

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, berwarna coklat hingga hitam terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan purba, pengendapannya mengalami 2 proses yaitu proses kimia dan fisika yang menyebabkan meningkatnya komposisi unsur karbon. Batubara terbentuk dari beberapa unsur seperti oksigen, sulfur, karbon, nitrogen, klorin, sulfur, hidrogen, merkuri dan arsenik yang seluruhnya dari pembusukan material organik (Speight, 2005). Batubara juga terdapat berbagai mineral (*mineral matters*) terutama mineral karbonat, sulfida, silikat, lempung dan beberapa mineral lainnya (Taylor dkk., 1998).

Sifat batubara tidak seragam, faktor yang menyebabkannya antara lain, dekomposisi awal asal batubara melalui proses diagenetik dan *coalification* (Smolinski and Howaniec, 2016). Heterogenitas sifat batubara diperkirakan dalam berbagai hubungan komponen penyusunnya seperti hubungan antara kandungan hidrogen dengan karbon, antara kandungan oksigen dengan karbon, dan kandungan volatil dengan nilai kalor. Hubungan itu bervariasi dari satu ke yang lain dalam bentuk rentang yang disebut *coal band* (Berkowitz, 1985). Mutu dari setiap endapan batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai ‘maturitas organik’.

Uraian stratigrafi lapisan batubara (*seam*) sebagai berikut (PT. Bukit Asam Tbk):

a. Lapisan Petai (Batubara *seam C*)

Lapisan batubara ini berwarna hitam mengkilat, memiliki ketebalan 5 hingga 10 m, dan terdapat lapisan pengotor batu lempung dan batu lanau tipis sekitar 10 sampai 15 cm. Batu pasir dengan sisipan batu lanau memiliki ketebalan 20 sampai 40 m dan batu lempung berwarna abu – abu terang merupakan ciri lapisan antara batubara C dengan batubara B2.

b. Lapisan Suban (Batubara *seam B*)

Lapisan Suban di beberapa wilayah mengalami pemisahan (*split*) menjadi lapisan batubara B1 dan lapisan batubara B2 dengan ketebalan masing – masing 8,0 hingga 14,55 dan 3,0 hingga 5,8 m. Sedangkan lapisan B sendiri mempunyai

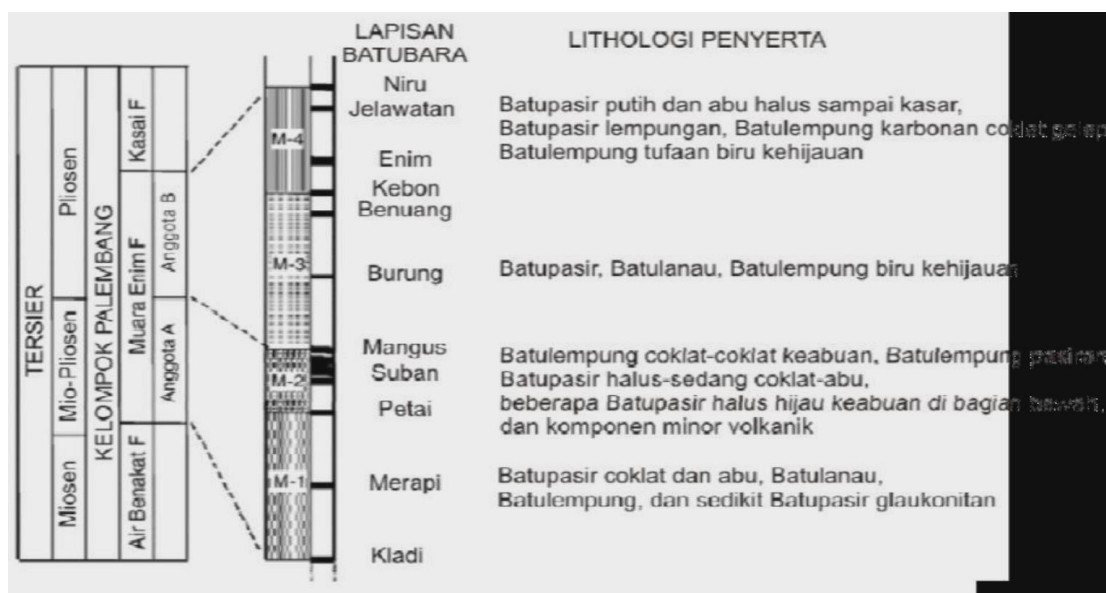
ketebalan 17,0 m. Diantara dua lapisan tersebut dijumpai batu lempung dan batu lanau dengan tebal 2,0 hingga 5,0 m (disebut *interburden* B2 – B1), sedangkan di atas lapisan batubara B atau B1 ditutupi oleh 10 batu lempung dengan ketebalan 15,0 hingga 23,0 m yang juga sisipan dengan batu pasir dan batu lanau (disebut *interburden* B2 – B1). Di atas lapisan Suban juga terdapat adanya lapisan tipis sekitar 0,4 hingga 6,0 m batubara atau batu lempung karbonan dikenal dengan nama *Suban Marker*. Sedangkan di atas lapisan batubara B atau B1 dihalangi oleh batu lempung dengan ketebalan 15,0 hingga 23,0 m yang juga sisipan dengan batu pasir dan batu lanau (disebut *interburden* B1 – A2).

c. Lapisan Mangus *Lower* (Batubara seam A2)

Terdapat batu lempung tufaan yang memiliki ketebalan 2 hingga 5 m disebut *interburden* A2 – A1 merupakan lapisan yang menghalangi lapisan A2. Lapisan Mangus *Lower* mempunyai tebal 9,8 hingga 14,7 m dijumpai sisipan tipis batu lempung sebagai lapisan pengotor (*clayband*).

d. Lapisan Mangus *Upper* (Batubara seam A1)

Terdapat batu lempung bentonitan dengan tebal 70 hingga 120 m disebut *overburden* A2 – A1 merupakan lapisan yang berada di atas A1. *Hanging seam* atau lapisan batubara gantung terdapat pada lapisan ini. Lapisan Mangus *Upper* mempunyai tebal 5,0 hingga 13,25 m.



Gambar 2.1. Seam Batubara Anggota Formasi Muara Enim
Sumber: PT. Bukit Asam Tbk.

2.1.1 Karakteristik Batubara

Setiap jenis batubara memiliki komposisi yang berbeda beda. Pengujian kandungan batubara secara *proximate* dan *ultimate* dibutuhkan untuk mengetahui karakter dan komposisi dari batubara. Pada Gambar 2.1 dan 2.2 juga ditampilkan analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari berbagai macam batubara, dimana analisa *Proximate* berupa *moisture*, *volatile matter* dan *fixed carbon* serta analisa *ultimate* bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen.

	Anthracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Moisture (%)	3–6	2–15	10–25	25–45
Volatile matter (%)	2–12	15–45	28–45	24–32
Fixed carbon (%)	75–85	50–70	30–57	25–30
Ash (%)	4–15	4–15	3–10	3–15
Sulfur (%)	0.5–2.5	0.5–6	0.3–1.5	0.3–2.5
Hydrogen (%)	1.5–3.5	4.5–6	5.5–6.5	6–7.5
Carbon (%)	75–85	65–80	55–70	35–45
Nitrogen (%)	0.5–1	0.5–2.5	0.8–1.5	0.6–1.0
Oxygen (%)	5.5–9	4.5–10	15–30	38–48
Btu/lb	12,000–13,500	12,000–14,500	7500–10,000	6000–7500
Density (g/mL)	1.35–1.70	1.28–1.35	1.35–1.40	1.40–1.45

Gambar 2.2 Nilai Analisa Proksimat Jenis Batubara

(Sumber : Handbook of Coal Analysis. 2005)

	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	--- decreases --- ~0
%Water:	70-30	30-10	10-5	~5
Heating value (BTU/lb):	~7000	~10,000	12,000–15,000	~15,000

Gambar 2.3 Nilai Ultimat Jenis Batubara

(sumber : Modul Pemanfaatan Batubara Polsri. 2018)

2.2 Gasifikasi

Batubara memiliki tiga metode konversi *thermochemical*, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran (*combustion*). Perbedaan jenis konversi tersebut terletak pada jumlah udara (oksigen) yang dikonsumsi dan hasil keluaran 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 organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna menggunakan udara yang terbatas (20%-40% udara stoikiometri) (Trifiananto, 2015).

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. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang dapat terbakar (*flammable*), yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metan (CH₄) yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik maupun kompor.

2.2.1 Gasifikasi *Downdraft*

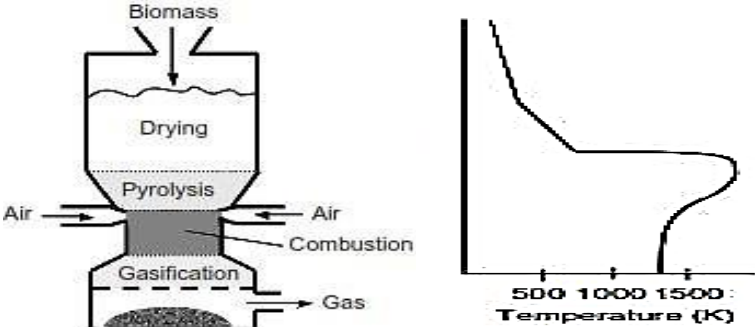
Berdasarkan arah alirannya, gasifier dapat dibedakan menjadi gasifikasi aliran searah (*Downdraft gasification*), gasifikasi aliran berlawanan (*Updraft gasification*), Gasifikasi aliran menyilang (*Crossdraft gasification*).

Semakin berkembangnya teknologi gasifikasi membuat proses penelitian dan pengembangan *gasifier* terus dilakukan. Pengembangan dilakukan dengan berbagai pertimbangan diantaranya mengurangi kandungan tar dan sulfur hasil *syngas*.

Gasifier downdraft adalah reaktor dengan arah aliran udara dan bahan baku sama-sama menuju bawah. *Syngas* mengalir ke bawah dan *gasifier* (Putri G., A, 2009) menyatakan bahwa alasan pemilihan gasifier jenis downdraft dikarenakan 4 hal yaitu:

1. Biaya pembuatan yang lebih murah,
2. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan sistem updraft
3. Lebih mudah dilanjutkan ke proses pembakaran
4. 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 2.4 Skema *Downdraft* dan Distribusi Suhu Pada Gasifier
(Sumber : Basu, P, 2013)

2.2.2 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. Zona Pengeringan (*Drying*)

Pada proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung didalam batubara sampai kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250 °C. *Drying* 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 mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung didalam batubara.



- b. Zona Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator yang terbatas yang tidak mengizinkan gasifikasi ketinggian yang cukup. Selama pirolisis, molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.

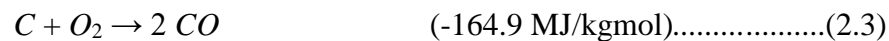


- c. Zona Reduksi

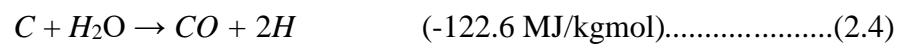
Zona reduksi merupakan zona utama untuk mendapatkan *syngas*. Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar

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 hidrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 600-1000 °C.

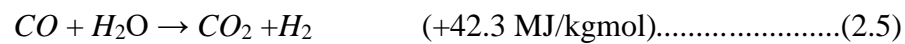
Bourdouard reaction



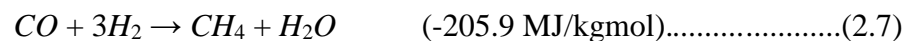
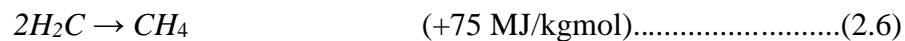
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction



Methanation



d. Zona 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 akan memecah substansi *tar* sehingga kandungan *tar* yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah:



2.3 Jenis Gasifying Agent

Pemilihan *gasifying agent* sangat penting karena tergantung pada jenis reaktor serta investasi biaya yang dibutuhkan. Pada proses gasifikasi dapat menggunakan *gasifying agent* tunggal maupun campuran, yang paling sering digunakan adalah udara, oksigen, karbon dioksida, dan uap. Penggunaan udara sebagai *gasifying agent* banyak digunakan karena cukup dengan suplay udara dari blower sehingga lebih murah daripada *gasifying agent* lainnya. Di sisi lain, penggunaan uap dapat menyebabkan kenaikan biaya karena panas yang dibutuhkan

untuk reaksi gasifikasi, biaya untuk menghasilkan uap, dan dibutuhkan pipa khusus untuk tekanan tinggi.

Gasifying agent berdampak pada kualitas dan kuantitas *syngas*. Ada empat agen gasifikasi umum digunakan: udara, uap, *oxygen* dan campuran udara-uap. Penggunaan *gasifying agent* dapat mempengaruhi komposisi gas, kandungan tar, dan *heating value*. Gil (1999) melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh dari *gasifying agent* pada komposisi *syngas*, *heating value*, kandungan tar, dan *gas yield*. Tabel 2.1 menunjukkan agen gasifikasi dapat menambah atau mengurangi *heating value syngas*.

Tabel 2.1 karakteristik *syngas* berdasarkan *gasifying agent*

<i>Gasification agent</i>	T (°C)	<i>Gas Composition (dry basis)</i>		<i>Yield</i>		
		H ₂ (%)	CO (%)	Tar (g/kg)	Gas (Nm ³ /kg)	LHV
<i>Air</i>	780-830	5,0-16,3	9,9-22,4	3,7-61,9	1,25-2,45	3,7-8,4
<i>O₂ + steam</i>	785-830	13,8-31,7	42,5-52,0	2,2-46	0,85-1,14	10,3-13,5
<i>Steam</i>	750-780	38-56	17-32	60-95	1,3-1,6	12,2-13,8

(Sumber : Gil ,J dan Corella,J, 1999)

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 untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan ber*moisture* rendah. Kandungan *moisture* yang tinggi menyebabkan *heat loss* berlebihan.

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* 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. Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Tar memiliki bau yang tajam dan mengganggu pernapasan. Pada reactor gasifikasi terbentuknya tar terjadi pada temperature pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperature yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relative tinggi dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m³.

e. *Ash* dan *Slagging*

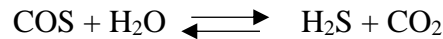
Ash adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan *slag* adalah kumpulan *ash* yang lebih tebal. Pengaruh adanya *ash* dan *slag* pada gasifier adalah:

- Menimbulkan penyumbatan pada *gasifier*
- Pada titik tertentu mengurangi respon pereaksi bahan baku

2.5 *Gas Syntetic* (Syngas)

Syngas dari *gasifier* masih mengandung berbagai senyawa pengotor, seperti H₂S, COS, dan CO₂. Adanya senyawa-senyawa tersebut dapat meningkatkan risiko korosi pada peralatan dan merusak katalis, termasuk katalis dalam proses pembuatan pupuk. Oleh karena itu *syngas* perlu dimurnikan terlebih dahulu. (C. Higman, M. Burgt, 2003). Karbonil sulfida bukan merupakan gas

asam, maka hidrolisis COS untuk membentuk H₂S sering dilakukan untuk pemurnian sulfur yang terkandung dalam COS. Tujuan pengonversian COS menjadi H₂S disebabkan adsorben yang digunakan untuk proses desulfurisasi lebih selektif terhadap H₂S daripada COS. Reaksi hidrolisis terjadi di COS hydrolysis reactor (R-310) dengan suhu operasi 303°C dan tekanan 29 bar dengan bantuan katalis chromia-alumina. (Iswanto, Toto, dkk. 2015).



Tabel 2.2 Target kualitas produk *syngas* berdasarkan komponen penyusun

Komponen	Konsentrasi (%mol)
CO	55,0
H ₂	40,0
CH ₄	3,0
CO ₂	0,05
N ₂	1,5
H ₂ O	0,45

(sumber : Iswanto, Toto, dkk. 2015)

Tabel 2.3 Gas hasil dari gasifikasi batubara

Produk	Karakteristik
<i>Low-Btu gas</i> (150-300 Btu/scf)	sekitar 50% N ₂ , dengan jumlah kecil H ₂ dan CO yang mudah terbakar, CO ₂ dan gas lain seperti metana
<i>Medium-Btu gas</i> (300-550 Btu/scf)	Terutama CO dan H ₂ , dengan beberapa gas yang tidak mudah terbakar dan sedikit kandungan metana
<i>High-Btu gas</i> (980-1080 Btu/scf)	Hampir metana murni

(sumber : Heiskanen, 2011 dalam Winarno, Agus, dkk. 2016)

2.6 Pengaruh Ukuran Butir Batubara Terhadap Hasil *Syngas*

Proses gasifikasi dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, ukuran partikel, medium penggasifikasi, suhu, dan tekanan proses (Heiskanen, 2011 dalam Winarno, Agus, dkk. 2016). (Satriya, Aditya. 2019) menyatakan bahwa ukuran butir berperan karena jika ukuran butir terlalu kecil maka suplai oksigen kurang maksimal dimana produksi *syngas* dan suplai udara dibutuhkan lebih banyak disebabkan porositas antar butir lebih kecil pada sela-sela bahan sehingga kandungan *flammable gas* yang dihasilkan tinggi.

Ukuran batubara berpengaruh terhadap proses pembakaran gasifikasi, sebab dengan adanya variasi ukuran partikel batubara dapat mempengaruhi *moisture content* pada batubara saat proses pembakaran, semakin kecil ukuran batubara maka nilai *moisture content* pada batubara akan semakin besar dikarenakan batubara dengan ukuran partikel yang lebih kecil memiliki volume rongga antar partikel yang lebih kecil dibandingkan batubara dengan ukuran partikel besar. Luas permukaan tidak lagi menjadi efektif dibandingkan kecilnya volume rongga antar partikel yang mampu menghambat perpindahan massa air yang mengakibatkan air terperangkap dalam tumpukan batubara saat proses pembakaran sehingga dapat berpengaruh pada kenaikan temperatur saat proses pembakaran di gasifikasi serta mempengaruhi kandungan pada syngas hasil proses gasifikasi.

Hal ini dikarenakan jika semakin besar ukuran partikel bahan baku maka suhu ruang *gasifier* juga akan cepat meningkat pada saat proses pembakaran, ukuran partikel yang lebih besar mengalami perpindahan panas selama berkontribusi pada luas permukaan kontak yang lebih besar atau volume yang lebih tinggi sehingga laju pembakaran jadi lebih cepat yang menyebabkan bahan cepat habis dalam proses. Ukuran butir yang lebih kecil akan menghasilkan LHV gas yang lebih tinggi, dikarenakan batubara dapat terkonversi optimal menjadi *flammable gas* CO, CH₄, dan H₂.

2.7 Perhitungan Gasifikasi

Dalam meninjau ukuran batubara terhadap hasil syngas, terdapat beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan untuk menentukan hasil syngas seperti nilai *Fuel Consumption Rate (FCR)*, *Air Fuel Ratio actual (AFR)*, *Specific Gasification Rate (SGR)*, *Specific Production Gasification Rate (SPGR)* hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai *Power Output*.

2.7.1 Fuel Consumption Rate (FCR)

Jumlah dari batubara yang digunakan dalam pengoperasian di reaktor dibagi dengan waktu operasi. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\Rightarrow FCR = \frac{\text{massa bahan bakar yang digunakan (Kg)}}{\text{waktu operasi (Jam)}}$$

(Sumber: Balenio, 2005)

2.7.2 AFR aktual

Untuk menghitung AFR dalam 1 kali operasi dengan waktu tertentu dapat menggunakan persamaan berikut ini

$$\Rightarrow AFR = \frac{\rho_{udara} \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \times A_{pipa}(m^2) \times v_{udara} (m/s)}{Massa \text{ bahan bakar } (Kg)/waktu(s)}$$

(Sumber : Suhendi, 2016)

2.7.3 Specific Gasification Rate (SGR)

Kecepatan Gasifikasi Spesifik dihitung menggunakan hubungan antara laju pemakaian bahan baku dan luas reaktor.

$$SGR = \frac{Laju \text{ pemakaian bahan baku}}{luas \text{ melintang reaktor}}$$

(sumber: Handika, Allin: 2009)

2.7.4 Specific Production Gasification Rate (SPGR)

Kecepatan produksi gas spesifik ialah kecepatan produksi gas hasil pada setiap perluas melintang dari gasifier.

$$SPGR = \frac{Laju \text{ alir syngas}}{luas \text{ melintang reaktor}}$$

(sumber: Handika, Allin: 2009)

2.7.5 Power Output

Jumlah energi yang dilepaskan selama pembakaran dalam reaktor.

$$\Rightarrow \text{Power output} = \text{Gas Flowrate (kg/s)} \times \text{Heating Value}_{\text{gas}}$$

(Sumber : Michael Lubwama, 2010, pg.15)