

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gasifikasi**

Gasifikasi merupakan metode konversi secara termokimia bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas berupa *syngas* dalam wadah yang disebut *gasifier* dengan menyuplai agen gasifikasi seperti uap panas, udara dan lainnya. Proses gasifikasi berlangsung didalam *gasifier*, didalam *gasifier* ini akan terjadi proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar padat yang digunakan akan bereaksi dengan oksigen melalui proses pembakaran untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses gasifikasi merupakan proses parsial bahan baku padat yang melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat.

#### **2.2.1 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 zonafikasi area pembakaran berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi. Zona pembakaran terjadi di dekat *grate* yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan menghasikan gas dengan temperature yang tinggi. Gas hasil reaksi tersebut 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, I.P; 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 (Latif, Marlina; 2014).

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

**Tabel 2.1** Kelebihan dan Kekurangan Jenis - jenis *Gasifier*

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	Desain <i>gasifier</i> tinggi Tidak cocok untuk

---

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

---

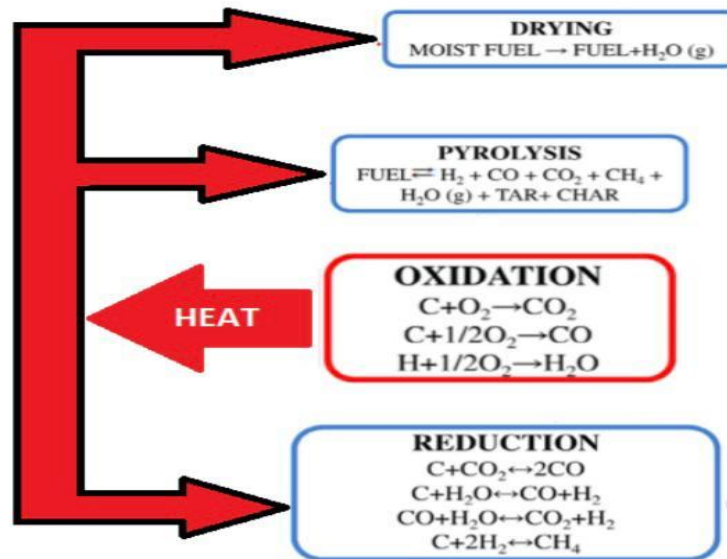
(Sumber : Rinovianto, 2012)

### 2.2.2 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:

- a. Pengeringan :  $T < 150^{\circ}\text{C}$
- b. Pirolisis/Devolatilisasi :  $150^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$
- c. Oksidasi :  $700^{\circ}\text{C} < T < 1500^{\circ}\text{C}$
- d. Reduksi :  $400^{\circ}\text{C} < T < 900^{\circ}\text{C}$

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.



**Gambar 2.1** Tahapan Dalam Proses Gasifikasi

a. Drying / Pengeringan

Proses Drying terletak antara range suhu 100 – 150°C yang bersifat endoterm (menyerap panas). Pengeringan terdiri atas penguapan uap air yang terkandung dalam bahan baku. 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 energy sekitar 2.260 kJ untuk melakukan proses tersebut sehingga cukup menyita waktu operasi. Moist Feedstock + Heat → Dry Feedstock + H<sub>2</sub>O

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

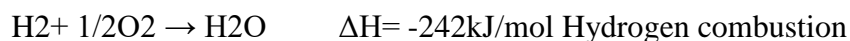
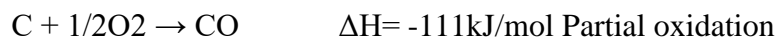
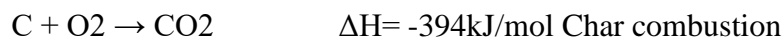
b. Pirolisis / Devolatilisasi

Merupakan fase dekomposisi termokimia dari bahan matriks karbon; khususnya, cracking ikatan kimia berlangsung dengan pembentukan molekul dengan berat

molekul rendah.. Fraksi padat, yang bisa berkisar dari 5-10% berat untuk gasifikasi fluidized bed. fraksi ini termasuk bahan lembam yang terkandung dalam biomassa dalam bentuk abu dan sebagian kecil kandungan karbon yang tinggi, yang disebut "char". Fraksi cairan, biasanya disebut "tar". Reaksi pirolisis berlangsung dengan suhu di kisaran 300- 700°C. termasuk dalam kondisi endotermik, seperti pada langkah pengeringan, panas yang dibutuhkan berasal dari tahap proses oksidasi.

#### c. 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 CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis. Terjadi pada suhu > 700 °C Oksidasi dilakukan dalam kondisi kekurangan oksigen sehubungan dengan rasio stoikiometri untuk mengoksidasi hanya sebagian dari bahan bakar. dengan memanfaatkan supply O<sub>2</sub> terbatas pada reaktor dan melepas sejumlah panas. Panas ini digunakan untuk memecah Hidrokarbon hasil pirolisis serta untuk mengatasi kebutuhan panas proses reduksi. Reaksi yang berlangsung selama fase oksidasi adalah sebagai berikut:



Produk utama berupa energi panas yang sangat diperlukan untuk seluruh proses, sedangkan produk pembakaran merupakan campuran gas CO, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Dalam campuran ini nitrogen dapat hadir jika oksidasi biomassa dilakukan dengan udara.

#### d. Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, di mana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Selama proses gasifikasi reaksi kimia utama yang terjadi adalah endotermis (memerlukan panas dari luar selama proses berlangsung). Media

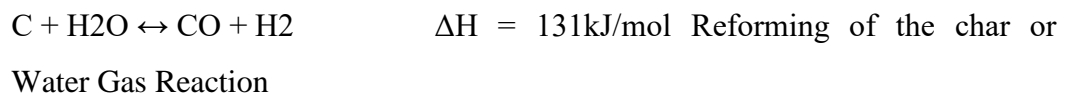
yang paling umum digunakan pada proses gasifikasi ialah udara dan uap. Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu padatan, cairan (termasuk gas yang dapat dikondensasikan), dan gas permanen. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi dengan menggunakan udara mempunyai nilai kalor yang lebih rendah tetapi di sisi lain proses operasi menjadi lebih sederhana.

e. Combustion/Pembakaran

Pembakaran adalah suatu runutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi. Pembakaran itu sendiri terdiri dari pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna.

f. Reduksi

Proses Reduksi terjadi pada kisaran suhu 400-900 °C Langkah reduksi melibatkan semua produk dari tahap sebelumnya dari pirolisis dan oksidasi; campuran gas dan arang bereaksi satu sama lain sehingga pembentukan akhir berupa syngas. Reaksi utama yang terjadi pada langkah reduksi adalah:



### 2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Menurut (Rismawan, dkk 2013) terdapat faktor – faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi diantaranya adalah

a. Kandungan energi bahan bakar yang digunakan

Bahan bakar dengan kandungan energi yang tinggi akan memberikan pembakaran gas yang lebih baik.

b. Kandungan air dari bahan bakar yang digunakan

Bahan bakar dengan tingkat kelembaban yang lebih rendah akan lebih mudah digasifikasikan daripada bahan bakar dengan tingkat kelembaban yang tinggi.

c. Bentuk dan ukuran bahan bakar

Ukuran bahan bakar yang lebih kecil memerlukan *fan / blower* dengan tekanan yang lebih tinggi.

d. Distribusi ukuran bahan bakar

Distribusi ukuran bahan bakar yang tidak seragam akan menyebabkan bahan bakar yang digunakan lebih sulit terkarbonisasi, dan mempengaruhi proses gasifikasi.

e. Temperatur reaktor gasifikasi

Temperatur reaktor ketika proses gasifikasi berlangsung sangat mempengaruhi produksi gas yang dihasilkan. Untuk itu reaktor gasifikasi perlu diberi insulasi untuk mempertahankan temperatur di dalam reaktor.

## 2.2 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan yang tersusun dari atom karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Biomassa juga mencakup gas dan cairan dari material non-fosil dan degradasi bahan organik. Pada dasarnya biomassa terbentuk dari interaksi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), udara, air, tanah dan sinar matahari (Basu, 2010). Biomassa merupakan sumber energi ramah lingkungan yang sumber karbonnya berasal dari CO<sub>2</sub> di udara. Pembakaran biomassa menghasilkan CO<sub>2</sub> yang sama jumlahnya dengan yang terserap oleh proses fotosintesis.

Biomassa adalah material yang berasal dari tumbuhan maupun hewan termasuk manusia. Namun biomassa dalam sudut pandang industri juga berarti material biologis yang bisa diubah menjadi sumber energi atau material industri. Jenis material yang dapat dikatakan sebagai biomass sangat bervariasi, mulai dari residu agrikultur, residu hewan, serpih kayu yang sangat bersih dengan kadar kelembaban 50 %, kayu hasil residu perkotaan yang kering serta terkontaminasi material lain, hingga material organik dari sampah padat di perkotaan.

Pada prinsipnya biomassa sudah mengandung energi potensial yang dapat diubah menjadi berbagai macam energi lain, misalnya energi panas. Hasil proses pembakaran biomass dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air yang menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin pembangkit tenaga listrik.

Membakar biomass bukan salah satu cara terbaik menghasilkan energi panas karena dampak langsung yang dihasilkan dari pembakaran biomass tidak baik untuk lingkungan dan efisiensi energi yang dihasilkan tidaklah demikian besar akibat dari pembakaran tidak sempurna. Maka perlu dipikirkan cara untuk mendapatkan sumber energi yang efisien dengan cara mengolah biomassa.

Biomassa merupakan bahan energi yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dengan cepat. Karena itu bahan organik yang diproses melalui proses geologi seperti minyak dan batubara tidak dapat digolongkan dalam kelompok biomassa. Biomassa umumnya mempunyai kadar volatile relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara. Biomass juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatile batubara, sehingga biomassa lebih reaktif dibanding batubara (Gita, 2011).

Penggunaan biomass sebagai sumber energi berpotensi mereduksi efek *global warming*. Meskipun biomass menghasilkan karbon dioksida dengan jumlah besar, yang kurang lebih sebesar yang dihasilkan bahan bakar minyak ataupun batubara, namun karbon dioksida ini dapat dikonsumsi untuk pertumbuhan tanaman baru. Sehingga karbon dioksida yang dilepas ke lingkungan dapat diasumsikan tidak ada sama sekali.

### **2.2.1 Cangkang Kelapa Sawit**

Cangkang sawit adalah limbah padat hasil pengelolaan kelapa sawit dapat menjadi salah satu potensi biomassa yang dapat menghasilkan energi. Asia merupakan penyuplai 79% tandan buah segar (TBS) kelapa sawit dari total produksi di dunia. Dimana 95% dari total suplai Asia dihasilkan oleh negara Malaysia dan Indonesia. Pada tahun 2000 produksi tandan buah segar dunia adalah 94 juta ton dimana 43 % – 45 % merupakan limbah padat serabut, tempurung dan tandan kosong. Indonesia sebagai penghasil kelapa sawit terbesar setelah Malaysia menghasilkan 8,2 juta ton pertahun limbah padat berupa serabut, batok dan tandan kosong yang setara dengan energi yang dapat dihasilkan sebesar 67 GJ/Tahun (The Bronzoek Group, 1999 dalam Vidian, 2011).



Cangkang sawit memiliki potensi yang cukup besar jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena nilai kalor yang dimilikinya cukup tinggi, sekelas dengan batubara jenis lignit, berikut hasil analisa proksimat dan ultimat dari cangkang kelapa sawit.

**Tabel 2.2.** Analisa proksimat dan ultimat cangkang kelapa sawit

Analisa/Parameter	Cangkang sawit	Batubara lignit
<b>Proksimat (%berat)</b>		
Kadar air	6,12	17,5
Zat terbang	56,64	37,2
Abu	10,62	6,3
Karbon tetap	26,62	40,3
<b>Lanjutan Tabel 2.2</b>		
<i>Low Heating Value</i>	4594	5324
<b>Ultimate (% berat)</b>		
C	48,48	57,0
H	6,32	6,5
O	43,59	28,3
N	0,21	1,1
S	0,01	0,5

Sumber: Vidian F. (2009) dan Bahrin D. (2009).

Tabel diatas menunjukkan bahwa, tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan antara biomassa cangkang sawit dibandingkan dengan batubara jenis lignit baik dilihat dari nilai kalor, analisa proksimat dan analisa ultimat. Berdasarkan hasil analisis tersebut maka biomassa cangkang sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada industri karet menggantikan batubara.

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

Gas mampu bakar atau yang lebih dikenal gas sintetik (*syngas*) merupakan campuran hidrogen dan karbonmonoksida.. *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.