

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tongkol Jagung**

Tongkol jagung adalah bagian dalam organ betina tempat bulir duduk menempel. Istilah ini juga dipakai untuk menyebut seluruh bagian jagung betina (buah jagung). Tongkol terbungkus oleh kelobot (kulit buah jagung). Secara morfologi, tongkol jagung adalah tangkai utama malai yang termodifikasi, Malai organ jantan pada jagung dapat memunculkan bulir pada kondisi tertentu. Tongkol jagung muda, disebut juga *babycorn*, dapat dimakan dan dijadikan sayuran. Tongkol yang tua ringan namun kuat, dan menjadi sumber furfural, sejenis monosakarida dengan lima atom karbon. Tongkol jagung tersusun atas senyawa kompleks *lignin*, *hemiselulose* dan *selulose*. Masing-masing merupakan senyawa-senyawa yang potensial dapat dikonversi menjadi senyawa lain secara biologi (Suprpto dan Rasyid, 2002).

Sebuah perusahaan di Iowa, AS berhasil memanfaatkan tongkol jagung sebagai berbagai produk yang ramah lingkungan. Tongkol memiliki sifat-sifat seperti salah satu bagiannya keras dan sebagian bersifat menyerap (*absorbent*), juga sifat-sifat yang merupakan gabungan beberapa sifat, seperti: tidak terjadi reaksi kimia bila dicampur dengan zat kimia lain (*inert*), dapat terurai secara alami dan ringan sehingga tongkol jagung merupakan bahan ideal campuran pakan, bahan campuran insektisida dan pupuk. Serta dapat digunakan sebagai alas hewan peliharaan karena alami, bersih dan dapat mengurangi bau tidak sedap ([www.ciras.iastate.edu/iof](http://www.ciras.iastate.edu/iof)).

Penggunaan tongkol jagung untuk keperluan bahan bakar sekitar 90% sedangkan limbah batang dan daun sekitar 30% dari potensi yang ada. Tongkol jagung memiliki kandungan karbon yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan 6 ton jagung dari kadar air 32.5% sampai 13.7% bb selama 7 jam diperlukan sekitar 30 kg tongkol jagung kering per jam (Alkuino, 2000).

**Tabel 1.** Analisis Kimia Tongkol Jagung

Komponen		Nilai
<i>Proximate analysis</i> (wt.% of dry basis)	Moisture	6,50
	Volatiles	80,2
	FC	16,7
	Ash	3,1
Ultimate analysis (wt.% of dry and ash free)	C	49,0
	H	6,0
	O	44,7
	N	0,3
	S	0,08
HHV (MJ/kg)		17,2
Density (Kg/m <sup>3</sup> )		188

Sumber : A.O. Aboyade et al. *Thermochimica Acta* 517 (2011)

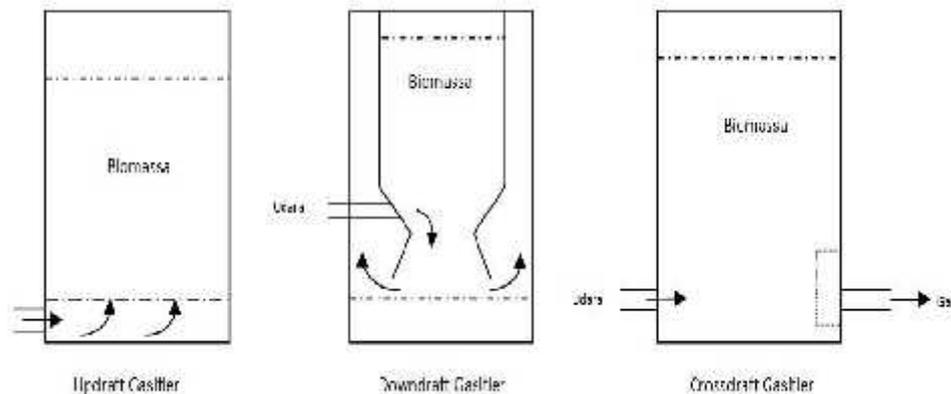
## 2.2 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar yang mengandung karbon menjadi gas yang memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Proses gasifikasi ini dilakukan dalam reaktor gasifikasi atau biasa disebut *gasifier* dan gas hasilnya disebut gas produser (Yovita Reiny Arisanty, Yuni Kusumastuti, dan Annisa Widyanti Utami, 2009). *Gasifier* merupakan alat yang relatif sederhana karena mekanisme operasinya, seperti pengumpanan dan pembersihan gas hasil yang cukup mudah. Namun keberhasilan operasi gasifikasi pada penerapannya tidak mudah. Hal ini karena fenomena termodinamika operasi *gasifier* belum begitu dipahami secara mendalam, sehingga masih banyak hal yang memerlukan pengkajian. Proses gasifikasi biomassa dapat dilakukan baik secara langsung (menggunakan udara atau oksigen untuk membangkitkan panas melalui reaksi eksotermis), maupun tidak langsung (mentransfer panas ke dalam reaktor dari luar) (Reed, 1988).

### 2.2.1. Jenis-Jenis Gasifikasi

Berdasarkan mode fluidisasinya, *gasifier* dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: mode gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), mode gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), mode gasifikasi *entrained flow*. Sampai saat ini yang digunakan untuk skala proses gasifikasi skala kecil adalah mode *gasifier* unggun tetap. (Reed and Das, 1988).

Berdasarkan arah aliran, *fixed bed gasifier* dapat dibedakan menjadi: reaktor aliran berlawanan (*updraft gasifier*), reaktor aliran searah (*downdraft gasifier*) dan reaktor aliran menyilang (*crossdraft gasifier*). Pada *updraft gasifier*, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas ke atas. Pada *downdraft gasifier*, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama-sama ke bawah. Sedangkan gasifikasi *crossdraft* arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan ke bawah (Hantoko, dkk.,2011).



**Gambar 1.** Tipe *Gasifier* Berdasarkan Arah Aliran

Berdasarkan *gasifying agent* yang diperlukan, terdapat gasifikasi udara dan gasifikasi oksigen/uap. Gasifikasi udara merupakan metode dimana gas yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah udara. Sedangkan pada gasifikasi uap, gas yang digunakan pada proses yang terjadi adalah uap. Penelitian ini dilakukan menggunakan *updraft gasifier* dan *gasifying agent* udara karena kemampuan dan kelebihanannya, meskipun masih memiliki beberapa kekurangan. Kelebihan dan kekurangan *updraft gasifier* dapat dilihat pada tabel 2.

Dengan beragam jenis alat gasifikasi ini tentunya memiliki perbedaan antara suatu system gasifikasi dengan system gasifikasi lainnya. Hasil reaksi dan *syngas* yang dihasilkan dari reaksi gasifikasi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing alat gasifikasi tersebut. Berikut table kelebihan dan kekurangan berbagai tipe gasifier.

**Tabel 2.** Kelebihan dan Kekurangan *Updraft Gasifier*

<b>Tipe Gasifier</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>- Kecenderunganmembentuk 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 <i>start up</i> yang cukup lama untuk mesin <i>internal combustion</i>.</li> </ul>

Sumber: Rinovianto, 2012

### 2.2.2 Proses Gasifikasi

Gasifikasi umumnya terdiri dari empat proses, yaitu: pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi. 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 C dan H<sub>2</sub> yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Penjelasan lebih lanjut mengenai proses-proses tersebut dapat dilihat pada uraian berikut ini.

#### a. Proses Pengeringan (*Drying*)

Reaksi ini berada pada bagian atas reaktor dengan temperatur < 150 °C yang merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor. 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. 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

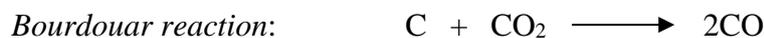
mempercepat waktu pengeringan di dalam reaktor hingga 30% atau kurang dari 25 menit. Jika dibandingkan dengan penjemuran pada suhu 30 °C yang mencapai 25-40 menit untuk proses pengeringan saja.

b. Proses Pirolisis

Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis pada bahan bakar yang dimulai secara lambat pada  $T < 350$  °C dan terjadi secara cepat pada  $T > 700$  °C, dimana pada proses ini terjadi pemecahan struktur bahan bakar dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi gas. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa arang atau karbon, tar, dan gas ringan ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , dan  $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Ketika temperatur pada zona pirolisis rendah, maka akan menghasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon, dan tar). Sebaliknya, jika temperatur pirolisis tinggi maka arang yang dihasilkan sedikit tetapi banyak mengandung cairan.

c. Proses Reduksi

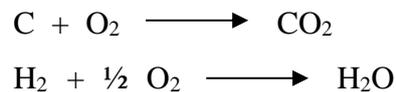
Reduksi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Pada reaksi ini, arang yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis tidak sepenuhnya karbon tetapi juga produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ , dan  $\text{CH}_4$ . Reaksi reduksi terjadi antara temperatur 500°C sampai 1000°C. Untuk itu, agar dihasilkan gas mampu bakar seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  dan  $\text{CH}_4$  maka arang tersebut harus direaksikan dengan air dan karbon dioksida. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia, diantaranya sebagai berikut :



d. Proses Pembakaran (Oksidasi)

Proses pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat dalam bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi

mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Oksidasi merupakan reaksi terpenting di dalam reaktor gasifikasi karena reaksi ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya berkisar antara 700°C sampai 1500°C. Oksigen yang dipasok ke dalam reaktor bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar yang menghasilkan produk berupa CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada proses pirolisis. Produk lain yang dihasilkan dalam reaksi oksidasi berupa air, panas, cahaya, N<sub>2</sub> dan gas lainnya (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, dan lain-lain). Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :



### 2.3 Pembersihan Gas Sintetik

Gas hasil pembakaran dalam *gasifier* biasanya masih bercampur dengan berbagai unsur yang tidak diperlukan dan gas keluaran masih memiliki temperatur tinggi. Unsur yang tidak diperlukan itu antara lain partikel padat (partikel yang tidak terkonversi), pengotor anorganik (halida, alkali, senyawa belerang dan nitrogen) dan kotoran organik (tar, aromatik dan karbon dioksida). Gas hasil pembakaran/gas mampu bakar ini akan direaksikan dengan udara untuk dibakar menjadi energi. Pembakaran gas ini merupakan reaksi sintesis sehingga gas yang dihasilkan harus lebih murni. Oleh karena itu gas keluar didinginkan dan dibersihkan terlebih dahulu.

Cara untuk membersihkan gas dari debu atau partikel yang tidak diinginkan yaitu tar, dengan filtrasi (*scrubber*). Sistem filtrasi dibagi menjadi dua, yaitu *wet scrubber* dan *dry scrubber*. Prinsip dasar dari semua jenis filtrasi sama yaitu membersihkan gas dari unsur-unsur seperti senyawa sulphur, nitrogen, debu yang terangkut oleh gas, kelembaban dari gas, temperatur gas serta produk distilasi yaitu tar, minyak serta gas-gas yang tidak terkondensasi dan uap air.

## 2.4 Venturi Scrubber

*Venturi scrubber* masuk ke dalam jenis *wet scrubber*, karena sistem ini disokong oleh *liquid* yang digunakan sebagai pengikat tar atau pengotor dalam gas. *Liquid* pada penelitian ini menggunakan air sebagai media pembersihnya. *Venturi scrubber* menggunakan energi pergerakan aliran gas untuk mengatomisasi *liquid* menjadi droplet. Aliran *liquid* mengalami kontak dengan aliran gas pada bagian menyempit dari venturi. Saat mengalami penyempitan, aliran gas akan dipercepat dan berkontraksi sehingga dapat menembus inti droplet *liquid*. *Venturi scrubber* memberikan keuntungan lebih dalam pemisahan dan pembuatan ulang kabut air dibandingkan dengan metode pembersih gas lainnya. *Venturi scrubber* memiliki desain yang sederhana namun memiliki efisiensi yang tinggi.

Keuntungan :

1. Sederhana, dengan mudah disesuaikan dengan pengaturan tekanan pada *throat* untuk efisiensi maksimum.
2. Mempunyai ketahanan terhadap temperatur dan korosi yang tinggi.
3. Dapat difungsikan pada konsentrasi pengotor yang tinggi sebagai pembuangan air.

## 2.5 Proses Pembentukan Tar

Tar adalah salah satu pengotor yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya korosif. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Secara visual tar dapat kita lihat berwarna hitam pekat dan kental. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic*  $\text{CH}_{1,2}\text{O}_{0,5}$ , 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  $1 \text{ g/m}^3$ .

Pada *gasifier* jenis *updraft* tingkat kandungan tar relatif tinggi. Tar yang dihasilkan oleh *updraft* bersifat primari. Tar terbentuk pada zona pirolisis dan

hasil produk sampingan dari proses gasifikasi. Proses pembentukan secara kimia dapat di definisikan:



Proses pembentukan tar bergantung pada dua faktor. Faktor-faktor tersebut adalah faktor temperatur, dan tinggi reaktor. Saat temperatur rendah (dibawah 500 °C), produksi tar awalnya meningkat, lalu kemudian menurun seiring dengan semakin tingginya temperatur. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur, produksi tar akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada temperature tinggi, tar akan mengalami proses *cracking*. Proses *cracking* adalah proses dimana tar berubah menjadi gas seperti O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Setiap alat gasifikasi memiliki karakteristiknya masing-masing sehingga mempengaruhi hasil dari reaksi yang terjadi pada alat-alat gasifikasi tersebut. Berikut ini adalah tabel perbedaan kadar tar pada gasifikasi biomassa.

**Tabel 3.** Kandungan Tar pada Gasifikasi

Jenis Gasifikasi	Rata-Rata Konsentrasi Tar dalam Produk (gr/Nm <sup>3</sup> )	Persentase Tar pada Bahan Bakar Biomassa
Downdraft	<1	<2
Fluidized Bed	10	1-5
Updraft	50	10-20

Sumber : Kurniawan, 2012

Pengaruh tinggi reaktor terhadap produksi tar berhubungan dengan residence time. Semakin lama gas berada di dalam reaktor, semakin banyak pula tar yang mengalami proses *cracking* dalam temperatur yang sama. Dengan semakin besarnya *residence time*, semakin rendah pula temperatur yang dibutuhkan untuk membuat tar mengalami proses *cracking*. *Residence time* dari gas dapat ditingkatkan dengan memperbesar reaktor atau menambah tinggi reaktor. Hal ini sangat berbeda dengan *downdraft*. Pada *downdraft* gas hasil pengeringan akan di tarik kebawah, sehingga tar mengalami pemanasan kembali yang mengakibatkan temperatur tar meningkat sehingga massa tar berkurang.

## 2.6 Orifice Meter

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. *Blower* pada sistem gasifikasi updraft berperan untuk memberikan pasokan udara tersebut ke ruang bakar. mendapatkan komposisi udara oksidasi yang pas, maka pipa pasokan udara blower harus terpasang orifis dan manometer yang tersambung dengan katub untuk mengatur besar kecilnya hembusan udara. Orifis adalah salah satu alat pengukur tekanan fluida pada suatu sistem pemipaan. Alat ini mempunyai sekat pada sambungannya yang telah diberikan lubang dengan diameter tertentu (biasanya setengah dari diameter pipa).

Pada bagian depan dan belakang sekat orifis terdapat lubang manometer yang berfungsi sebagai tabung pengukur perbedaan fluida yang masuk dan keluar dari sekat orifis. Aliran udara sebelum masuk sekat orifis akan lebih besar daripada udara setelah keluar dari orifis. Perbedaan tersebut akan menghasilkan perbedaan tinggi fluida yang terjadi pada tabung manometer.

Untuk menghitung besar flowrate aliran fluida yang masuk ke dalam pipa, maka diasumsikan alirannya adalah steady-state, densitas fluida konstan, aliran fluida laminar (tidak ada perubahan elevasi), dan kerugian akibat gesekan diabaikan. Kemudian gunakan persamaan Bernoulli seperti di bawah ini :

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 \quad (\text{physics.hivepc.com})$$

Atau

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 \quad (\text{physics.hivepc.com})$$

Dengan persamaan kontinuitas

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (\text{physics.hivepc.com})$$

Sehingga

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{Q}{A_2}\right)^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2 \quad (\text{Sumber: Mc Cabe. 1993 : 221})$$

Kemudian didapatkan Q sebesar

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2 (P_1 - P_2) / \rho}{1 - (A_2 / A_1)^2}} \quad (\text{Sumber: Mc Cabe. 1993 : 221})$$

Kemudian masukan nilai Cd yaitu nilai koefisien debit dalam perhitungan ini dapat digunakan Cd = 0,6 sedangkan  $\beta = d_2/d_1$  sehingga diperoleh persamaan

$$Q = C_d A_2 \sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}} \sqrt{\frac{2 (P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (\text{Sumber: Mc Cabe. 1993 : 221})$$

Parameter - parameter pada persamaan di atas sudah dapat dicari menggunakan alat orifis sehingga dapat dihitung besar debit (Q) dengan menggunakan persamaan di atas. Untuk mencari laju aliran masa ( ), maka nilai Q dapat langsung dikalikan dengan rho (  $\rho$  ) fluida yang mengalir, atau dapat gunakan rumus dibawah ini :

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (\text{Sumber: Mc Cabe. 1993 : 221})$$

Dimana:

Q	= aliran volumetric (m <sup>3</sup> /s)	A <sub>2</sub>	= luas lubang orifis (m <sup>2</sup> )
C <sub>d</sub>	= koefisien debit	$\beta$	= rsio diameter lubang orifis- pipa
V <sub>1</sub>	= kecepatan hulu (m/s) = laju aliran masa (kg/s)	d <sub>1</sub>	= diameter pipa (m)
V <sub>2</sub>	= kecepatan fluida pada orifis	d <sub>2</sub>	= diameter lubang orifis (m)
C	= koefisien aliran orifis	P <sub>1</sub>	= tekanan fluida hulu (Pa)
A <sub>1</sub>	= luas penampang pipa (m <sup>2</sup> )	P <sub>2</sub>	= tekanan fluda hilir (Pa)
$\rho$	= densitas fluida (kg/m <sup>3</sup> )		

