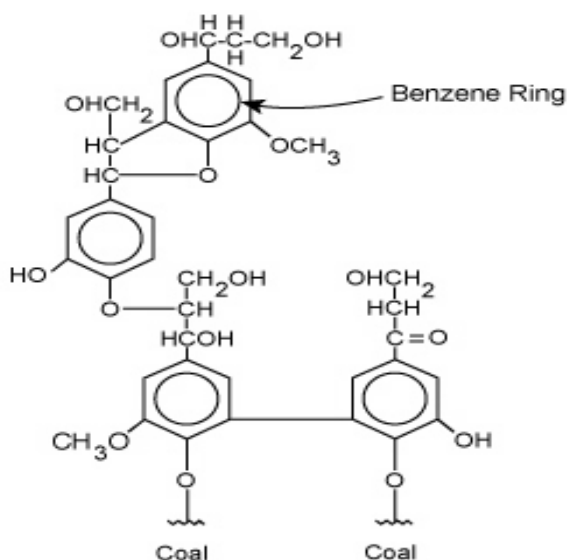


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

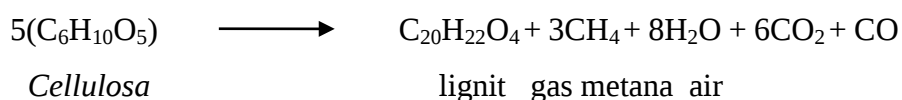
2.1. Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti $C_{137}H_{97}O_9NS$ untuk bituminus dan $C_{240}H_{90}O_4NS$ untuk antrasit.



Gambar 1. Rumus Bangun Batubara (USGS, 2012)

Reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut :



(Sukandar,2006)

Pembentukan batubara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman Karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu (jtl), adalah masa pembentukan batubara yang paling

produktif dimana hampir seluruh deposit batubara (*black coal*) yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk.

Pada Zaman Permian, kira-kira 270 jtl, juga terbentuk endapan-endapan batubara yang ekonomis di belahan bumi bagian selatan, seperti Australia, dan berlangsung terus hingga ke Zaman Tersier (70 - 13 jtl) di berbagai belahan bumi lain. (Krevelen, 1993).

Coal gasification adalah sebuah proses untuk mengubah batubara padat menjadi gas batubara yang mudah terbakar (*combustible gases*), setelah proses pemurnian gas-gas ini karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrogen (H₂), metan (CH₄), dan nitrogen (N₂) – dapat digunakan sebagai bahan bakar. hanya menggunakan udara dan uap air sebagai *reacting gas* kemudian menghasilkan *water gas* atau *coal gas*, gasifikasi secara nyata mempunyai tingkat emisi udara, kotoran padat dan limbah terendah.

Tetapi, batubara bukanlah bahan bakar yang sempurna. Terikat di dalamnya adalah sulfur dan nitrogen, bila batubara ini terbakar kotoran-kotoran ini akan dilepaskan ke udara, bila mengapung di udara zat kimia ini dapat menggabung dengan uap air (seperti contoh kabut) dan tetesan yang jatuh ke tanah seburuk bentuk asam sulfurik dan nitrit, disebut sebagai hujan asam. Disini juga ada noda mineral kecil, termasuk kotoran yang umum tercampur dengan batubara, partikel kecil ini tidak terbakar dan membuat debu yang tertinggal di *coal combustor*, beberapa partikel kecil ini juga tertangkap di putaran *combustion gases* bersama dengan uap air, dari asap yang keluar dari cerobong beberapa partikel kecil ini adalah sangat kecil setara dengan rambut manusia.

Sulfur adalah zat kimia kekuningan yang ada sedikit di batubara, pada beberapa batubara yang ditemukan di Ohio, Pennsylvania, West Virginia dan eastern states lainnya, sulfur terdiri dari 3 sampai 10 % dari berat batubara, beberapa batubara yang ditemukan di Wyoming, Montana dan negara-negara bagian sebelah barat lainnya sulfur hanya sekitar 1/100ths (lebih kecil dari 1%) dari berat batubara. Penting bahwa sebagian besar sulfur ini dibuang sebelum mencapai cerobong asap.

Satu cara untuk membersihkan batubara adalah dengan cara mudah memecah batubara ke bongkahan yang lebih kecil dan mencucinya. Beberapa sulfur yang ada sebagai bintik kecil di batubara disebut sebagai "pyritic sulfur " karena ini dikombinasikan dengan besi menjadi bentuk iron pyrite, selain itu dikenal sebagai "fool's gold" dapat dipisahkan dari batubara. Secara khusus pada proses satu kali, bongkahan batubara dimasukkan ke dalam tangki besar yang terisi air, batubara mengambang ke permukaan ketika kotoran sulfur tenggelam. Fasilitas pencucian ini dinamakan "coal preparation plants" yang membersihkan batu bara dari pengotor-pengotornya. (Geankoplis,2003).

Tidak semua sulfur bisa dibersihkan dengan cara ini, bagaimanapun sulfur pada batubara adalah secara kimia benar-benar terikat dengan molekul karbonnya, tipe sulfur ini disebut "organic sulfur," dan pencucian tak akan menghilangkannya. Beberapa proses telah dicoba untuk mencampur batubara dengan bahan kimia yang membebaskan sulfur pergi dari molekul batubara, tetapi kebanyakan proses ini sudah terbukti terlalu mahal, ilmuwan masih bekerja untuk mengurangi biaya dari proses pencucian kimia ini.

Kebanyakan pembangkit tenaga listrik modern dan semua fasilitas yang dibangun setelah 1978 — telah diwajibkan untuk mempunyai alat khusus yang dipasang untuk membuang sulfur dari gas hasil pembakaran batu bara sebelum gas ini naik menuju cerobong asap. Alat ini sebenarnya adalah "flue gas desulfurization units," tetapi banyak orang menyebutnya "scrubbers" — karena mereka men-scrub (menggosok) sulfur keluar dari asap yang dikeluarkan oleh tungku pembakar batu bara. (Smith,1959).

2.2. Biomassa

2.2.1. 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. Keterbasan 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.

2.2.2. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa adalah salah satu bagian dari kelapa setelah sabut kelapa yang memiliki nilai ekonomis tinggi yang dapat dijadikan sebagai basis usaha. Tempurung kelapa ini merupakan lapisan yang keras dengan ketebalan 3-5 mm. Tempurung kelapa yang memiliki kualitas yang baik yaitu tempurung kelapa yang tua dan kering yang ditunjukkan dengan warna yang gelap kecoklatan.

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasar berat kering) yang tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa.

Tabel 1. Analisa Proksimat dan Ultimat Tempurung Kelapa

Analisa Proximat (% Berat)	
Moisture	5,3
Volatile Matter	70,7
Ash	6,26
Fixed Carbon	17,54
LHV (kJ/Kg)	22.000
Analisa Ultimat (% Berat)	
C	47,59
H	6
O	45,52
N	0,22
S	0,05

Sumber : Jurnal Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran (Fajri Vidian, 2008)

Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia mirip dengan kayu, mengandung lignin, pentosa, dan selulosa. Tempurung kelapa dalam penggunaan biasanya digunakan sebagai bahan pokok pembuatan arang dan arang aktif. Hal tersebut dikarenakan tempurung kelapa merupakan bahan yang dapat menghasilkan nilai kalor sekitar 6500 – 7600 Kkal/kg. Selain memiliki nilai kalor

yang cukup tinggi, tempurung kelapa juga cukup baik untuk bahan arang aktif (Triono, 2006).

Pada dasarnya limbah tempurung kelapa sangat melimpah dan dalam pemanfaatannya belum begitu optimal. Biasanya pemanfaatan limbah tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar sekali pakai. Oleh karena itu limbah tempurung kelapa ini akan dijadikan sesuatu yang lebih bermanfaat yaitu sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan.

2.3. 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_4 , dan H_2) 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.

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 perekahan 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 300°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

ingan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), 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 $1200^\circ C$, 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 $900^\circ C$. 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_2 dan H_2O 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.

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

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:



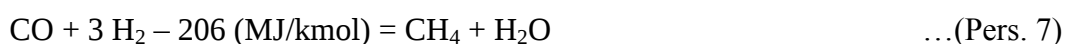
Steam-carbon reaction :



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:

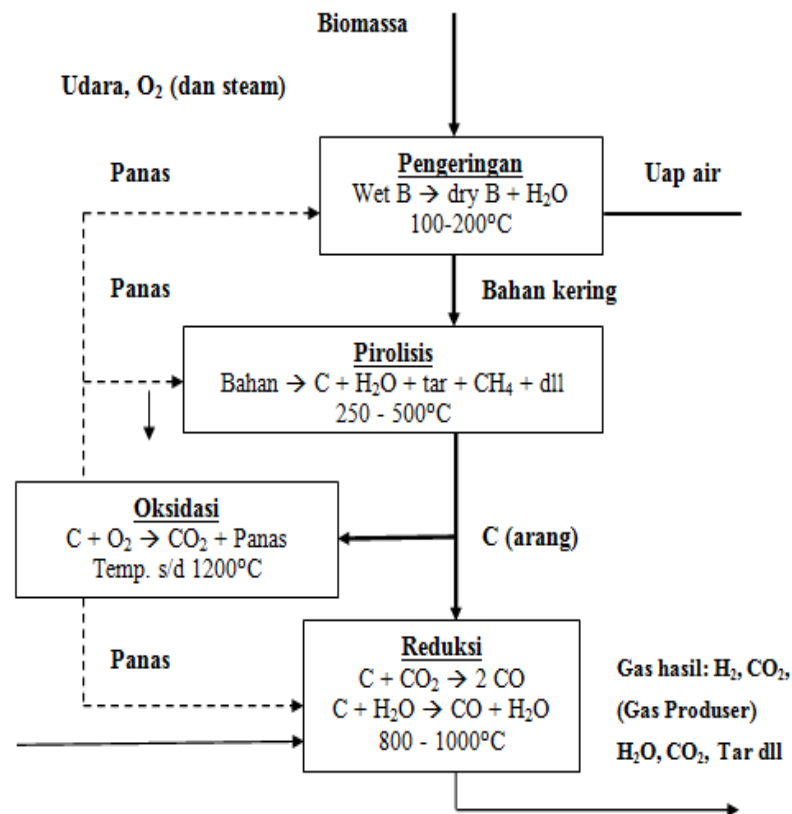


CO methanation merupakan reaksi pembentukan gas metan. Reaksi yang terjadi pada *methanation* adalah:



Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H₂ dan CH₄ 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)

2.4. Reaktor Gasifikasi

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*).

2.4.1. Downdrat Gasifier

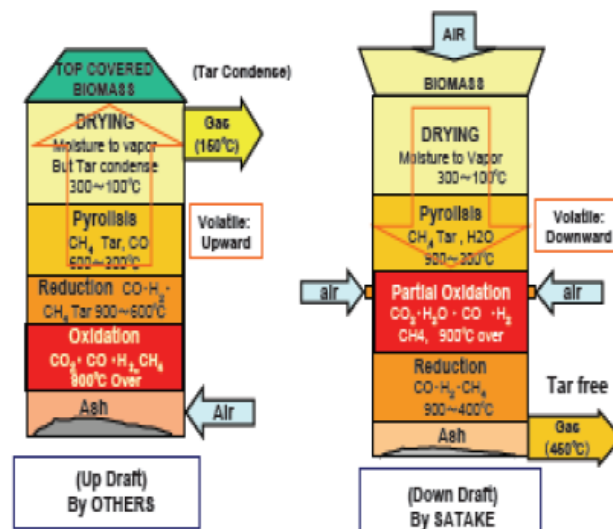
Pada gasifikasi *downdraft*, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama - sama ke bawah. *Gasifier downdraft* dirancang untuk mengurangi tar yang terkondensasi serta minyak yang diproduksi dari *counterflow gasifier (updraft)*. Dalam mekanismenya, aliran biomassa dan udara gasifikasi bergerak 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*.

2.4.2. 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.

2.4.3. 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 kontruksi bagian pemurnian *producer gas* (siklon dan *baghouse filter*) relatif sederhana.



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

Kelebihan dan kekurangan ketiga jenis reaktor tersebut yang akan di uraikan pada tabel 2.

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Jenis *Gasifier*

Tipe <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
<i>Updraft</i>	- Menghasilkan pembakaran yang sangat bersih - Lebih mudah dioperasikan - Arang yang dihasilkan lebih sedikit	- Menghasilkan sedikit metan - Tidak dapat beroperasi secara kontinyu - Gas yang dihasilkan tidak kontinyu
<i>Downdraft</i>	- Dapat beroperasi secara	- Tar yang dihasilkan lebih

	kontinyu dan suhu gas tinggi	banyak - Produksi asap terlalu banyak saat beroperasi - Menghasilkan arang lebih banyak
<i>Updraft</i>	- Suhu gas yang keluar tinggi - Produksi CO ₂ rendah - Kecepatan gas tinggi - Tempat penyimpanan, pembakaran dan zona reduksi terpisah - Kemampuan pengoperasiannya yang sangat bagus - Waktu mulai lebih cepat	- Komposisi gas yang dihasilkan kurang bagus - Gas CO ₂ yang dihasilkan tinggi, gas H rendah - Gas metan yang dihasilkan rendah

Sumber : Dwi Hantoko, 2012

Berdasarkan *gasifying* yang perlukan 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* biomasnya 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, H₂, dan CH₄.
3. Mengkonversi karbon menjadi CO dan CH₄.

2.5. Faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi

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

2.5.1. *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 bermoistur 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/m³.

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/m³ (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

2.5.2. 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.

2.5.3. 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.

2.5.4. 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.

2.6. 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 :

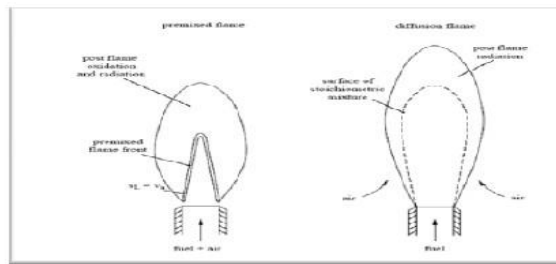
1. *Premixed Flame*

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 penyalan 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 :

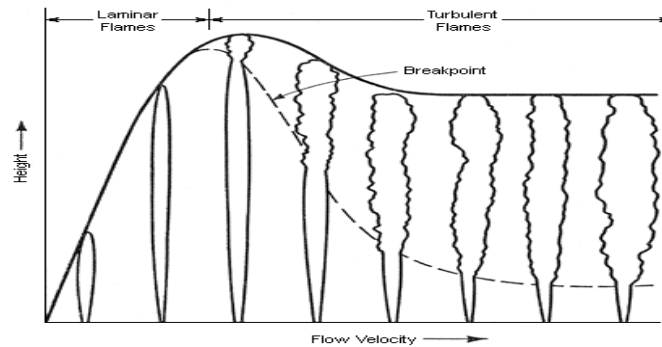
a. Api Laminer

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 laminar dan arus turbulen pada nyala api ditampilkan pada gambar 5.



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

Aliran laminar 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 celcius. 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 5 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 6 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 7 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 8 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.