

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara adalah sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut yang bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut sampai ke kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan menjadi gambut dan kemudian batu bara. Pembentukan batubara dimulai sejak *carboniferous period* (periode pembentukan karbon atau batu bara) yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu.

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 batu bara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai ‘maturitas organik’. Batubara dibedakan menjadi berbagai jenis tergantung kepada suhu dan tekanan seperti yang telah disebutkan di atas. Jenis jenis batubara adalah :

1. Klasifikasi Menurut ASTM

Menurut *American Society for Testing Material* (ASTM), secara umum batubara digolongkan menjadi 4 berdasarkan kandungan unsur C dan H₂O yaitu antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan peat (gambut).

a. Gambut (*peat*)

Golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Gambut merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).

b. *Lignite*

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

c. *Sub-Bituminous* (Bitumen Menengah)

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan mengandung lilin. Endapan ini digunakan untuk pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak tinggi

d. Bituminus

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (*brittle*) dengan membentuk bongkahan prisma, berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini digunakan untuk kepentingan transportasi dan industri.

e. Anthracite

Golongan ini berwarna hitam, keras, mengkilap, dan pecahannya memperlihatkan pecahan *chocoidal*. Pada proses pembakaran berwarna biru dengan derajat pemanasan tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi

2. Klasifikasi Internasional

Klasifikasi internasional dikaji dari kadar air, zat terbang dan nilai kalor yang terkandung. Dalam sistem ini batubara mempunyai zat terbang sampai 33% dibagi menjadi 2 kelas tergantung nilai kalor (Speight, J.G, 1994) :

a. *Hard Coal* : Batubara dengan nilai kalor > 10.260 Btu

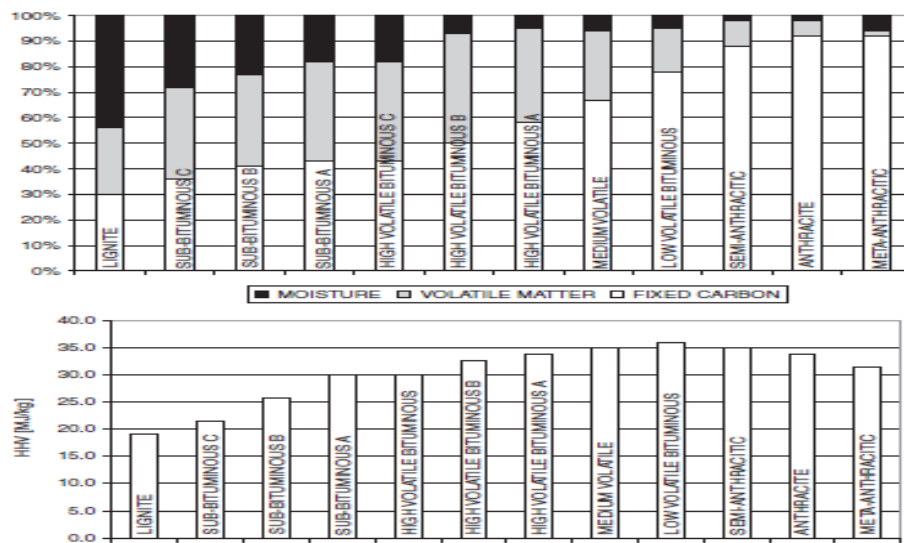
b. *Brown Coal* : Batubara dengan nilai kalor > 10.260 Btu

3. Klasifikasi *National Coal Board*

Klasifikasi ini berdasarkan kadar zat terbang yang dikalkulasikan dalam basis “*dry mineral matter free*” (*dmmf*) dan *Gray King* untuk batubara berkadar zat rendah di bawah 32%, sedangkan batubara berkadar zat terbang di atas 32% diklasifikasikan terutama didasarkan pada data *Gray King* (Speight, J.G, 1994).

2.1.1 Kandungan Batubara

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



Gambar 2.1 Nilai Analisa Proximat Jenis Batubara

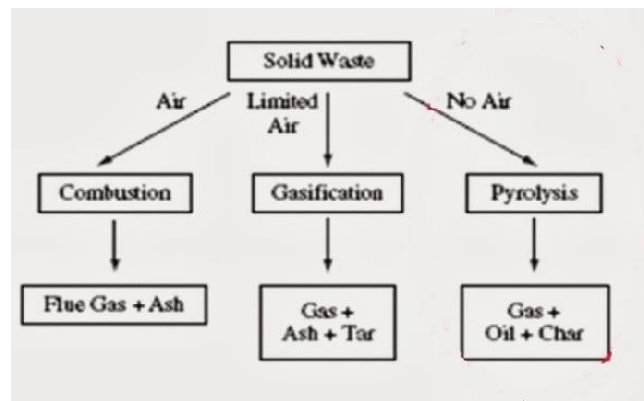
(Sumber : Boughman, 1987)

	<----- 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

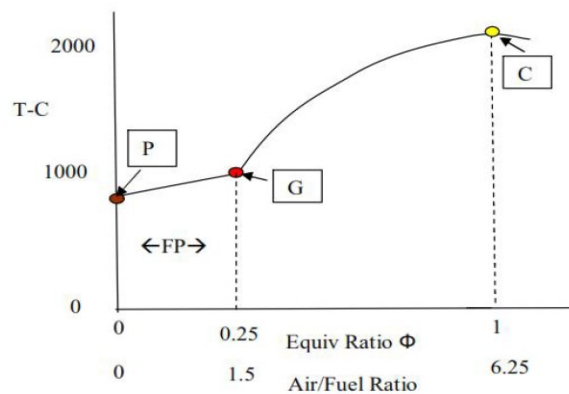
Gambar 2.2. Nilai Ultimate Jenis Batubara

(sumber : ASTM Standard D 388-99)

2.2 Gasifikasi



Gambar 2.3. Ilustrasi perbandingan *gasifikasi*, *combustion* dan *pyrolysis*
 (Sumber : <http://ife-project.blogspot.com/2011/10/why-use-pyrolysis-to-mswtreatment.html>, 2011)



Gambar 2.4 *Equivalence ratio* dan *air/fuel ratio* pada P=*pyrolysis*,
 G=*gasifikasi*, C=*combustion*
 (Sumber : Bhavanam,A. dan Sastry,R.C, 2011)

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 metana (CH₄) yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik maupun kompor

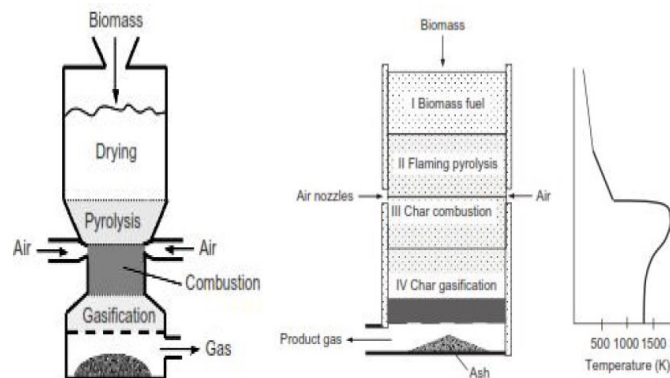
2.2.1 Tipe Gasifier

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

a. 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

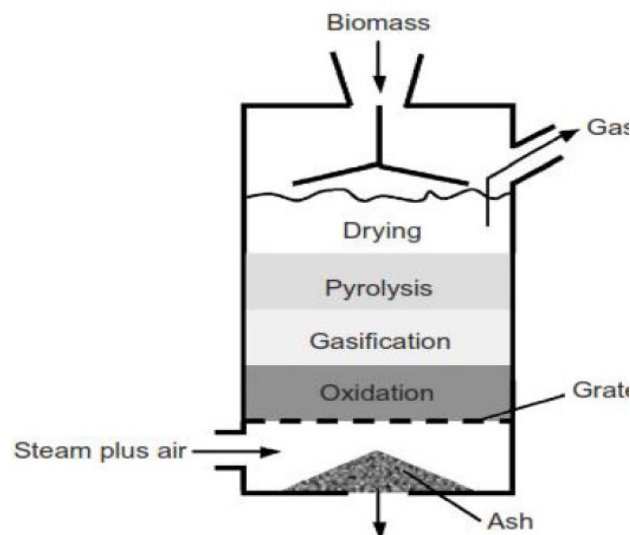


Gambar 2.5 Skema *Downdraft* Dan Distribusi Suhu Pada Gasifeir

(Sumber : Basu, P, 2013)

b. 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). Meskipun desain *gasifier* ini sederhana namun memiliki keunggulan yang ditunjukkan pada tabel 2.3.

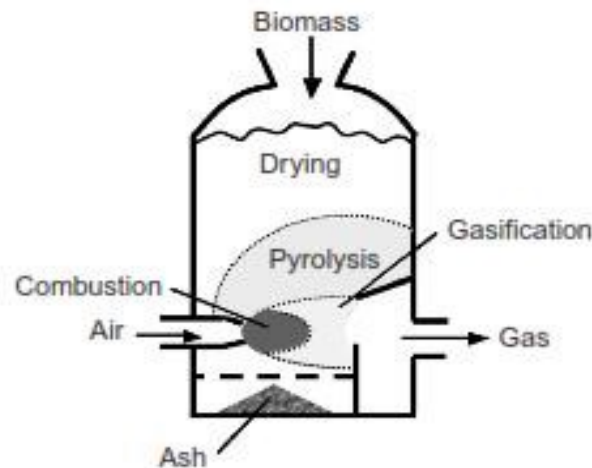


Gambar 2.6 Skema Updraft gasifier

(Sumber : Basu, P, 2013)

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 2.7 Skema corssdraft

(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. 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

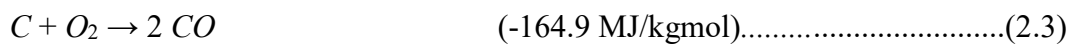
hidrokarbon kompleks batubara terurai menjadi molekul yang lebih simpel dan relatif lebih kecil seperti gas, cairan, dan *char*. Pirolisis berlangsung pada suhu yang lebih besar dari 250-500 °C.



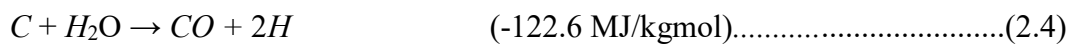
c. Gasification

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.

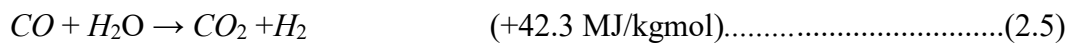
Bourdouard reaction



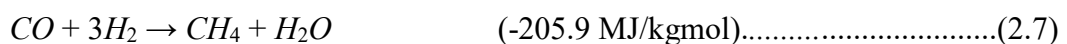
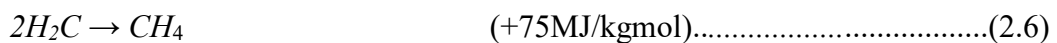
Steam-carbon reaction



Water-gas shift reaction

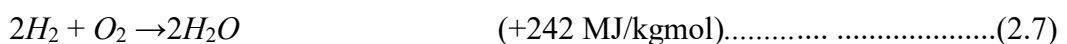
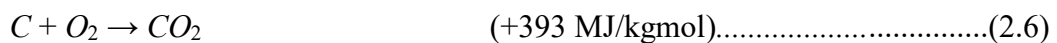


Methanation



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 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 2.4 merupakan komposisi tar untuk *gasifying agent* yang berbeda dan menunjukkan tar terbentuk ketika uap digunakan sebagai *gasifying agent*. Tabel ini juga menunjukkan agen gasifikasi dapat menambah atau mengurangi *heating value* syngas.

Tabel 2.1 karakteristik syngas berdasarkan gasifying agent

Gasification agent	T (°C)	Gas Composition (dry basis)		Yield		
		H ₂ (%)	CO(%)	Tar (g/Kg)	Gas (Nm ³ /kg)	LHV
Air	780 - 830	5,0 - 16,3	9,9 - 22,4	3,7 - 61,9	1,25 - 2,45	3,7 - 8,4
O ₂ +Steam	785 - 830	13,8 - 31,7	42,5 - 52,0	2,2 - 46	0,86 - 1,14	10,3 - 13,5
Steam	750 - 780	38 - 56	17 - 32	60 - 95	1,3 - 1,6	12,2 - 13,8

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

2.2.4 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 bermoisture 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 $2-6 \text{ g/m}^3$.

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/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 factor, antara lain kandungan karbon, Hidrogen, Oksigen, Sulfur, Volatile dan nilai kalor yang dimiliki batubara tersebut. Riza Abrar (2017) menyatakan bahwa gas H₂ 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 bituminus 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), Mediu-Btu gas (300-550 Btu/scf) dan High-Btu gas (980-1080 Btu/scf). Komposisi produk ditampilkan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Klasifikasi Produk Gasifikasi

Produk	komposisi
Low-Btu gas (150-300 Btu/scf),	50% \geq nitrogen dengan sedikit senyawa H ₂ dan CO, CO ₂ dan sedikit gas metana
Medium-Btu gas (300-550 Btu/scf)	Dominan CO dan H ₂ , dengan beberapa gas tak terbakar dan sedikit gas metana
High-Btu gas (980-1080 Btu/scf).	Hamper murni gas metana

(Sumber : Speight, 2013)

2.4 Karakteristik Nyala Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Berdasarkan buku *an introduction to combustion concept and application*, definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan

pada kecepatan subsonic. 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. Selama api menyala terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu:

2.4.1. *Premixed Flame*

Premixed flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum pemberian sumber api. Umumnya indikasi premixed flame dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan.

2.4.2 *Diffusion Flame (Non-premixed)*

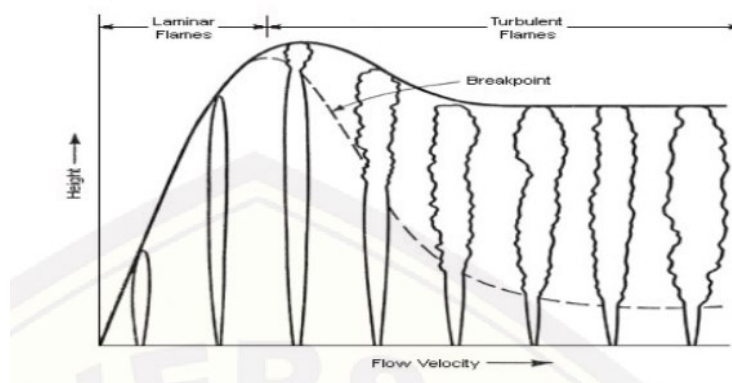
Diffusion Flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran kan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*). Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu :

1. Api Laminer

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

2. Api Turbulen

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang member indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pada pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang flammable maka kualitas api juga akan semakin tinggi. Turbulen aliran - aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (Transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih besar daripada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas).



Gambar 2.8 Arus laminar dan turbulen

(Sumber : Putri, 2009)

Aliran laminar adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi

aliran bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Bangkeju, 2012).

2.5 Syntetic Gas (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. Kata sintetik gas diartikan sebagai pengganti gas alam yang dalam hal ini terbuat dari gas metana. *Syngas* merupakan bahan baku yang penting untuk industri kimia dan industri pembangkit daya. Nilai *LHV* bahan bakar dan *LHV Syngas* dapat ditentukan dari komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume *Syngas*. Komposisi masing-masing bahan bakar dan *Syngas* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 2.3 Nilai Kalor Dari *Syngas*

Gases	H ₂	CO	CH ₄
HHV (MJ/Nm ³) ²	12,74	12,63	39,82
LHV (MJ/Nm ³) ²	10,78	12,63	35,88
Viscosity (Cp)	90	182	112
Thermal Conductivity (W/m.K)	0,1820	0,0251	0,0343
Specific Heat (KJ/Kg.K)	3,467	1,05	2,226

(Sumber : T. Waldheim, L. Nilsson, 2001)

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 CO₂ dan arang karbon yang terbentuk. Dengan semakin banyaknya CO₂ yang terbentuk dan H₂O yang teruapkan dari bahan bakar, maka akan semakin banyak gas CO dan H₂ yang terbentuk. Akibat dari banyaknya gas CO dan H₂ yang terbentuk maka akan semakin banyak karbon dan hidrogen yang bereaksi membentuk gas methane (CH₄).

2.7 Perhitungan Gasifikasi

Dalam meninjau jenis batubara terhadap hasil syngas, terdapat beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan untuk menentukan hasil syngas seperti nilai

Fuel Consumption rate (FCR), equivalent ratio (ER), udara bahan bakar stoikiometri untuk pembakaran sempurna dan jumlah udara yang dibutuhkan, hal ini bertujuan untuk mengetahui, Gas Heating Value, Power Input dan Power Output

2.7.1 Fuel Consumption Rate (FCR)

Jumlah dari sekam padi 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 Stoikiometri

Untuk menghitung AFR Stoikiometri dalam 1 kali operasi dengan nilai komposisi *ultimate* batubara dapat menggunakan persamaan berikut ini

$$AFRs = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H_2 + S - O_2 \right)$$

(sumber : Pramedian, 2013)

2.7.3 AFR aktual

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

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

(Sumber : Suhendi, 2016)

2.7.4 Equivalence Ratio (ER)

Pada proses pengoperasian alat gasifikasi, komposisi aliran udara sebagai komponen utama oksidasi harus diberikan dengan tepat. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan proses oksidasi yang baik dan efisien. Model dari Schalpfer dan Gumz seing menggunakan komposisi gas sebagai fungsi dari temperatur dan/ equivalence ratio (ER), dimana jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran.

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{\text{Air to Fuel Ratio}}{\text{Air to Fuel ratio (stoichiometri)}} = \frac{\frac{\text{Air}}{\text{Fuel}}}{\left(\frac{\text{Air}}{\text{Fuel}} \right)_s}$$

(Sumber : Zainal, 2016)

2.7.5 Jumlah Udara Yang Dibutuhkan Untuk Gasifikasi

Kebutuhan jumlah udara gasifikasi selalu lebih kecil dari pada kebutuhan jumlah udara stoikiometri (pembakaran sempurna). Jumlah udara gasifikasi sangat tergantung pada reaksi pembakaran masing-masing unsur yang terkandung dalam satuan massa bahan bakar dengan udara secara sempurna. Laju alir udara dibutuhkan untuk mengubah batubara menjadi gas. Kebutuhan udara dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\Rightarrow AFR = \varepsilon \times FCR \times AFRs$$

(Sumber : Tenaya, 2015)

Dengan :

- AFR = Laju alir udara
- ε = Equivalent ratio
- FCR = laju alir pembakaran batubara (kg/hr)
- AFRs = Stoikiometri udara batubara ($\text{kg}_{\text{udara}}/\text{Kg}_{\text{bahan bakar}}$)

2.7.6 Gas Heating Value

Kandungan energi mengacu pada nilai kalor dan itu mempengaruhi output energi gasifier. Ada dua cara untuk menghitung nilai panas gas:

- Lower Heating Value (LHV)
- Higher Heating Value (HHV)

Dalam penelitian ini LHV digunakan dalam analisis dan dihitung dari:

$$\text{LHV}_{\text{gas}} = 10,768 [\text{H}_2] + 12,696 [\text{CO}] + 35,866 [\text{CH}_4] + 83.800 [\text{C}_n\text{H}_m] \dots \text{Eqn. (13)}$$

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

Dalam hal ini untuk mendapatkan LHV didasarkan pada kondisi normal untuk masing-masing gas produser. Persen volumetrik dari hidrogen, karbon monoksida, metana dan setiap hidrokarbon lain yang diketahui dari hasil kromatografi gas.

2.7.7 Power Output

Jumlah energy yang dilepaskan selama pembakaran dalam reaktor.

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

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