

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Batubara**

Batubara secara umum adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa – sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur –unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara berwarna coklat hingga hitam terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan purba, pengendapannya mengalami 2 proses yaitu proses kimia dan fisikan.

Batubara adalah batuan sedimen organik yang mengandung berbagai jumlah karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur serta sejumlah elemen jejak lainnya, termasuk bahan mineral (van Krevelen, 1993). Material organik dalam batubara mengandung unsur-unsur seperti: karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), sulfur (S) dan nitrogen (N) dalam bentuk ikatan kimia (Haenel, 1992).

Batubara merupakan endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan dan dapat terbakar. Selain terbentuk dari senyawa-senyawa organik, juga disertai senyawa anorganik yang terutama unsur mineral yang berasal dari lempung, pasir kuarsa, batu kapur dan sebagainya. Berdasarkan cara penggunaannya sebagai penghasil energi, batubara dibedakan menjadi 2 yaitu sebagai pengasil energi primer, yang dimana langsung dipergunakan untuk industri, misalnya sebagai bahan bakar burner (pembakar) dalam industri semen, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), bahan bakar pembuatan kapur tohor, bahan bakar pembuatan genteng, bahan bakar lokomotif, produksi proses metalurgi, kokas konvensional, bahan bakar tidak berasap. Dan batubara sebagai penghasil energi sekunder, yaitu tidak langsung dipergunakan untuk industri, misalnya sebagai bahan bakar padat (briket), bahan bakar cair (konversi menjadi bahan bakar cair) dan bahan bakar gas (konversi menjadi bahan bakar gas).

Batubara adalah batuan sedimen organik yang mengandung berbagai jumlah karbon, hidrogen, oksigen dan sulfur serta sejumlah elemen jejak lainnya, termasuk bahan bakar mineral (Van Krevelen, 1993).

Setiap jenis batubara dipastikan memiliki kualitas dan karakteristik yang berbeda. Kualitas dan karakteristik batubara ditentukan berdasarkan komposisi dan nilai kalori yang terkandung. Nilai kalori inilah yang berperan sebagai energi panas saat batubara digunakan. Jenis batubara yang didasari nilai kalorinya akan menunjukkan bagaimana kualitas batubara tersebut. Kualitas dan karakteristik batubara disebabkan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan yang disebut sebagai 'maturitas organik'.

Secara umum batubara digolongkan menjadi 5 tingkatan (dari tingkat paling rendah sampai tingkatan paling tinggi) yaitu :

1. Gambut (*Peat*) golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Hal ini karena gambut merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat asal dari bahan dasarnya (tumbuh – tumbuhan) gambut berpori dan memiliki kadar air diatas 75% serta nilai kalorinya paling rendah.
2. Batubara kalori rendah (lignit), adalah jenis batubara yang paling rendah peringkatnya, warna hitam kecoklatan, bersifat lunak – keras, mudah diremas, mengandung kadar air tinggi (10-70%), dan kandungan abu tinggi, memperlihatkan struktur kayu, nilai kalorinya < 5.100 kal/gr (adb)
3. Batubara kalori sedang (sub-bituminus), adalah jenis batubara yang peringkatnya lebih tinggi, berwarna hitam gelap, bersifat lebih keras, tidak bisa diremas, kadar air mencapai (40%), umumnya struktur kayu masih tampak, nilai kalorinya 5.100-6.100kal/gr (adb)
4. Batubara kalori tinggi (bituminus), adalah jenis batubara yang peringkatnya lebih tinggi, berwarna hitam mengkilat, kurang kompak bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kadar air relatif lebih rendah (5%-10%), kandungan karbon tinggi 68% -86%, kandungan sulfur sedikit dan tidak higroskopis. umumnya struktur kayu tidak tampak, nilai kalorinya 6.100-7.100 kal/gr (adb)
5. Batubara kalori sangat tinggi (antarasit), adalah jenis batubara dengan peringkat paling tinggi, berwarna hitam berkilau (luter) metalik, sangat mengkilat, kompak, kandungan karbon sangat tinggi 86% - 96%, kandungan abu sangat sedikit, kandungan sulfur sangat sedikit, *volatile*

*matter* rendah, tidak higroskopis, umumnya dipengaruhi intrusi ataupun struktur lainnya, kadar air sangat rendah  $< 8\%$ , bila dibakar hampir seluruhnya habis terbakar tanpa timbul nyala api dan nilai kalorinya  $>7.100$  kal/gr (adb)

### 2.1.1 Batubara Lignit

Batubara lignit merupakan jenis batubara yang secara geologis tergolong jenis batubara yang paling muda yang mengandung karbon sebanyak 25-35%, pada umumnya warna batubara lignit mulai dari coklat hingga hitam kecokelatan. Batubara lignit sebagian besar terdiri dari material kayu kering yang terkena tekanan tinggi. Batubara lignit bersifat rapuh serta memiliki kandungan air yang sangat tinggi sehingga perlu dikeringkan terlebih dahulu sebelum dibakar. Sebagian besar batubara lignit digunakan untuk pembangkit listrik.

Batubara lignit merupakan batubara peralihan dari *peat* (gambut) ke sub-bituminus. Warnanya coklat seperti kayu atau tanah, dan rapuh. Kandungan air umumnya tinggi bervariasi dari 30–50%. Nilai kalornya tergolong rendah. Lignit lebih mudah melepaskan kandungannya dan *volatile* melalui proses pemanasan dibandingkan dengan batubara kelas yang lain. Lignit lebih cocok untuk bahan baku pembuatan gas melalui proses gasifikasi. Batubara lignit lebih cocok untuk bahan baku pembuatan gas melalui proses gasifikasi. (Riza Abrar, dkk, 2017). Batubara yang cocok untuk gasifikasi harus memenuhi persyaratan antara lain kondisi geologis, ketebalan, kedalaman, kadar air total dan kadar abu. Berdasarkan persyaratan ini tidak semua batubara bisa dimanfaatkan untuk gasifikasi. Berdasarkan hasil permodelan, ditemukan lapisan batubara D dengan kriteria kedalaman 200-300 meter, ketebalan  $> 5$  m, kadar total air lembab + kadar abu  $< 60\%$ , nilai kalor 4.912-6275 kkal/kg, reflektansi vitrinit 0,23-0,44 (lignit-subbitunus).

Untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisis kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis *proximate* dan *ultimate*. Analisis *proximate* dilakukan untuk menentukan jumlah air/*moisture*, zat terbang/*volatile matter* dan karbon padat/*fixed carbon* dan *ash*. Sementara analisis *ultimate* seperti

karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur. Analisa komponen batubara peringkat rendah dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

**Tabel 2.1** Komposisi Batubara Berdasarkan Peringkatnya

Komponen	Antrasit	Bituminus	Sub-Bituminus	Lignit
<i>Moisture (%)</i>	3 – 6	2 – 15	10 – 25	25 – 45
<i>Volatile Matter (%)</i>	2 – 12	15 – 45	28 – 45	24 – 32
<i>Fixed Carbon (%)</i>	75 – 85	50 – 70	30 – 57	25 – 30
<i>Ash (%)</i>	4 – 15	4 – 15	3 – 10	3 – 15
<i>Sulfur (%)</i>	0,5 – 2,5	0,5 – 6	0,3 – 1,5	0,3 – 2,5
<i>Hidrogen (%)</i>	1,5 – 3,5	4,5 – 6	5,5 – 6,5	6 – 7,5
<i>Karbon (%)</i>	75 – 85	65 – 80	55 – 70	35 – 45
<i>Nitrogen (%)</i>	0,5 – 1	0,5 – 2,5	0,8 – 1,5	0,6 – 1,0
<i>Oksigen (%)</i>	5,5 – 9	4,5 – 10	15 – 30	38 – 48
<i>Heating Value (Btu/lb)</i>	12000 – 13500	12000 – 14500	7500 – 10000	6000 – 7500
<i>Densitas (gr/ml)</i>	1,35 – 1,7	1,28 – 1,35	1,35 – 1,4	1,4 – 1,45

(Sumber : *Handbook of Coal Analysis, 2005*)

**Tabel 2.2** ASTM Specifications For Solid Fuels

Kelas	Grup		<i>Fixed Carbon</i>	<i>Volatile Matter</i>	<i>Heating Value</i>
	Nama	Simbol	<i>Dry (%)</i>	<i>Dry (%)</i>	<i>Dry (Kcal/kg)</i>
Antrasit	<i>Meta-anthrasite</i>	Ma	>98	>2	7740
	<i>Anthrasite</i>	An	92 – 98	2 – 8	8000
	<i>Semi-anthrasite</i>	Sa	86 – 92	8 – 15	8300
	<i>Low-volatile</i>	Lvb	78 – 86	14 – 22	8741
	<i>Medium-volatile</i>	Mvb	89 – 78	22 – 31	8640
Bituminus	<i>High-volatile A</i>	HvAb	<69	>31	8160
	<i>High-volatile B</i>	HvBb	57	57	6750 – 8160
	<i>High-volatile C</i>	HvCb	54	54	7410 – 8375
	<i>Sub-bituminous A</i>	SubA	55	55	6880 – 7540
Sub-Bituminus	<i>Sub-bituminous B</i>	SubB	56	56	6540 – 7230
	<i>Sub-bituminous C</i>	SubC	53	53	5990 – 6860
Lignit	<i>Lignite A</i>	LigA	52	52	4830 – 6360
	<i>Lignite B</i>	LigB	52	52	<5250

(Sumber : Krik-Othmer, Volume 6)

## 2.2 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat (batubara) menjadi gas mampu bakar ( $H_2$ ,  $CO$ , dan  $CH_4$ ) yang biasa disebut *syngas* (gas hasil sintesa) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas 20%-40% udara *stoikiometri*. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu tungku reaktor yang biasa dikenal sebagai *gasifier*. (Rajvansi, 1986) Gas hasil proses gasifikasi juga disebut gas mampu bakar, *syngas* atau *producer gas*.

Didalam tungku terjadi proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya proses gasifikasi akan menghasilkan gas mampu bakar dan produk sampingan berupa tar dan *char*. Pada gasifikasi akan dihasilkan *synthetic gas* (*syngas*) dengan komposisi, rasio dan karakteristik gas yang berbeda-beda tergantung pada bahan baku, proses, dan jenis *gasifier* yang digunakan. ( Abdul Ghofar, dkk 2017).

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, Muhammad 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 ( $H_2$ ) dan metan ( $CH_4$ ) yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit

listrik maupun kompor.

Menurut penelitian (Wahyu, Erwin dan Slamet Wiyono, 2022) menyatakan bahwa keuntungan dari gasifikasi adalah penerapannya dapat dilakukan untuk berbagai macam bahan baku. Hampir semua zat karbon dapat digasifikasi : bahan bakar fosil seperti batubara, minyak, atau gas alam, biomassa (yaitu setiap jenis limbah pertanian atau berbagai tanaman) aspal, atau bahkan limbah, plastik, dan sampah kota. Gasifikasi dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai produk , termasuk listrik, gas alam, bahan bakar cair (seperti bensin, solar, dan bahan bakar jet), hidrogen, dan berbagai bahan kimia.

Prinsip gasifikasi dengan cara melakukan pembakaran secara tidak sempurna didalam sebuah ruangan yang mampu menahan temperatur tinggi yang disebut *gasifier*. Agar pembakaran tidak sempurna dapat terjadi, maka udara dengan jumlah yang sedikit dari kebutuhan stokiometrik pembakaran dialirkan ke dalam reaktor untuk mensuplai kebutuhan oksigen menggunakan *fan/blower*. Proses pembakaran yang terjadi menyebabkan reaksi termo-kimia yang menghasilkan CO, H<sub>2</sub>, dan gas metana (CH<sub>4</sub>).

### 2.2.1 Tipe *Gasifier*

Teknologi gasifikasi yang terus berkembang mengarahkan klasifikasi teknologi sesuai dengan sistem yang berlangsung dalam menciptakan proses gasifikasi. Adapun jenis alat gasifikasi tersebut adalah:

#### a. *Updraft Gasifier*

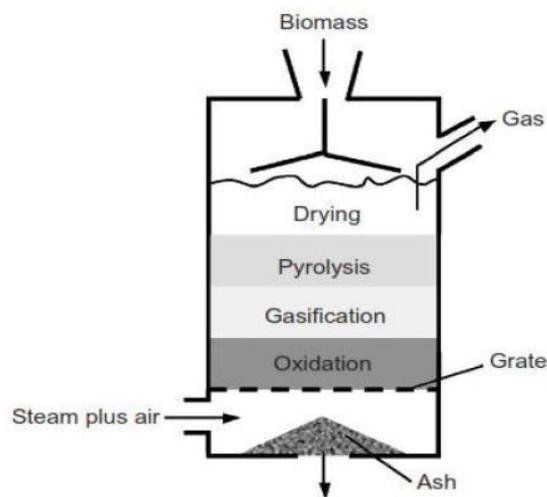
Gasifikasi tipe *updraft* umumnya memiliki ciri khas yaitu pada arah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor sedangkan aliran gas hasil gasifikasi keluar dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan aliran gas hasil gasifikasi memiliki prinsip yang berlawanan (*Counter Current*).

Produksi gas dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu. Didalam reaktor, terjadi zonafikasi *area pembakaran* berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi. Zona pembakaran terjadi di dekat *grate* yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan

menghasilkan gas dengan temperatur yang tinggi.

Gas hasil reaksi tersebut akan bergerak menuju bagian atas dari reaktor yang memiliki temperatur lebih rendah dan gas tersebut akan kontak dengan bahan bakar yang bergerak turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dengan temperatur tinggi terhadap bahan bakar yang memiliki

temperatur lebih rendah. Panas sensibel yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut, yaitu proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi. Gasifikasi *Updraft* dapat dilihat pada **gambar 2.1**



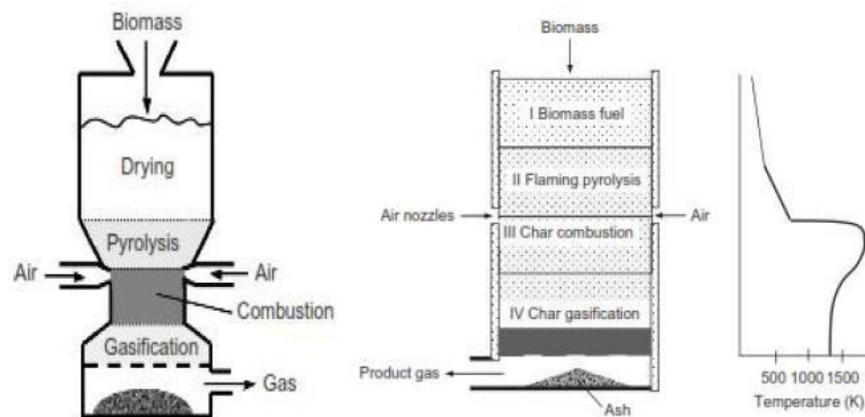
**Gambar 2.1** Skema *Updraft Gasifier*

(Sumber : Trifiananto, Muhammad. 2015)

#### b. *Downdraft Gasifier*

Ciri khas yang dimiliki oleh gasifikasi ini yaitu arah aliran udara akan masuk melalui bagian atas tungku. Pada gasifikasi tipe ini gas Nitrogen masuk melalui bagian atas *gasifier* untuk mendorong oksigen keluar tungku sehingga tidak akan terjadi proses pembakaran. Sementara produksi gas mampu bakar akan keluar melalui bagian bawah tungku. Gasifikasi *downdraft* merupakan jenis *gasifier* yang memiliki arah aliran searah (*Co-current*). Pada tipe ini bahan bakar dan udara masuk dari bagian atas *gasifier* melalui laluan *hopper* dan mengalir turun ke *grate* yang merupakan tempat abu

Gasifikasi tipe *Downdraft* dapat digunakan untuk *feedstock* berkadar air 25% dan temperatur tertingginya terjadi dibawah zona pembakaran. Pada *gasifier* tipe *downdraft* terdapat empat zona diurut dari bagian atas *gasifier* hingga bawah yaitu pengeringan, pyrolisis, oksidasi, dan reduksi. Gambaran tahap-tahap yang terjadi pada *downdraft gasifier* dapat dilihat pada **gambar 2.2**

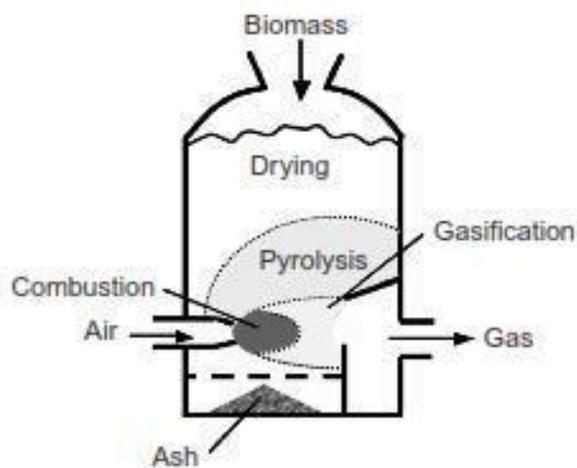


**Gambar 2.2** Skema *Downdraft* dan Distribusi Suhu Pada *Gasifeir*

(Sumber : Trifiananto, Muhammad. 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. Gasifikasi *crossdraft* dapat dilihat pada **gambar 2.3**



**Gambar 2.3** Skema *Crossdraft Gasifier*

(Sumber : Trifiananto, Muhammad. 2015)

**Tabel 2.3** Kelebihan dan Kekurangan Berbagai Tipe *Gasifier*

Tipe <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
1. <i>Updraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mekanismenya sederhana</li> <li>- Hilang tekan rendah</li> <li>- Efisiensi panas baik</li> <li>- Arang habis terbakar</li> <li>- Tidak terlalu sensitif terhadap tar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensitif terhadap tar dan uap bahan bakar</li> <li>- Memerlukan waktu start-up yang cukup lama untuk mesin internal <i>combustion</i></li> <li>- Desain <i>gasifier</i> tinggi</li> </ul>
2. <i>Downdraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dapat mudah beradaptasi dengan jumlah umpan biomassa</li> <li>- Desain <i>gasifier</i> pendek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak cocok untuk bahan bakar biomassa yang berukuran kecil</li> <li>- Sangat sensitif terhadap pembentukan terak</li> <li>- Hilang tekan tinggi</li> </ul>
3. <i>Crossdraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sangat responsif ketika diisi umpan biomasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proses hanya ditujukan untuk arang kualitas tinggi</li> <li>- Temperatur gas keluaran tinggi</li> </ul>

(Sumber : Rinovianto, 2012)

### 2.2.2 Tahapan Proses Gasifikasi

Gasifikasi umumnya terdiri dari empat proses, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pada *gasifier* jenis unggun terfluidakan, kontak yang terjadi saat pencampuran antara gas dan padatan sangat kuat sehingga perbedaan zona pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi tidak dapat dibedakan. Salah satu cara untuk mengetahui proses yang berlangsung pada *gasifier* jenis ini adalah dengan mengetahui rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

- a. Pengeringan :  $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b. Pirolisis/Devolatilisasi :  $150\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c. Oksidasi :  $700\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d. Reduksi :  $800\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$

Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik). Pada pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. Pada pirolisis, pemisahan *volatile matter*

(uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang atau padatan karbon bahan bakar juga menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi.

Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik.

a. *Drying* (Pengeringan)

Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu di bawah 150°C. Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada *burner* dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil. Pada reaksi ini, bahan bakar yang mengandung air akan dihilangkan dengan cara diuapkan dan dibutuhkan *energy* sekitar 2.260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi.

Menurut Kurniawan (2012), penelitian yang telah dilakukannya menunjukkan bahwa pengeringan manual oleh sinar matahari berperan penting dalam mempercepat proses pengeringan didalam reaktor oleh panas reaksi pembakaran (oksidasi). Penjemuran dengan sinar matahari pada suhu diatas 32°C selama dua jam dapat mempercepat waktu pengeringan di dalam reaktor hingga 30% atau kurang dari 25 menit. Jika dibandingkan dengan penjemuran pada suhu 30°C yang mencapai 25-40 menit untuk proses pengeringan saja. Reaksi yang terjadi proses pengeringan adalah :



b. Pirolisis / Devolatilisasi

Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada  $T < 350^\circ\text{C}$  dan terjadi secara cepat pada  $T > 700^\circ\text{C}$ . Ketika suhu pada zona pirolisis rendah maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon dan tar). Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung.

Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*).

Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $CH_4$ ), tar, dan arang. Reaksi yang terjadi pada proses pengarangan adalah sebagai berikut :

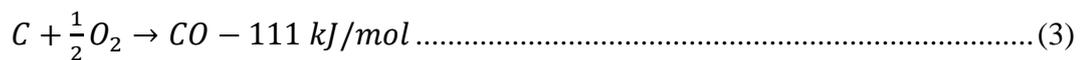


c. Oksidasi (Pembakaran)

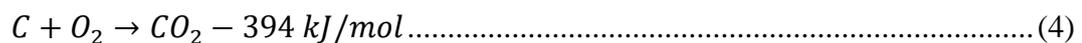
Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi di dalam *gasifier*. Proses ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam *gasifier* bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah  $CO_2$  dan  $H_2O$  yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis.

Pada proses gasifikasi terjadi reaksi-reaksi kimia sebagai berikut:

Proses Oksidasi Partial



Proses Oksidasi Total



*Boudouard Reaction*



*Water Gas Reaction*



*Water Gas Shift Reaction*



*Methane Reaction*



*Steam Reforming*



*Dry Reforming*



(Arya, 2018).

d. Reduksi

Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Reduksi terjadi pada suhu  $< 800^\circ C$  dan menghasilkan gas mampu bakar (*syngas*) berupa  $H_2$ ,  $CO$ , dan  $CH_4$ .

Reaksi berikut inimerupakan empat reaksi yang umum terlibat pada gasifikasi:

- *Boudouard Reaction*



Reaksi antara karbondioksida yang terdapat pada gasifier dengan karbon untuk menghasilkan karbonmonoksida.

- *Water gas Reaction*



Reaksi oksidasi parsial karbon oleh yang dapat berasal dari bahan bakar padat (hasil pirolisis) maupun dari uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air.

- *Methanation Reaction*



Reaksi pembentukan gas metan.

- *CO Shift Reaction*



### 2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Menurut (Heiskanen, 2011) proses gasifikasi dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, ukuran partikel, medium penggasifikasi, suhu dan tekanan proses. Menurut (Rismawan, dkk 2013) terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi diantaranya adalah:

- a. Kandungan energi bahan bakar yang digunakan

Bahan bakar dengan kandungan energi yang tinggi akan memberikan pembakaran gas yang lebih baik.

- b. Kandungan air dari bahan bakar yang digunakan

Bahan bakar dengan tingkat kelembaban yang lebih rendah akan lebih mudah digasifikasikan daripada bahan bakar dengan tingkat kelembaban yang tinggi.

- c. Bentuk dan ukuran bahan bakar

Ukuran bahan bakar yang lebih kecil memerlukan *fan / blower* dengan tekanan yang lebih tinggi.

d. Distribusi ukuran bahan bakar

Distribusi ukuran bahan bakar yang tidak seragam akan menyebabkan bahan bakar yang digunakan lebih sulit terkarbonisasi, dan mempengaruhi proses gasifikasi

e. Temperatur reaktor gasifikasi

Temperatur reaktor ketika proses gasifikasi berlangsung sangat mempengaruhi produksi gas yang dihasilkan. Untuk itu reaktor gasifikasi perlu diberi insulasi untuk mempertahankan temperatur di dalam reaktor.

#### 2.2.4. Manfaat Gasifikasi Batubara

Berdasarkan penelitian (Afin Pratama Anugrah dan Berkah Fajar Tamtomo Kiono 2021) menyatakan bahwa gasifikasi batubara bisa dimanfaatkan sebagai berikut:

a. Gasifikasi batubara untuk ketenagalistrikan

b. Gasifikasi batubara untuk industri kimia

H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang diperoleh dari hasil gasifikasi dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti pembuatan amonia sebagai bahan baku urea.

c. Gasifikasi batubara untuk pemanfaatan thermal

Teknologi gasifikasi dimanfaatkan oleh sejumlah industri *stell furnace* dan keramik di Indonesia. Contohnya industri keramik sango di Semarang memiliki 3 unit reaktor gasifikasi batubara untuk memenuhi kebutuhan gas pada proses pembakaran keramik.

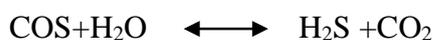
d. Gasifikasi batubara untuk bahan bakar cair

Proses sintesis *Fischer-Tropsch* digunakan untuk mengubah *syngas* batubara menjadi *liquid* dengan bantuan katalis. Produk yang dihasilkan antara lain adalah *methanol*, bensin, *naphtha* dan diesel. *Methanol* sendiri kemudian dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan DME (*Dimethyl Ether*). Bahan bakar transportasi (bensin/diesel, solar dan bahan bakar jet) saat ini berasal dari minyak mentah, yang memiliki kandungan hidrogen sekitar dua kali lipat dari batubara.

### 2.3 Gas Sintetik (*Syngas*)

*Syngas* adalah gas sintetik atau pengganti gas alam yang merupakan bahan baku penting bagi bidang kimia serta dibidang energi. *Syngas* sendiri campuran dari gas hidrogen, dan karbon monoksida serta yang paling utamanya terbuat dari gas metana. Dihasilkan dari berbagai hidrokarbon termasuk batubara, minyak bumi dan biomassa.

*Syngas* dari *gasifier* masih mengandung berbagai senyawa pengotor, seperti H<sub>2</sub>S, COS, dan CO<sub>2</sub>. 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 H<sub>2</sub>S sering dilakukan untuk pemurnian sulfur yang terkandung dalam COS. Tujuan pengonversian COS menjadi H<sub>2</sub>S disebabkan adsorben yang digunakan untuk proses desulfurisasi lebih selektif terhadap H<sub>2</sub>S dari pada 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 2.4** Target Kualitas Produk *Syngas* Berdasarkan Komponen Penyusun

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

(Sumber: Iswanto, Toto, dkk, 2017)

**Tabel 2.5** Gas Hasil dari Gasifikasi Batubara

<b>Produk</b>	<b>Karakteristik</b>
<i>Low-Btu gas</i> (150-300 Btu/Scf)	Sekitar 50% N <sub>2</sub> , dengan jumlah kecil H <sub>2</sub> dan CO yang mudah terbakar, CO <sub>2</sub> dan gas lain seperti metana
<i>Medium-Btu gas</i> (300-550 Btu/Scf)	Terutama CO dan H <sub>2</sub> , 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 Winarto, Agus, dkk. 2016)

Menurut penelitian (Iswanto Toto, dkk. 2015) menyatakan bahwa *syngas* merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas carbon monoksida (CO) dan Hidrogen (H<sub>2</sub>) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metane, amonia dan urea. Produksi *syngas* melalui gasifikasi batubara kualitas rendah yang jumlahnya diindonesia mencapai 70%, akan mampu menaikkan harga jual batubara tersebut.

*Syngas* dari gasifikasi batubara memiliki prospek yang bagus karena tiga hal, yang pertama, produk *syngas* sangat komersial, banyak digunakan oleh industri-industri, baik untuk bahan kimia, energi, dan bahan bakar transportasi. Yang kedua, *syngas* lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan gas alam maupun minyak bumi dengan rendahnya emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Yang ketiga, melimpahnya sumber daya batu bara di Indonesia. Selain cadangannya yang cukup besar, gasifikasi batubara juga dapat memanfaatkan batubara muda yang jumlahnya di Indonesia mencapai 70% (*Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia, 2021*). Gas mampu bakar terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> dan sisanya N<sub>2</sub> dengan panas pembakaran (*heating value*) gas ini sekitar 4500 Kj/Nm<sup>3</sup> dan setara dengan 1/6 dari panas pembakaran gas alam

Menurut penelitian (Afin Pratama Anugrah dan Berkah Fajar Tamtomo Kiono 2021) umumnya, penelitian terdahulu berfokus pada pemanfaatan *syngas* untuk bahan bakar transfortasi, bahan baku amonia pada industri pupuk serta pemanfaatan *syngas* batubara sebagai umpan bahan bakar *fuel cell*.

*Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri daya. *Syngas* memiliki kepadatan energi gas alam. Proses utama

pembentukan *syngas* bersifat endotermik dengan nilai  $\Delta H^0 = 206 \text{ KJ/mol}$  sedangkan *syngas* yang tidak di metanisasi biasanya memiliki kapasitas kalor 120 BTU/scf. *syngas* terdiri dari sekitar 40% gas yang mudah terbakar, terutama karbon monoksida (CO), Hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>). Sisanya adalah gas yang tidak mudah terbakar dan terutama terdiri dari nitrogen (N<sub>2</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Beragam proporsi dari *syngas* terdiri antara lain : CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>

#### **2.4 Pengaruh Ukuran Bahan Bakar Batubara Terhadap Hasil *Syngas***

Ukuran bahan bakar (batubara) berpengaruh terhadap proses pembakaran gasifikasi, sebab dengan adanya variasi ukuran bahan bakar 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 pada kenaikan temperatur saat proses pembakaran digasifikasi serta mempengaruhi kandungan pada *syngas* hasil proses gasifikasi.

Semakin besar ukuran bahan bakar maka suhu ruang *gasifier* juga akan cepat meningkat pada saat proses pembakaran, ukuran bahan bakar 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 bahan bakar yang lebih kecil akan menghasilkan LHV gas yang lebih tinggi karena batubara dapat terkonversi optimal menjadi *flammable gas* CO, CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>.

Menurut penelitian (Heiskanen, 2011 dalam Winarno, Agus, dkk. 2016) menyatakan bahwa proses gasifikasi dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, ukuran partikel, medium pengasifikan, suhu dan tekanan proses. Dan Menurut penelitian (Nugroho, A. S., & Sutjahjo, D. H. 2019) 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.

### **2.5 Gas Heating Value**

Kandungan energi mengacu pada nilai kalor dan itu mempengaruhi output energi gasifier. Dalam penelitian ini LHV digunakan dalam analisis dan dihitung dari persamaan (15) (Lubmawa, 2010).

$$\text{LHV}_{\text{gas}} = 10,768 [\text{H}_2] + 12,696 [\text{CO}] + 35,866 [\text{CH}_4] + 83.800 [\text{C}_n\text{H}_m] \dots\dots\dots(15)$$

