

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biomassa**

Biomassa merupakan bahan biologis yang berasal dari organisme atau makhluk hidup. Dalam berbagai situasi, biomassa juga didefinisikan sebagai bahan-bahan organik berumur relatif muda yang berasal dari tumbuhan atau hewan, baik yang terbentuk dari hasil produksinya, sisa metabolismenya, ataupun limbah yang dihasilkannya. Biomassa dapat di peroleh dari berbagai bidang industri budidaya, baik pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, maupun perikanan. Biomassa umumnya mempunyai kadar volatile relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara. Biomassa juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatile batubara, sehingga biomass lebih reaktif dibandingkan batubara. Biomasa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan. Sifat biomassa yang merupakan energi dengan katagori sumber energi terbarukan mendorong penggunaannya menuju skala yang lebih besar lagi sehingga manusia tidak hanya tergantung dengan energi fosil.

Biomassa yang digunakan sebagai sumber energy (bahan bakar) di Indonesia pada umumnya, memiliki nilai ekonomis rendah, atau merupakan limbah yang telah diambil produk primernya. Biomassa tersebut dapat berasal dari tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Potensi sumber daya biomassa di Indonesia diperkirakan sebanyak 49.810 MW, yang berasal dari tanaman dan limbah. Selain itu, sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*suistainable*).

##### **2.2.1 Sekam Padi**

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian (*serealia*) berupa lembaran yang kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam

(*endospermium dan embrio*). Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan (*Poaceae*), meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pula variasi bulir tanpa sekam (misalnya jagung dan gandum). Sekam padi merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui dimana keberadaannya sangat melimpah di Indonesia yang merupakan negara agraris. Pada tahun 2002 industri penggilingan padi menghasilkan sekam sebanyak 1.602.577 kg atau 13.878 m<sup>3</sup> (Biro Pusat Statistik, 2002). Selama ini pemanfaatan sekam padi sangat terbatas, bahkan hanya menjadi limbah pertanian yang tidak diinginkan.

Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar ataupun sebagai adsorpsi pada logam-logam berat. Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras. Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur, dapat mencegah reaksi ketengikan karena dapat melindungi lapisan tipis yang kaya minyak terhadap kerusakan mekanis selama pemanenan, penggilingan dan pengangkutan. ( Haryadi. 2006).

Ditinjau dari komposisi kimiawinya, sekam mengandung beberapa unsur penting sebagai yang tercantum pada tabel 1:

Komponen	% Berat
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

Sumber: Ismunadji, 1988 dalam Sihombing

Dibawah ini merupakan tabel analisis proksimate dan ultimate sekam padi yang tercantum pada tabel 2.

**Tabel 2. Analisis Proximate dan Ultimate sekam Padi**

<b>Parameter</b>	<b>Nilai (%berat)</b>
Moisture	10,3
Volatile Matter	55,6
Fixed Carbon	20,1
Ash	14
Carbon	38
Hydrogen	4,55
Nitrogen	0,69
Oxygen	32,4

Sumber: Madhiyanon, 2010

Menurut data badan pusat statistik (BPS) pada tahun 2013 jumlah produksi padi mengalami kenaikan sebesar 2,24 juta ton dibanding tahun 2012. Kenaikan produksi padi pada tahun 2013 yang relatif besar terjadi di Provinsi Jawa Barat, Sumatera Selatan, Banten, Aceh dan Kalimantan Barat dan 20- 22 % dari jumlah tersebut merupakan sekam. Dari banyaknya sekam padi tersebut masih sedikit yang dimanfaatkan menjadi salah satu sumber energi alternatif. Sedikitnya pemanfaatan sekam padi untuk dikonversi menjadi energi, khususnya melalui gasifikasi disebabkan karena masih banyaknya kendala yang terjadi pada saat proses gasifikasi.

Sekam padi yang selama ini dipandang sebagai limbah yang dianggap sebagai polutan lingkungan sebenarnya adalah salah satu sumber energi biomasa yang dipandang penting untuk menanggulangi krisis energi belakangan ini khususnya di daerah pedesaan. Ketersediaan sekam padi di hampir 75 negara di dunia diperkirakan sekitar 100 juta ton dengan energi potensial berkisar  $1,2 \times 10^9$  GJ/tahun dan mempunyai nilai kalor rata-rata 15 MJ/kg (Fang, 2004).

Karakteristik lain yang dimiliki bahan bakar sekam padi adalah kandungan zat volatil yang tinggi (*high-volatile matter*) yaitu zat yang mudah menguap. Kandungan zat volatilnya berkisar antara 60-80% dimana bahan bakar fosil hanya mempunyai 20-30% untuk jenis batu bara medium. Energi konversi yang dihasilkan lebih banyak berasal dari zat volatil ini dibandingkan dengan bara api (*solid residue*) biomasa (Ogada, 1996).

### 2.2.2 Jerami Padi

Menurut Komar (1984) yang dikutip oleh Suryani (1994) mengatakan bahwa jerami padi adalah bagian batang tumbuh yang telah dipanen bulir-bulir buah bersama atau tidak dengan tangkainya dikurangi dengan akar dan bagian batang yang tertinggal. Jerami padi merupakan limbah pertanian tanaman pangan sebagian besar penduduk Indonesia. Limbah jerami yang cukup tinggi produksinya ini, dapat menimbulkan permasalahan pencemaran apabila tidak dimanfaatkan dengan baik. Untuk itu, jerami harus dimanfaatkan serta dikelola dengan baik.

Jerami merupakan sumber hara untuk tanah yang sangat potensial. Kandungan unsur hara yang terkandung dalam jerami antara lain 0,4% Nitrogen, 0,02% Pospor, 1,4% Kalium, 5,6% Silika. Produksi jerami padi dapat mencapai 12-15 ton/hektar tiap panen tergantung lokasi dan varietasnya. Penggunaan jerami untuk pakan baru berkisar 31-39% dan 7-16% untuk industri. Dari keseluruhan produksi jerami, sebagian besar masih dibakar dan dikembalikan ke tanah. Efek negatif dari pembakaran adalah polusi lingkungan, mempengaruhi ekologi tanah dan hilangnya bahan organik.

Keunggulan jerami padi:

1. Relatif tahan pada suhu panas
2. Tidak mudah membusuk, dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama sebagai absorben
3. Dapat dimanfaatkan sebagai briket bahan bakar, penghasil bio-ethanol dan gas hidrogen dalam suatu konversi energi
4. Tersedia dalam jumlah banyak dan murah

### 2.2 Pengertian Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses yang mengubah bahan padat menjadi gas. Bahan padat yang dimaksud adalah bahan bakar padar termasuk didalamnya, biomass, batubara, dan arang dari proses oil refinery. Gas yang dimaksud adalah gas-gas yang keluar dari proses gasifikasi dan umumnya

berbentuk CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>. Gasifikasi berbeda dengan pirolisis dan pembakaran. Ketiga dibedakan berdasarkan kebutuhan udara yang diperlukan selama proses. Jika jumlah udara/bahan bakar (AFR, air fuel ratio) sama dengan 0, maka proses disebut pirolisis. Jika AFR yang diperlukan selama proses kurang dari 1.5, maka proses disebut gasifikasi.

Selama proses gasifikasi reaksi kimia utama yang terjadi adalah endotermis (memerlukan panas dari luar selama proses berlangsung). Gasifikasi sendiri menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, *petcoke* (*petroleum coke*), dan biomassa. Media yang paling umum digunakan pada proses gasifikasi ialah udara dan uap. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifikasi yang dikenal dengan nama *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. Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu padatan, cairan (termasuk gas yang dapat dikondensasikan), dan gas permanen. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi dengan menggunakan udara mempunyai nilai kalor yang lebih rendah tetapi di sisi lain proses operasi menjadi lebih sederhana.

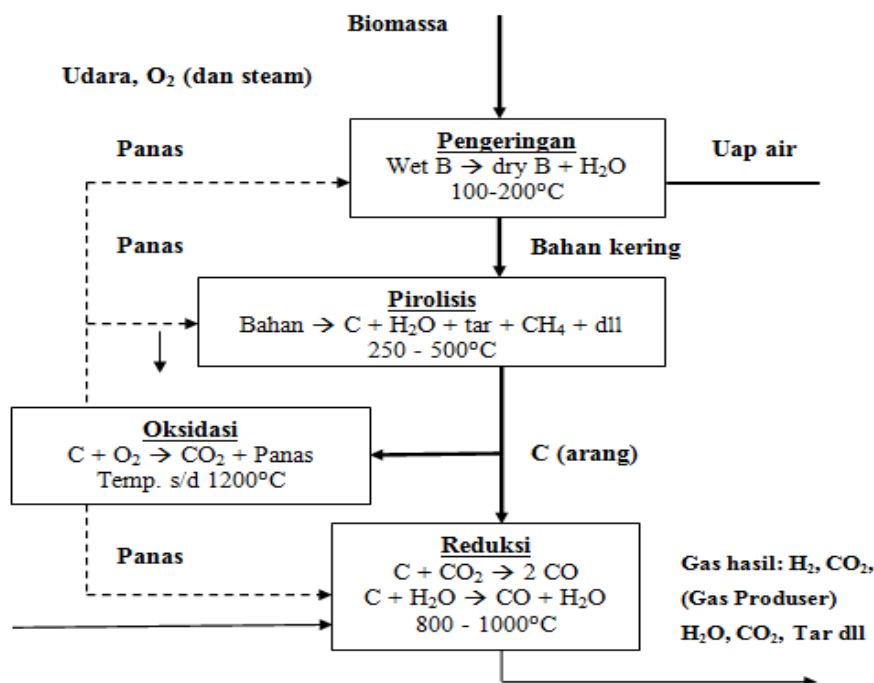
#### 2.2.1 Beberapa keunggulan dari teknologi gasifikasi yaitu:

1. Mampu menghasilkan produk gas yang konsisten yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik
2. Mampu memproses beragam input bahan bakar termasuk batu bara, minyak mentah berat (*heavy crude oil*), biomassa, berbagai macam sampah kota (*municipal waste*), dan lain sebagainya
3. Mampu mengubah sampah yang bernilai rendah menjadi produk yang bernilai lebih tinggi
4. Mampu mengurangi jumlah sampah padat
5. Gas yang dihasilkan tidak mengandung furan dan dioksin yang berbahaya

## 2.3 Tahapan Proses Gasifikasi

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah yang terdiri dari pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam proses pembakaran. Dalam gasifikasi, keempat tahapan ini dilalui secara terpisah sedemikian hingga dapat menginterupsi api dan mempertahankan gas mampu bakar tersebut dalam bentuk gas dan mengalirkan syngas tersebut ke tempat lain.

Tahapan proses gasifikasi dapat dilihat pada gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Tahapan Proses Gasifikasi

(Sumber: Witoyo, J.E...)

### a. Pengeringan

Pada pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah didalam reaktor yaitu dibawah 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 energi sekitar 2260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi.

#### b. Pirolisis

Pirolisis adalah proses pemecahan struktur bahan bakar dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi gas. 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. Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. 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.

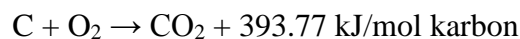
Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan ( $H_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $CH_4$ ), tar, dan arang. Ketika temperatur pada zona pirolisis rendah, maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon, dan tar). Sebaliknya, apabila temperatur pirolisis tinggi maka arang yang dihasilkan sedikit tetapi banyak mengandung cairan.

#### c. Reduksi

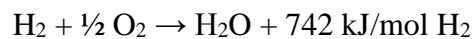
Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Pada reaksi ini, arang yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis tidak sepenuhnya karbon tetapi juga mengandung hidrokarbon yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Untuk itu, agar dihasilkan gas mampu bakar seperti hidrogen dan karbon monoksida, maka arang tersebut harus direaksikan dengan air dan karbon dioksida. Reaksi reduksi terjadi antara temperatur 500 °C hingga 1000 °C. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti  $H_2$ , CO, dan  $CH_4$ .

#### d. Oksidasi (Pembakaran)

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. 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<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah:



Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi adalah:



Selama proses gasifikasi, biomassa dipanaskan sampai suhu tinggi yang menyebabkan serangkaian perubahan fisik dan kimia menghasilkan produk yang mudah menguap dan residu padat karbon. Jumlah volatil yang dihasilkan dan komposisi mereka tergantung pada suhu reaktor, jenis dan karakteristik bahan bakar (Sadaka, 2006).

## 2.4 Komponen unit gasifikasi

Dalam proses gasifikasi terdapat beberapa komponen utama antara lain yaitu:

### a. Reaktor

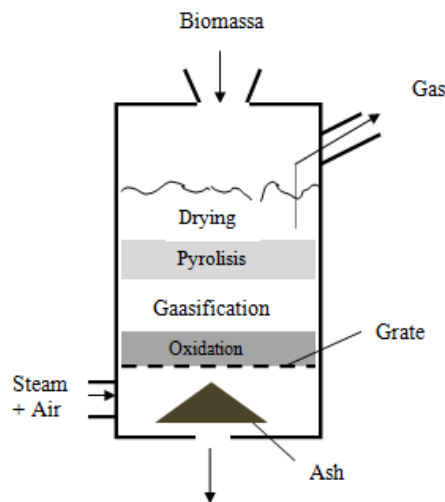
Reaktor adalah suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika. Reaktor merupakan bagian utama dari unit gasifikasi sebagai tempat terjadinya proses pembakaran dan reaksi dari perubahan energi biomassa.

Dalam perkembangan teknologi gasifikasi terdapat beberapa jenis reaktor berdasarkan arah aliran fluida gas antara lain:



## 1. Reaktor tipe updraft

Gasifikasi updraft merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Reaktor tipe ini bahan bakar dan udara bergerak dengan arah yang berlawanan.



**Gambar 2. Reaktor tipe updraft**

(sumber: teknoperta.wordpress.com)

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 biasanya terjadi pada suhu rendah (sekitar 400°C) sehingga banyak mengandung hidrokarbon dan tar. Reaktor ini menghasilkan tar sekitar 30% dari sejumlah biomassa yang digunakan.

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 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

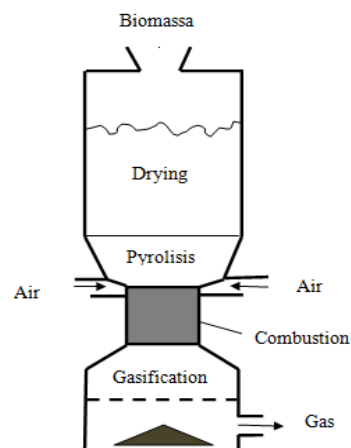
yang memiliki temperatur lebih rendah. Panas sensible yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut yaitu proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi (Gumanti Humala, A, 2012).

**Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan *Updraft Gasifier***

<b>Tipe <i>Gasifier</i></b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<i>Updraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mekanismenya sederhana</li> <li>- Hilang tekan rendah</li> <li>- Efisiensi panas baik</li> <li>- Kecenderungan membentuk terak sedikit</li> <li>- Arang (charcoal) habis terbakar</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 <i>internal combustion</i>.</li> </ul>

## 2. Reaktor tipe *downdraft*

Reaktor tipe *downdraft* hampir sama dengan tipe *updraft* hanya saja letak zona oksidasi dan zona reduksi yang berbeda. Bahan bakar dalam reaktor dimasukkan dari atas dan udara dari blower dihembuskan dari samping menuju ke zona oksidasi sedangkan produk berupa *syngas* hasil pembakaran, keluar melalui burner yang terletak dibawah ruangan bahan bakar sehingga saat volume gas makin meningkat maka *syngas* mencari jalan keluar melauai daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Sistem tersebut memiliki maksud agar *syngas* yang terbentuk akan tersaring kembali oleh bahan bakar dan melalui zona pirolisis sehingga kandungan tar dapat dikurangi.



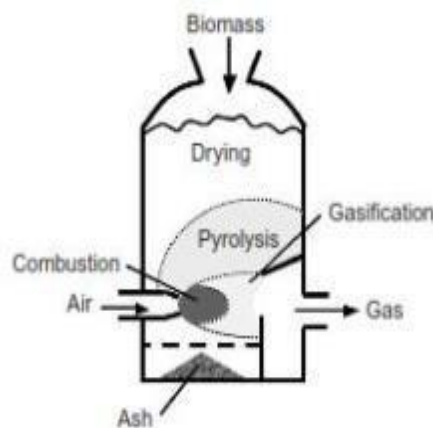
**Gambar 3. Reaktor tipe *downdraft***

(sumber: rahmanta13.wordpress.com)

Produk pirolisis yang dihasilkan melewati zona oksidasi pada suhu tinggi. Untuk mengurangi penyumbatan gas di dalam reaktor, maka digunakan blower hisap untuk menarik *syngas* dan mengalirkan ke arah burner. Kelebihan reaktor ini mengandung sedikit tar dibandingkan tipe *updraft*. Kekurangannya yaitu tidak bisa digunakan untuk limbah biomassa dengan densitas rendah (Gumanti Humala, A, 2012).

### 3. Reaktor tipe *crossdraft*

Reaktor tipe ini memiliki karakteristik yang hampir sama dengan reaktor tipe *downdraft*. Tipe ini memungkinkan operasi secara kontinu, meskipun saat bersamaan terbentuk arang. Pada reaktor jenis ini udara akan mengalir tegak lurus dengan zona pembakaran. Zona oksidasi dan zona reduksi dibuat dalam volume kecil pada bagian sisi-sisi reaktor. Reaktor ini sangat peka terhadap perubahan komposisi dan kadar air biomassa. Keuntungan reaktor tipe ini adalah reaktor ini dapat digunakan untuk operasi gasifikasi yang berkelanjutan dengan menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor. Namun untuk operasinya dibutuhkan sistem pengeluaran abu yang baik, agar bahan bakar bisa terus ditambahkan ke dalam reaktor (Witoyo, J.E...).



**Gambar 4. Reaktor tipe *crossdraft***

(sumber: rahmanta13.wordpress.com)

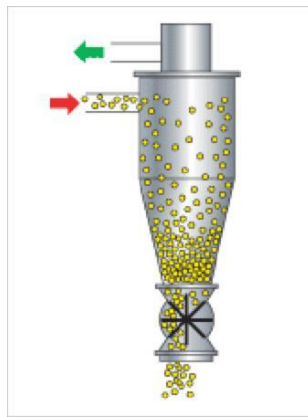
#### b. Sensor temperatur

Sensor temperatur berguna untuk mengetahui seberapa besar temperatur yang terjadi di dalam reaktor. Terdapat empat titik lokasi temperatur yang diamati dalam proses gasifikasi, titik yang diamati tersebut sesuai dengan tahapan dari proses

gasifikasi yaitu *drying*, *pyrolysis*, *reduction* dan *oxidation*. Disamping itu juga terdapat sensor temperatur untuk mengetahui temperatur gas yang dihasilkan.

### c. *Cyclone* (Pemisah)

*Cyclone* adalah alat yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan tekanan rendah karena adanya perputaran untuk proses pemisahan gas dan material padat berdasarkan perbedaan massa jenis, ukuran, dan bentuk yang ikut terhisap sehingga gas yang keluar tidak mengandung material padat.



**Gambar 5. *Cyclone* (pemisah)**

(sumber: [www.che.iitb.ac.in](http://www.che.iitb.ac.in))

Endapan dari material padat berupa tar akan jatuh ke sisi kerucut menuju tempat pengeluaran karena pengaruh gravitasi dan dikeluarkan langsung melalui *valve* pembuka.

### d. Alat Pendingin

*Cooler* berfungsi untuk menurunkan temperatur/suhu gas yang keluar dari reaktor. Proses pendinginan gas dilakukan dengan menggunakan media air untuk menurunkan suhu. Air yang digunakan untuk alat penukar panas disirkulasikan pada kolam reservoir untuk menjaga temperaturnya tetap dingin.

### e. Filter/penyaring

Filter berfungsi sebagai penyaring gas yang keluar dari alat pendingin untuk memisahkan gas dari partikel padat berupa debu dan tar. Saringan ini menggunakan jerami padi yang memiliki pori-pori halus yang berfungsi untuk menangkap partikel halus yang terbawa gas.

f. *Burner*

*Burner* berfungsi sebagai tempat untuk pembakaran terhadap *syngas* yang dihasilkan.

## 2.5 Udara Pembakaran

Reaksi kimia terjadi ketika ikatan-ikatan molekul dari *reactants* berpisah, kemudian atom-atom dan elektron menyusun kembali membentuk unsur-unsurpokok yang berlainan yang disebut hasil (*products*). Oksidasi yang terjadi secara kontinyu pada bahan bakar menghasilkan pelepasan energi sebagai hasil dari pembakaran. Pembakaran dapat dikatakan sempurna (*stoichiometric*) apabila semua karbon (C) yang terkandung dalam bahan bakar diubah menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan semua hidrogen diubah menjadi air (H<sub>2</sub>O) (IrvanNurtian,2007). Jika salah satu tidak terpenuhi, maka pembakaran tidak sempurna. Syarat terjadinya pembakaran adalah adanya oksigen (O<sub>2</sub>). Dalam aplikasi pembakaran yang banyak terjadi, udara menyediakan oksigen yang dibutuhkan. Dua parameter yang sering digunakan untuk menentukan jumlah dari bahan bakar dan udara pada proses pembakaran adalah perbandingan udara bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar dapat diartikan sebagai jumlah udara dalam suatu reaksi jumlah bahan bakar. Perbandingan udara bahan bakar dari suatu pembakaran berpengaruh menentukan bagaimana komposisi produk dan juga terhadap jumlah panas yang dilepaskan selama reaksi berlangsung dan dapat ditulis dalam basis mol (*molar basis*) atau basis massa (*mass basis*). Komposisi yang terkandung pada udara kering dapat dilihat dari tabel 5.

**Tabel 4. Komponen-komponen yang Terkandung dalam Udara Kering**

Komponen	Fraksi Mol
Nitrogen	78,08
Oksigen	20,95
Argon	0,93
Karbondioksida	0,03
Neon, Helium, Metana, dll	0,01

Sumber: (Ivan Nurtion, 2007)

### 2.5.1 Perbandingan Teknologi Gasifikasi dan Pembakaran

Terdapat beberapa perbedaan antara proses gasifikasi dengan pembakaran secara langsung, di antaranya adalah sebagai berikut:

**Tabel 5. Perbandingan Teknologi Gasifikasi dan Pembakaran**

<b>Perbedaan</b>	<b>Gasifikasi</b>	<b>Pembakaran</b>
Tujuan	Meningkatkan nilai tambah dan kegunaan dari sampah atau material dengan nilai rendah	Membangkitkan panas atau mendestruksi sampah
Jenis proses	Konversi kimia dan termal menggunakan sedikit oksigen atau tanpa oksigen	Pembakaran sempurna menggunakan udara berlebih (oksigen)
Komposisi gas kotor sebelum dibersihkan	H <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> dan partikulat	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> dan partikulat
Komposisi gas bersih	H <sub>2</sub> dan CO	CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> O
Produk padatan	Arang atau kerak (slag)	Abu
Temperatur (°C)	700-1500	800-1000
Tekanan	Lebih dari 1 atm	1 atm

Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/Gasifikasi>

### 2.6 Gas Mampu Bakar (*Syngas*)

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal Gas Sintetik (*Syngas*) merupakan campuran Hidrogen dan Karbon Monoksida. Kata sintetik gasdiartikan 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. Kualitas gas produser dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6. Kualitas Gas Produser dari *Gasifier* Biomassa**

	Fixed Bed Co-current Gasifier	Fixed Bed Counter-current Gasifier	CFB Gasifier
CH <sub>4</sub> (% vol)	1-5	2-3	2-4
CO (% vol)	10-22	15-20	13-15
H <sub>2</sub> (% vol)	15-21	10-14	15-22

Sumber: *Khairuziman, 2008*

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 7. Nilai Kalori pada *Syngas***

<b>Gases</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
HHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	12,74	12,63	39,82
LHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	10,78	12,63	35,88
Viscosity (μp)	90,00	182,0	122,0
Thermal Conductivity (W/m.K)	0,18	0,02	0,01
Specific Heat (kJ/Kg.K)	3,46	1,05	2,22

*Sumber: Kurniawan, 2012*

## 2.7 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 Biomass*

Apabila ada anggapan bahwa semua jenis biomassa dapat dijadikan bahan baku gasifikasi, anggapan tersebut merupakan hal yang naif. Nyatanya tidak semua biomassa dapat dikonversikan dengan proses gasifikasi karena ada beberapa klarifikasi dalam mendefinisikan bahan baku yang dipakai pada sistem gasifikasi berdasarkan kandungan dan sifat yang dimilikinya. Pendefinisian bahan baku gasifikasi ini dimaksudkan untuk membedakan antara bahan baku yang baik dan yang kurang baik. Adapun beberapa parameter yang dipakai untuk mengklarifikasinya, yaitu :

#### a. kandungan energy

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa maka *syngas* hasil gasifikasi biomassa tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

#### b. *Moisture*

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan berkelembaban rendah. Karena kandungan kelembaban yang tinggi menyebabkan heat loss yang berlebihan. Selain itu kandungan kelembaban 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 ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan dust yang tidak lebih dari 2 – 6 g/m<sup>3</sup>.

d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Sesungguhnya tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk approximate atomic CH<sub>1.2</sub>O<sub>0.5</sub>, terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relatif tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m<sup>3</sup>.

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 pereaksian bahan baku

## 2. Desain Reaktor

Terdapat berbagai macam bentuk gasifier yang pernah dibuat untuk proses gasifikasi. Untuk gasifier bertipe imbert yang memiliki neck di dalam reaktornya,



ukuran dan dimensi neck amat mempengaruhi proses pirolisis, pencampuran, heatloss dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkannya.

### 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 di dalam syngas, berlawanan dengan penggunaan oksigen/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. Pada gasifikasi biomass rasio yang tepat untuk proses gasifikasi berkisar pada angka 1,25 - 1,5.

## **2.8 Pehitungan Dasar Gasifikasi**

Dalam meninjau kinerja reaktor terdapat beberapa parameter penting yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan ukuran yang sesuai dengan bahan baku yang akan diuji.

### **1. Perhitungan design reaktor**

Dalam merancang bangun alat, perhitungan design reaktor diperuntukan untuk mengetahui proses gasifikasi dengan ukuran yang sesuai secara teori dan dapat membandingkan proses yang terjadi di lapangan. Design reaktor yang perlu diketahui terdiri dari luas, tinggi, diameter, volume reaktor, fuel consumption rate,

specific gasification of rice husk, jumlah udara yang dibutuhkan dan waktu operasi berlangsung.

**a. Specific Gasification Rate (SGR)**

Ini merupakan jumlah bahan bakar yang digunakan per unit waktu per luas area dari reaktor. SGR dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$SGR = \frac{\text{Weight of rice husk fuel used (kg)}}{\text{Reactor area (m}^2\text{) x operating time (hr)}}$$

Sumber: (Balenio, 2005)

Dimana:

*SGR* = Specific Gasification rate, kg/m<sup>2</sup> jam

*T* = Waktu operasi, hr

*Rc. Area* = Luas reaktor (2 π r t), m<sup>2</sup>

**b. Fuel Consumption Rate (FCR)**

Jumlah dari sekam padi yang digunakan dalam pengoperasian di reaktor dibagi dengan waktu operasi. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$FCR = \frac{\text{Weight of rice husk fuel used (kg)}}{\text{Operating time (hr)}} \quad \text{Sumber: (Balenio, 2005)}$$

**c. Combustion Zone Rate (CZR)**

Waktu yang diperlukan untuk pembakaran dari atas hingga bawah reaktor dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$CZR = \frac{\text{Lenght of the reactor (m)}}{\text{operating time (hr)}} \quad \text{Sumber: (Balenio, 2005)}$$

**d. Tinggi reaktor**

Hal ini mengacu pada total jarak dari atas hingga bagian bawah reaktor yang perlu diketahui untuk menentukan seberapa lama pengoperasian dalam satu muatan bahan bakar. Pada dasarnya, merupakan fungsi dari sejumlah variabel seperti waktu yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *gasifier* (*T*), *the specific*

*gasification rate (SGR)* dan kepadatan sekam padi. Ketinggian reaktor dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$H = \frac{SGR \times T}{\rho \text{ rice husk}} \quad \text{Sumber: (Balenio, 2005)}$$

Dimana:

$H$  = Tinggi reaktor, m

$SGR$  = *specific gasification of rice husk*, kg/m<sup>2</sup> - hr

$T$  = waktu, hr

$\rho$  = *densitas sekam padi*, kg/m<sup>3</sup>

#### e. Diameter reaktor

Hal ini mengacu pada ukuran reaktor yaitu berupa diameter yang merupakan penampang reaktor dimana sekam padi akan dibakar. Diameter reaktor dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$D = \left( \frac{1,27 \text{ FCR}}{SGR} \right)^{0,5} \quad \text{Sumber: (Balenio, 2005)}$$

Dimana:

$D$  = Diameter reaktor, m

$FCR$  = *fuel consumption rate*, kg/jam

$SGR$  = *Specific gasification rate of rice husk*, kg/m<sup>2</sup> - hr

#### f. Waktu yang diperlukan untuk gasifikasi

Hal ini mengacu pada total waktu yang dibutuhkan untuk mengetahui lamanya pengoperasian berlangsung, yaitu berupa lamanya waktu penyalan bahan bakar, lamanya proses pembakaran semua bahan baku yang ada didalam reaktor dan waktu perubahan bahan bakar menjadi gas. Waktu yang diperlukan untuk pembakaran bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = \frac{\rho \times Vr}{FCR} \quad \text{Sumber: (Balenio, 2005)}$$

Dimana:

$T$  = Waktu yang diperlukan untuk pembakaran sekam padi, hr

$V_r$  = Volume reaktor ( $\pi r^2 t$ ),  $m^3$

$\rho$  = Densitas sekam padi,  $kg/m^3$

FCR = Laju pembakaran sekam padi,  $kg/hr$

### **g. 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 sekam padi menjadi gas. Kebutuhan udara dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$AFR = \frac{e \times FCR \times SA}{\rho \text{ air}} \quad \text{Sumber: (Balenio, 2005)}$$

Dimana:

AFR = laju alir udara,  $m^3/hr$

E = equivalence ration, 0.3 – 0.4

FCR = laju pembakaran sekam padi,  $kg/hr$

SA = stokiometri udara sekam padi,

$\rho$  = densitas udara,  $kg/m^3$

## **2. Evaluasi Kinerja reaktor gasifikasi**

Dalam meninjau kinerja gasifikasi sekam padi ada beberapa hal yang menjadi parameter. Knoef et al., (2005) menjelaskan bawah dalam meninjau gasifikasi terdapat dasar dan parameter yang relavan tentang operasi gasifikasi biomassa, dan kinerja dan design gasifikasi biomassa.

### **a. 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.

$$ER = \frac{fuel-to-oxider-ratio}{(fuel-to-oxider-ratio)stoichiometric}$$

Nilai ekivalen rasio didefinisikan sebagai beriku (Turns, 2002):

$$ER, \phi = \frac{Air\ to\ fuel\ ratio}{(Air\ to\ fuel\ ratio)\ stoichiometric} = \frac{\left(\frac{A}{F}\right)}{\left(\frac{A}{F}\right)_s}$$

Eqivalen rasio dari proses gasifikasi merupakan salah satu parameter paling penting untuk penyesuaian kondisi operasi [Ramirez et al., 2007]. Udara bahan bakar stokiometri untuk pembakaran gasifikasi sekam padi dapat diperoleh dari:

$$(A/F)_s = 8,89 (\%C + 0,375 \times \%S) + 26,5 \times \%H - 3,3 \times \%O$$

Dimana:

- % C Karbon dari sekam padi
- %H Hidrogen dari sekam padi
- %O Oksigen dari sekam padi
- %S Sulfur dari sekam padi

Rumus yang diberikan untuk pembakaran biomassa dengan oksigen adalah sebagai berikut [Reed and Derosier 1979].



### ***b. Superficial velocity***

Kecepatan superficial adalah salah satu parameter yang paling penting menentukan kinerja reaktor gasifier, mengendalikan laju produksi gas, kandungan energi gas, tingkat konsumsi bahan bakar, daya output, dan tingkat tar/produksi arang. Kecepatan superficial didefinisikan sebagai laju aliran gas ( $m^3/s$ ) dibagi dengan luas penampang silinder keramik dalam ( $m^2$ ) [Knoef et al., 2005].

Kecepatan yang sebenarnya jauh lebih tinggi karena adanya bahan

biomassa. Sebuah kecepatan superfisial rendah menyebabkan kondisi pirolisis relatif lambat dan hasil arang tinggi dan gas dengan kandungan tar yang tinggi.

$$\text{superficial velocity} = \frac{\text{gas flow rate}}{\text{cross-sectional area}} \dots\dots\dots\text{Eqn. (12)}$$

**c. 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:

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

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.

**d. Laju alir dan produksi gas**

Laju aliran gas (m<sup>3</sup>/s) dapat dihitung dari aliran udara awal jika kandungan nitrogen dalam gas diketahui. Laju alir gas dapat diukur dengan *orifice*, *venturi*, tabung pitot atau rotameter ditempatkan dialiran gas [Knoef et al., 2005].

$$\text{Gas production rate} = \frac{\text{air flow rate} \times \left(\frac{3.76}{4.76}\right)}{\text{Nitrogen mole fraction of dry producer gas}} \dots\dots\dots\text{Eqn. (14)}$$

Daya keluaran dari proses gasifikasi diperoleh sebagai berikut:

$$\text{power output (MV)} = \text{gas flow rate} \times \text{LHV}_{\text{gas}} \dots\dots\dots\text{Eqn.(15)}$$

**e. Heat Energy Input**

Jumlah dari energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar. Dapat dihitung menggunakan rumus:

$$QF = WFU \times HVF$$

Dimana:

*QF*: Energi panas dalam bahan bakar, Kcal

*WFU*: Berat bahan bakar yang digunakan, kg

*HVF*: Nilai kalor bahan bakar, Kcal/kg

#### f. Power Input

Merupakan jumlah energy yang disuplai ke reaktor berdasarkan jumlah bahan bakar yang di konsumsi :

$$Power\ input\ (Pi) = 0.00012 \times FCR \times HVF \dots\dots\dots Pers(17)$$

#### g. Power Output

Jumlah energy yang dilepaskan selama pembakaran dalam reaktor.

$$Power\ output\ (MV) = gas\ flow\ rate \times LHV_{gas} \dots\dots\dots Pers(18)$$

#### h. Efisiensi gasifikasi

Efisiensi gasifier dapat dinyatakan secara dingin atau panas. Efisiensi gas dingin adalah kandungan energi kimia dari gas produser dibagi dengan kandungan energi dari biomassa, sedangkan efisiensi gas panas merupakan kandungan energi panas dari gas produser dibagi dengan kandungan energi dari biomassa. Efisiensi gas panas diperoleh dengan memperhitungkan panas yang terkandung dalam gas sedangkan efisiensi gas dingin diperoleh ketika gas di dinginkan setelah meninggalkan *gasifier* untuk suhu lingkungan. [Knoef et al., 2005].

$$Cold\ Gas\ Efficiency = \frac{chemical\ energy\ content\ of\ product\ gas}{energy\ content\ of\ biomass\ fuel}$$

$$Cold\ Gas\ Efficiency = \frac{Q \times LHV_{gas}}{LHV_{fuel} \times m_f}$$

Dimana:

*Q* = laju produksi gas

*m<sub>f</sub>* = massa bahan bakar

$$\text{Hot gas efficiency} = \frac{\text{chemical and heat energy content of product gas}}{\text{energy of biomass fuel}}$$

$$\text{Hot gas efficiency} = \frac{Q \times (\text{LHV gas} + \text{sensible heat of hot gas})}{mf \times \text{LHV fuel}}$$

Efisiensi gasifikasi adalah persentase energi sekam padi dikonversi ke produk gas dingin (bebas dari tar). Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung efisiensi gasifikasi.

$$\eta = \left( \frac{\text{Amount of gas produced} \times \text{LCV of Gas}}{\text{Quantity of Husk used} \times \text{LCV of husk}} \right) \times 100$$

### 3. Perhitungan Total Tar

#### a. Neraca Karbon

- Menghitung karbon pada bahan baku

$$\text{Massa bahan baku} \times \% C \text{ bahan baku} \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.434})$$

- Menghitung karbon pada tar

$$\frac{\text{massa tar in celullosa}}{\text{massa bahan baku}} \times \% C \text{ in tar} \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.434})$$

- Berat refuse

$$\frac{\text{berat ash}}{\% \text{ ash pada refuse}} \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.434})$$

- Karbon refuse

$$\text{Berat refuse} \times \% FC \text{ in refuse} \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.434})$$

- Karbon tergasifikasi

$$C \text{ bahan baku} - (C \text{ in tar} + C \text{ in refuse}) \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.434})$$

#### b. Menghitung tar di syngas

- Menghitung total karbon di gas

$$\text{Berat tar} \times \% C \text{ in tar} \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.435})$$

$$\text{Total karbon} = C \text{ in clean gas} + C \text{ in tar} \quad (\text{sumber: Hougen, Pg.435})$$



- Menghitung mol dari gas kering

$$\frac{\text{Karbon Tergasifikasi}}{\text{Total C in gas}} \text{ (sumber: Hougen, Pg.435)}$$

- Menghitung total tar

$$C = \text{mol gas kering} \times \text{mol c in tar} \text{ (sumber: Hougen, Pg.436)}$$

$$H = \text{mol gas kering} \times \text{weight of tar} \text{ (sumber: Hougen, Pg.436)}$$

$$\text{Total tar} = C + H \text{ (sumber: Hougen, Pg.436)}$$

- c. Menghitung Persen Daya Serap Filter Jerami

$$\% \text{ Daya Serap Jerami} = \frac{\text{Berat tar terserap filter jerami}}{\text{total tar}} \times 100\%$$