

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 batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai “maturitas organik”.

Bahan baku yang digunakan pada gasifikasi batubara tipe *downdraft* didapatkan dari muara tiga besar dengan berdasarkan kedalaman batubara sehingga di dapat batubara dengan tipe A1, A2, B, dan C. Adapun 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 batulanau tipis sekitar 10 sampai 15 cm. Batupasir dengan sisipan batulanau 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 batulanau 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 batupasir dan batulanau (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 batupasir dan batulanau (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 14,7m dijumpai sisipan tipis batu lempung sebagai lapisan pengotor (*clayband*).
- d. Lapisan Mangus *Upper* (Batubara *seam* A1)
 Terdapat batu lempung bentonitan dengan tebal 70 hingga 120m 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 Karakterisasi 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 Analisa *Proximate* berupa *moisture*, *volatile matter* dan *fixed carbon* dan Analisa *ultimate* bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen.

TABLE 3.1 Composition and Property Ranges for Various Ranks of Coal

	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 *Proximat* 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
%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 *Ultimate* Jenis Batubara
(sumber : Modul Pemanfaatan Batubara, 2018)

2.2 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 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-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

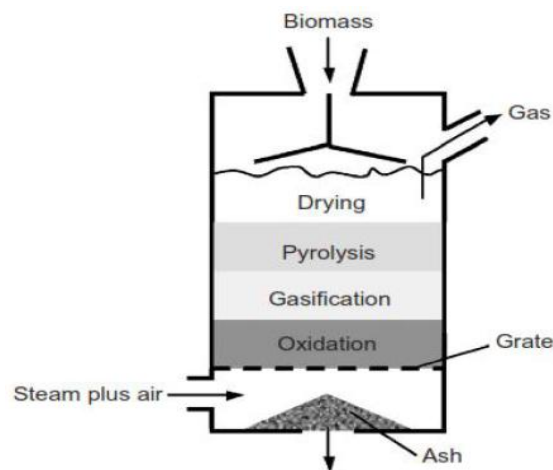
Semakin berkembangnya teknologi gasifikasi membuat proses penelitian dan pengembangan gasifier terus dilakukan. Pengembangan dilakukan dengan berbagai

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*).



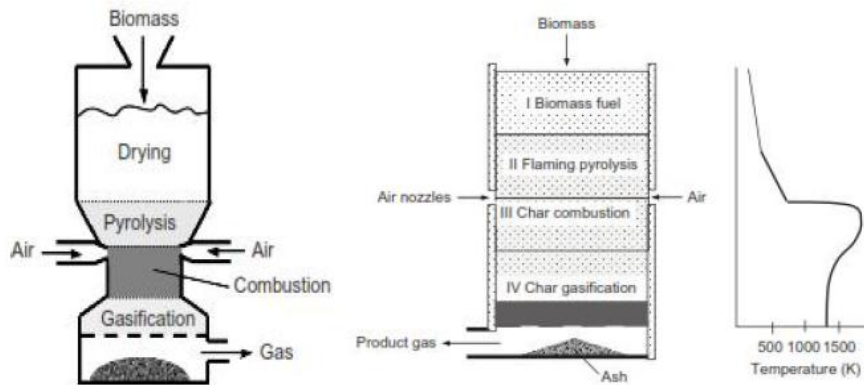
Gambar 2.3 Skema *Updraft* Gasifier
(Sumber : Muhammad Trifiananto. 2015)

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

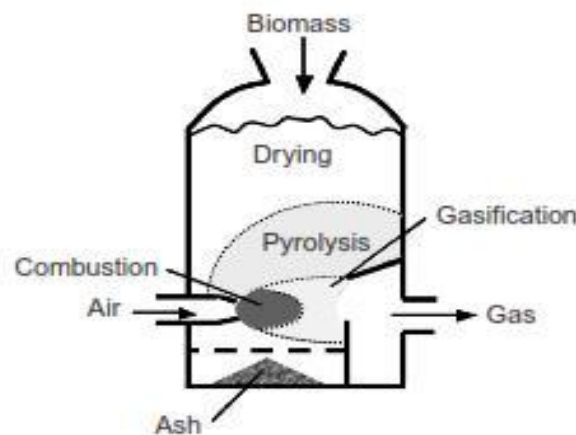
updraft. Hal ini karena tar yang merupakan hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah pembakaran (*combustion*) dan kemudian gasifikasi yang memiliki temperatur lebih tinggi. Pada daerah gasifikasi dan pembakaran inilah, tar kemudian akan terurai.



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

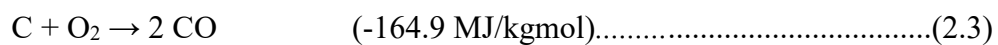
Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari batubara menjadi produk yang bermanfaat, dalam keadaan tidak adanya oksidator yang terbatas yang tidak mengizinkan gasifikasi ketinggian yang cukup. Selama pirolisis, molekul hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang lebih simpel dan relatif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



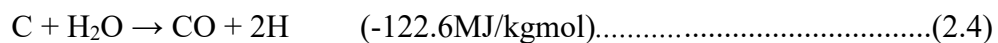
c. Gasifikasi

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.

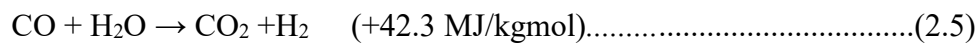
Bourdouard reaction



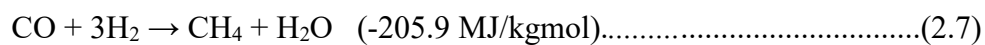
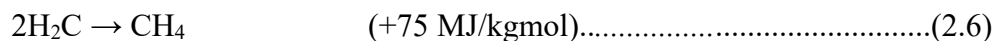
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction



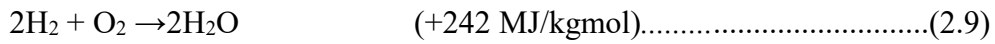
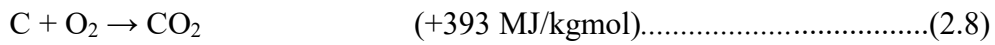
Methanation



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 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 memiliki *moisture* yang 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 reaktor gasifikasi terbentuknya tar terjadi pada

temperatur 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/m^3 .

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

2.3 Pengaruh Jenis Batubara Terhadap hasil *Syngas*

Jenis Batubara sangatlah penting terhadap hasil *syngas* yang diinginkan. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain kandungan Karbon, Hidrogen, Oksigen, Sulfur, *Volatile* dan nilai kalor yang dimiliki batubara tersebut. Riza Abrar (2017) menyatakan bahwa gas H_2 yang dihasilkan dari gasifikasi lebih banyak dihasilkan oleh batubara berjenis lignit dibanding dengan jenis batubara subbituminus dan antrasit. Namun untuk jenis batubara yang menghasilkan senyawa CO, Antrasit memiliki kadar CO maksimum paling tinggi, diikuti oleh bituminous dan lignit. Kondisi ini sesuai dengan banyaknya kadar karbon dari masing-masing jenis batubara. Berdasarkan kadar tersebut gasifikasi dibagi menjadi 3 produk yaitu : Gasifikasi Low-Btu gas (150-300 Btu/scf), Medium-Btu gas (300-550 Btu/scf) dan High-Btu gas (980-1080 Btu/scf). Komposisi produk ditampilkan pada Tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Klasifikasi Produk Gasifikasi

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 : Speight, 2013)

2.4 Karakteristik Nyala Api

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. Saat api berwarna kebiruan adalah sebaliknya yang merepresentasikan nilai kalor bahan bakar yang tinggi, Nilai kalor juga mempengaruhi lama waktu nyala api tersebut, Iskandar (2015) menyatakan dalam pembahasannya menunjukkan semakin tinggi nilai kalor, maka akan semakin lama api akan menyala.

2.5 Gas sintesa (*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 gasasan, 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 dari pada COS. Reaksi hidrolisis terjadi di COS *hydrolysis reactor* (R-310) dengan suhu operasi 303°C dan tekanan 29bar 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)

2.6 Udara Pembakaran

Fajri Vidian (2008) menyatakan bahwa bahwa semakin besar laju alir udara, maka laju alir *syngas* yang dihasilkan akan semakin besar pula, dengan begitu suplai

oksigen untuk pembakaran di daerah oksidasi juga akan semakin meningkat dan memperbanyak CO_2 dan arang karbon yang terbentuk. Dengan semakin banyaknya CO_2 yang terbentuk dan H_2O yang teruapkan dari bahan bakar, maka akan semakin banyak gas CO dan H_2 yang terbentuk. Akibat dari banyaknya gas CO dan H_2 yang terbentuk maka akan semakin banyak karbon dan hidrogen yang bereaksi membentuk gas methane (CH_4).