

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara adalah sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut. Penimbunan lanau dan sedimen lainnya, bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut yang seringkali sampai ke kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian batu bara. Pembentukan batubara dimulai sejak carboniferous period (periode pembentukan karbon atau batu bara) dikenal sebagai zaman batu bara pertama – yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu. Mutu dari setiap endapan batu bara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai ‘maturitas organik’. Batubara dibedakan menjadi berbagai jenis tergantung kepada suhu dan tekanan seperti yang telah disebutkan di atas.

2.1.1 Jenis-jenis batubara

Adapun jenis-jenis batubara adalah :

a) Gambut (peat)

Golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa gambut merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).

b) Lignite

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah.

c) Sub-Bituminous (Bitumen Menengah)

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi.

d) Bituminous

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (brittle) dengan membentuk bongkah-bongkah prisma. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri.

e) Anthracite

Golongan ini berwarna hitam, keras, mengkilap, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocooidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.

2.1.2 Kandungan Batubara

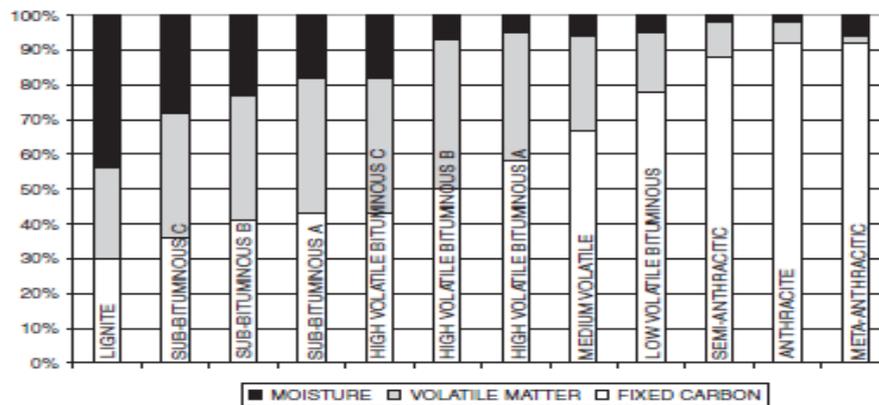
Setiap jenis batubara memiliki komposisi yang berbeda beda. Pengujian kandungan batubara secara proximate dan ultimate dibutuhkan untuk mengetahui karakter dan komposisi dari batubara, secara fisik, kimia dan fuel properties, dari batubara yang akan digunakan pada proses gasifikasi. Pada Gambar 2.1 ditampilkan analisa proximate dari berbagai jenis-jenis batubara yang menunjukkan kandungan moisture, volatile matter, ash dan fixed carbon pada batubara. Pada Tabel 2.1 juga ditampilkan analisa ultimate yang bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Data yang didapatkan dari analisa ultimate dapat digunakan untuk menghitung *Air Fuel Ratio*.

Tabel 2.1 Analisa *ultimate* dari berbagai jenis batubara di dunia.

	<----- Low Rank ----->		<----- High Rank ----->	
Rank:	Lignite	Subbituminous	Bituminous	Anthracite
Age:	----- increases ----->			
% Carbon:	65-72	72-76	76-90	90-95
% Hydrogen:	~5	----- decreases -----		~2
% Nitrogen:	<----- ~1-2 ----->			
% Oxygen:	~30	----- decreases -----		~1
% Sulfur:	~0	----- increases -----		~4
%Water:	70-30	30-10	10-5	~5
Heating value (BTU/lb):	~7000	~10.000	12.000-15.000	~15.000

(Sumber: Variation of selected coal properties with coal rank)

Adapun rata – rata nilai proximate dan kalor dari batubara di dunia dapat dilihat dari gambar berikut.



Gambar 2.1 Nilai analisa proximate rata-rata di dunia

(Sumber : Boughman, 1987)

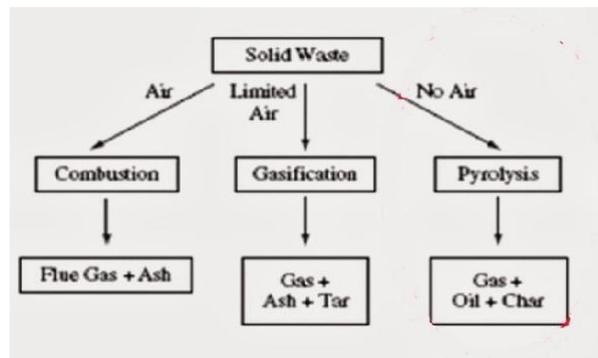
2.2 Gasifikasi

2.2.1 Definisi Gasifikasi

Batubara memiliki tiga metode konversi secara *thermochemical*, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran (combustion). Perbedaan jenis konversi tersebut terletak pada jumlah udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung. Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan energi yang terkandung di dalam batubara melalui suatu konversi dari fase padat menjadi fase gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu reaktor yang disebut *gasifier*. Ke dalam *gasifier* ini nantinya akan dimasukkan bahan bakar batubara untuk dibakar secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang dapat terbakar (*flammable*), yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metan (CH₄). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin pembakaran dalam (diesel atau bensin),

yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik (Trifiananto, M., 2015).

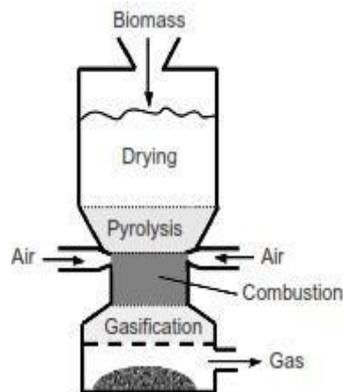
Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO , CH_4 , dan H_2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar, berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam *gasifier*. 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 (Trifiananto, M., 2015).



Gambar 2.2 Ilustrasi perbandingan *gasifikasi* , *combustion* dan *pyrolysis*

2.2.2 Fix Bed-Gasifier Downdraft

Sebuah *gasifier downdraft* adalah reaktor dimana arah aliran udara dan bahan baku sama-sama menuju bawah. Gas produk mengalir ke bawah (memberikan nama *downdraft*) dan gas keluar dari bagian bawah *gasifier*. Gasifikasi jenis ini menghasilkan *tar* yang lebih rendah dibandingkan *updraft*. Hal ini karena *tar* yang merupakan hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah pembakaran (*combustion*) dan kemudian gasifikasi yang memiliki temperatur lebih tinggi. Pada daerah gasifikasi dan pembakaran inilah, *tar* kemudian akan terurai.



Gambar 2.3 Skema *downdraft*

2.2.3 Tahapan Gasifikasi

Pada proses gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh batubara sehingga pada akhirnya menjadi gas yang *flammable*. Tahapan gasifikasi dapat berbeda untuk setiap *gasifier*. Berdasarkan jurnal proses tersebut meliputi:

a. Drying

Pada proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung didalam batubara bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250 °C. kadar air pada batubara melalui proses konveksi, karena pada reaktor terjadi pemanasan dari udara bergerak yang memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air pada batubara. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung didalam batubara sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi, yang terjadi pada reaktor menghasilkan energi panas yang cukup besar dan menyebar ke seluruh bagian reaktor. Disamping itu kecepatan gerak media pengering turut mempengaruhi proses *drying* yang terjadi.



b. Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator secara total atau dengan pasokan yang terbatas yang tidak mengizinkan gasifikasi tingkat yang cukup. Ini adalah salah satu beberapa langkah reaksi atau zona yang diamati dalam *gasifier*. Selama pirolisis molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang

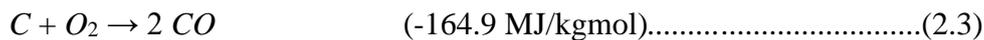
lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Ini berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



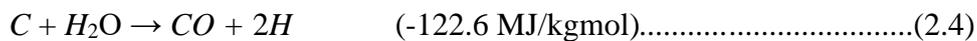
c. Gasification (Reduction)

Ini adalah zona utama dimana kita mendapatkan *syngas*. Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Diantaranya adalah *Bourdouard 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 *hydrogen* dan *carbon monoksida*. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 600-1000 °C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

Bourdouard reaction



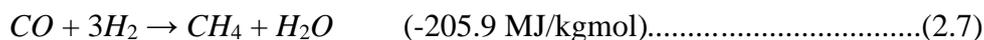
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction



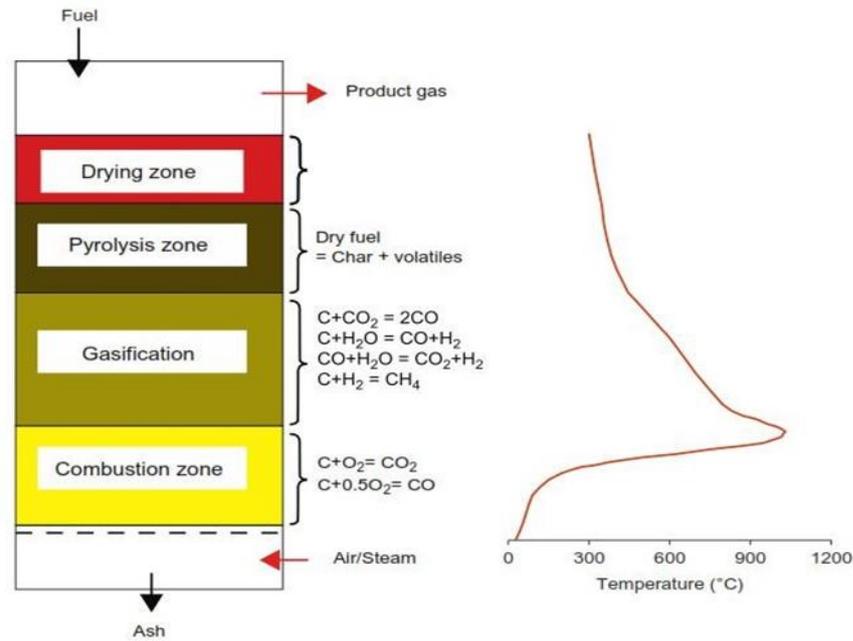
Methanation



d. Oksidasi Parsial

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Proses yang terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya 700-1500 °C. Pada temperatur setinggi ini pada *gasifier updraft*, akan memecah substansi *tar* sehingga kandungan *tar* yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah:





Gambar 2.4 Tahapan dan distribusi suhu pada *gasifier*

2.2.4 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

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

1. Properties Batubara

Tidak semua batubara dapat dikonversikan menjadi syngas, ada beberapa parameter yang menjadi tolak ukur untuk mengklasifikasikan bahan baku yang baik dan yang kurang baik berdasarkan kandungan dan sifat yang dimilikinya. Beberapa parameter tersebut antara lain :

a. Kandungan Energi

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

b. Moisture

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan bermoisture 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. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Pada reactor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic* CH_{1.2}O_{0.5}, terjadi pada temperature pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperature 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*
- Pada titik tertentu mengurangi respon pereaksi bahan baku

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 dihasilkan.

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.

2.3 Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Hasil *Syngas*

Udara memiliki peranan penting dalam sebuah proses pembakaran seperti pirolisis dan gasifikasi, karena udara mengandung oksigen yang sangat berpengaruh dalam proses pembakaran. Semakin banyak jumlah oksigen dalam proses pembakaran, maka semakin baik proses pembakaran itu akan berlangsung. Begitu pula sebaliknya semakin dikit oksigen maka pembakaran berjalan lebih buruk. Udara-udara yang digunakan untuk proses pembakaran memiliki rasio dengan nilai tertentu. Di dalam dunia Industri proses rasio tersebut lebih dikenal dengan “AFR” atau *Air Fuel Ratio*. AFR adalah rasio massa udara terhadap bahan bakar padat, cair, atau gas yang ada dalam proses pembakaran. Pembakaran dapat terjadi dengan cara yang terkontrol seperti dalam mesin pembakaran dan tungku industri, atau dapat juga mengakibatkan ledakan (misalnya, ledakan debu, ledakan gas atau uap).

Rasio udara bahan bakar menentukan apakah campuran itu mudah terbakar sama sekali, berapa banyak energi yang dilepaskan, dan berapa banyak polutan yang tidak di inginkan ketika dihasilkan dalam reaksi. Laju alir udara juga haruslah mengikuti dan mengimbangi jumlah bahan bakar yang digunakan, selain berpengaruh terhadap efisiensi udara yang di suplai pun berpengaruh dengan bentuk api yang dihasilkan, yang mana nantinya akan berpengaruh pula terhadap

perpindahan panas yang terjadi dan akhirnya akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan.

2.4 Perhitungan Dasar Gasifikasi

Selama proses gasifikasi, terjadi dua transformasi utama yaitu perpindahan massa dan perpindahan kalor atau energi panas. Perpindahan massa ditentukan oleh kesetimbangan massa zat yang masuk dengan massa yang keluar, sedangkan perpindahan energi ditentukan oleh kesetimbangan energi masuk dan energi keluar. Kesetimbangan massa maksudnya adalah jumlah semua unsur yang terkandung dalam suatu unit massa input (bahan bakar dan udara) sama dengan jumlah unsur-unsur yang dihasilkan pada output berupa *syngas* dan *ash* selama proses gasifikasi.

2.4.1 Laju alir pemakaian batubara

$$V_{BB} = \frac{M_{BB}}{T} \quad (2.1)$$

V_{BB} = Laju pemakaian bahan bakar per satuan waktu (kg/h)

M_{BB} = Massa bahan baku batubara (kg)

T = Lama proses gasifikasi (h)

Laju alir pemakaian bahan baku batubara menunjukkan seberapa banyak batubara yang bereaksi disetiap waktunya.

2.4.2 Laju abu sisa pembakaran

$$V_{Abu} = \frac{M_{Abu}}{T} \quad (2.2)$$

V_{Abu} = Laju abu sisa pembakaran (gr/s)

M_{Abu} = Massa abu sisa pembakaran (gr)

T = Lama proses gasifikasi (s)

2.4.3 Laju Aliran Syngas

$$V_{syngas} = A_{\text{pipa output}} \times V_{syngas} \quad (2.3)$$

V_{syngas} = Laju alir *syngas* dalam volume (m^3/s)

$A_{\text{pipa output}}$ = Luas pipa output *syngas* (m^2)

V_{syngas} = Laju alir *syngas* (m/s)

2.4.4 Specific Gasification Rate (SGR)

SGR merupakan jumlah bahan bakar yang tergasifikasi melalui sebuah throat dengan luas penampang tertentu. SGR sering disebut juga dengan nama *heart load* dengan terminologi jumlah bahan bakar yang tergasifikasi (Kurniawan, 2012). SGR dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{SGR} = \frac{V_{BB}}{A_{\text{melintang reaktor}}} \quad (2.4)$$

SGR = Specific Gasification Rate (gr/s m²)

V_{BB} = Laju pemakaian bahan bakar (gr/s)

A_{melintang reaktor} = Luas melintang reaktor (m²)

2.4.5 Specific Gas Production Rate (SGPR)

SPGR juga bisa dikatakan sebagai *heart load* dengan terminologi jumlah *syngas* yang dihasilkan melalui luas area *throat*. Besarnya laju aliran *syngas* yang melalui *throat* akan sangat dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar yang masuk. Perbandingan antara jumlah bahan bakar dengan jumlah *syngas* yang dihasilkan akan sama dengan perbandingan antara nilai SGR dan SGPR (Kurniawan, 2012). SGPR dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{SGPR} = \frac{V_{\text{syngas}}}{A_{\text{melintang reaktor}}} \quad (2.5)$$

SGPR = Specific Gas Production Rate (m³/m² s)

V_{BB} = Laju pemakaian bahan bakar (m³/s)

A_{melintang reaktor} = Luas melintang reaktor (m²)

2.4.6 Efisiensi Gasifikasi

Efisiensi gasifikasi bergantung pada nilai kalor mengidentifikasi seberapa banyak energi dari batubara yang dikonversikan sehingga dapat menjadi energi yang mudah terbakar dalam bentuk *syngas* selama proses gasifikasi. Untuk mencari efisiensi gasifikasi dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta = \frac{\text{Heating Value of Syngas}}{\text{Heating Value of Coal}} \times 100\% \quad (2.6)$$

(sumber : Yousan Ju Energy hal 131, 2017)

η	= Efisiensi gasifikasi (%)
HV_{syngas}	= Nilai kalor pada <i>syngas</i> (MJ/s)
HV_{coal}	= Nilai kalor pada batubara (MJ/s)