

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biomassa**

Biomassa merupakan salah satu bentuk energi terbarukan berupa bahan organik non-fosil dan *biodegradable* (dapat terurai secara biologi) yang berasal dari tumbuhan, hewan dan mikroorganisme. Biomassa juga mencakup produk, *by-product* (produk samping), residu dan limbah pertanian, kehutanan serta industri terkait. Selain itu, fraksi organik non-fosil dan *biodegradable* dari limbah industri dan kota juga termasuk biomassa (Basu, 2010).

Biomassa dibentuk oleh interaksi antara CO<sub>2</sub>, udara, air (H<sub>2</sub>O), tanah dan sinar matahari dengan tanaman. Setelah suatu organisme mati, mikroorganisme memecah biomassa ke dalam konstituen dasar seperti H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> dan energi potensialnya (Basu, 2010). Jika biomassa dibakar dan menghasilkan CO<sub>2</sub>, gas CO<sub>2</sub> tersebut akan kembali diserap oleh tanaman sehingga biomassa disebut bebas dari emisi atau *zero emission*.

##### **2.1.1 Sumber Biomassa**

Biomassa dapat berasal dari berbagai sumber, mencakup semua material tumbuhan dan material turunan tumbuhan, termasuk kotoran ternak. Biomassa primer berasal langsung dari tanaman atau binatang sedangkan biomassa sekunder berasal dari berbagai turunan produk biomassa (Basu, 2010). Sumber biomassa disajikan pada Tabel 2.1.

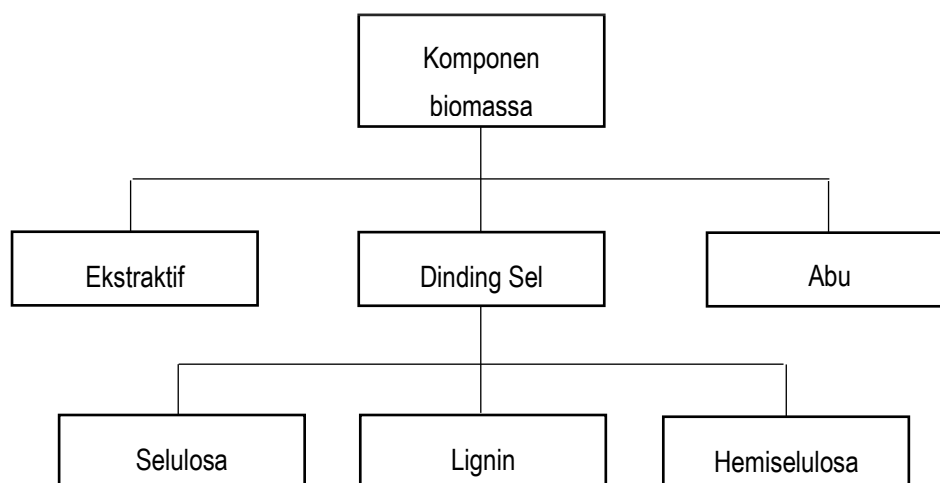
Tabel 2. 1 Tipe biomassa dan sub-klasifikasinya

<b>Primer</b>	Biomassa darat	Biomassa hutan
		Rerumputan
		Tanaman obat dan budidaya
	Biomassa air	Algae
		Tanaman air
<b>Sekunder</b>	Sampah kota	Sampah kota padat
		Gas TPA
	Sampah padat pertanian	Ternak dan pupuk
		Residu tanaman pertanian
	Residu perhutanan	Kulit kayu, daun dan akar
	Limbah industri	Serbuk gergaji
		Limbah minyak

(Sumber : Basu, 2010)

### 2.1.2 Struktur Biomassa

Biomassa merupakan campuran kompleks material organik seperti karbohidrat, lemak, protein dan sedikit mineral seperti natrium, fosfor, kalsium dan besi (Basu, 2010). Struktur biomassa dapat dilihat pada Gambar 2.1. Biomassa tersusun atas tiga komponen utama yaitu ekstraktif, komponen dinding sel dan abu.



Gambar 2. 1 Struktur utama biomassa (Basu, 2010)

Komponen utama biomassa yang pertama yaitu ekstraktif. Ekstraktif merupakan substansi dalam jaringan tumbuhan dan hewan yang dapat dipisahkan dengan bantuan pelarut lalu dipisahkan dengan evaporasi. Contoh dari ekstraktif yaitu protein, minyak, pati, gula dan sebagainya. Sementara itu, komponen dinding sel merupakan komponen yang memberikan kekuatan pada tumbuhan dan memungkinkan tumbuhan untuk berdiri diatas tanah tanpa dukungan. Dinding sel terbuat dari karbohidrat dan lignin. Karbohidrat umumnya merupakan serat selulosa dan hemi-selulosa yang berperan memberikan kekuatan untuk tumbuhan, dimana lignin mengikat serat tersebut agar bersatu. Komponen utama biomassa terakhir yaitu abu yang merupakan komponen pengotor anorganik dari biomassa (Basu, 2010).

Berdasarkan Gambar 2.1, komponen dinding sel dibentuk oleh tiga senyawa yaitu selulosa, hemi-selulosa dan lignin. Tiga senyawa ini berperan sebagai pemberi kekuatan untuk tumbuhan. Penjelasan mengenai ketiga senyawa pembentuk dinding sel ini ialah sebagai berikut : (Susanto, 2018)

a. Selulosa

Kandungan selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> didalam biomassa hingga 90% dalam kapas dan sekitar 33% dalam sebagian besar tanaman lain. Selulosa di dalam kayu merupakan komponen utama dengan kadar sekitar 40% - 44% berat kering. Selulosa adalah penghasil tar selama pirolisis biomassa.

b. Hemi-selulosa

Hemi-selulosa adalah polimer dari senyawa gula dengan lima atom C. Hemi-selulosa menempati fraksi biomassa pada rentang 15% - 35%. Di dalam proses pirolisis, hemi-selulosa mengalami degradasi paling awal dibandingkan selulosa dan lignin.

c. Lignin

Lignin merupakan makromolekul pengikat dalam struktur biomassa. Lignin tahan terhadap panas, sehingga degradasi lignin terjadi pada akhir proses pirolisis (350-500°C). Degradasi lignin dapat menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi kesehatan dan komponen tar yang terbawa gas hasil gasifikasi.

## 2.2 Bambu

Bambu merupakan tanaman tahunan yang sudah dikenal sejak lama di Indonesia. Bambu dapat tumbuh di daerah iklim basah sampai kering dan dari dataran rendah hingga dataran tinggi. Bambu ialah sekelompok tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk menyerap CO<sub>2</sub> dalam konsentrasi yang tinggi karena memiliki stomata yang relatif rapat dan banyak yaitu lebih dari 500 stomata per mm<sup>2</sup>. Dengan demikian bambu dapat dijadikan sebagai tumbuhan bioakumulator yang efektif mengurangi peningkatan emisi karbon di atmosfer (Pasaribu, 2015). Dari data yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik, tertera bahwa produksi bambu pada tahun 2017 di Indonesia sangat melimpah. Data tersebut disajikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Hasil produksi bambu di Indonesia

Tahun	Jumlah Bambu (batang)
2012	174.377,58
2015	9.694.131,00
2016	12.060.632,72

(Sumber: BPS, 2018)

Bambu yang dapat menyerap CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi tinggi akan membuat kandungan karbon dari bambu juga tinggi. Hal ini berarti konversi energi dari biomassa bambu berpotensi sangat tinggi. Potensi untuk mengonversi bambu menjadi energi juga sangat didukung oleh melimpahnya hasil produksi bambu di Indonesia seperti pada Tabel 2.2.

## 2.3 Analisis Kandungan Biomassa

Biomassa mengandung banyak komponen organik kompleks, kandungan air dalam biomassa atau kelembapan (M) dan sedikit abu. Komponen organik terdiri dari empat elemen dasar yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Biomassa juga dapat mengandung sedikit klorin (Cl) dan sulfur (S).

Desain termal untuk sistem pemanfaatan biomassa, baik *gasifier* atau pembakar

tentu membutuhkan komposisi dari bahan bakar dan kandungan energinya. Analisis yang dapat mendeskripsikan komposisi dan kandungan energi dari biomassa yaitu analisis ultimat dan analisis proksimat.

(Basu, 2010)

### 2.3.1 Analisis Ultimat

Dalam analisis ultimat, komposisi biomassa dinyatakan dalam unsur-unsur utama kecuali M dan abu.

$$C + H + O + N + S + \text{abu} + M = 100\% \quad (2.1)$$

C, H, O, N dan S masing-masing adalah persen berat dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur di dalam biomassa. Tidak seluruh biomassa mengandung unsur-unsur ini, contohnya ada beberapa biomassa yang tidak mengandung sulfur. Kelembapan terpisah sebagai M. Demikian, hidrogen dan oksigen pada analisis ultimat tidak termasuk hidrogen dan oksigen dalam kelembapan, tetapi hanya hidrogen dan oksigen dalam komponen organik biomassa (Basu, 2010). Analisis ultimat bambu disajikan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Analisis ultimat bambu (*adb*)

Unsur	% Berat
Karbon	47,95
Hidrogen	6,09
Nitrogen	0,60
Sulfur	0,05
Oksigen	42,49
Ash	2,70
Total	99,98

(Sumber : Phyllis, 2015)

### 2.3.2 Analisis Proksimat

Analisis proksimat menyatakan komposisi biomassa dalam M, komponen mudah menguap (VM), abu (*ash*) dan karbon tetap (FC). Kelembapan dan abu dalam analisis proksimat sama dengan yang ada pada analisis ultimat. Namun, karbon tetap dalam analisis proksimat berbeda dengan karbon dalam analisis ultimat. Pada

analisis proksimat, yang dimaksud dengan karbon tetap tidak termasuk karbon dalam komponen mudah menguap (Basu, 2010). Analisis proksimat bambu disajikan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Analisis proksimat bambu (*adb*)

Komponen	% Berat
Moisture	0,10
Ash	2,70
Komponen Volatile	75,92
<i>Fixed carbon</i>	21,28
Total	100

(Sumber : Phyllis, 2015)

## 2.4 Konversi Termokimia

Didalam konversi termokimia, biomassa dikonversi menjadi berbagai gas yang kemudian disintesis menjadi produk kimia lain ataupun digunakan secara langsung. Sintesis *Fischer-Tropsch* yang mengonversi *syngas* menjadi bahan bakar cair untuk kendaraan adalah salah satu contoh dari konversi termokimia. Kebutuhan akan energi panas adalah pendorong utama dari konversi termokimia yang memiliki empat proses utama. Perbandingan dari empat proses konversi termokimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5. Empat Proses utama konversi termokimia diantaranya ialah sebagai berikut: (Basu, 2010)

1. Pembakaran
2. Pirolisis
3. Gasifikasi
4. Liquifikasi

**Tabel 2.5** Perbandingan proses konversi termokimia

Proses	Temperatur (°C)	Tekanan (MPa)	Katalis	Pengeringan
Liquifikasi	250-330	5-20	Diperlukan	Tidak diperlukan
Pirolisis	380-530	0,1-0,5	Tidak diperlukan	Diperlukan
Pembakaran	700-1400	>0,1	Tidak diperlukan	Tidak diperlukan
Gasifikasi	500-1300	>0,1	Tidak diperlukan	Diperlukan

(Sumber : Basu, 2010)

### 2.4.1 Pembakaran

Secara kimia, pembakaran merupakan reaksi eksotermik antara oksigen ( $O_2$ ) dan hidrokarbon. Pada reaksi ini, biomassa dikonversi menjadi dua komponen stabil yaitu  $H_2O$  dan  $CO_2$ . Panas yang dilepaskan dari reaksi pembakaran merupakan sumber energi panas terbesar yang dimanfaatkan oleh manusia, terhitung lebih dari 90% energi tersebut berasal dari biomassa.

Panas merupakan bentuk utama dari energi hasil pembakaran biomassa. Aplikasi di industri yang paling banyak ditemukan yaitu pembakaran biomassa untuk menghasilkan *steam* di dalam *boiler* dimana *steam* tersebut nantinya akan menghasilkan listrik melalui *steam turbine*. Dalam *boiler*, biomassa digunakan baik sebagai bahan bakar mandiri atau sebagai suplemen bahan bakar fosil. Pilihan terakhir semakin umum digunakan karena pilihan ini merupakan yang tercepat dan termurah untuk mengurangi emisi karbon dioksida dari industri. Pilihan ini disebut *co-combustion* atau *co-firing*.

(Basu,2010)

### 2.4.2 Pirolisis

Pirolisis berjalan tanpa adanya oksigen atau dengan oksigen dalam jumlah terbatas. Contohnya pembakaran parsial dengan oksigen terbatas yang bertujuan untuk menyediakan energi panas yang dibutuhkan oleh proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal dari biomassa menjadi fasa gas, cair, dan padat. Pirolisis terbagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Torefaksi atau pirolisis ringan
2. Pirolisis lambat
3. Pirolisis cepat

Pirolisis dapat digunakan untuk konversi limbah biomassa menjadi bahan bakar cair yang berguna. Pirolisis merupakan reaksi endotermik. Pada proses pirolisis, molekul hidrokarbon besar dari biomassa dipecah menjadi molekul hidrokarbon yang lebih kecil. Pirolisis cepat, umumnya memproduksi bahan bakar cair atau bio-oil sedangkan pirolisis lambat menghasilkan beberapa gas dan arang padat.

Torefaksi merupakan proses pemanasan biomassa pada temperatur 230°C hingga 300°C tanpa kontak dengan oksigen. Struktur kimia dari biomassa diubah dan menghasilkan karbon dioksida, karbon monoksida, air, asam asetat dan metanol. Torefaksi meningkatkan kerapatan energi dari biomassa. Torefaksi juga sangat mengurangi berat dan sifat higroskopis dari biomassa, sehingga biaya transportasi berkurang dan nilai ekonomi biomassa untuk produksi energi meningkat.

(Basu, 2010)

### 2.4.3 Liquifikasi

Liquifikasi atau pencairan biomassa padat menjadi bahan bakar cair dapat dilakukan dengan proses pirolisis, maupun gasifikasi sebagai proses hidrotermal. Namun pada proses akhir, biomassa dikonversi menjadi cairan minyak dengan cara mengontakkan biomassa dengan air pada suhu tinggi (300°C-350°C) dan tekanan tinggi (12-20 Mpa) dalam waktu tertentu. Proses ini dikenal dengan liquifikasi (Basu, 2010).

### 2.4.4 Gasifikasi

Gasifikasi adalah metode yang mengkonversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri). Bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi ialah material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifikasi yang dikenal dengan *gasifier*. Di dalam *gasifier* terjadi proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu, selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran parsial yaitu bereaksi dengan oksigen sehingga menghasilkan gas mampu bakar beserta sisa hasil pembakaran lain (Rinovianto, 2012).

Produk gas terdiri atas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , nitrogen ( $\text{N}_2$ ) (apabila menggunakan udara sebagai oksidan) dan berbagai kontaminan seperti partikel arang, debu, tar, hidrokarbon rantai panjang dan senyawa-senyawa sejenisnya. Komponen tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi maupun sumber



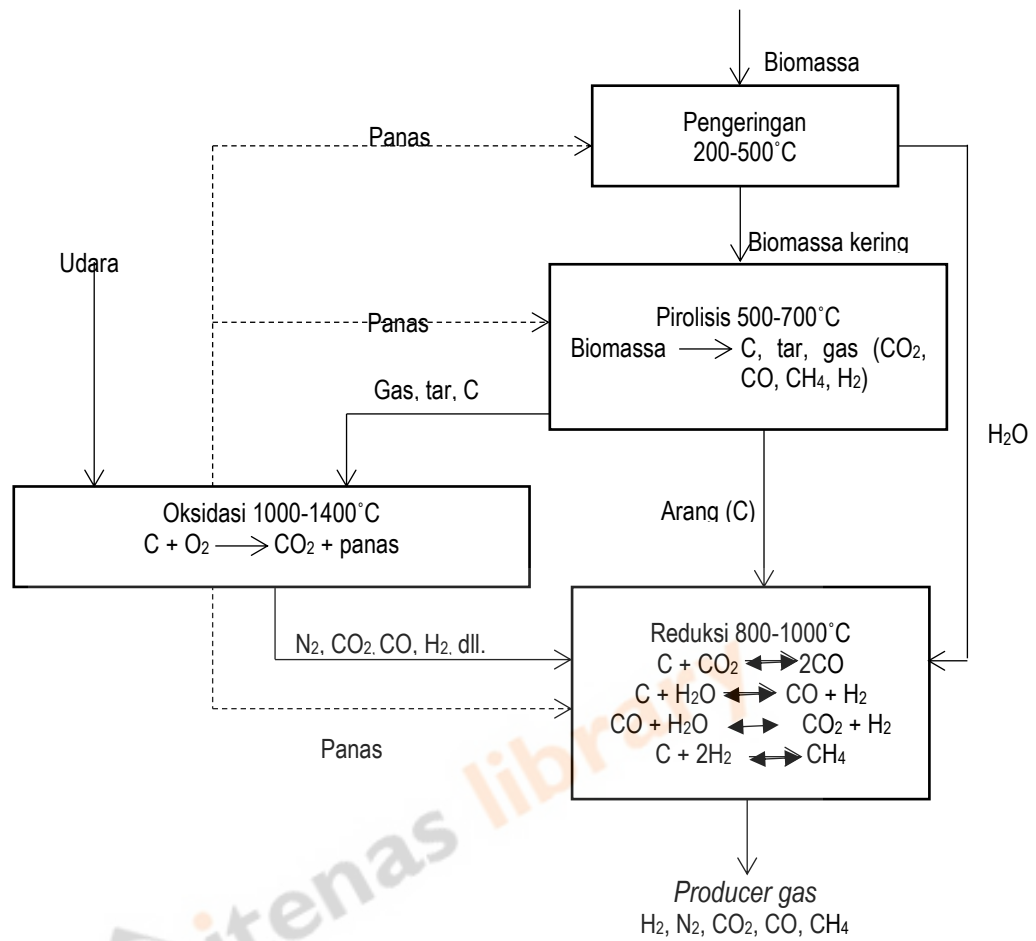
bahan baku industri kimia seperti sebagai bahan baku pembuatan metanol, amonia dan *Fischer Tropsch Fuel*.

Dalam proses gasifikasi dikenal istilah *gassifying agent*. *Gassifying agent* yang digunakan untuk gasifikasi diantaranya oksigen, udara, *steam* maupun gas sisa. Oksigen merupakan *gassifying agent* yang paling umum digunakan karena menghasilkan gas produser yang bernilai kalor tinggi. Oksigen dapat diumpungkan pada reaktor gasifikasi dalam bentuk senyawa murni atau dalam bentuk udara. Namun jika udara digunakan sebagai *gassifying agent*, nitrogen didalamnya akan membuat konsentrasi gas produser menjadi rendah. Hal ini menyebabkan nilai kalor dari gasifikasi dengan oksigen lebih tinggi daripada gasifikasi dengan udara.

(Basu,2010)

## 2.5 Tahapan Proses Gasifikasi

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah yaitu proses pengeringan, pirolisis, oksidasi atau pembakaran dan reduksi. Proses zonafikasi tersebut terjadi pada rentang temperatur yang berbeda dan menjadi karakteristik dari masing-masing daerah tersebut. Proses pengeringan terjadi pada temperatur 100 hingga 250°C, proses pirolisis terjadi pada temperatur antara 250°C sampai 500°C, proses reduksi terjadi pada temperatur 800°C sampai 1000°C sedangkan proses oksidasi terjadi dengan temperatur mencapai 1200°C. Proses pengeringan, pirolisis dan reduksi bersifat menyerap panas atau endotermik sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas atau eksotermik. Oleh karena itu dalam keseluruhan proses gasifikasi, panas yang dihasilkan dari proses oksidasi digunakan untuk proses pengeringan, pirolisis dan reduksi (Rinovianto, 2012). Keempat tahapan proses gasifikasi tersebut secara singkat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Tahap-tahap proses gasifikasi (Sumber: Susanto, 2018)

### 2.5.1 Tahap Pengeringan

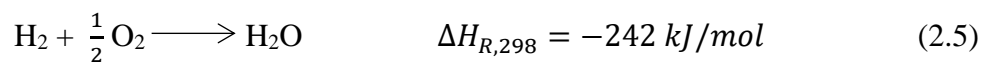
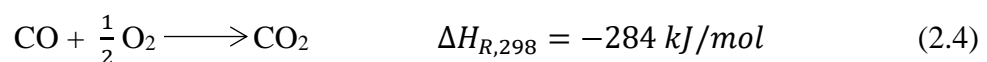
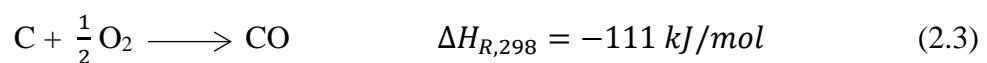
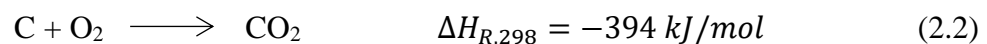
Pada tahapan pengeringan terjadi proses pengurangan kadar air biomassa. Kadar air pada biomassa berkisar 20% sampai 30%. Setelah melewati proses pengeringan pada rentang temperatur 100°C hingga 250°C, kadar air akan berkurang hingga mencapai kurang dari 10% (Susanto, 2018). Tahapan ini terletak pada bagian atas reaktor dengan temperatur paling rendah dalam reaktor. Pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada pembakaran dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil.

### 2.5.2 Tahap Pirolisis

Pada tahap pirolisis terjadi pemisahan komponen mudah menguap dari biomassa menggunakan panas dari proses oksidasi. Secara khusus, Pirolisis merupakan proses pemecahan struktur bahan bakar dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi gas. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa arang atau karbon, tar, serta gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  dan  $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Ketika temperatur pada zona pirolisis rendah, maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon dan tar). Sebaliknya, apabila temperatur pirolisis tinggi maka arang yang dihasilkan sedikit tetapi banyak mengandung cairan (Rinovianto, 2012).

### 2.5.3 Tahap Oksidasi

Pada tahapan ini terjadi reaksi antara oksigen dengan arang atau oksigen dengan komponen mudah menguap. Temperatur ditahap ini dapat mencapai  $1200^\circ\text{C}$ . Reaksi yang terjadi bersifat eksotermik dan panas yang timbul dapat digunakan sebagai suplai energi bagi reaksi endotermik pada proses yang lain sehingga tahapan oksidasi merupakan tahapan yang terpenting dalam gasifikasi. Reaksi yang terjadi antara lain sebagai berikut.



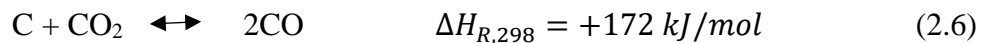
(Susanto, 2014)

### 2.5.4 Tahap Reduksi

Tahap gasifikasi juga disebut sebagai reduksi. Tahap ini terjadi pada temperatur  $800^\circ\text{C}$  hingga  $1000^\circ\text{C}$ . Reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi ialah:

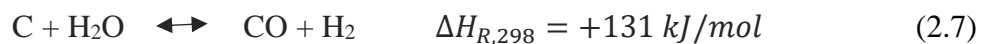
### 1. Boudouard Reaction

Gasifikasi arang dalam CO<sub>2</sub> dikenal dengan *Boudouard reaction*. Reaksi ini merupakan reaksi antara arang dengan CO<sub>2</sub> untuk menghasilkan gas CO. Reaksi ini termasuk reaksi endotermik.



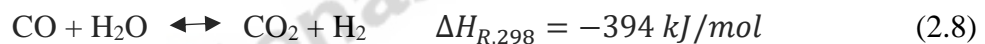
### 2. Water-gas reaction

Gasifikasi arang dalam *steam* dikenal dengan istilah *water-gas reaction* merupakan reaksi gasifikasi terpenting. Hal ini karena *water-gas reaction* menghasilkan dua gas produser sekaligus yakni CO dan H<sub>2</sub>. Reaksi ini termasuk reaksi endotermik.



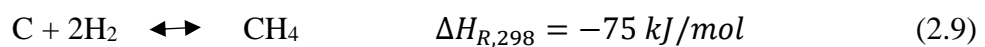
### 3. Shift reaction

*Shift reaction* meningkatkan jumlah H<sub>2</sub> dan mengurangi jumlah CO dalam gas produser. Reaksi ini merupakan pre-reaksi pembentukan *syngas* di bagian bawah *gasifier*. Reaksi ini termasuk reaksi eksotermik.



### 4. Methanation

Reaksi ini melibatkan gasifikasi arang dalam H<sub>2</sub> yang kemudian menghasilkan CH<sub>4</sub>. Laju reaksi ini lebih lambat dibandingkan reaksi lain. Reaksi ini termasuk reaksi eksotermik.



(Basu, 2010)

## 2.6 Reaktor Gasifikasi

Gasifikasi dapat dibedakan berdasarkan mode fluidisasi, arah aliran dan agen gasifikasi yang diperlukan untuk proses gasifikasi. Berdasarkan mode fluidisasi, gasifikasi dapat dibedakan menjadi gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), gasifikasi unggun bergerak (*moving bed gasification*), gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*) dan *entrained bed*. Sedangkan berdasarkan

arah aliran, gasifikasi dibedakan menjadi gasifikasi aliran searah (*downdraft gasification*), gasifikasi aliran berlawanan (*updraft gasification*) dan gasifikasi aliran menyilang (*crossdraft gasification*). Kemudian berdasarkan agen gasifikasi yang diperlukan, gasifikasi dibedakan menjadi gasifikasi udara dan uap. Pada gasifikasi udara, agen gasifikasi yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah udara, sedangkan pada gasifikasi uap, agen gasifikasi yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah uap (Sudarmanta, dkk., 2009).

Pemilihan tipe *gasifier* penting dilakukan dengan mengetahui kelebihan dan kelemahan tipe *gasifier* sesuai dengan kebutuhan proses. Adapun kelebihan dan kelemahan *gasifier* berdasarkan kategori arah aliran udara yang masuk, yaitu:

**Tabel 2.6** Kelebihan dan kelemahan *fixed-bed gasifier*

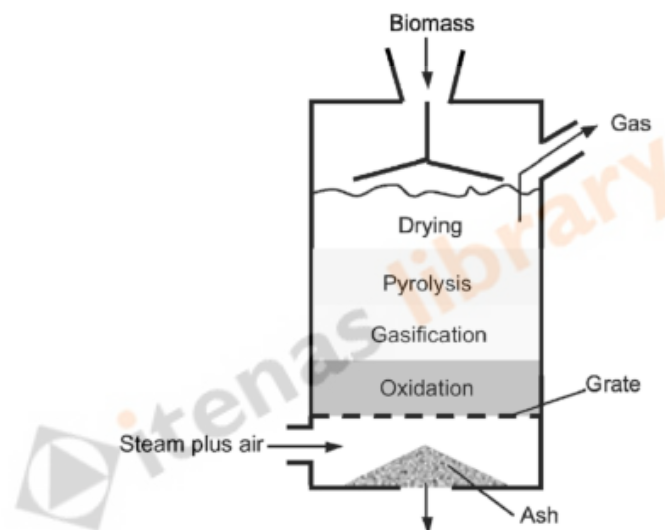
Jenis <i>gasifier</i>	Kelebihan	Kelemahan
Updraft <i>Gasifier</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih mudah dioperasikan</li> <li>• Arang yang dihasilkan banyak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak dapat beroperasi secara kontinyu</li> <li>• Menghasilkan kadar gas metana yang sedikit</li> <li>• Gas yang dihasilkan tidak kontinyu</li> </ul>
Downdraft <i>Gasifier</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat beroperasi secara kontinyu dengan suhu gas tinggi</li> <li>• Kandungan tar dan abu dalam gas output sangat kecil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produksi asap terlalu banyak selama operasi.</li> <li>• Membutuhkan sistem <i>secondary heat recovery</i> agar tidak merusak komponen di sekitarnya</li> </ul>
Crossdraft <i>Gasifier</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suhu gas yang keluar tinggi</li> <li>• Reduksi CO<sub>2</sub> rendah</li> <li>• Kecepatan gas tinggi</li> <li>• Penyimpanan, pembakaran dan reduksi terpisah</li> <li>• Kemampuan pengoperasiannya bagus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komposisi gas yang dihasilkan kurang bagus</li> <li>• Gas H<sub>2</sub> yang dihasilkan rendah</li> <li>• Gas metan yang dihasilkan juga rendah</li> </ul>

(Sumber: Findi, 2016)

### 2.6.1 *Updraft Gasification*

Pada gasifikasi *updraft*, arah aliran biomassa ke bawah sedangkan arah aliran gas mengalir ke atas. Pada tipe ini umpan dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak kebawah melewati zona pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi. Sedangkan udara masuk pada bagian bawah melewati *grate* dan gas keluar pada bagian atas.

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat pada *updraft gasifier*, gas produser akan keluar dibagian atas gasifier sehingga gas produser tidak melewati zona yang memiliki temperatur tinggi. Dengan demikian tar yang terbentuk akan banyak karena tidak mengalami *cracking* pada zona dengan temperatur tinggi tersebut (Basu,2010).

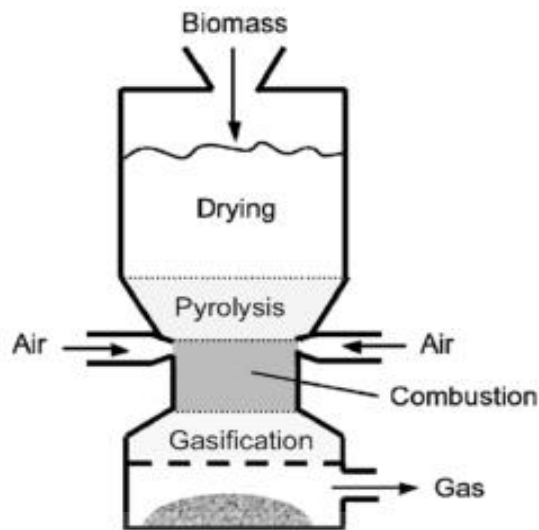


**Gambar 2. 3** Skema updraft gasification (Sumber: Basu, 2010)

### 2.6.2 *Downdraft Gasification*

Pada tipe ini sumber panas terletak di bawah bahan bakar seperti tampak dalam Gambar 2.4 dibawah. Pada Gambar 2.4 aliran udara bergerak ke zona gasifikasi yang menyebabkan asap pirolisis melewati zona gasifikasi yang panas. Hal ini membuat tar yang terkandung dalam asap terbakar, sehingga gas yang dihasilkan oleh reaktor ini lebih bersih. Keuntungan reaktor tipe ini adalah dapat digunakan untuk operasi yang berkesinambungan dengan menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor. Namun untuk operasi yang berkesinambungan dibutuhkan sistem pengeluaran abu yang baik, agar bahan bakar bisa terus ditambahkan ke

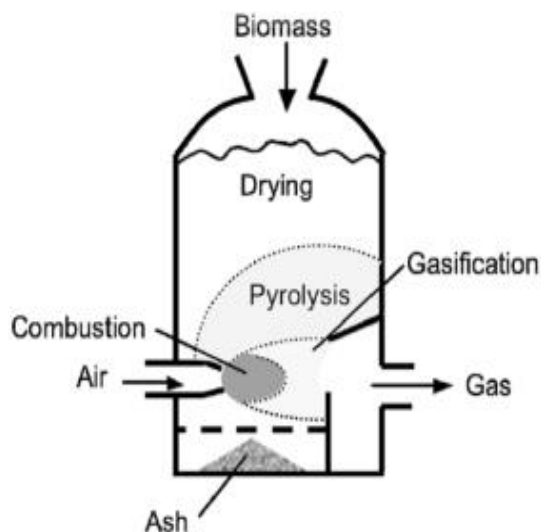
dalam reaktor (Khoiri, 2016).



**Gambar 2.4** Skema *downdraft gasification* (Sumber: Basu, 2010)

### 2.6.3 *Crossdraft Gasification*

*Crossdraft gasifier* memiliki arah aliran gas mendatar dengan aliran biomassa ke arah bawah reaktor. *Crossdraft gasifier* didesain untuk pemakaian arang. Gasifikasi arang menghasilkan suhu yang sangat tinggi ( $>1500^{\circ}\text{C}$ ) di daerah oksidasi. Selain itu kinerja pemecahan tar termasuk rendah, sehingga diperlukan arang berkualitas tinggi (Findi, 2016).

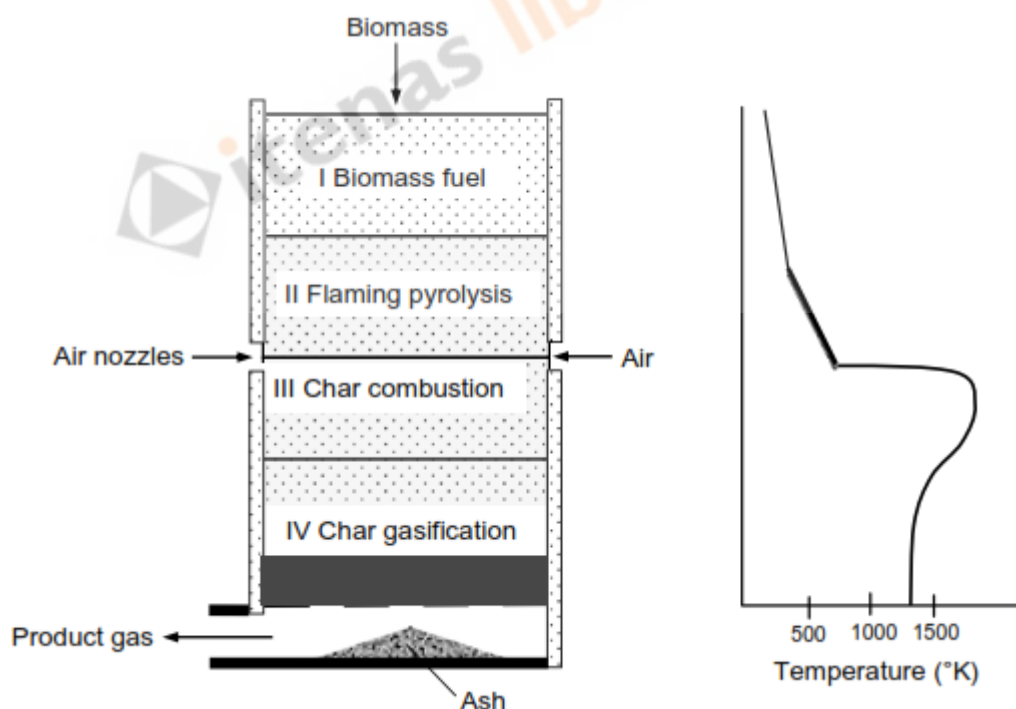


**Gambar 2. 4** Skema *crossdraft gasification* (Sumber: Basu, 2010)

Pada Gambar 2.5 diatas dapat dilihat udara dengan kecepatan tinggi melalui *nozzle* dihembuskan kedalam reaktor gasifikasi menuju zona oksidasi. Adanya kelebihan oksigen dari udara pada zona oksidasi dapat menyebabkan tar yang terbentuk teroksidasi pada suhu tinggi yaitu  $>1500^{\circ}\text{C}$ . Kemudian sisa tar akan mengalami reduksi. Selain itu, temperatur zona oksidasi akan mempengaruhi temperatur pada zona pirolisis, sehingga biomassa akan mengalami pirolisis saat melewati zona tersebut.

## 2.7 Downdraft Gasifier

Solusi kandungan tar yang berlebih pada gas produser sudah ditemukan pada desain *downdraft gasifier*. Pada *downdraft gasifier*, udara dimasukkan pada zona oksidasi dan urutan proses yang berlangsung yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi seperti pada Gambar 2.6 dibawah.



**Gambar 2. 5** Skema downdraft gasifier (Sumber: Basu, 2010)

*Downdraft gasifier* memanfaatkan sistem oksidasi tertutup untuk memperoleh temperatur tinggi. Pada sistem ini biomassa dimasukkan dari atas *gasifier*,



sedangkan udara dimasukkan melalui bagian tengah *gasifier*. Udara bergerak menuju zona pembakaran dan *syngas* keluar melalui bagian bawah reaktor. Kondisi tersebut memungkinkan biomassa dan udara memiliki arah aliran yang sama atau biasa disebut dengan *co-current reactor*. Selama proses pengeringan, uap air dalam biomassa didorong oleh panas dari proses oksidasi. Selain untuk pengeringan, panas yang dikeluarkan selama proses oksidasi digunakan untuk proses pirolisis dan reduksi. Gas yang mudah menguap dilepaskan selama proses pirolisis dan gas produser terbentuk selama proses reduksi kemudian keluar dari *gasifier* melalui *outlet gas* (Basu,2010).

## **2.8 Hasil Gasifikasi**

### **2.8.1 Gas Produser**

Gas produser adalah campuran dari beberapa gas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi dari bahan organik. Gas produser terdiri dari gas CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan sedikit senyawa hidrokarbon seperti gas metana dengan gas nitrogen dari udara. Gas produser dapat dibakar sebagai gas bahan bakar seperti pada *boiler* untuk memanaskan, didalam mesin pembakaran gas internal untuk pembangkit listrik atau pencampur panas dan tenaga. Komposisi dari gas dapat disesuaikan dengan manipulasi parameter gasifikasi (Sadaka, 2012).

### **2.8.1 Syngas**

Gas sintetis adalah gas campuran dari gas CO dan H<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pemanasan oleh *steam* dengan temperatur tinggi atau gasifikasi oksigen dari bahan organik seperti biomassa. Gas sintesis dapat digunakan untuk menghasilkan gas natural sintesis metana atau biofuel cair seperti diesel sintesis (menggunakan metoda *Fischer-Tropsch synthesis*) (Sadaka, 2012).

## 2.8.2 Tar

Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destruktif pada material organik. Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif dan membahayakan lingkungan. Terbentuknya tar pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar terjadi pada zona pirolisis. Gas produser yang mengandung tar relatif tinggi jika diumpankan pada *Internal Combustion (IC) engine*, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan *intake valve* sehingga menurunkan *lifetime* mesin. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari  $1\text{g/m}^3$  (Findi, 2016). Representasi tingkatan tar dan partikulat untuk beberapa jenis *gasifier* secara umum tersaji dalam tabel dibawah ini:

**Tabel 2.7** Perkiraan kadar tar pada reaktor gasifikasi

Tipe Gasifier	Kandungan Tar ( $\text{g/Nm}^3$ )	
	Rata-rata konsentrasi tar dalam produk	Perkiraan tar pada bahan bakar biomassa
Fixed Bed - Down Draft	<1	<2
Fixed Bed - Updraft	50	10-20
Moving Bed - Fluidized Bed	10	1-5
Entrained flow	Negligible	

(Sumber: Gumanti, 2012)

## 2.9 Faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi dan produk *syngas* yang dihasilkan, diantaranya sebagai berikut:

### 2.9.1 Kandungan Biomassa

Biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk proses gasifikasi memiliki beberapa parameter sehingga proses berjalan efisien dan menghasilkan produk *syngas* yang berkualitas. Parameter tersebut menunjukkan pengklasifikasian bahan baku gasifikasi yang baik dan tidak baik. Adapun beberapa parameter yang dipakai untuk mengklasifikasikannya yaitu : (Zainuddin, dkk., 2017)

- a. Kandungan Energi, semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa maka *syngas* hasil gasifikasi biomassa tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.
- b. Kelembapan, bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya memiliki kelembapan yang rendah. Jika kandungan kelembapan tinggi akan menyebabkan *heat loss* yang tinggi. Selain itu kandungan moisture yang tinggi juga menyebabkan beban pendinginan semakin tinggi karena *pressure drop* yang terjadi akan meningkat. Idealnya kandungan kelembapan yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi kurang dari 20 %.
- c. Debu, dapat berpotensi menyumbat saluran dan mengganggu reaksi gasifikasi sehingga membutuhkan *maintenance* yang lebih. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan kandungan debu yang tidak lebih dari 2–6 g/m<sup>3</sup>.
- d. Tar, merupakan cairan hitam kental berbau tajam yang dihindari karena sifatnya korosif dan mengganggu pernafasan. Zat ini terbentuk pada temperatur pirolisis yang kemudian ter evaporasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m<sup>3</sup>.
- e. Ukuran, ukuran dari biomassa yang diumpankan kedalam reaktor harus dipertimbangkan. Semakin kecil ukuran biomassa maka luas permukaan kontak dengan bara api semakin besar. Kondisi tersebut tidak diharapkan karena biomassa sangat cepat teroksidasi dan gas produser yang dihasilkan sedikit. Dengan demikian ukuran biomassa yang diumpankan disarankan ± (1x1) cm.

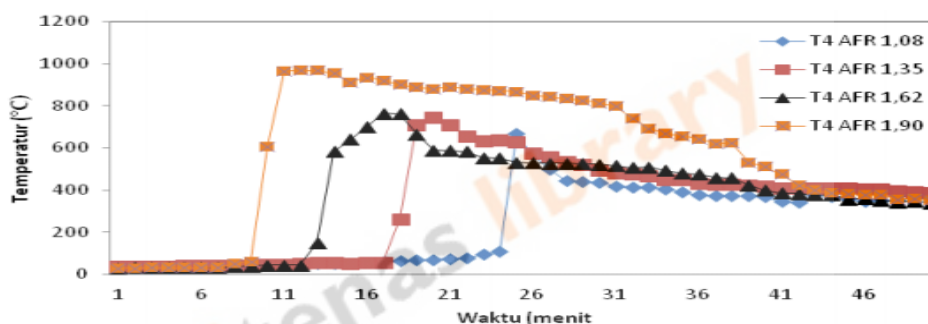
### 2.9.2 Gasifying Agents

Penggunaan jenis *gassifying agent* mempengaruhi kandungan *syngas*. Misalnya, penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang pekat di dalam *syngas*, berlawanan dengan penggunaan gas oksigen atau uap yang memiliki kandungan nitrogen yang relatif sedikit. Sehingga penggunaan *gassifying agent* oksigen atau uap memiliki nilai kalor *syngas* yang lebih baik dibandingkan

*gassifying agent* udara (Zainuddin, dkk., 2017).

### 2.9.3 Pengaruh Laju Alir Udara

Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Adanya perbedaan komposisi *flammable gas* yang dihasilkan pada variasi nilai AFR berkaitan dengan temperatur pirolisis yang dicapai. Nilai AFR yang optimal memberikan suplai oksigen yang baik untuk mengoksidasi biomassa pada proses oksidasi sehingga dihasilkan gas ringan yang optimal.



**Gambar 2. 6** Grafik pengaruh AFR terhadap temperatur gasifikasi (Sumber: Bastomy, dkk., 2014)

Pada Gambar 2.7 terlihat semakin meningkat nilai AFR maka akan meningkatkan temperatur pada zona pirolisis. Semakin meningkat temperatur pirolisis, maka jumlah *char* yang dihasilkan akan semakin menurun. Jumlah *char* yang dihasilkan pada pirolisis sangat berkaitan pada komposisi *flammable gas*. Proses gasifikasi *char* akan bereaksi dengan  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan  $O_2$  membentuk sejumlah *flammable gas*. Sehingga jumlah *char* yang direaksikan akan mempengaruhi komposisi *flammable gas* yang dihasilkan. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika ingin hasil *syngas* yang maksimal (Bastomy, dkk., 2014).

Beberapa penelitian sudah dilakukan dengan berbagai variasi, seperti jenis biomassa dan laju agen gasifikasi. Variasi tersebut menghasilkan gas produser dengan komposisi yang berbeda-beda. Tabel 2.8 dibawah menyajikan komposisi gas produser dari beberapa penelitian terdahulu. Melalui tabulasi tersebut, dapat

dijadikan literatur terhadap pengembangan gasifikasi selanjutnya.

**Tabel 2.8** Penelitian gasifikasi

Peneliti	Bahan	Tipe gasifikasi	Agen Gasifikasi	Variasi Laju Agen Gasifikasi	Komposisi Gas Produser	
Endang Suhendi, dkk.	Bonggol jagung	<i>Downdraft</i>	Udara	AFR 0,95	CH <sub>4</sub>	2,02%
					CO	9,82%
					H <sub>2</sub>	4,03%
Muhammad Diaz, dkk.	Sekam padi	<i>Downdraft</i>	Udara	AFR 0,74	CH <sub>4</sub>	12,9%
					CO	12,5%
					H <sub>2</sub>	5,78%
Sholehul Hadi, dkk.	Serabut kelapa	<i>Downdraft</i>	Udara	AFR 0,94	CH <sub>4</sub>	4,50%
					CO	20,8%
					H <sub>2</sub>	5,34%

### 2.10 Equivalence Ratio

Jumlah medium penggasifikasi berpengaruh besar pada komposisi gas produser. Jumlah medium penggasifikasi dapat dinyatakan dengan ER. ER merupakan perbandingan antara AFR teoritis terhadap AFR stoikiometri. Penggunaan ER dilakukan pada gasifikasi karena pembakaran yang terjadi dilakukan dengan kekurangan udara. Besarnya nilai ER yang memberikan hasil terbaik pada *downdraft gasifier* adalah 0,25, sedangkan pada *updraft gasifier* biasanya beroperasi dibawah 0,25. Semakin kecil ER menyebabkan konversi biomassa menjadi gas produser sedikit sedangkan konversi menjadi tar lebih banyak. Semakin besar ER (>0,4) dapat menghasilkan produk pembakaran sempurna yang lebih banyak seperti gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Dengan demikian, nilai ER harus dibawah 1 untuk memastikan bahwa reaksi pembakaran berlangsung secara tidak sempurna (Basu, 2010).

Besarnya nilai ER dapat ditentukan melalui persamaan dibawah ini:

$$ER = \frac{AFR_{teoritis}}{AFR_{stoikiometri}}$$

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{biomassa}}$$

### 2.11 Heating Value of Fuel

Terdapat dua macam jenis nilai kalor bahan bakar, yaitu HHV dan LHV. Perbedaan dari keduanya terdapat pada kandungan air yang selalu hadir pada setiap reaksi pembakaran hidrokarbon. HHV didefinisikan sebagai jumlah panas yang dilepaskan oleh satuan massa atau volume bahan bakar saat suhu awalnya sebesar 25°C, kemudian dibakar dan produk kembali ke suhu 25°C. HHV memperhitungkan panas laten dari penguapan air. Sedangkan LHV tidak memperhitungkan energi panas laten yang dilepaskan oleh terkondensasinya uap air tersebut ke dalam nilai *heating value*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa HHV mengasumsikan uap air hasil proses pembakaran akan terkondensasi dan melepaskan panas laten uap air. Selain itu besarnya nilai HHV dan LHV dipengaruhi oleh kandungan atom C, H, O, N, S dan kadar abu dari bahan bakar. Dalam mengestimasi nilai HHV dapat dilakukan menggunakan kandungan biomassa dari analisis ultimat dan *heating value* atom C, H, O, N, S serta kadar abu. Besarnya nilai HHV dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$HHV = 349,1C + 1178,3H + 100,5S - 103,3O - 15,1N - 21,1Ash \frac{kJ}{kg}$$

Perhitungan diatas dapat dilakukan dengan beberapa aspek yang harus terpenuhi, diantaranya:

- $0 < C < 92\%$ ;  $0,43 < H < 25\%$
- $0 < O < 50$ ;  $0 < N < 5,6\%$
- $0 < Ash < 71\%$  ;  $4746 < HHV < 55,345 \text{ kJ/kg}$

Hubungan antara HHV dan LHV dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$LHV = HHV - h_f \left( \frac{9H}{100} + \frac{M}{100} \right)$$

Keterangan :

H = Persentase hidrogen

M = Persentase kelembapan

$h_g$  = Panas laten dari *steam* (970 BTU/lb, 2260 kJ/kg atau 540 kCal/kg)

(Basu, 2010)

 itenas library