

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang terbentuk dari batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, khususnya sisa-sisa tumbuhan (gambut). Mutu dari setiap endapan batu bara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai ‘maturitas organik. 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).

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

1. Lapisan Petai (Batubara *seam C*)

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

2. 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 batulempung dan batulanau dengan

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

Terdapat batulempung 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 batulempung sebagai lapisan pengotor (*clayband*).

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

Terdapat batulempung 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.

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 2.1 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 2.2 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).

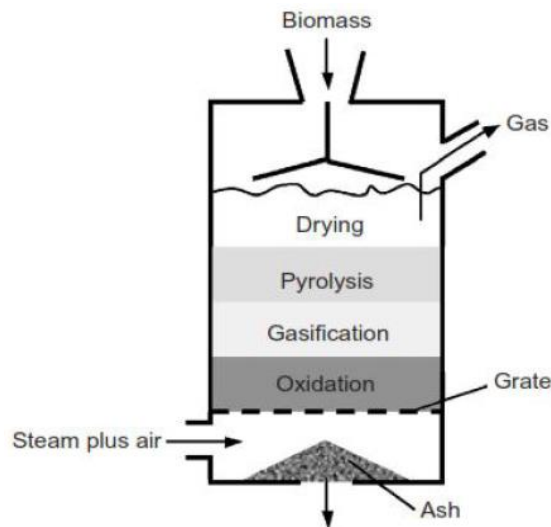
Bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam *gasifier*. Di dalam *gasifier* inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan 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 Tipe Gasifier

Semakin berkembangnya teknologi gasifikasi membuat proses penelitian dan pengembangan gasifier terus dilakukan. Pengembangan dilakukan dengan berbagai pertimbangan diantaranya mengurangi kandungan tar dan sulfur pada hasil syngas. Tipe-tipe gasifier yaitu:

a. Gasifikasi *Updraft*

Gasifier tipe *updraft* adalah salah satu yang paling sederhana dan tertua dari semua desain. Pada tipe ini, gasifying agent (udara, oksigen, atau uap) dihembuskan ke atas, sementara bahan bakar bergerak ke bawah, dengan demikian gas dan padatan dalam arah yang berlawanan. Gas produk keluar dari bagian atas gasifier. Media gasifikasi (gasifying agent) memasuki reaktor melalui grate atau distributor, di mana ia bertemu dengan abu panas. Abu turun melalui grate yang sering dibuat bergerak (berputar atau *reciprocating*).



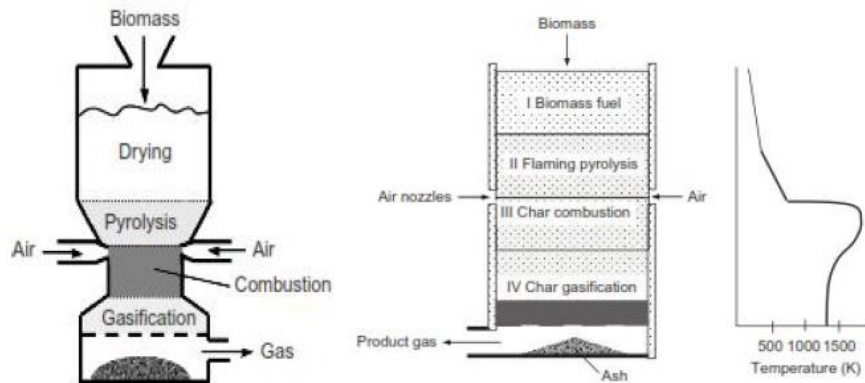
Gambar 2.3 Skema *Updraft* Gasifier
(Sumber : Muhammad Trifiananto. 2015)

b. Gasifikasi *Downdraft*

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

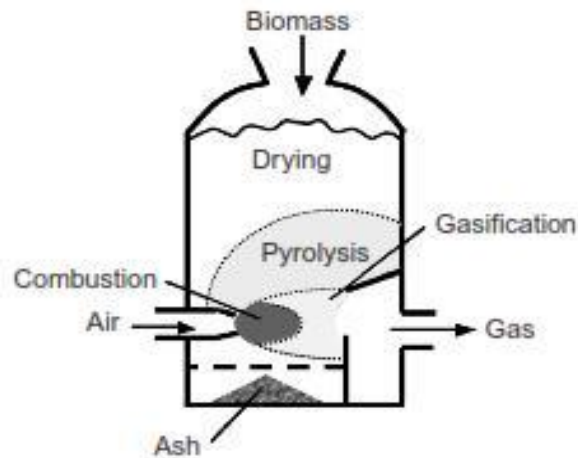
1. Biaya pembuatan yang lebih murah
2. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan sistem *updraft*
3. Lebih mudah dilanjutkan ke proses pembakaran
4. Gasifikasi jenis ini menghasilkan *tar* yang lebih rendah dibandingkan *updraft*. Hal ini karena *tar* yang merupakan hasil pirolisis terbawa bersama 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 Gasifeir
(Sumber : Muhammad Trifiananto, 2015)

c. *Crossdraft* Gasifier

Udara disemprotkan ke dalam ruang bakar dari lubang arah samping yang saling berhadapan dengan lubang *syngas* keluar sehingga pembakaran dapat terkonsentrasi pada satu bagian saja dan berlangsung secara lebih banyak dalam suatu satuan waktu tertentu.



Gambar 2.5 Skema *Crossdraft*
 (Sumber : Muhammad Trifiananto, 2015)

2.2.2 Tahapan Gasifikasi

Pada proses gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh batubara sehingga pada akhirnya menjadi gas yang *flammable*. Proses tahapan gasifikasi meliputi:

a. *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. 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

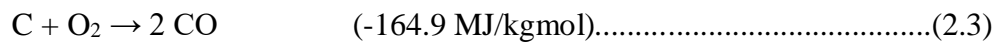
seperti gas, cairan, dan *char*. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



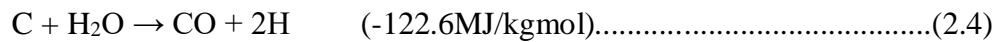
c. Gasifikasi

Zona gasifikasi 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 *hydrogen* dan *carbon monoksida*. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 600-1000 °C.

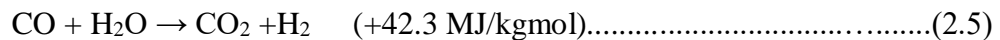
Bourdouard reaction



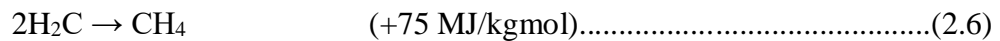
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction

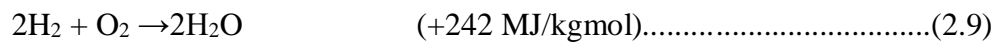
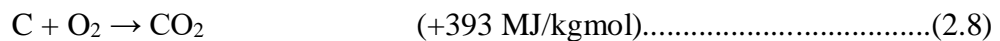


Methanation



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



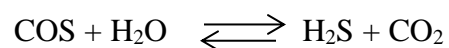
2.2.3 Gasifikasi *Downdraft*

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*.

2.3 Gas Sintesa (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. *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. (Iswanto, Toto, dkk. 2015).



Tabel 2.1 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 2.2 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)

2.4 Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Hasil Syngas

Udara memiliki peranan penting dalam sebuah proses pembakaran seperti 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 sedikit jumlah oksigen maka pembakaran berjalan lebih buruk. Laju alir udara juga haruslah mengikuti dan mengimbangi jumlah bahan bakar yang digunakan, selain berpengaruh terhadap bentuk api yang dihasilkan, yang mana akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan.

2.5 Perhitungan Dasar Gasifikasi

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

2.5.1 Laju Alir Pemakaian Batubara

$$V_{BB} = \frac{MBB}{T}$$

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

MBB = Massa bahan baku batubara (kg)

T = Lama proses gasifikasi (h)

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

2.5.2 Laju Abu Sisa Pembakaran

$$V_{Abu} = \frac{M_{abu}}{T}$$

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

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

T = Lama proses Gasifikasi (s)

2.5.3 Laju Aliran Syngas

$$V_{Syngas} = A_{pipa\ output} \times V_{Syngas}$$

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

$A_{pipa\ output}$ = Luas pipa Output Syngas (m^2)

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

2.5.4 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 terminology jumlah bahan bakar yang tergasifikasi (Kurniawan,2012).

SGR dinyatakan dengan persamaan :

$$SGR = \frac{V_{BB}}{A_{melintang\ reaktor}}$$

SGR = Specific Gasification Rate (gr/s m²)

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

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

2.5.5 Specific Gas Production Rate (SPGR)

SPGR juga bias dikatakan sebagai heart load dengan terminology jumlah syngas yang dihasilkan melalui luas area throad. Besarnya laju aliran syngas yang melauai throad akan sangat dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar yang masuk. Perbandingan antara jumlah bahan bakar dengan jumlah syngas yang dihasilkan akan smaa dengan perbandingan antara nilai SGR dan SPGR (Kurniawan,2012).

SPGR dinyatakan dengan persamaan :

$$SPGR = \frac{V_{syngas}}{A_{melintang\ reaktor}}$$

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

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

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