

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gasifikasi

Batubara memiliki tiga metode konversi secara *thermochemical*, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran (combustion). Perbedaan jenis konversi tersebut terletak pada jumlah udara (oksigen) yang dikonsumsi 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. Proses ini berlangsung di dalam suatu reaktor yang disebut *gasifier*. Ke dalam *gasifier* ini nantinya akan dimasukkan bahan bakar batubara untuk dibakar secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang dapat terbakar (*flammable*), yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metana (CH₄). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin pembakaran dalam (diesel atau bensin), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik (Trifiananto, 2015).

2.1.1 Jenis – jenis *Gasifier*

a. Updraft Gasifier

Updraft gasifier merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui *grate* sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar 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. Di dalam reaktor, terjadi zonifikasi 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 *sensible* 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.

b. *Downdraft Gasifier*

Pada tipe *downdraft* sumber panas terletak di bawah bahan bakar, aliran udara bergerak ke zona gasifikasi di bagian bawah yang menyebabkan asap *pyrolysis* yang dihasilkan 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 reaktor ini dapat digunakan untuk operasi gasifikasi yang berkesinambungan dengan menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor (Kusuma, 2013).

c. *Crossdraft Gasifier*

Prinsip kerja reaktor gasifikasi tipe *inverted downdraft* sama dengan prinsip kerja reaktor gasifikasi *downdraft*. Perbedaan antara reaktor gasifikasi *downdraft* dengan reaktor gasifikasi *inverted downdraft gasifiers* terletak pada arah aliran udara dan zona pembakaran yang dibalik. Sehingga bahan bakar berada pada bagian bawah reaktor dengan zona pembakaran di atasnya. Aliran udara mengalir dari bagian bawah ke bagian atas reaktor (Sanjaya, 2018).

Kelebihan dan kekurangan masing – masing jenis *gasifier* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Jenis <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
<i>Updraft</i>	Mekanismenya sederhana Hilang tekan rendah Efisiensi panas baik Proses reduksi lebih maksimal Arang habis terbakar	Sensitif terhadap tar dan uap bahan bakar Memerlukan waktu <i>start-up</i> yang cukup lama untuk mesin <i>internal combustion</i>

<i>Downdraft</i>	Tidak sensitif terhadap tar Mudah bereaksi dengan umpan	Desain <i>gasifier</i> tinggi Tidak cocok untuk beberapa jenis biomassa
<i>Crossdraft</i>	Desain <i>gasifier</i> pendek Responsif saat diisi umpan	Sangat sensitif membentuk terak Mudah kehilangan tekanan tinggi

(Sumber : Rinovianto, 2012)

2.1.2 Tahapan 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:

- Pengeringan : $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Pirolisis/Devolatilisasi : $150\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Oksidasi : $700\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 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 matters* (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.

- 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 diupkan 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

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.

c. Reduksi

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

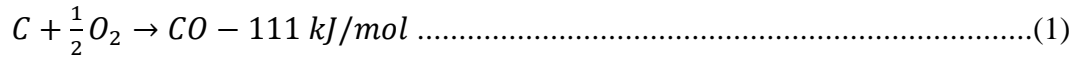
d. Oksidasi

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 CO₂ dan H₂O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis.

Pada proses gasifikasi terjadi reaksi-reaksi kimia sebagai berikut:

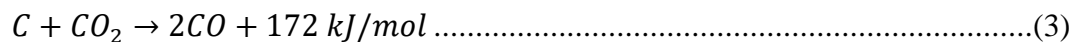
Proses Oksidasi Partial



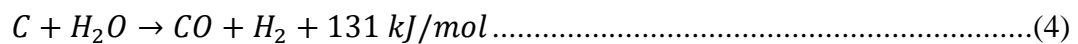
Proses Oksidasi Total



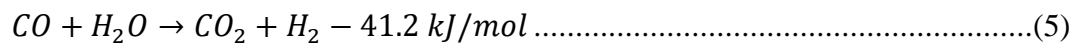
Boudouard Reaction



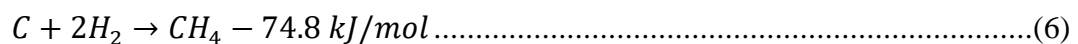
Water Gas Reaction



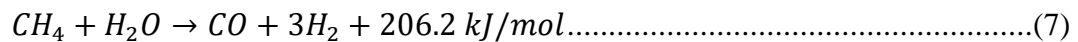
Water Gas Shift Reaction



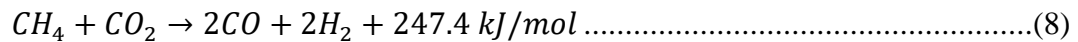
Methane Reaction



Steam Reforming



Dry Reforming



(Arya, 2018).

2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan *syngas* yang dihasilkan (Yolanda, 2015). Faktor-faktor tersebut adalah:

1. Kandungan Batubara

Tidak semua batubara dapat dikonversikan menjadi *syngas*, ada beberapa parameter yang menjadi tolak ukur untuk mengklarifikasikan 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 unsur yang tinggi menyebabkan *heat loss* berlebihan. kandungan yang tinggi juga menyebabkan beban pendingin 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 menyebabkan saluran sehingga membutuhkan *maintenance* lebih. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan kandungan *dust* yang tidak lebih dari 2-6 g/m³.

d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. tar memiliki bau yang tajam dan mengganggu pernapasan. Pada reaktor gasifikasi terbentuk terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian ntar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relatif tinggi dapat menimbulkan deposit pada karburator dan *intake valve* sehingga menyebabkan gangguan. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan tidak lebih dari 1 g/m³.

e. *Ash dan slagging*

Ash adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksigen setelah proses pembakaran. Sedangkan *slag* adalah kumpulan *ash* yang lebih tebal. Pengaruh adanya *ash* dan *slagging* pada *gasifier* adalah:

- Menimbulkan penyumbatan pada *gasifier*
- Pada titik tertentu yang mengurangi respon reaksi 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, *heat loss* dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkan.

3. Jenis *Gasifying Agent*

Jenis *gasifying agent* yang digunakan dalam gasifikasi umumnya adalah udara dan kombinasi oksigen dan uap. Penggunaan jenis *gasifying agent* mempengaruhi kandungan gas yang dimiliki oleh *syngas*. Berdasarkan penelitian, perbedaan kandungan *syngas* yang mencolok terlihat pada kandungan nitrogen pada *syngas* dan mempengaruhi besar nilai kalor yang dikandungnya. penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang pekat didalam *syngas*, berlawanan dengan penggunaan oksigen atau uap yang memiliki kandungan nitrogen yang relatif sedikit. sehingga penggunaan *gasifying agent* oksigen/uap memiliki nilai kalor *syngas* yang lebih baik dibandingkan *gasifying agent* udara.

4. 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.

2.2 Batubara

Batubara merupakan sedimen organik bahan bakar hidrokarbon padat yang berasal dari proses pembusukan tumbuh – tumbuhan secara biokimia (penggambutan) dan geokimia (pembatubaraan) yang berlangsung pada kurun waktu yang sangat lama. Proses tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu tekanan yang berhubungan dengan kedalaman, dan suhu yang berhubungan dengan pengurangan kadar air dalam batubara. Batubara mengandung unsur – unsur karbon, hidrogen, oksigen, oksigen, dan sulfur. Selain itu, batubara juga mengandung zat lain berupa senyawa anorganik pembentuk debu (*ash*).

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.

Untuk mengetahui komposisi dan karakter batubara perlu dilakukan pengujian kandungan batubara secara *proximate* dan *ultimate*. Analisa *proximate* berupa *moisture*, *volatile matter* dan *fixed carbon*. Sementara analisa *ultimate* berupa kandungan unsur karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Analisa komposisi batubara dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Komposisi Batubara

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 2.3 Komposisi Batubara

Kelas	Grup		Fixed Carbon	Volatile Matter	Heating Value
	Nama	Simbol	Dry (%)	Dry (%)	Dry (Kcal/kg)
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
Bituminus	<i>Low-volatile</i>	Lvb	78 – 86	14 – 22	8741
	<i>Medium-volatile</i>	Mvb	89 – 78	22 – 31	8640
	<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
Sub-Bituminus	<i>Sub-bituminous A</i>	subA	55	55	6880 – 7540
	<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)

2.3 Filter

2.3.1 Teknologi Filter

Secara umum pemisahan tar dapat dilakukan dengan beberapa teknologi berikut:

1. *Wet scrubber* akan mengumpulkan tar dengan cara melewatkan material tersebut ke dalam tetesan air. Tar dan cairan mengalir ke dalam demister atau decanter untuk kemudian dipisahkan. Penggunaan air di dalam *scrubber* ini menyebabkan aliran gas harus berada pada temperatur 35-60°C. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari pengganti air seperti berbagai jenis minyak, namun penelitian-penelitian tersebut masih dalam tahap eksperimen.
2. *Wet electrostatic precipitator* juga dapat digunakan untuk memisahkan tar dari aliran gas produk. Pemisahan tar dilakukan menggunakan prinsip yang sama dengan pemisahan partikulat. Jenis teknologi pemisahan ini sangat efisien untuk memisahkan tar dan partikulat dari aliran gas dan dapat menyingkirkan hingga 99% material berdiameter < 0,1 µm. Teknologi ini merupakan teknologi yang sudah matang dan tersedia secara komersial untuk berbagai jenis aplikasi.
3. *Barrier filter* sudah banyak digunakan untuk pemisahan tar dalam sistem gasifikasi biomassa. Tar ditangkap dengan cara melewatkan aerosol terkondensasi ke permukaan filter. Karena terdapat dalam bentuk cairan, tar menjadi lebih sulit dipisahkan dari permukaan filter dibandingkan partikulat kering. Permasalahan pemisahan tar dari permukaan filter menjadi lebih kompleks apabila partikulat juga terdeposit karena *filter cake* yang dihasilkan

tidak dapat langsung dipisahkan dari permukaan filter. Oleh karena itu barrier filter kurang cocok untuk digunakan sebagai teknologi pemisahan tar.

4. Filter biomassa unit pemisahan berbasis gaya sentrifugal lainnya juga dapat digunakan untuk memisahkan tar. Teknologi ini dapat dioperasikan menggunakan prinsip yang sama dengan pemisahan partikulat dan penyaringan, menggunakan gaya sentrifugal untuk memisahkan material yang sudah terkondensasi, pemisahan berbasis gaya sentrifugal lainnya tidak terlalu efektif digunakan untuk memisahkan tar dalam system gasifikasi biomassa. Kombinasi partikulat dan tar lengket di dalam aliran gas dapat membentuk endapan sehingga penggunaan filter biomassa dalam penyaringan dapat berlangsung lebih efektif.
5. Penghancuran tar menggunakan proses berkatalis. Proses ini menggunakan katalis untuk membantu mempercepat proses perengkahan dan penghancuran tar. Berbagai penelitian dan pengembangan telah dilaksanakan menggunakan berbagai katalis berbasis logam maupun non logam didalam *gasifier* ataupun diluar *gasifier*. Penelitian katalis yang dapat digunakan untuk merengkahkan atau menghancurkan tar berpusat pada penggunaan dolomit yang harganya murah. Tar direnkahkan menjadi molekul yang lebih kecil dipermukaan katalis. Konsep utama dari proses ini adalah penghancuran tar segera setelah tar terbentuk sehingga tidak menimbulkan permasalahan di sisi hilir. Aliran turbulen dan temperature tinggi pada penggunaan *gasifier fluidized bed* menyebabkan katalis mengalami pengikisan dan deaktivasi. Di dalam *gasifier fixed bed*, kontak antara katalis dengan tar seringkali tidak maksimal sehingga penghancuran tar menjadi tidak sempurna.
6. Penghancuran tar menggunakan proses *thermal*. Tar juga dapat direnkahkan secara termal tanpa katalis pada temperatur 1200°C atau lebih. Kesulitan utama pelaksanaan perengkahan termal berada pada pengoperasian dan pertimbangan ekonomi, sehingga *thermal cracking* menjadi kurang menarik untuk digunakan. (Kumar, dkk 2010).

2.3.2 Jerami Padi

Jerami padi merupakan biomassa yang secara kimia merupakan senyawa *berlignoselulosa*. (Halili, 2014) komponen terbesar penyusunan Jerami padi adalah *selulosa* ($36,87\% \pm 1,54$), *hemiselulosa* ($18,01\% \pm 0,73$), lignin ($13,28\% \pm 1,17$) dan zat lain penyusun jerami padi. *Selulosa* dan *hemiselulosa* merupakan senyawa yang bernilai ekonomis jika dikonversi. Jerami padi juga bagian dari batang padi tanpa akar yang tertinggal setelah diambil bulir buahnya dan merupakan limbah pertanian yang cukup besar dengan jumlah 20 juta ton per tahun. Sebagian besar limbah tersebut dibakar setelah proses pemanenan dan dibiarkan disawah.

Beberapa faktor yang menyebabkan peternak tidak menggunakan limbah Jerami padi (Haryo, 2013)

- 1) Umumnya petani membakar limbah tanaman pangan terutama Jerami padi karena secepatnya akan dilakukan pengolahan tanah
- 2) Limbah tanaman Jerami padi bersifat amba sehingga menyulitkan peternak untuk mengangkut dalam jumlah banyak untuk diberikan kepada ternak, dan umumnya lahan pertanian jauh dari pemukiman peternak sehingga membutuhkan biaya dalam pengangkutan.
- 3) Tidak tersedianya tempat penyimpanan limbah Jerami padi, dan peternak tidak bersedia menyimpan/menumpuk limbah disekitar rumah/kolong rumah karena takut akan bahaya kebakaran.
- 4) Peternak menganggap bahwa ketersediaan hijauan dilahan pekarangan, kebun, sawah masih mencukupi sebagai pakan ternak.

Nilai ekonomis dari bahan yang dianggap limbah tersebut dapat ditingkatkan dengan memberikan masukan ilmu sehingga dapat lebih bermanfaat. Dengan melihat dari bentuk Jerami yang memiliki serat-serat batang yang dapat dimanfaatkan sebagai filter dan menjadi salah satu alat pembersih gas hasil gasifikasi.

2.3.3 Filter Jerami

Filter atau saringan untuk memisahkan partikel padat dari suatu cairan atau gas. Filter semacam ini digunakan dalam berbagai alat seperti AC, cerobong dapur, motor bakar, alat pengedaran udara, system pemurnian air dan pengendalian pencemaran udara. Filter dirancang untuk beroperasi yang berkesinambungan,

namun banyak filter modern data ini memiliki harga yang cukup mahal, terutama filter yang digunakan untuk menyaring gas dari partikulat, dan hanya digunakan untuk beberapa kali saja, filter gas merupakan penyaring yang didesain secara khusus yang dimana memiliki pori tergantung pada jenis dan penggunaan filter tersebut.

Dengan memanfaatkan ilmu pengetahuan dalam pemanfaatan biomassa Jerami padi yang sebagian besar tidak memiliki nilai ekonomis, Jerami padi dapat digunakan sebagai filter, dengan bentuk yang memiliki serat batang dan dipadatkan sehingga menyerupai filter yang berpori membuat jerami padi dapat dimanfaatkan sebagai filter gasifikasi, dimana gas hasil gasifikasi akan melewati filter jerami padi untuk mengikat tar, bentuk tar yang pekat dan lengket membuat tar tersebut dapat tertahan pada serat-serat jerami yang tertumpuk.

Filter jerami ini merupakan filter yang didesain berpori yang memungkinkan gas untuk menembus filter namun dapat menahan partikel yang ada pada gas tersebut. Filter ini bertujuan secara efektif menghilangkan partikel terutama tar yang terdapat pada aliran syngas. Filter ini juga dapat disesuaikan kepadatannya.

Jerami padi yang digunakan sebagai bahan baku filter secara berkala diganti dengan bahan baku yang baru dengan kepadatan yang ditentukan, filter jerami padi ini cukup cocok digunakan untuk partikel basah atau kontaminan yang mudah lengket seperti tar. Tar yang terbawa akan menempel pada permukaan jerami padi dan menyebabkan penumpukan dan penyumbatan pori-pori dari filter.

2.4 Gas Mampu Bakar (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal gas sintetik (*syngas*) merupakan campuran hidrogen dan karbonmonoksida. 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. *Syngas* memiliki kepadatan energi kurang dari setengah kepadatan energi gas alam. Proses utama pembentukan *syngas* bersifat endotermik dengan nilai $\Delta H^\circ = 206$ kJ/mol sedangkan *syngas* yang tidak di metanisasi biasanya memiliki kapasitas kalor sebesar 120 BTU/scf. *Syngas* yang digunakan sebagai bahan bakar seringkali

dihasilkan dari batubara atau biomassa dan sampah rumah tangga yang telah melalui proses *pyrolysis* atau distilasi destruktif menjadi *coke* (karbon tidak murni) yang kemudian dilanjutkan dengan menyemburkan uap dan udara.

Salah satu jenis sumber daya alam yang potensial mengganti dan atau mensubstitusi pemakaian gas alam adalah Synthetic Gas (Syngas) yang dapat diperoleh dari proses gasifikasi batu bara yang sumber dayanya masih melimpah. Total sumber daya batu bara di Indonesia diperkirakan 105 miliar ton, dimana cadangan batu bara diperkirakan 21 miliar ton, dengan tingkat produksi berkisar 200-300 juta ton per tahun, maka umur tambang akan dapat mencapai 100 tahun.

Hal ini cukup aman untuk menjamin keberlanjutan industri gasifikasi batu bara di Indonesia. Proses gasifikasi batu bara adalah proses yang mengubah batu bara dari bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas. Dengan mengubah batu bara menjadi gas, maka material yang tidak diinginkan yang terkandung dalam batu bara seperti senyawa sulfur dan abu dapat dihilangkan dari gas dengan menggunakan metode tertentu sehingga dapat dihasilkan gas bersih dan dapat dialirkan sebagai sumber energi. Syngas merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metana, amonia, dan urea. Produksi syngas melalui gasifikasi batu bara kualitas rendah yang jumlahnya di Indonesia mencapai 70% akan mampu menaikkan harga jual batu bara tersebut.

Syngas dari gasifikasi batu bara 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 CO₂, SO_x, dan NO_x. Yang ketiga, melimpahnya sumber daya batu bara di Indonesia. Selain cadangannya yang cukup besar, gasifikasi batu bara juga dapat memanfaatkan batu bara muda yang jumlahnya di Indonesia mencapai 70% (Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia, 2021).

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 (9) (Lubmawa, 2010).

$$\text{LHV}_{\text{gas}} = 10,768 [\text{H}_2] + 12,696 [\text{CO}] + 35,866 [\text{CH}_4] + 83.800 [\text{C}_n\text{H}_m] \dots\dots\dots (9)$$

