <li>- Arang yang dihasilkan lebih sedikit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menghasilkan sedikit metan</li> <li>- Tidak dapat beroperasi secara kontinyu</li> <li>- Gas yang dihasilkan tidak kontinyu</li> </ul>
<i>Downdraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dapat beroperasi secara kontinyu dan suhu gas tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produksi asap terlalu banyak saat beroperasi</li> </ul>
<i>Updraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suhu gas yang keluar tinggi</li> <li>- Produksi CO<sub>2</sub> rendah</li> <li>- Kecepatan gas tinggi</li> <li>- Tempat penyimpanan, pembakaran dan zona reduksi terpisah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komposisi gas yang dihasilkan kurang bagus</li> <li>- Gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan tinggi, gas H rendah</li> <li>- Gas metan yang dihasilkan rendah</li> </ul>

- 
- Kemampuan pengoperasiannya yang sangat bagus
  - Waktu mulai lebih cepat
- 

Sumber : Dwi Hantoko, 2012

Berdasarkan *gasifying* yang diperlukan untuk proses gasifikasi, terdapat gasifikasi udara dan gasifikasi oksigen/uap. Gasifikasi udara adalah metode dimana gas yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah udara. Sedangkan pada gasifikasi uap, gas yang digunakan pada proses yang terjadi adalah uap. Penelitian menggunakan *gasifier downdraft*. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan yang dimiliki sistem gasifikasi dengan metode arah aliran *downdraft*.

Kelebihan :

1. Biaya pembuatan lebih murah.
2. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan pada sistem *updraft*.
3. Lebih mudah untuk dilanjutkan ke proses pembakaran.
4. Teknik pembersihan gas lebih sederhana karena tar yang relatif rendah.

Kekurangan :

1. *Syngas* yang dihasilkan memiliki temperatur yang sangat tinggi (sekitar 400° C), sehingga membutuhkan system *secondary heat recovery* agar tidak merusak komponen di sekitarnya.
2. Hanya dapat digunakan oleh bahan bakar (biomassa) tertentu karena sangat sensitif terhadap kelembaban biomassa, umumnya *gasifier* tipe ini dapat bekerja dengan efektif bila kandungan *moisture* biomasanya yang sangat rendah (<20%).
3. Kadar karbon pada abu relatif lebih tinggi daripada sistem *updraft*.

Reaktor gasifikasi memiliki tiga poin penting yang berpengaruh besar pada efisiensinya, poin-poin tersebut adalah :

1. Mempirolisis biomassa untuk memproduksi *volatile matter*, gas, dan karbon.
2. Mengkonversi *volatile matter* menjadi gas permanen, CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>.
3. Mengkonversi karbon menjadi CO dan CH<sub>4</sub>.

## 2.4 Faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan *syngas* yang dihasilkannya. Faktor-faktor tersebut adalah :

### 2.4.1 *Properties Biomass*

Apabila ada anggapan bahwa semua jenis biomassa dapat dijadikan bahan baku gasifikasi, anggapan tersebut merupakan hal yang naif. Nyatanya tidak semua biomassa dapat dikonversikan dengan proses gasifikasi karena ada beberapa klarifikasi dalam mendefinisikan bahan baku yang dipakai pada sistem gasifikasi berdasarkan kandungan dan sifat yang dimilikinya. Pendefinisian bahan baku gasifikasi ini dimaksudkan untuk membedakan antara bahan baku yang baik dan yang kurang baik. Adapun beberapa parameter yang dipakai untuk mengklarifikasikannya yaitu :

#### a. Kandungan energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa maka *syngas* hasil gasifikasi biomassa tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

#### b. *Moisture*

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan kandungan airnya rendah. Karena kandungan *moisture* yang tinggi menyebabkan *heat loss* yang berlebihan. Selain itu kandungan *moisture* yang tinggi juga menyebabkan beban pendinginan semakin tinggi karena *pressure drop* yang terjadi meningkat. Idealnya kandungan *moisture* yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi kurang dari 20 % (Carolyn Roos, 2008).

#### c. Debu

Semua bahan baku gasifikasi menghasilkan *dust* (debu). Adanya *dust* ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan *maintenance* lebih. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan kandungan debu yang tidak lebih dari 2 – 6 g/m<sup>3</sup>.

#### d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Sesungguhnya tar adalah cairan hitam kental

yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Apabila hasil gas yang mengandung tar relatif tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan *intake valve* sehingga menyebabkan gangguan. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m<sup>3</sup> (Harold Boerrigter dkk, 2004).

#### e. *Ash dan Slagging*

*Ash* adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan *slag* adalah kumpulan *ash* yang lebih tebal. Pengaruh adanya *ash* dan *slag* pada *gasifier* adalah menimbulkan penyumbatan pada gasifier dan pada titik tertentu mengurangi respon pereaksian bahan baku

#### 2.4.2 Desain Reaktor

Terdapat berbagai macam bentuk *gasifier* yang pernah dibuat untuk proses gasifikasi. Untuk *gasifier* bertipe *imbort* yang memiliki *neck* di dalam reaktornya, ukuran dan dimensi *neck* amat mempengaruhi proses pirolisis, pencampuran, *heatloss* dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkannya.

#### 2.4.3 Jenis *Gasifying Agent*

Jenis *gasifying agent* yang digunakan dalam gasifikasi umumnya adalah udara dan kombinasi oksigen dan uap. Penggunaan jenis *gasifying agent* mempengaruhi kandungan gas yang dimiliki oleh syngas. Berdasarkan penelitian, perbedaan kandungan *syngas* yang mencolok terlihat pada kandungan nitrogen pada syngas dan mempengaruhi besar nilai kalor yang dikandungnya. Penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang pekat di dalam syngas, berlawanan dengan penggunaan oksigen/uap yang memiliki kandungan nitrogen yang relatif sedikit. Sehingga penggunaan *gasifying agent* oksigen/uap memiliki nilai kalor syngas yang lebih baik dibandingkan *gasifying agent* udara.

#### 2.4.4 Rasio Bahan Bakar dan Udara

Perbandingan bahan bakar dan udara dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan syngas yang dihasilkan. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi

pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil *syngas* yang maksimal.

## 2.5 Karakteristik Nyala Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Berdasarkan buku *an introduction to combustion concept and application*, definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan *subsonic*.

Warna api dipengaruhi oleh dua hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Ketika api memiliki warna cenderung merah hal tersebut dapat diartikan bahwa bahan terbakar api tersebut memiliki nilai kalor yang relatif rendah, atau udara yang mencampuri proses pembakaran hanya sedikit sehingga campuran kaya. Saat api berwarna kebiruan adalah sebaliknya yang merepresentasikan nilai kalor bahan bakar yang tinggi, atau campuran miskin. Api hidrokarbon dikarakteristikan oleh radiasinya yang tampak. Dengan *excess air*, daerah reaksi akan terlihat biru.

Radiasi biru berasal dari eksitasi CH radikal di dalam daerah bertemperatur tinggi. Saat udara berkurang yang menyebabkan stoichiometrinya berkurang, daerah api akan berwarna biru-hijau yang berasal dari eksitasi  $C_2$ . Dalam kedua jenis api OH radikal memberikan kontribusi terhadap radiasi yang tampak. Jika campuran api kaya jelaga akan terbentuk akibat radiasi hitam. Meskipun radiasi jelaga memiliki intensitas maksimal dalam infra merah, kepekaan spectrum mata manusia menyebabkan kita melihat cahaya kuning terang (mendekati putih) akibat pudarnya emisi oranye, tergantung temperatur api. Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu :

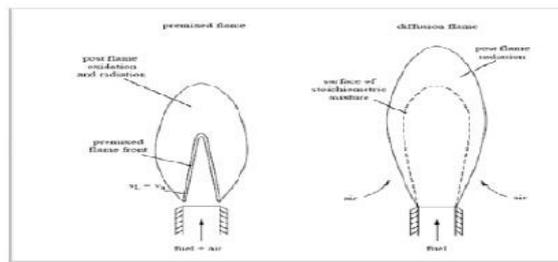
### 1. *Premixed Flame*

*Premixed flame* adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum pemberian sumber api. Umumnya indikasi *premixed flame* dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan.

### 2. *Diffusion Flame (Non-Premixed)*

*Diffusion Flame* adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran akan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya.

Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*).



Gambar 4. Nyala Api Premix dan Difusi  
(Sumber : Turns, 1996)

Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu :

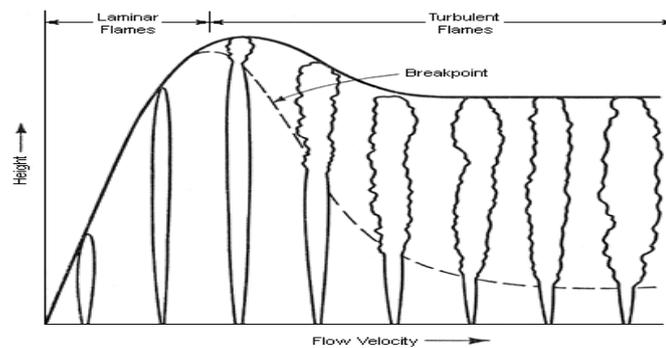
#### a. Api Laminar

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti *streamline* aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

## b. Api Turbulen

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang member indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pada pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang *flammable* maka kualitas api juga akan semakin tinggi.

Model arus laminer dan arus turbulen pada nyala api ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5. Arus Laminer vs Arus Turbulen pada Nyala Api  
(Sumber : Turns, 1996)

Aliran laminer adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi aliran bahan bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Bangkeju, 2012).

Berikut ini beberapa penjelasan mengenai warna dan jenis api :

### a. Api Merah

Api berwarna merah / kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000 derajat celsius. Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja / material. Kalau pada

matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin. Nyala api merah ditampilkan pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Nyala Api Merah  
(Sumber: Bangkeju, 2012)

#### b. Api Biru

Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Biasanya api ini sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000 derajat celcius. Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah. Nyala api biru ditampilkan pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Nyala Api Biru pada Kompor Gas  
(Sumber: Bangkeju, 2012)

#### c. Api Putih

Nyala api Ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celcius. Api inilah yang berada di dalam inti matahari, dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya. Nyala api putih ditampilkan pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Nyala Api Putih pada Proses Produksi Pabrik  
(Sumber: Bangkeju, 2012)

#### d. Api Hitam

Nyala api yang paling panas itu berwarna Hitam, dan api hitam murni yang sesungguhnya sangat jarang ditemukan di bumi. Api hitam itu bisa saja disimulasikan. Misalnya kita lihat nyala api lilin atau kompor bunsen dengan seksama, maka ada perbedaan spektrum warna di dalamnya. Nyala bunsen burner ditampilkan pada gambar 9 dibawah ini.



(a) laminar

(b) turbulen

Gambar 9. Nyala Api *Bunsen Burner*  
(Sumber: Bangkeju, 2012)

Bisa dilihat kalau di bagian pangkal api ada bagian kecil yang warnanya nyaris transparan, Itulah yang disebut dengan api hitam. Karena definisi warna hitam pada spektrum warna cahaya adalah sebenarnya ketiadaan cahaya, jadi kelihatannya transparan. Ini adalah bagian yang paling panas, sehingga kalau mau memanaskan reaksi kimia, tabung uji harus ditempatkan di bagian ini.

