

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Biomassa**

Biomassa adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui dan secara umum berasal dari makhluk hidup (non-fosil) yang didalamnya tersimpan energi atau dalam definisi lain, biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik yang hidup maupun yang mati, baik di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah. Biomassa merupakan produk fotosintesa dimana energi yang diserap digunakan untuk mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen. Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan. Secara umum potensi energi biomassa berasal dari limbah tujuh komoditif yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan dan pertanian. 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 *volatile* 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.

## 2.2 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian dari buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 2-6 mm. Pemanfaatan buah kelapa selama ini baru sebatas daging buahnya untuk dijadikan santan, kopra dan minyak. Untuk tempurung kelapa hanya sebatas dibakar untuk menghasilkan arang aktif sehingga perlu dilakukan pemanfaatan agar tidak mencemari lingkungan serta diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif bagi masyarakat maupun industri.

Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasarkan berat kering). Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia tempurung kelapa

<b>Komponen</b>	<b>Persentase (%)</b>
Selulosa	26,6
Hemiselulosa	27,7
Lignin	29,4
Abu	0,6
Komponen Ekstraktif	4,2
Uronat Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Air	8,0

*Sumber: Suhardiyono, 1988*

Produksi kelapa khususnya di Sumatera Selatan cukup berpotensi. Data 5 tahun terakhir produksi kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Produksi Kelapa Menurut Provinsi, 2008 - 2012

<b>Tahun</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Produksi	59.035	54.001	66.037	59.366	60.070
Pertumbuhan (%)	1,19				

Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014

Berdasarkan data terjadi peningkatan produksi buah kelapa di Sumatera Selatan sebesar 1,19 % pada tahun 2013. Dengan melihat pertumbuhan tersebut maka tempurung kelapa cukup berpotensi untuk dijadikan bahan bakar proses gasifikasi. Dari 1,1 juta ton/tahun tempurung dengan kemungkinan energi yang dapat dihasilkan 18,7 x 10<sup>6</sup> GJ/tahun (Ihsan, 2012). Selain itu, kandungan karbon yang terkandung dalam tempurung kelapa cukup tinggi seperti ditunjukkan hasil analisa *ultimate* pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Ultimate*, *Proximate*, dan *Lower Heat Value* (LHV)  
Tempurung Kelapa

<b>Komponen</b>	<b>Analisa <i>Ultimate</i> (%w)</b>	<b>Analisa <i>Proximate</i> (%w)</b>	<b>Nilai Kalor Tempurung Kelapa (KJ/kg)</b>
Carbon (C)	47,89	-	-
Hydrogen (H)	6,09	-	-
Oxygen (O)	45,75	-	-
Nitrogen (N)	0,22	-	-
Sulphur (S)	0,05	-	-
<i>Volatile Matter</i>	-	68,82	-
<i>Moisture</i>	-	6,51	-
<i>Ash</i>	-	7,56	-
<i>Fixed Carbon</i>	-	17,11	-
<i>Low Heating Value</i>			20890

Sumber : Najib, 2012

### 2.3 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ ) 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. Berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar yang mengandung karbon menjadi gas yang memiliki nilai bakar pada temperatur tinggi (Pahlevi, 2012). Bahan bakar padat tersebut dapat berupa batubara, ataupun limbah biomassa, yaitu potongan kayu, tempurung kelapa, sekam padi maupun limbah pertanian lainnya. Gas yang diperoleh dari hasil gasifikasi mengandung  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{CH}_4$ . Untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, petcoke (petroleum coke), dan biomassa. Bahan baku untuk proses gasifikasi dapat berupa limbah biomassa, yaitu potongan kayu, tempurung kelapa, sekam padi maupun limbah pertanian lainnya. Gas hasil gasifikasi ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan sebagai sumber bahan bakar, seperti untuk menjalankan mesin pembakaran, digunakan untuk memasak sebagai bahan bakar kompor, ataupun digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik sederhana.

Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifikasi yang dikenal dengan nama gasifier. *Gasifier* adalah istilah untuk reaktor yang memproduksi gas produser dengan cara pembakaran tidak sempurna (oksidasi sebagian) bahan bakar biomassa pada temperatur sekitar  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  (Hantoko, 2012). Di dalam gasifier inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya.

Gasifikasi umumnya terdiri dari empat proses, yaitu pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi dengan rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

- Pengeringan:  $T < 150\text{ }^\circ\text{C}$
- *Pirolisis/Devolatilisasi*:  $150 < T < 700\text{ }^\circ\text{C}$
- Reduksi:  $800 < T < 1000\text{ }^\circ\text{C}$

- Oksidasi:  $700 < T < 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$

Proses pengeringan, *pirolisis*, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (*eksotermik*). Pada pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. 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. 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*.

#### 2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

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

##### 1. *Properties Biomass*

Apabila ada anggapan bahwa semua jenis biomass dapat dijadikan bahan baku gasifikasi, anggapan tersebut merupakan hal yang naif. Nyatanya tidak semua biomass 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 bak gasifikasi ini dimaksudkan untuk membedakan antara bahan baku yang baik dan yang kurang baik. Adapun beberapa parameter yang dipakai untuk mengklarifikasinya, yaitu :

##### a. Kandungan energy

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomass maka syngas hasil gasifikasi biomass 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/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. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. 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>.

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*
- Pada titik tertentu mengurangi respon pereaksian bahan baku

## 2. Reaktor Gasifikasi

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

### 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.

### 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. Pada gasifikasi biomass rasio yang tepat untuk proses gasifikasi berkisar pada angka 1,25 - 1,5.

## 2.5 Tahapan Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi terdiri dari empat tahapan proses atas dasar perbedaan rentang kondisi temperatur, yaitu pengeringan ( $T > 150$  °C), pirolisis ( $150 < T < 700$  °C), oksidasi ( $700 < T < 1500$  °C), dan reduksi ( $800 < T < 1000$  °C) (lihat Gambar 1). Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik). Panas yang dihasilkan dalam proses oksidasi digunakan dalam proses pengeringan, pirolisis dan reduksi. Bahan kering hasil dari proses pengeringan mengalami proses pirolisis, yaitu pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang. Hasil pirolisis berupa arang mengalami proses pembakaran dan proses reduksi yang menghasilkan gas produser yaitu, H<sub>2</sub> dan CO (Pranolo, 2010).

1. Proses Pengeringan (*Drying*)

Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu berkisar antara 100°C – 150°C. Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada burner dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil. Pada reaksi ini, bahan bakar yang mengandung air akan dihilangkan dengan cara diuapkan dan dibutuhkan energi sekitar 2260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi.

2. Proses Pirolisis

Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari padatan karbon bahan bakar menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi sehingga pirolisis (devolatilisasi) disebut juga gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi dari temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama proses pirolisis berlangsung. Produk cair yang menguap akibat dari fenomena penguapan komponen yang tidak stabil secara termal mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Produk pirolisis terdiri atas gas ringan, tar, dan arang.

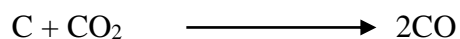
Pirolisis adalah proses pemecahan struktur bahan bakar dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi gas. Proses pirolisis pada bahan bakar terbentuk pada temperatur antara 150°C sampai 700°C di dalam reaktor. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa arang atau karbon, tar, gas (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, dan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>). Ketika temperatur pada zona pirolisis rendah, maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon, dan tar). Sebaliknya, apabila temperatur pirolisis tinggi maka arang yang dihasilkan sedikit tetapi banyak mengandung cairan.



### 3. Proses Reduksi

Reduksi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Reaksi reduksi terjadi antara temperatur 500 °C sampai 1000 °C. Pada reaksi ini, arang yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis tidak sepenuhnya karbon tetapi juga mengandung hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Untuk itu, agar dihasilkan gas mampu bakar seperti CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> maka arang tersebut harus direaksikan dengan air dan karbon dioksida. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia, diantaranya adalah *Bourdouar reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation*. Proses reaksi tersebut adalah sebagai berikut :

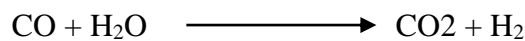
- *Bourdouar reaction*:



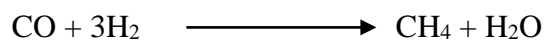
- *Steam-carbon reaction* :



- *Water-gas shift reaction*:



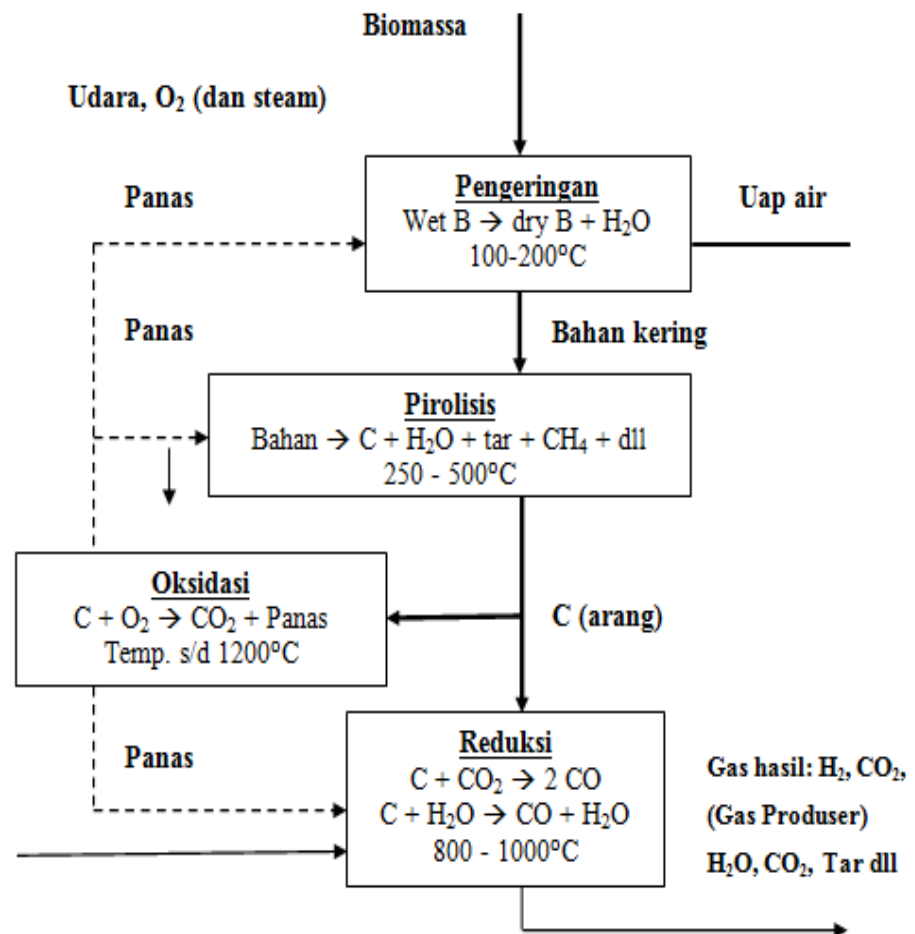
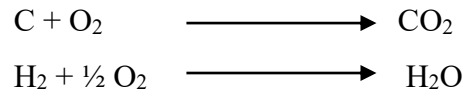
- *CO methanation* :



### 4. Proses Oksidasi

Proses pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat dalam bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Oksidasi merupakan reaksi terpenting di dalam reaktor gasifikasi karena reaksi ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya berkisar antara 700 °C sampai 1500 °C. Oksigen yang dipasok ke dalam reaktor bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar yang menghasilkan produk berupa CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada proses pirolisis. Produk lain yang

dihasilkan dalam reaksi oksidasi berupa air, panas, cahaya, N<sub>2</sub> dan gas lainnya (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, dan lain-lain). Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Tahapan Proses Gasifikasi

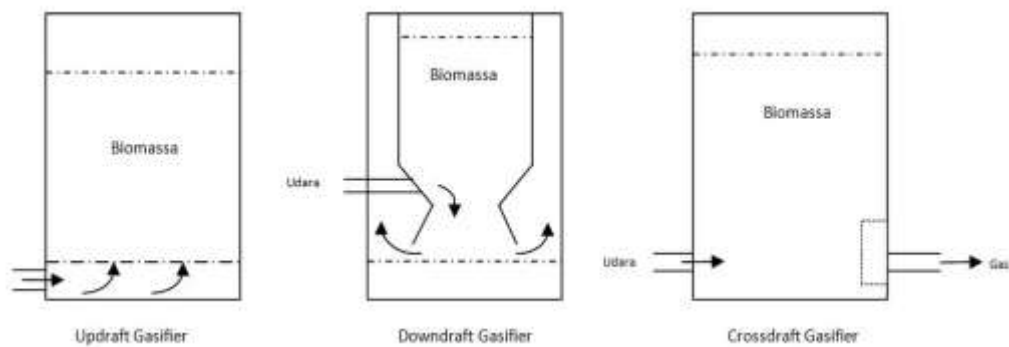
Sumber : Witoyo, J.E

## 2.6 Jenis Gasifier

Berdasarkan mode fluidisasinya, gasifier dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: mode gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), mode gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), mode gasifikasi *entrained flow*.

Sampai saat ini yang digunakan untuk skala proses gasifikasi skala kecil adalah mode *gasifier* unggun tetap. (Reed and Das, 1988).

Berdasarkan arah aliran, *fixed bed gasifier* dapat dibedakan menjadi: reaktor aliran berlawanan (*updraft gasifier*), reaktor aliran searah (*downdraft gasifier*) dan reaktor aliran menyilang (*crossdraft gasifier*). Pada *updraft gasifier*, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas ke atas. Pada *downdraft gasifier*, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama-sama ke bawah. Sedangkan gasifikasi *crossdraft* arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan ke bawah (Hantoko, dkk.,2011).



Gambar 2. Tipe Gasifier Berdasarkan Arah Aliran

Berdasarkan *gasifying agent* yang diperlukan, 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. Kelebihan dan kekurangan jenis *gasifier* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kelebihan dan Kekurangan *Gasifier*

<b>Tipe <i>Gasifier</i></b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<i>Updraft</i>	- Hilang tekan rendah - Efisiensi panas bagus	Sensitif terhadap tar dan uap bahan bakar Memerlukan waktu start up yang cukup lama untuk mesin <i>internal combustion</i> .
<i>Downdraft</i>	Tidak terlalu sensitif terhadap tar Dapat mudah beradaptasi dengan jumlah umpan biomassa yang	Desain <i>gasifier</i> tinggi Tidak cocok untuk bahan bakar biomassa berukuran kecil
<i>Crossdraft</i>	- Desain <i>gasifier</i> pendek - Produksi gas fleksibel	Sangat sensitif terhadap pembentukan terak Hilang tekan tinggi

*Sumber : (Dwi Hantoko, 2012)*

## 2.7 Udara Pembakaran

Reaksi kimia terjadi ketika ikatan-ikatan molekul dari *reactants* berpisah, kemudian atom-atom dan elektron menyusun kembali membentuk unsur-unsur pokok 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<sub>2</sub>) dan semua hidrogen diubah menjadi air (H<sub>2</sub>O) (Irvan Nurtian, 2007). Jika salah satu tidak terpenuhi, maka pembakaran tidak sempurna. Syarat terjadinya pembakaran adalah adanya oksigen (O<sub>2</sub>). 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 5 berikut.

Tabel 5. Komponen-komponen yang Terkandung dalam Udara Kering

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

Sumber : Irvan Nurtion, 2007

## 2.8 Gas Mampu Bakar (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. 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 7.

Tabel 6. Kualitas Gas Produser dari *Gasifier* Biomassa

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

Sumber : Khoirusman, 2008

Tabel 7. Nilai Kalori pada Syngas

Gases	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>
HHV (MJ/Nm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	12,74	12,63	39,82
LHV (MJ/Nm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	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

## 2.9 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 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:

### 2.9.1 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.

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

### 2.9.3 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.

### 2.9.4 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:

#### 2.9.5 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 3 dibawah ini.



Gambar 3. Nyala Api Merah

*Sumber: Bangkeju, 2012*

#### 2.9.6 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 4 dibawah ini.



Gambar 4. Nyala Api Biru pada Kompor Gas

*Sumber : Bangkeju, 2012*



### 2.9.7 Api Putih

Nyala api ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celsius. 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 5 dibawah ini.



Gambar 5. Nyala Api Putih pada Proses Produksi Pabrik

Sumber : *Bangkeju, 2012*

### 2.9.8 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 6 dibawah ini



(a) laminar      (b) turbulen

Gambar 6. 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 7 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 7. 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).

## 2.10 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 di dalam 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 di dalam bahan bakar menjadi energi mekanik dengan cara membakarnya di dalam 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 dirapakan 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. Pada motor bensin, bahan bakar dinyalakan dengan loncatan bunga api listrik. Pada motor diesel, penyalan terjadi karena bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang silinder yang bersuhu dan bertekanan tinggi. Proses pembakaran yang terjadi pada motor bensin sedikit berbeda dengan 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 disemprotkannya 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 penyalaan. 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 langkah hisap dan katup gas dibuka, udara tersaring masuk kedalam silinder melalui venturi. Di daerah venturi, udara akan bertekanan lebih rendah daripada ruang pelampung, sehingga bensin dari ruang pelampung akan mengalir keventuri melalui nosel. Kemudian bensin dan udara bercampur hingga berbentuk kabut, dan dialirkan ke silinder pengapian melalui intake manifold (Widianto,2009).

## **2.11 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 tag dan motor 4 tag.

Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran dalam yaitu :

- Pemakaian bahan bakar irit
- Berat tiap satuan tenaga mekanis lebih kecil
- Kontruksi lebih sederhana, karena tidak memerlukan ketel uap, kondesor, 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.
- Lebih cocok dipakai untuk daya tinggi.

#### **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 penyalaannya 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.

## **2.12 Prinsip Kerja Motor Bensin**

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

Campuran antara bensin 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.

### **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.

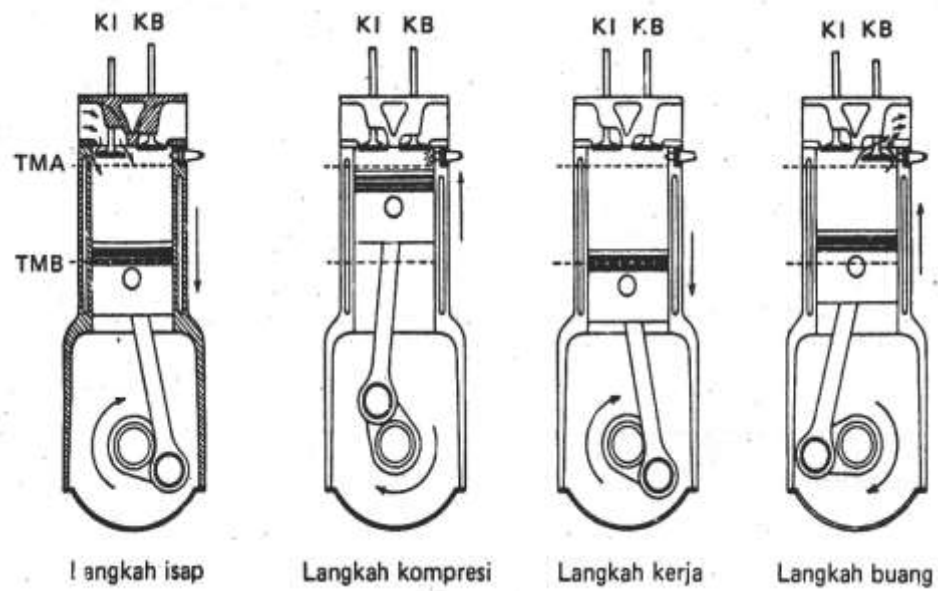
- **Langkah Kerja (usaha)**

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 8.) berikut :



Gambar 8. Prinsip kerja motor 4 (empat) langkah

Sumber : Sandy, 2014