

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Batubara**

Batubara termasuk bahan bakar fosil dan terbentuk dari batuan sedimen yang mudah terbakar dan sedimen organik, terutama sisa-sisa tumbuhan (gambut). Kualitas deposit batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan, dan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk terbentuk, yang dikenal sebagai "maturitas organik." Sifat-sifat batubara yang tidak seragam dan faktor-faktor yang menyebabkannya antara lain diagenesis dan dekomposisi awal asal batubara melalui karbonisasi (Smolinski dan Howaniec, 2016). Ketidakteragaman sifat batubara dikenali dari hubungan antara berbagai komponen seperti hubungan antara kandungan hidrogen dan karbon, kandungan karbon dan kandungan oksigen termasuk zat yang mudah menguap, dan nilai kalor. Hubungan ini berbeda dalam bentuk daerah yang disebut pita karbon (Nassar, N. N., Franco, C. A., Montoya, T., Cortés, F. B., & Hassan, A, 2015).

Klasifikasi batubara berdasarkan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) sebagai berikut :

1. Gambut (*Peat*)

Golongan ini sebenarnya bahan bakar, bukan batu bara. Gambut merupakan tahap awal dalam proses pembentukan batubara. Endapan ini masih menunjukkan sifat asli dari bahan awal (tanaman).

2. *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, karena panas yang dihasilkan sangat rendah.

3. *Sub-Bituminus*

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.

#### 4. *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.

#### 5. *Antrasit*

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.

### 2.1.1 Klasifikasi Batubara

Setiap batubara memiliki jenis komposisinya yang bervariasi. Gambar 2.1 menunjukkan analisis *proximate* dan *ultimate* dari berbagai jenis batubara. berupa *moisture*, *volatile matter* dan *fixed carbon* serta analisa *ultimate* bertujuan menyatakan komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Analisa komposisi dan rentang komponen dari berbagai peringkat batubara.

**Gambar 2.1** Komposisi dan rentang komponen peringkat Batubara

Komponen	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
Heating Value (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

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

Berikut jenis dan kualitas batubara menurut *American Society for Testing Materials* (ASTM) dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

**Gambar 2.2** ASTM Specifications For Solid Fuels

Class	Group		Fixed	Volatie	Heating
	Name	Symbol	Carbon Dry (%)	Matter Dry (%)	Values Dry basis (Kcal/kg)
Anthracite	Meta-anthracite	Ma	>98	>2	7740
	Anthracite	An	92-98	2-8	8000
	Semianthracite	Sa	86-92	8-15	8300
Bituminous	Low-volatile	Lvb	78-86	14-22	8741
	medium volatile	mvb	89-78	22-31	8640
	high-volatile A	hvAb	<69	>31	8160
	high-volatile B	hvBb	57	57	6750-8160
	high-volatile C	hvCb	54	54	7410-8375
Subbituminous	subbituminous A	subA	55	55	6880-7540
	subbituminous B	subB	56	56	6540-7230
	subbituminous C	subC	53	53	5990-6860
Lignite	lignite A	ligA	52	52	4830-6360
	lignite B	ligB	52	52	<5250

(sumber : Krik-Othmer, Volume 6)

## 2.2 Ampas Tebu

Ampas tebu, biasa disebut *bagasse*, adalah Limbah *biomassa* atau produk sampingan yang diperoleh dari ekstraksi (pemerahan) sari tebu. Potensi utama penghasil ampas tebu berasal dari proses penggilingan di pabrik gula. Proses pembuatannya menghasilkan 90% ampas tebu, 5% *molase* dan 5% air dari tebu. (Li-An'Amie dkk, 2016). Biomassa seperti ampas tebu biasanya mengandung karbon, hidrogen dan oksigen (S. Rizal dkk,2020). Tergantung pada jumlah dan kandungan ampas tebu, penggunaannya sebagai sumber energi alternatif patut dipertimbangkan. Limbah ampas tebu ini telah dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bahan bakar alternatif, pulp dan kertas, pakan ternak dan pupuk organik. Di sebuah pabrik gula di Indonesia, ampas tebu dikeringkan dan kemudian digunakan sebagai bahan bakar pabrik.

### 2.2.1 Karakteristik Ampas Tebu

Berikut adalah karakteristik Limba biomassa ampas tebu dalam bentuk analisis proximate dan ultimate, kandungan yang dimiliki ampas tebu akan mempengaruhi proses dan produk yang dihasilkan. Berikut karakteristik dari komponen ampas tebu dapat dilihat pada **Tabel 2.3**

**Tabel 2.3** Komponen Ampas Tebu

	<b>Komponen (%)</b>	<b>Komposisi (%)</b>
Analisa Proximate (wt%,db)	Volatile Matter	43,68
	Fixed Carbon	36,81
	Ash	4,19
	Moisture	15,32
Analisa Ultimate (wt%,daf)	C	24,12
	H	3,12
	O	53,09
	N	0,12
	Cl	0,02
	S	0,04
HHV (db) (kkal/kg <sup>-1</sup> )		1830

(Sumber: S. Rizal dkk,2020)

### 2.3 Gasifikasi

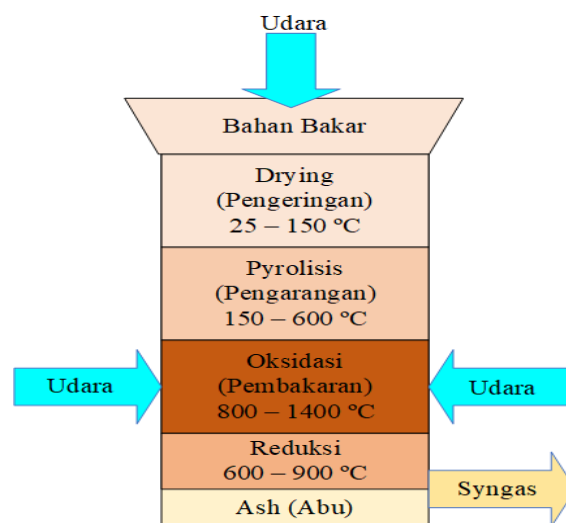
Gasifikasi adalah proses mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang mudah terbakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran injeksi udara. Terbatas (20% 40% udara stoikiometrik) (Guswendar, 2012). Material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa digunakan sebagai bahan bakar untuk proses gasifikasi. Seluruh proses gasifikasi dilakukan di dalam gasifikasi. gasifikasi mengalami proses pembakaran dengan cara memanaskan bahan bakar hingga suhu reaksi tertentu kemudian bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan produk pembakaran berupa gas yang mudah terbakar. Uap dan karbon dioksida yang dihasilkan oleh pembakaran direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), dan metana ( $\text{CH}_4$ ), yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan tungku. Jenis gasifikasi yang digunakan pada penelitian co-gasifikasi ini adalah gasifikasi downdraft.

### 2.3.1 Gasifikasi downdraft

*Gasifikasi* unggun tetap aliran kebawah atau sering disebut juga dengan *gasifikasi tipe downdraft* merupakan jenis gasifikasi yang dirancang untuk membatasi kandungan minyak dan tar yang terbawa bersama produk yang dihasilkan. *Gasifikasi downdraft* merupakan jenis *gasifier* yang memiliki arah aliran searah (*Co-current*), pada proses ini bahan bakar dimasukkan ke dalam *reaktor gasifikasi downdraft* dari atas *reaktor*, melalui laluan *hopper* dan mengalir turun ke *grate* yang merupakan tempat abu (Suliono dkk,2017). udara dikeluarkan dari samping ke *zona oksidasi* oleh blower, dan syngas dari pembakaran adalah *outlet burner*. Pada *gasifier tipe downdraft* terdapat empat zona diurut dari bagian atas gasifier hingga bawah yaitu pengeringan, *pyrolysis*, *oksidasi*, dan *reduksi* ( Putri G., A, 2009).

Aliran udara bergerak ke zona gasifikasi yang menyebabkan asap pirolisis melewati zona gasifikasi yang panas. Hal ini membuat tar yang terkandung dalam asap terbakar, sehingga gas yang dihasilkan oleh reaktor ini lebih bersih. Keuntungan reaktor tipe ini adalah dapat digunakan untuk operasi yang berkesinambungan dengan menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor. Namun untuk operasi yang berkesinambungan dibutuhkan sistem pengeluaran abu yang baik, agar bahan bakar bisa terus ditambahkan kedalam reaktor.

Gambaran tahap-tahap yang terjadi pada *downdraft gasifier* dapat dilihat pada **gambar 2**.



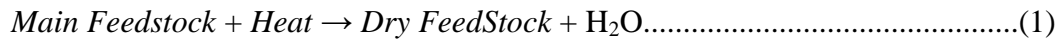
**Gambar 2.1** Gasifier tipe *Downdraft*

### 2.3.2 Tahapan Gasifikasi

Dalam proses *Co-gasifikasi*, batubara dan biomassa melewati beberapa tahapan hingga akhirnya menjadi gas yang mudah terbakar. Proses langkah-langkah gasifikasi tipe downdraf meliputi:

a. *Drying* (Pengeringan)

Pada tahap ini kandungan air pada bahan bakar akan diuapkan oleh gas panas dari reaksi oksidasi pembakaran pada bagian bawah reaktor, temperatur yang digunakan berkisar pada suhu 25 - 150 °C. Reaksi yang terjadi proses pengeringan adalah :



b. *Pirolisis* (Pengarangan)

*Pirolisis* merupakan proses dekomposisi thermal bahan bakar padat pada kondisi udara terbatas. Pada tahap ini terjadi perengkahan termal bahan bakar padat menjadi menjadi senyawa-senyawa seperti CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O yang berarti *volatil* yang terkandung pada bahan bakar terlepas dan menghasilkan *char* (arang). Komponen gas yang terbentuk pada tahap ini akan menjadi reaktan pada proses oksidasi. Laju reaksi *pirolisis* dipengaruhi oleh laju persamaan bahan di dalam zona pirolisis. Laju pemanasan bahan bakar tergantung pada sifat *termofisik* bahan yang dinyatakan sebagai difusitas hawa panas yang terjadi karena nyala api (bahang) bahan bakar. Laju pemanasan bahan bakar akan semakin tinggi seiring dengan semakin besarnya difusivitas bahang dan menyebabkan bertambahnya laju *pirolisis* sehingga laju pembentukan gas akan semakin tinggi.

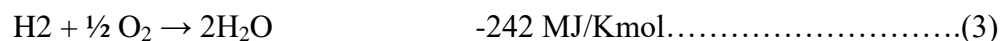
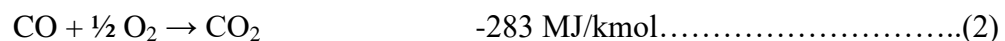
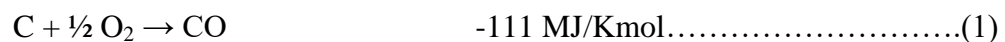
Pada proses *pirolisis*, biomassa mulai mengalami kenaikan temperatur. Pada Pemanasan secara lambat dimulai pada temperatur <200 °C hanya akan uap air saja yang dilepaskan. Pada temperatur 280-500 °C uap air dan asam asetat yang terkandung akan dilepaskan, lalu pada temperatur 280-500 °C akan dihasilkan gas dalam jumlah yang cukup besar. Terakhir pada temperatur 500-700 °C akan dihasilkan gas yang mengandung hidrogen namun dalam jumlah yang lebih sedikit.

Tahap *Pirolisis* yang terjadi pada molekul bahan bakar akan menyebabkan pemanasan terhadap partikel bahan bakar padat akan menyebabkan pemutusan ikatan kimia dan ikatan paling lemah diikuti dengan ikatan yang lebih kuat, dimana akan terjadi 3 tahapan lagi setelahnya. Tahap pertama ikatan hidrogen terputus dan bahan bakar padat akan lebih lembut atau melembek (*metaplast*). Tahap kedua (*Primary Pyrolysis*), ikatan kimia pada rantai alifatis mulai terputus sehingga dapat membentuk molekul dengan berat molekul besar, metana, CO<sub>2</sub>, uap air, hidrokarbon ringan serta gas molekul ringan yang lain. Ketika molekul besar yang mengalami perengkahan memiliki jumlah molekul yang cukup ringan maka akan terjadi penguapan pada suhu pirolisis sehingga pada suhu yang lebih rendah akan mengembun dan membentuk tar. Terbentuknya tar ditentukan oleh ikatan rantai silang dan *reaktifitas* arang yang terbentuk pada tahapan berikutnya. Lalu pada tahapan yang ketiga (*Secondary pyrolysis*) akan terjadi pemutusan ikatan kimia dan gugusan fungsi metilen sehingga membentuk gas CH<sub>4</sub>, gugus fungsi eter akan membentuk CO dan proses kondensasi akan melepas gas H. Pada tahapan yang ketiga ini juga terjadi proses polimerisasi molekul besar membentuk karbon padat. Reaksi yang terjadi pada proses pengarangan adalah sebagai berikut :



c. *Oksidasi* (pembakaran)

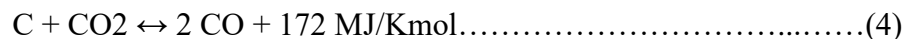
Proses *oksidasi* terjadi setelah proses pirolisis. Volatil dan sebagian arang yang memiliki kandungan karbon (C) bereaksi dengan oksigen membentuk CO dan CO<sub>2</sub> sehingga menghasilkan gas mampu bakar yang sempurna dengan timbulnya energi panas. Temperatur yang digunakan pada proses ini berkisar pada temperatur 800 – 1400 °C. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah sebagai berikut :



d. *Reduksi*

*Reduksi* melibatkan suatu rangkaian reaksi *endotermik* yang menggunakan panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti H<sub>2</sub>, CO, dan CH<sub>4</sub>. Temperatur yang digunakan pada proses ini berkisar pada temperatur 600 – 900 °C. Reaksi berikut ini merupakan empat reaksi yang umum terlibat pada gasifikasi.

1. *Boudouard reaction*



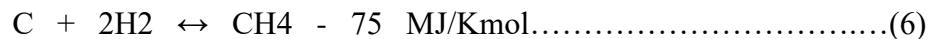
Reaksi antara karbondioksida yang terdapat pada gasifier dengan karbon untuk menghasilkan karbonmonoksida.

2. *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.

3. *Methanation Reaction*



*Methanation Reaction* merupakan reaksi pembentukan gas metan.

4. *CO Shift Reaction*



Reaksi reduksi karbonmonoksida untuk memproduksi hidrogen. Reaksi ini disebut dengan *water-gas shift* yang menghasilkan peningkatan rasio hidrogen terhadap karbonmonoksida pada gas produser. Pada tahap reduksi, berlangsung reaksi-reaksi antara gas hasil tahap *oksidasi* dengan karbon padat yang diumpankan sebagai arang. Reaksi kesetimbangan yang terjadi merupakan reaksi endoterm atau reaksi yang menyerap panas. Hawa panas yang terjadi karena nyala api dipenuhi dari proses *oksidasi*.



## 2.4 Gasfying Agent

*gasyfaying agent* merupakan Salah satu yang berpengaruh dalam proses gasifikasi. Udara suplay utama yang sering digunakan adalah oksigen  $O_2$ , uap air  $H_2O$ , dan udara. Jika udara suplay yang digunakan adalah oksigen  $O_2$  dan ketika oksigen yang disuplai kurang, maka produk yang dihasilkan adalah  $CO$  dan ketika oksigen yang diberikan berlebih akan ketika menghasilkan  $CO_2$ . Pilihan dari gasyfaying agent akan memberikan pengaruh pada nilai kalor pembakaran (*heating value*) dari gas. (Basu,2010). *Gasifying agent* berdampak pada kualitas dan kuantitas syngas. Penggunaan agen gasifikasi dapat mempengaruhi komposisi gas, kandungan tar, dan *heating value*.

**Tabel 2.4** karakterisasi syn-gas berdasarkan gasyfying agent

<i>Gasifying Agent</i>	T (°C)	Komposisi Gas (dry basis)			<i>Yields</i>	
		H <sub>2</sub> (%)	CO (%)	Tar (g/kg)	Gas (Nm <sup>3</sup> /kg)	LHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )
Udara	780-830	5,0-16,3	9,9-22,4	3,7-61,9	1,25-2,45	3,7-8,4
O <sub>2</sub> + uap	785-830	13,8-31,7	42,5-52,0	2,2-46	0,85-1.14	10,3-13,5
Uap	750-780	38-56	17-32	60-95	1,3-1,6	12,2-13,8

(Sumber: Suliono dkk,2017)

Jika jumlah oksigen  $O_2$  yang diberikan melebihi keadaan *stoikiometri* maka proses gasifikasi akan bergeser menjadi pembakaran biasa dan produk yang dihasilkan adalah gas sisa (*flue gas*). Tidak satupun *flue gas* dapat dibakar kembali meskipun dilakukan perlakuan seperti perlakuan panas.(Basu, 2013).

**Tabel 2.5** Rentang *heating value* syn-gas dengan berbagai jenis gasifying agent.

<i>Medium</i>	<i>Heating Value (MJ/Nm<sup>3</sup>)</i>
<i>Air</i>	4-7
<i>Steam</i>	10-18
<i>Oxygen</i>	12-28

(Sumber : Prabir Basu, 2013)

*Gasifying agent* yang menghasilkan *heating value* yang terbesar adalah Oxygen di ikuti dengan uap air dan terakhir udara. Udara menghasilkan heating value rendah karena udara mengandung 79 % nitrogen. Penelitian yang lain juga membuktikan bahwa nilai *calorificvalue* (CV) antara syn-gas hasil gasifikasi dengan menggunakan *gasifying agent* oksigen lebih besar dibandingkan dengan *gasiyfaying agent* udara. (Pambudi, 2015).

**Tabel 2.6** Perbandingan Komposisi Syn-Gas Antara Gasifying Udara Dan Oksigen Dengan Berbagai Bahan

Feedstock	Gasifying Agent	Syngas composition(% mole)						
		H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CV(MJ/kg)
Indian	Air	8.8	41.8	0.623	0.018	17.3	32	12.59
Coal	Oxygen	15.3	60.1	0.003	0.492	0.23	0.8	19.55
	Air	22.9	18.4	13.0	8.3	0.8	36.6	5.49
Rice Husk	Oxygen	36.5	21.8	20.2	19.9	0.6	0.4	9.14
	Air	32.1	29.8	7.9	5.7	0.9	23.6	9.22
Pellets	Oxygen	4.07	37.8	11.3	8.1	1.7	0.9	13.19

(Sumber : Raibhole & Sapali, 2012)

## 2.5 Co-Firing

*Co-firing*, juga dikenal sebagai *co-combustion*, adalah proses pembakaran dua jenis bahan bakar padat *konvensional* dalam perangkat pembakaran yang sama, seringkali dioperasikan dalam ketel pembangkit uap. Dalam pengertian sederhana, pembakaran *co-firing* dari batubara dengan biomassa dapat dipandang sebagai bagian dari sistem yang melengkapi perangkat boiler berbahan bakar batubara (Wijayapala dan Mudunkotuwa, 2016).

Keuntungan operasi pembakaran sistem *co-firing* adalah terjadinya pengurangan emisi gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> pada bahan bakar *fossil*. tetapi juga turut melibatkan masyarakat untuk bisa mengolah sampah, maupun tanaman energi sehingga perekonomian masyarakat ikut terangkat Program *co-firing* merupakan

salah satu upaya jangka pendek yang dilakukan PLN dalam mengurangi emisi karbon. Hal ini dikarenakan program *co-firing* tidak memerlukan investasi untuk pembangunan pembangkit baru. Hal demikian menjadikan sistem *co-firing* diminati pada pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (Winaya, Susila dan Agung, 2010). Ditinjau dari operasi pembakarannya, sedikitnya terdapat 2 cara *co-firing* yaitu *direct co-firing* dan *indirect co-firing*. Dari ke-2 cara pembakaran tersebut, *direct co-firing* adalah yang paling murah, dengan cara membakar biomassa dan batubara secara bersamaan. *Indirect co-firing* didahului oleh gasifikasi biomassa.

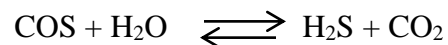
Target pemanfaatan biomassa yaitu sebanyak 450 ribu ton, yang akan menghasilkan produksi *green energy* sebesar 334 GWh dengan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 340 ribu Ton CO<sub>2</sub>. Untuk mempercepat implementasi *co-firing* biomassa pada PLTU, Kementerian ESDM telah melakukan penyusunan Peraturan Menteri ESDM Pemanfaatan Biomassa sebagai Campuran Bahan Bakar pada PLTU yang saat ini telah memasuki tahap harmonisasi di Kemenkumham,” pungkas Edi. (RWS).

## 2.6 Co-Gasifikasi

*Co-Gasifikasi* merupakan suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas dari dua material yang berbeda secara bersamaan agar emisi dari pembakaran suatu bahan bakar fosil dapat dikurangi (L Pujiastuti S dkk, 2017). *Co-gasifikasi* adalah istilah yang mengacu pada proses gasifikasi di mana dua bahan bakar yang berbeda digasifikasi secara bersamaan dalam satu gasifier (Umar H.A dkk, 2020). Co-Gasifikasi (pencampuran) dua bahan bakar atau lebih menggunakan biomassa dengan batubara dapat meningkatkan nilai kalor selama proses konversi energi dan juga dapat mengendalikan kandungan *Volatile Matter* (VM) dari biomassa. Karakteristik *Co-gasifikasi* biomassa dan batubara berkaitan erat dengan jenis reaktor dan parameter gasifikasi seperti suhu, *agent gasifikasi*, rasio massa, ukuran butir, dan lain-lain (Chang S dkk, 2020).

## 2.7 Gas Sintesa (Syngas)

Gas, umumnya dikenal sebagai gas yang mudah terbakar atau gas *sintetis* (*syngas*), adalah campuran hidrogen dan karbon monoksida. *Syngas* dari gasifier mengandung berbagai macam pengotor seperti H<sub>2</sub>S, COS dan CO<sub>2</sub>. Kehadiran senyawa ini meningkatkan risiko korosi peralatan dan dapat merusak katalis, termasuk katalis dalam proses pembuatan pupuk. Oleh karena itu, *syngas* harus dibersihkan terlebih dahulu (C. Higman, M. Burgt, 2003). Karbonil sulfida bukan merupakan gas asam, 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 daripada COS. Reaksi hidrolisis terjadi di COS *hydrolysis* reactor (R-310) dengan suhu operasi 303°C dan tekanan 29 bar. (Iswanto, Toto, dkk, 2015).



**Tabel 2.7** Kualitas Gas Produser dari Gasifier Biomassa

% Volume	Fixed bed CoCurrent Gasifier	Fixed Bed Counter- current Gasifier	Circulating Fixed Bed Gasifier
CH <sub>4</sub>	1-5	2-3	2-4
CO	10-22	15-20	13-15
H <sub>2</sub>	15-21	10-14	15-22

(Sumber : Khoirusman, 2008 dalam Setyoko G, 2016)

## 2.8 Pengaruh Laju Alir Oksigen Terhadap Hasil Syngas

Laju alir oksigen mempunyai peran penting dalam proses pembakaran seperti *Co-gasifikasi* karena oksigen termasuk dalam segitiga pembakaran, oksigen yang disuplay memiliki dampak yang signifikan pada proses pembakaran. Semakin banyak oksigen dalam proses pembakaran, semakin baik proses pembakaran namun terlalu banyak oksigen yang di suplay maka akan menghasilkan biasa yang menghasilkan fule gas atau terjadi pembakaran sempurna. Sebaliknya, semakin sedikit oksigen,

semakin buruk pembakarannya. Laju aliran oksigen juga harus sesuai dengan dan jumlah bahan bakar yang digunakan harus seimbang. Oksigen murni tidak memiliki  $N_2$ , hal ini yang sangat berpengaruh terhadap hasil syngas,  $N_2$  pada hasil syngas akan kecil. Hal ini juga yang mempengaruhi bentuk api yang dihasilkan, yang menentukan kualitas produk yang dihasilkan (*Syngas*).