

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara merupakan salah satu bahan galian strategis yang sekaligus menjadi sumber daya energi yang sangat besar. Indonesia memiliki cadangan batubara yang sangat besar dan menduduki posisi ke-4 dunia sebagai Negara pengekspor batubara. Di masa yang akan datang batubara menjadi salah satu sumber energi alternatif potensial untuk menggantikan potensi minyak dan gas bumi yang semakin menipis. Pengembangan perusahaan pertambangan batubara secara ekonomis telah mendatangkan hasil yang cukup besar, baik sebagai pemenuhan kebutuhan dalam negeri maupun sebagai sumber devisa. Pola yang terlihat dari proses perubahan bentuk tumbuh-tumbuhan hingga menjadi batubara yaitu dengan terbentuknya karbon. Kenaikan kandungan karbon dapat menunjukkan tingkatan batubara. Dimana tingkatan batubara yang paling tinggi adalah antrasit, sedang tingkatan yang lebih rendah dari antrasit akan lebih banyak mengandung hydrogen dan oksigen. Selain kandungan C, H dan O juga terdapat kandungan lain yaitu belerang (S), nitrogen (N), dan kandungan mineral lainnya seperti silica, aluminium, besi, kalsium dan magnesium yang pada saat pembakaran batubara akan tertinggal sebagai abu. Karena batubara merupakan bahan galian fosil padat yang sangat heterogen, maka batubara mempunyai sifat yang berbeda-beda apabila diperoleh dari lapisan yang berbeda-beda. Bahkan untuk satu lapisan dapat menunjukkan sifat yang berbeda pada lokasi yang berbeda pula. Dengan melimpahnya cadangan dari batubara khususnya di daerah Kalimantan, menjadikan opsi yang baik jika digunakan sebagai bahan bakar langsung, meskipun memiliki peringkat yang rendah dengan ditandai dengan adanya kandungan air yang tinggi. Namun dengan penanganan khusus seperti dilakukan pengeringan (dijemur) akan membantu dalam penyalan awal batubara dan selanjutnya dalam proses pembakaran. Batubara merupakan salah satu jenis bahan bakar untuk pembangkit energi, disamping gas alam dan minyak bumi.

2.1.1 Klasifikasi Batubara

Batubara diklasifikasikan menurut sifat pembakarannya, menjadi antrasit, bitumen, subbitumin, dan lignit. Setiap jenis mempunyai subbagian lagi. Antrasit merupakan bahan bakar rumah tangga yang sangat berguna, karena pembakarannya besar, tetapi cadangannya sudah mulai habis. Batubara bitumen terutama digunakan dalam pembakaran yang menghasilkan energi atau karbonisasi untuk pembuatan kokas, ter, bahan kimia batubara, dan gas pabrik kokas (Austin, 1996).

Adapun jenis-jenis batubara adalah :

a) Lignit

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.

b) Sub-Bituminus

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.

c) Bituminus

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.

d) Antrasit

Golongan ini berwarna hitam, keras, mengkilap, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. 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.

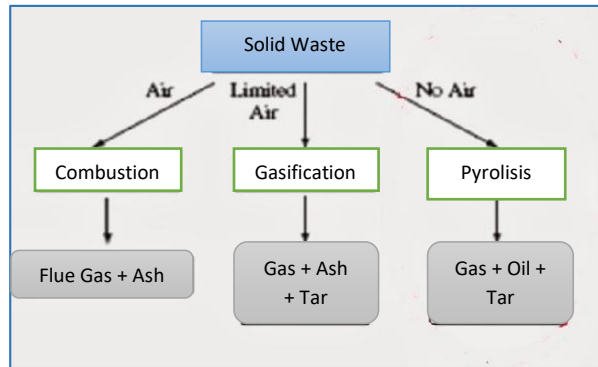
	<----- Low Rank ----->		<----- High Rank ----->	
Rank:	Lignite	Subbituminous	Bituminous	Anthracite
Age:	----- increases ----->			
% Carbon:	65-72	72-76	76-90	90-95
% Hydrogen:	~5	----- decreases ----->		~2
% Nitrogen:	<----- ~1-2 ----->			
% Oxygen:	~30	----- decreases ----->		~1
% Sulfur:	~0	----- increases ----->	~4	----- decreases -----> ~0
%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)

2.2 Gasifikasi

2.2.1 Definisi Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan salah satu bentuk peningkatan pemanfaatan energi yang terkandung di dalam bahan biomassa melalui konversi dari bahan padat menjadi gas, material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna (Antonio et al, 2016). Proses ini berlangsung didalam suatu alat yang disebut reaktor/gasifier, bahan bakar biomassa dimasukkan kedalam reaktor untuk dibakar secara tidak sempurna. Dengan kata lain proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan bakar padat, dengan melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat (Rauch et al, 2014). Hasil pembakaran berupa uap air dan karbon dioksida direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, gas hasil proses gasifikasi ini disebut dengan gas produser. Umumnya kandungan dari gas produser yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan methan (CH₄), gas-gas ini dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak untuk berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin tenaga penggerak (diesel dan bensin), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, menggerakkan pompa, dan lainnya (Basu, 2010).



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

2.2.2 Jenis Gasifikasi Berdasarkan Arah Aliran Udara

Berdasarkan aliran udara yang di pasok ke dalam kolom bahan bakar, fixed bed gasifier dibagi menjadi tiga jenis, yaitu updraft gasifier, downdraft gasifier, dan crossdraft gasifier.

a. Updraft Gasifier

Pada gasifier jenis ini, udara masuk melalui bagian bawah gasifier melalui grate. Aliran udara ini berlawanan arah (counter current) dengan aliran bahan bakar yang masuk dari bagian atas gasifier (Sadaka, 2011). Gas produser yang dihasilkan keluar melalui bagian atas gasifier sedangkan abu diambil pada bagian bawah gasifier. Reaksi pembakaran pada gasifier ini terjadi di dekat grate kemudian diikuti reaksi reduksi (proses gasifikasi). Reaksi reduksi tersebut akan menghasilkan gas bertemperatur tinggi. Gas hasil reaksi (gas produser) tersebut bergerak ke bagian atas gasifier menembus unggun bahan bakar menuju daerah yang bertemperatur lebih rendah. Pada saat menembus unggun bahan bakar, gas produser akan kontak dengan bahan bakar yang turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dan bahan bakar. Panas sensible yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Proses pirolisis dan pengeringan tersebut terjadi pada bagian teratas gasifier. Updraft gasifier mencapai efisiensi tertinggi ketika gas panas yang dihasilkan meninggalkan gasifier pada temperatur rendah.

b. Downdraft Gasifier

Downdraft gasifier dirancang untuk membatasi kandungan minyak dan tar yang terbawa bersama gas produser. Pada downdraft gasifier, udara dimasukkan ke dalam aliran bahan bakar padat (packed bed) pada atau di atas zona oksidasi. Aliran udara ini searah (co-current) dengan aliran bahan bakar yang masuk ke dalam gasifier (Akhtor, 2014). Bahan bakar dimasukkan pada bagian atas gasifier. Bahan bakar tersebut akan mengalami proses pengeringan dan pirolisis akibat panas yang dihasilkan pada reaksi oksidasi. Pada tahap pirolisis bahan bakar, dihasilkan uap dan tar. Uap dan tar yang dihasilkan tersebut akan melalui unggun arang panas dan mengalami perengkahan menjadi gas yang lebih sederhana atau arang. Perengkahan ini menghasilkan pembakaran stabil yang menjaga temperatur. Jika temperatur naik (melebihi rentang temperatur tersebut) maka reaksi endotermik akan mendominasi dan mendinginkan gas, dan jika temperatur turun (kurang dari rentang temperatur tersebut) maka reaksi eksotermik akan mendominasi dan menjaga gas agar tetap panas. Tahap selanjutnya adalah reaksi reduksi. Reaksi reduksi terjadi pada zona dekat dengan grate. Pada tahap ini, gas produser dihasilkan. Gas produser yang dihasilkan akan tertarik keluar menuju bagian bawah gasifier.

c. Crossdraft Gasifier

Crossdraft gasifier merupakan jenis gasifier yang khusus dirancang untuk arang (charcoal). Gasifier ini tidak ideal, gasifier jenis ini memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah proses hanya ditujukan untuk arang 14 kualitas tinggi, temperatur gas keluaran gasifier tinggi, CO₂ yang tereduksi rendah, dan kecepatan gas tinggi (Akhtor, 2014). Hal ini disebabkan oleh design crossdraft gasifier yang penempatan penyimpanan abu, zona pembakaran dan pereduksiannya terpisah. Karakteristik design seperti ini menyebabkan jenis bahan bakar yang dapat digunakan terbatas hanya pada bahan bakar yang berkadar abu sedikit, seperti kayu, sekam padi, arang, dan batu karang. Waktu yang dibutuhkan untuk start up lebih singkat dari pada gasifier jenis downdraft dan updraft. Temperatur tinggi pada gasifier ini memiliki efek yang nyata terhadap komposisi gas. Gasifier jenis ini akan beroperasi dengan baik pada aliran udara dan bahan bakar yang kering. Gasifier ini cocok untuk dioperasikan pada skala kecil.

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. Pengeringan (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 ketingkat 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. Gasifikasi (Reduksi)

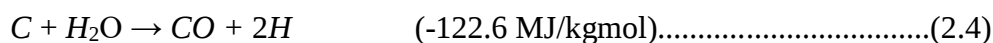
Ini adalah zona utama dimana kita mendapatkan *syngas*. Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Diantaranya adalah *Bourdouard reaction*, *steam-carbon reaction*, *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



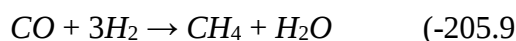
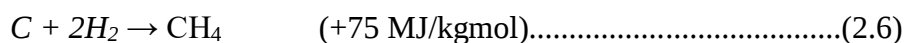
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction



Methanation



MJ/kgmol).....(2.7)

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:



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 kandungan H_2 , CO , dan O_2 pada syngas juga akan tinggi. 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 $2-6 \text{ g/m}^3$.

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. Apabila hasil gas yang mengandung tar relative 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^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. *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. *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.

2.5 *Ukuran Batubara*

Ukuran batubara sangatlah berperan penting pada proses pembakaran di gasifikasi, sebab dengan adanya variasi ukuran partikel batubara dapat mempengaruhi *moisture content* pada batubara saat proses peembakaran, 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.