

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan yang tersusun dari atom karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Biomassa juga mencakup gas dan cairan dari material non-fosil dan degradasi bahan organik. Pada dasarnya biomassa terbentuk dari interaksi karbon dioksida (CO₂), udara, air, tanah dan sinar matahari (Basu, 2010). Biomassa merupakan sumber energi ramah lingkungan yang sumber karbonnya berasal dari CO₂ di udara. Pembakaran biomassa menghasilkan CO₂ yang sama jumlahnya dengan yang terserap oleh proses fotosintesis (Reed dan Das, 1988).

Biomassa adalah material yang berasal dari tumbuhan maupun hewan termasuk manusia. Namun biomassa dalam sudut pandang industri juga berarti material biologis yang bisa diubah menjadi sumber energi atau material industri. Jenis material yang dapat dikatakan sebagai biomass sangat bervariasi, mulai dari residu agrikultur, residu hewan, serpih kayu yang sangat bersih dengan kadar kelembaban 50 %, kayu hasil residu perkotaan yang kering serta terkontaminasi material lain, hingga material organik dari sampah padat di perkotaan.

Pada prinsipnya biomass sudah mengandung energi potensial yang dapat diubah menjadi berbagai macam energi lain, misalnya energi panas. Hasil proses pembakaran biomass dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air yang menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin pembangkit tenaga listrik. Membakar biomass bukan salah satu cara terbaik menghasilkan energi panas karena dampak langsung yang dihasilkan dari pembakaran biomass tidak baik untuk lingkungan dan efisiensi energi yang dihasilkan tidaklah demikian besar akibat dari pembakaran tidak sempurna. Maka perlu dipikirkan cara untuk mendapatkan sumber energi yang efisien dengan cara mengolah biomassa.

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. Biomass juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatile batubara, sehingga biomassa lebih reaktif dibanding batubara (Gita, 2011).

Penggunaan biomass sebagai sumber energi berpotensi mereduksi efek *global warming*. Meskipun biomass menghasilkan karbon dioksida dengan jumlah besar, yang kurang lebih sebesar yang dihasilkan bahan bakar minyak ataupun batubara, namun karbon dioksida ini dapat dikonsumsi untuk pertumbuhan tanaman baru. Sehingga karbon dioksida yang dilepas ke lingkungan dapat diasumsikan tidak ada sama sekali.

2.2.1 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang sawit adalah limbah padat hasil pengelolaan kelapa sawit dapat menjadi salah satu potensi biomassa yang dapat menghasilkan energi. Asia merupakan penyuplai 79% tandan buah segar (TBS) kelapa sawit dari total produksi di dunia. Dimana 95% dari total suplai Asia dihasilkan oleh negara Malaysia dan Indonesia. Pada tahun 2000 produksi tandan buah segar dunia adalah 94 juta ton dimana 43% – 45% merupakan limbah padat serabut, tempurung dan tandan kosong. Indonesia sebagai penghasil kelapa sawit terbesar setelah Malaysia menghasilkan 8,2 juta ton pertahun limbah padat berupa serabut, batok dan tandan kosong yang setara dengan energi yang dapat dihasilkan sebesar 67 GJ/Tahun (The Bronzoek Group, 1999 dalam Vidian, 2011).

Cangkang sawit memiliki potensi yang cukup besar jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena nilai kalor yang dimilikinya cukup tinggi, sekelas dengan batubara jenis lignit, berikut hasil analisa proksimat dan ultimat dari cangkang kelapa sawit.

Tabel 1. Analisa proksimat dan ultimat cangkang kelapa sawit

Analisa/Parameter	Cangkang sawit	Batubara lignit
Proksimat (%berat)		
Kadar air	6,12	17,5
Zat terbang	56,64	37,2
Abu	10,62	6,3
Karbon tetap	26,62	40,3
<i>Low Heating Value</i>	4594	5324
Ultimate (% berat)		
C	48,48	57,0
H	6,32	6,5
O	43,59	28,3
N	0,21	1,1
S	0,01	0,5

Sumber: Vidian F. (2009) dan Bahrin D. (2009).

Tabel diatas menunjukkan bahwa, tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan antara biomassa cangkang sawit dibandingkan dengan batubara jenis lignit baik dilihat dari nilai kalor, analisa proksimat dan analisa ultimat. Berdasarkan hasil analisis tersebut maka biomassa cangkang sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada industri karet menggantikan batubara.

2.2 Gasifikasi

Gasifikasi telah berkembang sejak tahun 1800-an, tetapi penggunaannya secara komersial tidak banyak jika dibandingkan bahan bakar lain (Anderson dan Reed, 2009). Penelitian dan pengembangan proses gasifikasi menjadi berkurang setelah ketersediaan bahan bakar fosil menjadi normal dan harganya rendah (Mukunda dkk., 2010).

Gasifikasi biomassa merupakan reaksi konversi termal yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang mudah terbakar. Gas yang mudah terbakar dari gasifikasi disebut juga *gas producer* yang terdiri dari gas CO, H₂, CH₄ (Rajvanshi, 1986).

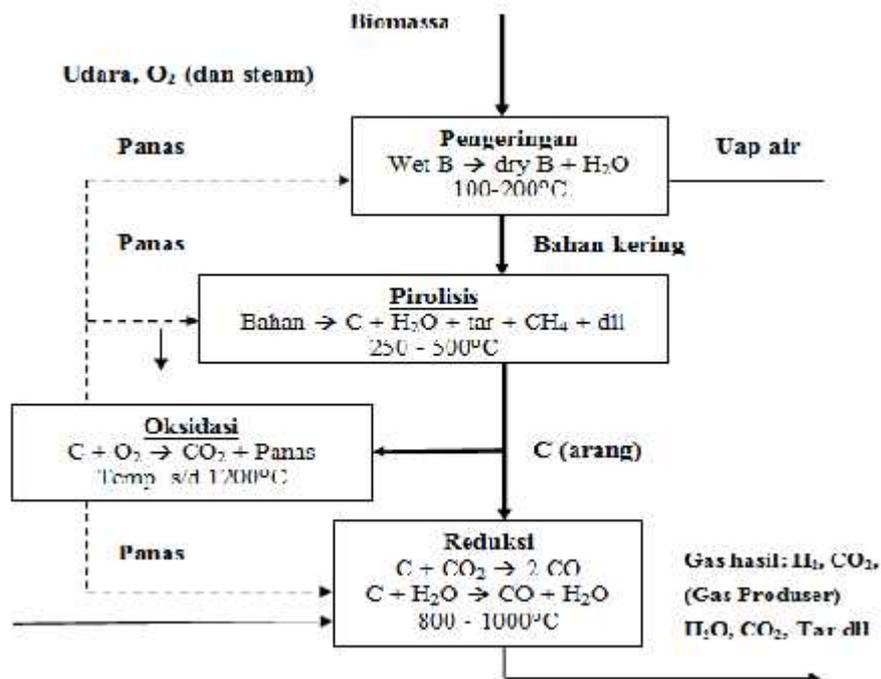
Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks ini menjadi gas yang sederhana yaitu Hidrogen dan karbon monoksida (H₂ dan CO). Kedua gas ini merupakan gas yang mudah terbakar serta memiliki kerapatan

energi dan densitas. Keduanya merupakan gas yang sangat bersih dan hanya memerlukan satu atom oksigen untuk dibakar menghasilkan karbon dioksida dan air (CO_2 , H_2O). Inilah yang menyebabkan pembakaran yang melalui proses gasifikasi memiliki emisi yang lebih bersih. Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahapan yang memiliki kondisi termal berbeda.

2.2.1 Proses – proses gasifikasi

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah yang terdiri dari pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam proses pembakaran. Dalam gasifikasi, keempat tahapan ini dilalui secara terpisah sedemikian hingga dapat menginterupsi api dan mempertahankan gas mampu bakar tersebut dalam bentuk gas dan mengalirkan *syngas* tersebut ke tempat lain.

Tahapan proses gasifikasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Tahapan Proses Gasifikasi

Sumber: Witoyo, J.E...

1. Pengeringan (*drying*)

Proses pengeringan adalah suatu proses pelepasan air yang terdapat dalam biomassa. Pada suhu 100 °C, air sudah terlepas dari biomassa (Rajvanshi, 1986). Pengeringan biomassa terjadi pada *gasifier* karena adanya perpindahan panas dari tahapan yang memiliki reaksi eksotermis. Air yang direduksi keluar sebagai uap (Kythavone, 2009).

Kadar air pada biomassa dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air biomassa. Semakin tinggi temperature pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomassa sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat (Rajvanshi, 1986).

2. Pirolisis (*Pyrolysis*)

Pirolisis merupakan penguraian biomassa atau bahan organik melalui proses pemanasan. Reaksi pirolisis belum dapat diketahui secara detil, namun diperkirakan bahwa molekul-molekul besar yang terdapat dalam biomassa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) terkonversi menjadi molekul lebih kecil.

Biomassa yang dipanaskan hingga 500°C membentuk arang, gas dan tar (Kythavone, 2009). Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang atau padatan karbon bahan bakar juga menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi. Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis secara lambat hingga temperatur 700 °C.

Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO, CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang.

3. Pembakaran (*Oxidation*)

Reaksi pembakaran disebut juga reaksi oksidasi. Reaksi ini sangat eksotermis yang ditandai dengan suhu yang tinggi. Suhu pada zona pembakaran mencapai 1200⁰C (Kythavone, 2009). Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik.

Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi di dalam gasifier. Proses ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam gasifier bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah CO₂ dan H₂O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah:



Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen. Reaksi yang terjadi 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 daerah pembakaran ini, sekitar 20% arang bersama *volatile* akan mengalami oksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplai 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. Reduksi (*Reduction*)

Reaksi yang paling penting adalah pada zona reduksi pada *gasifier*. Pada zona reduksi terjadi reaksi pembentukan *syngas* (H_2 , CO dan CH_4) pada temperatur 800 – 1000 °C. Reaksi pada zona reduksi merupakan reaksi endotermis atau merupakan reaksi yang membutuhkan panas. Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran.

Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti H_2 , CO, dan CH_4 . Reaksi berikut ini merupakan empat reaksi yang umum terlibat pada gasifikasi.

- $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
- $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$

Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H_2 dan CH_4 mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

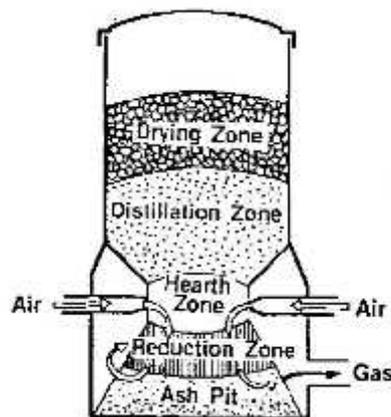
2.2.2 Jenis – jenis *gasifier*

a. *Down-draft Gasifier*

Pada bagian atas dari silinder *gasifier* (Gambar 2) diisi bahan bakar yang selama operasi, diposisikan tertutup. Di bagian bawah, terdapat saringan dan saluran udara untuk mengalirkan udara ke biomassa yang siap di gasifikasi. Biasanya saluran udara dihubungkan dengan distributor udara biasanya fan atau blower. Distributor ini juga terhubung dengan udara luar untuk menyediakan udara yang cukup untuk pembakaran (Gita, 2009).

Pada alat tersebut juga terdapat celah lubang untuk pembakaran awal dalam memulai proses gasifikasi. Selama operasi, udara yang masuk membakar dan mempirolisa sebagian bahan bakar, sebagian besar tar dan minyak, dan sebagian arang yang mengisi *gasifier*. Sebagian besar padatan dikonversi menjadi biomassa di zona pembakaran ini karena biomassa mengandung sekitar 80% senyawa volatile (Gita, 2009).

Dibawah zona oksidasi merupakan zona reduksi, yang merupakan bagian inti gasifier (Gambar 2). Gas CO_2 dan H_2O yang dihasilkan di zona pirolisis dan pembakaran mengalir melalui arang ini dimana terjadi reduksi parsial membentuk gas CO dan H_2 . Proses ini menyebabkan pendinginan gas karena sebagian panas dirubah menjadi energi kimia. Proses ini menghilangkan sebagian besar arang/kokas dan meningkatkan kualitas dari *syn-gas* (Gita, 2009).



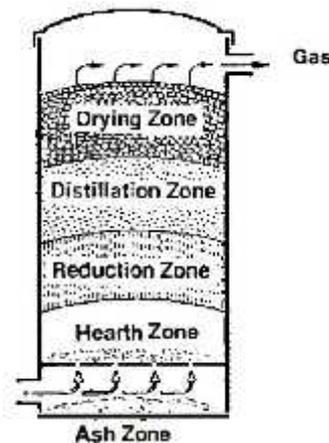
Gambar 2. *Down-draft gasifier*

Sumber : Reed dan Das, 1988

b. *Up-draft Gasifier*

Selama pengoperasian, biomassa diumpankan di bagian atas sementara udara masuk melalui grate yang umumnya di selubungi oleh abu. Grate berada dibagian bawah gasifier, dimana udara bereaksi dengan biomassa menghasilkan CO_2 yang sangat panas dan H_2O . Sebaliknya, CO_2 dan H_2O bereaksi kembali dengan kokas menghasilkan CO dan H_2 .

Gas panas yang naik mempirolisa biomasa diatasnya kemudian mendingin sepanjang proses. Pada umumnya 5-20 % tar dan minyak terbentuk pada suhu yang terlalu rendah dan terbawa pada aliran gas produk. Panas yang tersisa juga mengeringkan biomassa yang masuk sehingga hampir tidak ada energi yang hilang dari gas (Gita, 2009).



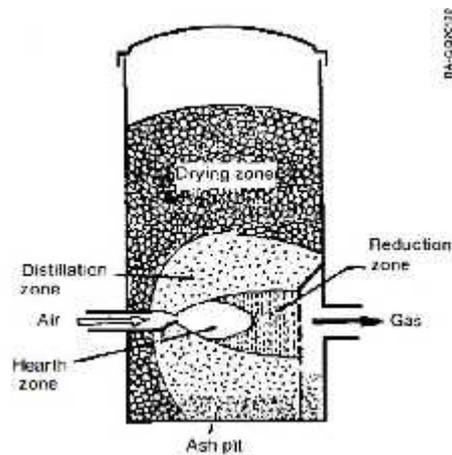
Gambar 3. *Up-draft Gasifier*

Sumber : Reed dan Das, 1988

c. *Cross-draft Gasifier*

Pada tipe *cross-draft* (Gambar 4), udara masuk melalui beberapa aliran sirkulasi, dan mengalir sepanjang unggun dari bahan baku dan kokas (char). Hal ini menghasilkan temperatur yang sangat tinggi pada volume yang sangat kecil sehingga menghasilkan gas tar yang rendah, sehingga memudahkan pengaturan yang cepat bagian pembakaran gas hasil gasifikasi. Bahan bakar beserta abu berguna sebagai isolator sepanjang dinding konstruksi gasifier, sehingga mild-steel dapat digunakan sebagai material konstruksi kecuali tempat saluran masuknya udara dan grate-nya yang memerlukan bahan lain, refraktori atau pendingin (Gita, 2009).

Pencapaian temperatur yang tinggi memerlukan bahan bakar dengan kadar abu rendah untuk mencegah penyumbatan. Gasifier tipe *cross – draft* hanya digunakan untuk kandungan bahan bakar dengan kandungan tar rendah. Bahan baku yang tidak tersortir dengan baik cenderung menyebabkan bridging, dan channelling sehingga menyumbat inti ruang pembakaran yang memicu produksi tar yang tinggi. Ukuran bahan baku juga sangat penting untuk pengoperasian yang baik.



Gambar 4. *Cross-draft Gasifier*

Sumber : Reed dan Das, 1988

2.3 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi

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

2.3.1 Propertis Biomassa

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 (Gita, 2009). Adapun beberapa parameter yang dipakai untuk mengklarifikasinya 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 %.

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 *dust* 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. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic* CH_{1.2}O_{0.5} terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m³.

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.

2.3.2 Desain Reaktor

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

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.

a. 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.

Reaksi kimia terjadi ketika ikatan-ikatan molekul dari *reactants* berpisah, kemudian atom-atom dan elektron menyusun kembali membentuk unsur-unsurpokok yang berlainan yang disebut hasil (*products*). Oksidasi yang terjadi secara kontinyu pada bahan bakar menghasilkan pelepasan energi sebagai hasil dari pembakaran. Pembakaran dapat dikatakan sempurna (*stoichiometric*) apabila semua karbon (C) yang terkandung dalam bahan bakar diubah menjadi karbondioksida (CO_2) dan semua hidrogen diubah menjadi air (H_2O) (IrvanNurtian,2007). Jika salah satu tidak terpenuhi, maka pembakaran tidak sempurna. Syarat terjadinya pembakaran adalah adanya oksigen (O_2). Dalam aplikasi pembakaran yang banyak terjadi, udara menyediakan oksigen yang dibutuhkan. Dua parameter yang sering digunakan untuk menentukan jumlah dari bahan bakar dan udara pada proses pembakaran adalah perbandingan udara bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar dapat diartikan sebagai jumlah udara dalam suatu reaksi jumlah bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar dari suatu pembakaran berpengaruh menentukan bagaimana komposisi produk dan juga terhadap jumlah panas yang dilepaskan selama reaksi berlangsung dan dapat ditulis dalam basis mol (*molar basis*) atau basis massa (*mass basis*). Komposisi yang terkandung pada udara kering dapat dilihat dari tabel 2.

Komponen	Fraksi Mol
Nitrogen	78,08
Oksigen	20,95
Argon	0,93
Karbondioksida	0,03
Neon, Helium, Metana, dll	0,01

Sumber: (Ivan Nurtion, 2007)

2.4 Gas Mampu Bakar (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran hidrogen, karbon monoksida dan metan. Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. *Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Kualitas gas produser dapat dilihat pada tabel 6. Nilai LHV bahan bakar dan LHV *Syngas* dapat ditentukan dari komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume *Syngas*. Komposisi masing-masing bahan bakar dan *Syngas* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kualitas Gas Produser dari *Gasifier* Biomassa

% Volume	<i>Fixed bed Co-Current Gasifier</i>	<i>Fixed Bed Counter-current Gasifier</i>	CFB Gasifier
CH ₄	1-5	2-3	2-4
CO	10-22	15-20	13-15
H ₂	15-21	10-14	15-22

Sumber : Khoirusman, 2008

Tabel 4. Nilai Kalori pada *Syngas*

Gases	H ₂	CO	CH ₄
HHV (MJ/Nm ³) ²	12,74	12,63	39,82
LHV (MJ/Nm ³) ²	10,78	12,63	35,88
Viscosity (Cp)	90	182	112
Thermal Conductivity (W/m.K)	0,1820	0,0251	0,0343
Specific Heat (KJ/Kg.K)	3,467	1,05	2,226

Sumber : Kurniawan, 2012

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 2 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 relative 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. Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu:

2.6.1 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.

2.6.2 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 kan 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*). Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu :

2.6.3 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.

2.6.4 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. Turbulen aliran - aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (Transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih besar daripada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas). 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 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:

2.6.5 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 berikut.



Gambar 5. Nyala Api Merah

Sumber: Bangkeju, 2012

2.6.6 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 6. Nyala Api Biru pada Kompor Gas

Sumber : Bangkeju, 2012

2.6.7 Api Putih

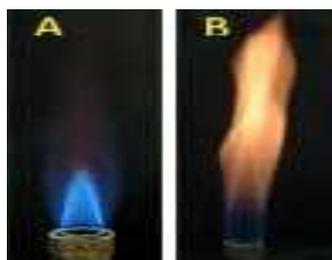
Nyala api ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celcius. Api inilah yang berada di dalam inti matahari, dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya. Nyala api putih ditampilkan pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Nyala Api Putih pada Proses Produksi Pabrik
Sumber : Bangkeju, 2012

2.6.8 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 8. 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.

Gambar 9 di bawah ini adalah contoh untuk simulasi yang lebih jelas. Bisa dilihat kalau apinya seolah menggantung di atas sumbu lilin, bagian transparan itulah yang disebut api hitam.



Gambar 9. Nyala Api Lilin

Sumber : Bangkeju, 2012

Warna dari api juga bisa dibuat dengan pembakaran bahan kimia atau unsur golongan alkali / alkali tanah, contoh:

1. *Red Strontium* adalah api merah (pakai Stronsium).
2. *Orange Calcium Chloride* adalah api oranye (pakai Kalsium).
3. *Yellow Sodium Chloride* adalah api kuning (pakai Sodium).
4. *Green Copper Sulfate* adalah api hijau.
5. *Blue Copper Chloride* adalah api biru.
6. *Violet 3 parts Potassium Sulfate 1 part Potassium Nitrate* adalah api ungu.
7. *White Magnesium Sulfate* adalah api putih (pakai Magnesium).

2.6 Pengertian Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu jenis dari mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanis. Energi diperoleh dari proses pembakaran, proses pembakaran juga mengubah energi tersebut yang terjadi didalam dan diluar mesin kalor. Motor bakar torak menggunakan silinder tunggal atau beberapa silinder. Salah satu fungsi torak disini adalah sebagai pendukung terjadinya pembakaran pada motor bakar (Kiyaku, 1998).

Motor bakar atau motor pembakaran internal atau internal Combustion Engine adalah jenis mesin yang bekerja merubah energi kimia yang tersimpan didalam bahan bakar menjadi energi mekanik dengan cara membakarnya didalam ruang pembakaran. Ada 4 jenis motor bakar yang penting. Mesin otto, mesin diesel, mesin rotary, dan turbin gas. Mesin otto adalah mesin bensin yang telah banyak dikenal dan dirapatkan pada sepeda motor atau mobil. Beberapa generator listrik berukuran kecil kebanyakan juga menggunakan mesin bensin. Mesin diesel bekerja

menggunakan prinsip yang berbeda. Biasanya menggunakan minyak solar pada bahan bakar. Mesin diesel biasanya diterapkan pada motor listrik, kereta api, truk dan bus (Daton, 2009).

Motor bakar torak terbagi menjadi 2 jenis utama ialah motor bensin dan motor diesel. Perbedaan yang utama dari kedua jenis motor bakar torak tersebut ialah pada sistem penyalanya. Proses pembakaran yang terjadi pada motor bensin sedikit berbedadengan pada motor diesel. Karena penyalanya terjadi dengan cara diberikannya percik api kepada campuran bahan bakar dan udara yang bertekanan dan bersuhu tinggi, maka proses pembakarannya berlangsung secara sangat cepat. Sedangkan pada motor diesel, proses penyalan bahan bakar terjadi dengan cara di semprotkannya bahan bakar ke dalam ruang silinder yang berisi udara panas yang suhunya melebihi titik nyala bahan bakar tersebut. Dengan demikian ketika bahan bakar disemprotkan, bahan bakar tersebut akan bercampur dengan udara panas dan seketika terjadi penyalan. Namun pembakaran seluruh bahan bakar tidak bisa berlangsung secara seketika karena proses penyemprotan bahan bakar memerlukan waktu yang relatif lama. Pada saat berlangsung penyemprotan bahan bakar tersebut, torak sudah bergerak menjauh dari TMA (Tasliman, 2001).

Proses pembakaran akan terjadi bila ada bahan bakar, ada oksigen, dan adanya suhu yang tinggi. Suhu yang tinggi tersebut harus mencapai titik bakar bahan bakar, walaupun suhu tinggi tetapi bila titik bakar tidak tercapai, maka tidak akan terjadi pembakaran. Pada motor bensin, suhu yang tinggi ditimbulkan oleh udaradan bahan bakar yang ditekan dalam silinder kemudian titik bakar dicapai dengan memercikkan bunga api listrik, sedang pada motor diesel suhu yang tinggi diakibatkan karena adanya udara yang dimampatkan dalam silinder sehingga titik bakar dapat dicapai dengan pemampatan udara ini (Munandar, 1979).

Karburator berfungsi untuk mencampur udara (yang telah tersaring oleh saringan udara) dan bensin sehingga menghasilkan campuran yang sesuai dengankondisi kerja mesin. Karburator sendiri terdiri atas ruang pencampur dan ruang pelampung. Di ruang pencampur ada venturi, nosel dan katup gas, sedangkan di ruang pelampung terdapat katup jarum dan pelampung. Prinsip kerjanya adalah ketika piston sedang dalam langkap hisap dan katup gas dibuka, udara tersaring m

masuk ke dalam silinder melalui venturi. Di daerah venturi, udara akan bertekanan lebih rendah daripada ruang pelampung, sehingga bensin dari ruang pelampung akan mengalir ke venturi melalui nosel. Kemudian bensin dan udara bercampur hingga berbentuk kabut, dan dialirkan ke silinder pengapian melalui intake manifold (Widianto, 2009).

2.7 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) macam.

Adapun pengklasifikasian motor bakar adalah sebagai berikut:

a. Berdasar Sistem Pembakarannya :

- Mesin bakar dalam

Mesin pembakaran dalam atau sering disebut sebagai Internal Combustion Engine (ICE), yaitu dimana proses pembakarannya berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Pada umumnya mesin pembakaran dalam dikenal dengan nama motor bakar. Contoh mesin bakar dalam yaitu motor bakar torak misalnya motor 2 tak dan motor 4 tak.

Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran dalam yaitu :

- Pemakaian bahan bakar irit
- Berat tiap satuan tenaga mekanis lebih kecil
- Konstruksi lebih sederhana, karena tidak memerlukan ketel uap, kondensor, dan sebagainya.

- Mesin bakar luar

Mesin pembakaran luar atau sering disebut sebagai Eksternal Combustion Engine (ECE) yaitu dimana proses pembakarannya terjadi di luar mesin, energi termal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin. Contoh mesin pembakaran luar yaitu pesawat tenaga uap, pelaksanaan pembakaran bahan bakar dilakukan diluar mesin.

Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran luar yaitu :

- Dapat memakai semua bentuk bahan bakar.
- Dapat memakai bahan bakar bermutu rendah.
- Cocok untuk melayani beban-beban besar dalam satu poros.

b. Berdasar Sistem Penyalaan

- Motor bensin

Motor bensin dapat juga disebut sebagai motor otto. Motor tersebut dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan bunga api listrik yang membakar campuran bahan bakar dan udara karena motor ini cenderung disebut spark ignition engine. Pembakaran bahan bakar dengan udara ini menghasilkan daya. Di dalam siklus otto (siklus ideal) pembakaran tersebut dimisalkan sebagai pemasukan panas pada volume konstan.

- Motor diesel

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bensin. Proses penyalannya bukan menggunakan loncatan bunga api listrik. Pada waktu torak hampir mencapai titik TMA bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar. Terjadilah pembakaran pada ruang bakar pada saat udara dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. Persyaratan ini dapat terpenuhi apabila perbandingan kompresi yang digunakan cukup tinggi.

2.8 Prinsip Kerja Motor Bakar

Secara garis besar, dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja dari motor bakar yaitu bahan bakar dan udara dibakar untuk memperoleh tenaga panas yang selanjutnya digunakan untuk melakukan kerja mekanis.

Campuran antara bahan bakar dan udara dihisap ke dalam silinder selanjutnya dikompresi oleh torak yang berakibat timbulnya panas dan tekanan yang besar pada gas tersebut. Campuran bensin dan udara yang telah dikompresi selanjutnya dibakar oleh percikan bunga api dari busi.

Hasil dari pembakaran tersebut akan menghasilkan tekanan yang sangat tinggi sehingga mendorong torak ke bawah. Daya yang berasal dari torak tersebut diteruskan ke batang torak (connecting rod) dan diubah oleh poros engkol menjadi kerja mekanik. Sedangkan gas hasil pembakaran akan dibuang keluar silinder.

Berdasarkan prinsipnya, terdapat 2 (dua) prinsip kerja motor bakar bensin, yaitu : 4 (empat) langkah dan 2 (dua) langkah. Adapun prinsip kerja motor bakar 4 (empat) langkah dan 2 (dua) langkah adalah sebagai berikut:

a. Motor Bakar Bensin 4 Langkah

Motor bensin bekerja karena adanya energi panas yang diperoleh dari pembakaran campuran udara dan bensin. Energi panas tersebut dapat diperoleh dengan cara : Pada saat torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) terjadilah penghisapan udara dan bensin dari karburator ke dalam silinder pada saat torak bergerak ke atas, campuran tersebut dikompresikan akibatnya terjadi tekanan dan temperatur yang tinggi. Selanjutnya dipercikkanlah bunga api dari busi mengakibatkan timbulnya energi panas, akibatnya terdoronglah torak ke bawah menekan batang torak dan menggerakkan poros engkol.

b. Prinsip Kerja Motor Bakar Bensin 4 Langkah

Jumlah langkah yang terjadi pada siklus ini adalah 4 langkah torak dengan 2 putaran engkol dan mesin ini disebut mesin 4 langkah.

Langkah-langkah siklus motor bensin 4 langkah sebagai berikut :

- Langkah Hisap

Torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Campuran udara bahan bakar dihisap ke dalam silinder. Pada langkah hisap ini poros engkol melakukan setengah putaran pertama.

- Langkah Kompresi

Torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), katup masuk dan katup keluar tertutup. Campuran udara dan bensin yang tadi dihisap, dikompresikan, sehingga tekanan dan suhunya naik pada langkah kompresi ini poros engkol melakukan setengah putaran kedua.

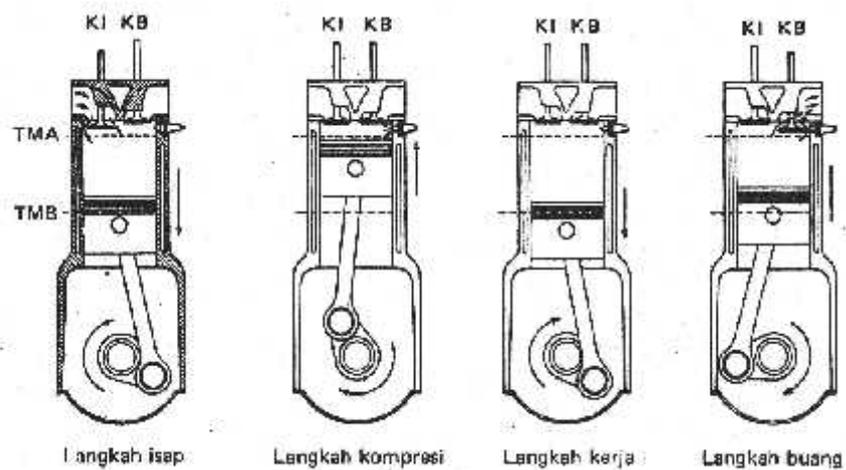
- Langkah Kerja (usaha)

Pada saat torak berada dititik mati atas (TMA), katup masuk dan katup buang tertutup, percikan bunga api keluar dari busi dan mengakibatkan terjadinya pembakaran campuran udara dan bensin, dan mendorong torak ke bawah. Pada langkah usaha ini poros engkol melakukan setengah putaran tiga.

- Langkah Buang

Torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Katup masuk tertutup dan katup buang terbuka, gas buang terdorong keluar. Pada langkah buang ini poros engkol membuat setengah putaran yang ke empat.

Kerja motor bakar 4 (empat) langkah dapat dilihat pada gambar 10 berikut



Gambar 10. Prinsip kerja motor 4 (empat) langkah

Sumber : Sandy, 2014