

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Salah satu sumber energi alternatif yang besar peluangnya untuk dikembangkan pemanfaatannya di Indonesia ialah energi biomassa. Indonesia memiliki sumber biomassa yang melimpah, sehingga potensi untuk menjadikannya sebagai sumber energi (bahan bakar) sangatlah besar. Sebagai sumber energi, biomassa memiliki beberapa keuntungan terutama dari sifat terbarukannya, dalam arti bahan tersebut dapat diproduksi ulang. Selain itu, dari segi lingkungan, penggunaan biomassa sebagai bahan bakar memiliki 2 segi positif yaitu 1) bersifat mendaur ulang CO₂, sehingga emisi CO₂ ke atmosfer secara netto berjumlah nol, dan 2) sebagai sarana mengatasi masalah limbah pertanian.

Menurut Daryanto (2007), Biomassa adalah keseluruhan makhluk hidup (hidup atau mati), misalnya tumbuh-tumbuhan, binatang, mikroorganisme, dan bahan organik (termasuk sampah organik). Unsur utama dari biomassa adalah bermacam-macam zat kimia (molekul) yang sebagian mengandung atom karbon. Bila kita membakar biomassa, karbon tersebut dilepaskan ke udara dalam bentuk karbon dioksida (CO₂). Energi biomassa merupakan energi tertua yang telah digunakan sejak peradaban manusia dimulai, sampai saat ini pun energi biomassa masih memegang peranan penting khususnya di daerah pedesaan.

Biomassa sangat beragam jenisnya yang pada dasarnya merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau

pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah. Biomassa (bahan organik) dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan membangkitkan listrik, hal ini disebut bioenergi. Bioenergi berada pada level kedua setelah tenaga air dalam produksi energi primer terbarukan di Amerika Serikat (Anonim, 2008).

Indonesia terdapat cukup banyak atau mempunyai potensi sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan, baik dengan penerapan teknologi tinggi maupun teknologi sederhana. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan sebesar 311,23 GW, namun kurang lebih hanya 22% yang dimanfaatkan. Sumber energi terbarukan yang tersedia antara lain bersumber dari tenaga air (*hydro*), panas bumi, energi surya, energi angin, dan biomassa. Potensi energi terbarukan di Indonesia banyak belum dimanfaatkan karena harga BBM masih murah. Pada Tabel 1 dijelaskan, Indonesia memiliki potensi energi biomassa sebesar 50.000 MW, tetapi hanya 320 MW yang dimanfaatkan atau hanya 0,64 % dari seluruh potensi yang ada (Sodikin, 2011).

Tabel 1. Potensi energi terbarukan di Indonesia

Sumber	Potensi (MW)	Energi Terpasang (MW)	Pemanfaatan (%)
Large Hydro	75.000	4.200,00	5,600
Biomassa	50.000	302,00	0,604
Geotermal	20.000	812,00	4,060
Mini/mikro hydro	459	54,00	11,764
Energi Surya	156.487	5,00	$3,19 \times 10^{-3}$
Energi Angin	9.286	0,50	$5,38 \times 10^{-3}$
Total	311.232	5373,50	22,0300

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2001.
Potensi biomassa yang besar di negara, hingga mencapai 49,81 GW tidak sebanding dengan kapasitas terpasang sebesar 302,4 MW. Bila kita maksimalkan

potensi yang ada dengan menambah jumlah kapasitas terpasang, maka akan membantu bahan bakar fosil yang selama ini menjadi tumpuan dari penggunaan energi. Hal ini akan membantu perekonomian yang selama ini menjadi boros akibat dari anggaran subsidi bahan bakar minyak yang jumlahnya melebihi anggaran sektor lainnya.

Energi biomassa menjadi penting bila dibandingkan dengan energi terbarukan karena proses konversi menjadi energi listrik memiliki investasi yang lebih murah bila dibandingkan dengan jenis sumber energi terbarukan lainnya. Hal inilah yang menjadi kelebihan biomassa dibandingkan dengan energi lainnya. Proses energi biomassa sendiri memanfaatkan energi matahari untuk merubah energi panas menjadi karbohidrat melalui proses fotosintesis yang selanjutnya diubah kembali menjadi energi panas (Prambudi, 2008).

Biomassa sebagai sumber energi di Indonesia umumnya diperoleh dari :

- Areal hutan (limbah tebang, patahan cabang, dan ranting)
- Pertanian (limbah pertanian)
- Perkebunan (limbah pasca panen dan limbah pengolahan)
- Areal pemukiman (pohon, tanaman kayu, tinja dan sampah)
- Peternakan (kotoran ternak)
- Limbah (dari beberapa jenis industri)

Indonesia juga memiliki sumber energi biomassa lainnya yang berupa limbah padi, limbah industri gula, limbah perkebunan karet, limbah industri kelapa sawit, limbah penebangan hutan, limbah industri perkayuan, limbah industri kayu lapis,

limbah perkebunan kelapa. Pada Tabel 2, dijelaskan tentang potensi limbah biomassa di Indonesia.

Tabel 2. Potensi limbah di Indonesia

Sumber	Kuantitas (10⁶ ton)	Energi (10⁶ GJ)
Perkebunan karet	41,0	120
Limbah penebangan hutan	4,5	11
Limbah industri perkayuan	1,3	13
Limbah industri kayu lapis getah kayu (<i>veneer</i>)	1,5	16
Limbah kelapa sawit	8,2	67
Limbah industri gula	23,4	78
Limbah padi	65,5	150
Limbah perkebunan kelapa	1,1	7
TOTAL	213,5	470

Indonesia diperkirakan memproduksi biomassa sebesar 146,7 juta ton/tahun atau setara dengan sekitar 470 juta GJ/tahun (Abdullah, 2003). Sementara nilai potensi biomassa nasional secara keseluruhan termasuk biomassa yang masih belum terjamah manusia yaitu sekitar 58 GW (Haryanto, 2007). Ada beberapa cara untuk mengolah biomassa menjadi energi secara lebih bersih efisien, di antaranya adalah gasifikasi. Gasifikasi merupakan suatu proses untuk mengkonversi material karbon seperti batubara, minyak dan biomassa menjadi karbon monoksida dan hidrogen dengan mereaksikan material pada temperatur tinggi dengan mengontrol oksigen. Hasil campuran gas disebut gas sintesis (*synthesis gas*) atau biasa disebut dengan syngas. Gasifikasi merupakan metode yang efisien dalam mengkonversi material organik menjadi energi dan merupakan aplikasi yang bersih. Gas sintesis memiliki dua keuntungan yaitu bisa dibakar langsung menggunakan motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) ataupun diproses lebih lanjut menjadi metanol dan hidrogen (Prambudi, 2008).

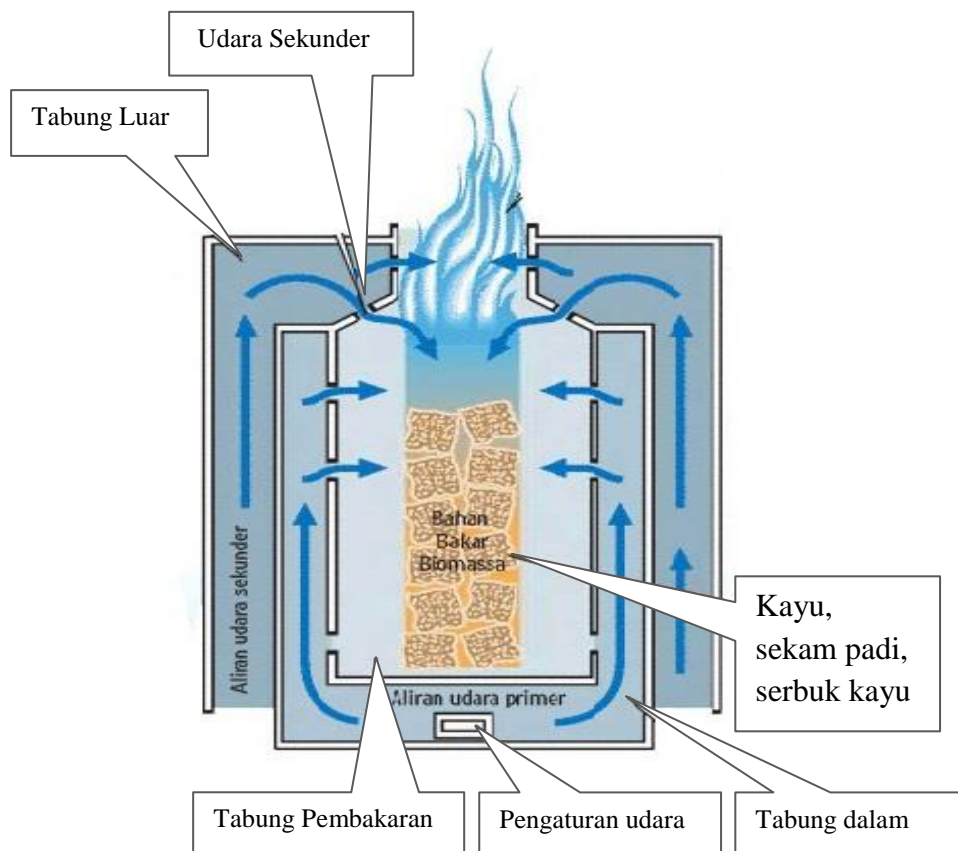
2.2. Kompor Biomassa

Kompor biomassa merupakan kompor berbahan bakar biomassa padat. Bahan biomass adalah semua yang berasal dari makhluk hidup, seperti kayu, tumbuh-tumbuhan, daun-daunan, rumput, limbah pertanian, limbah rumah tangga, sampah dan lain-lainnya. Komponen terpenting biomassa yang digunakan untuk pembakaran adalah selulosa dan lingno-selulosa. Sejauh ini biomassa padat terutama kayu sudah dimanfaatkan secara tradisional untuk memasak di daerah-daerah pedesaan, baik melalui dapur tradisional maupun pembakaran langsung. Namun, kualitas pembakaran yang jelek mengakibatkan efisiensi pembakaran biomass sangat rendah. Disamping itu, asap pembakaran mengakibatkan polusi udara yang berbahaya bagi kesehatan. Pada Gambar 1, dapat dilihat dapur tradisional secara umum yang ada di masyarakat Indonesia.



Gambar 1. Dapur tradisional konsumsi banyak kayu, ruangan luas, asap banyak (Nurhuda, 2008). Berbeda dengan kompor briket arang, penggunaan bahan bakar pada kompor biomassa tidak perlu mengubah biomassa menjadi arang. Secara kimia, asap pembakaran tersusun atas gas-gas diantaranya adalah H_2 , CO , CH_4 , CO_2 , SO_x , NO_x dan uap air. Sebagian gas-gas tersebut, yaitu hydrogen (H_2), karbon

monoksida (CO), dan metana (CH₄) adalah gas-gas yang dapat terbakar, sehingga dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan biomassa sebagai bahan bakar, maka asap yang dihasilkan pada proses pengarangn harus dibakar lagi untuk kedua kali dan menghasilkan api yang mempunyai nyala yang lebih bersih (Nurhuda, 2008). Pada Gambar 2, dijelaskan struktur kompor biomassa gasifikasi.



Gambar 2. Struktur kompor biomassa gasifikasi (Nurhuda, 2008).

Komponen dan fungsi dari bagian-bagian kompor biomassa gasifikasi sebagai berikut :

a. Reaktor

Bagian reaktor berfungsi sebagai tempat bahan bakar biomassa dan tempat dimana proses gasifikasi dan *combustion* berlangsung. Bagian reaktor ini terdiri dari dua lapis silinder seng yaitu tabung luar dan tabung dalam.

b. Lubang udara

Kompor biomassa gasifikasi terdapat 2 jenis lubang udara yaitu lubang udara primer dan lubang udara sekunder. Lubang udara primer mempunyai fungsi membantu proses pembakaran gasifikasi yang akan menghasilkan gas. Lubang udara sekunder mempunyai fungsi pembentukan gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi biomassa.

c. Burner

Burner berfungsi sebagai tempat berlangsungnya pembakaran gas hasil gasifikasi yang digunakan untuk memasak, burner juga merupakan tempat masuknya udara sekunder untuk membantu pembakaran gas. Karena itu burner juga merupakan tempat menaruh wajan atau panci.

Besarnya energi yang dihasilkan oleh pembakaran suatu bahan bakar bergantung pada :

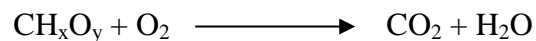
- jumlah karbon yang dikandung dan bentuk senyawanya.
- sempurna atau tidaknya pembakaran.
- terjadinya pembakaran habis.

1. Kandungan Karbon

Semakin besar kandungan karbon dalam suatu bahan, makin baik fungsi bahan tersebut sebagai bahan bakar karena akan menghasilkan energi yang lebih besar.

2. Pembakaran Sempurna (*complete combustion*)

Pembakaran disebut sempurna bila seluruh unsur karbon yang bereaksi dengan oksigen menghasilkan hanya CO₂. Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan zat arang (C), gas CO, CO₂, atau O. Secara umum, pembakaran biomassa dengan oksigen dapat dilukiskan sebagai berikut:



3. Pembakaran Habis

Pembakaran bahan bakar disebut pembakaran habis (habis terbakar) bila seluruh karbon dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen.

2.3. Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah tatal kayu. Tatal adalah cangkulan, potongan atau serpihan kayu yang terbuang. Menurut Janto (1979), secara umum kayu dibagi atas dua golongan, yaitu kayu keras dan kayu lunak. Kayu yang berasal dari pohon berdaun lebar umumnya keras, sedangkan kayu yang berasal dari pohon berdaun jarum lebih lunak. Namun diantara pohon–pohon yang sejenis didapati kekerasan yang berbeda pula, bahkan pada satu jenis pohon kekerasan batang tidak tetap.

Menurut Arntzen (1994), sifat fisik kayu adalah karakteristik kuantitatif dan kemampuan untuk tahan terhadap pengaruh dari luar. Sifat fisik ini sangat penting untuk diketahui karena punya pengaruh besar terhadap kekuatan dan tampilan kayu. Menurut Haygreen dan Bowyer (1989), sifat fisik kayu ditentukan oleh 3 ciri, yaitu:

- porositas atau ukuran volume rongga, yang dapat diperkirakan dengan mengukur kerapatannya.
- organisasi struktur sel, yang meliputi struktur mikro dinding sel, variasi dan ukuran besarnya sel.
- kandungan air.

Beberapa hal yang tergolong dalam sifat kayu adalah berat jenis, keawetan alami, higroskopik, berat volume dan kekerasan. Kayu memiliki berat jenis yang berbeda-beda, berkisar antara minimum 0,2 (kayu biasa) hingga 1,28 (kayu nani/kayu lara). Tatal kayu yang digunakan pada pengujian kompor gas berbahan bakar biomassa ini adalah kayu yang dipotong-potong kecil dengan bentuk tidak beraturan. Nilai kalori yang terkandung pada tatal kayu ialah sekitar 19.674 kJ/kg. (Lanya. 2005). Pengisian sekam padi sebanyak 90% volume tabung reaktor kompor belonio diperoleh berat rata-rata 0,673 kg.

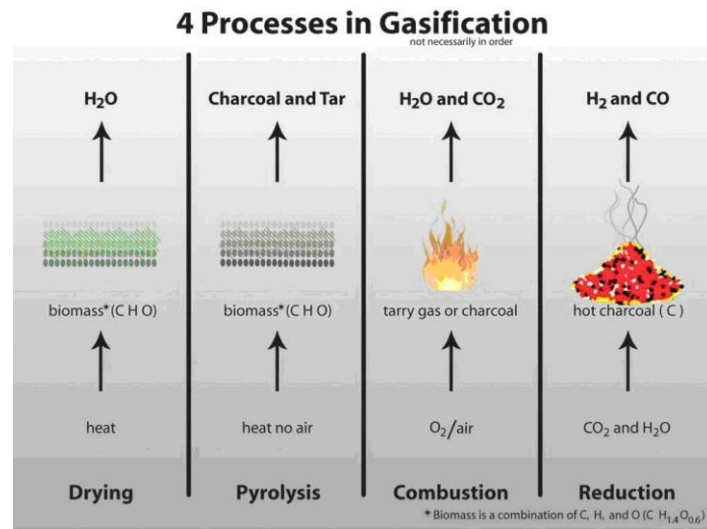
Untuk penimbangan serutan kayu dan tatal kayu, didapatkan hasil bahwa serutan kayu lebih ringan dibandingkan dengan tatal kayu walaupun sama-sama diisi dengan perlakuan 90% volume tabung reaktor. Walaupun serutan kayu lebih ringan, tetapi perbedaannya tidak berbeda jauh yaitu sebesar 0,227 kg jika dihitung dari berat rata-ratanya (Harahap, 2009).

2.4. Teknologi Gasifikasi

Teknologi gasifikasi biomassa merupakan teknologi yang relatif sederhana dan mudah pengoperasiannya serta secara teknik maupun ekonomi adalah layak untuk dikembangkan. Teknologi gasifikasi biomassa sangat potensial menjadi teknologi yang sepadan untuk diterapkan di berbagai tempat di Indonesia. Menurut Suyitno (2007), Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Selama proses gasifikasi reaksi kimia utama yang terjadi adalah endotermis (diperlukan 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 disisi lain proses operasi menjadi lebih sederhana.

Menurut Bilad (2010), Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah: pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam proses pembakaran. Gasifikasi keempat tahapan ini dilalui secara terpisah sedemikian hingga dapat menginterupsi api dan mempertahankan gas mudah terbakar tersebut dalam bentuk gas serta mengalirkan produk gasnya ke tempat lain. Salah satu cara untuk mengetahui proses yang berlangsung pada *gasifier* jenis ini adalah dengan mengetahui rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

- Pengeringan: $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Pirolisis/Devolatilisasi: $150 < T < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Oksidasi/pembakaran: $700 < T < 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Reduksi: $800 < T < 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 3. Tahapan proses gasifikasi (bilad, 2010).

Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik). Teknologi gasifikasi memiliki perbedaan dengan pembakaran langsung misalnya proses teknologi gasifikasi menggunakan sedikit oksigen, sedangkan pembakaran langsung memerlukan udara yang berlebih (oksigen). Komposisi gas bersih pada teknologi gasifikasi menghasilkan H_2 dan CO , sedangkan pada pembakaran langsung menghasilkan CO_2 dan H_2O . Pada Tabel 3 dapat dilihat perbedaan antara teknologi gasifikasi dan pembakaran langsung.

Tabel 3. Perbedaan antara teknologi gasifikasi dan pembakaran langsung

Perbedaan	Gasifikasi	Pembakaran
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 bersih	H ₂ dan CO	CO ₂ dan H ₂ O
Produk padatan	Arang atau kerak	Abu
Temperatur(°C)	700 - 1500	800 - 1000
Tekanan	Lebih dari 1 atm	1 atm

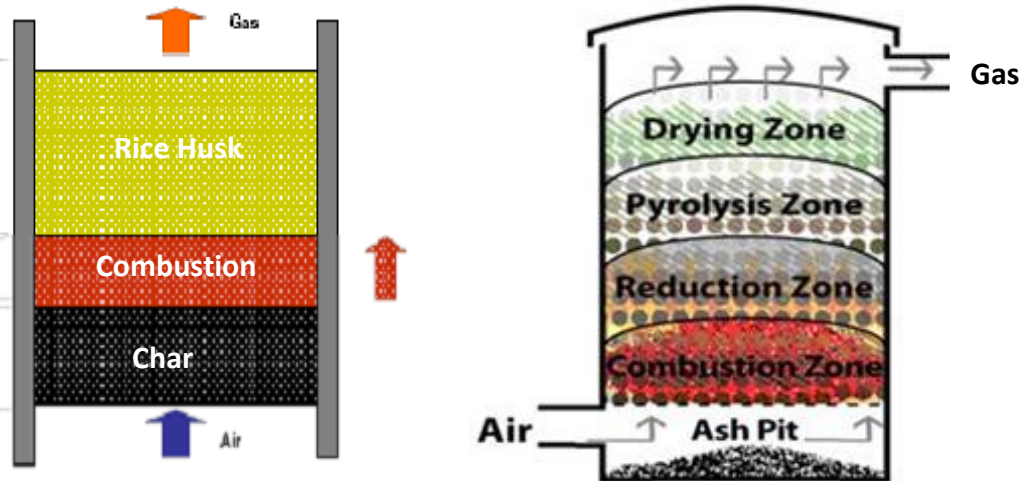
Sumber: Rezaian, 2005

Gasifier unggun tetap (fixed bed gasifier) menggunakan sejumlah bahan padat dimana udara dan gas dapat lewat baik ke atas maupun ke bawah. Jenis ini merupakan tipe yang paling sederhana dan hanya digunakan untuk aplikasi dalam skala kecil yaitu jenis up, down dan cross draft gasifier (Suyitno, 2008). Tipe jenis ini dapat dijelaskan lebih rinci mengenai gasifier unggun tetap (cross draft, up draft, dan down draft).

1. Up Draft Gasifikasi

Tipe yang paling sederhana dari gasifikasi adalah up draft, biomassa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak ke bawah menghasilkan gas dan arang, pemasukan udara untuk pembakaran dari bawah dan produser gas keluar dari atas, biomassa sebagai bahan bakar bergerak berlawanan arah dengan dengan aliran produser gas (counter current flow) melewati zona pengeringan, zona distilasi,

zona reduksi dan zona oksidasi/pembakaran. Pada Gambar 4, dijelaskan proses teknologi gasifikasi tipe up draft gasifikasi.



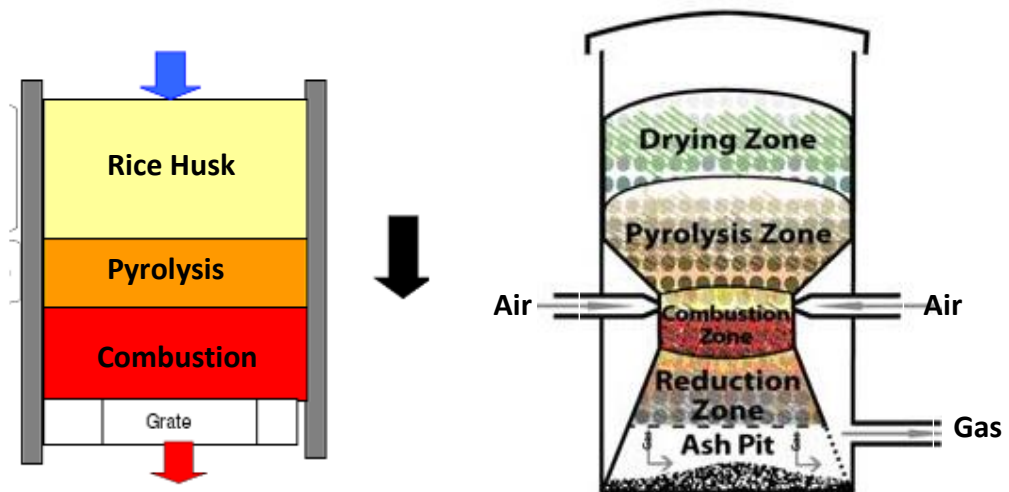
Gambar 4. Up draft gasifikasi

2. Down Draft Gasifikasi

Pada tipe down draft biomassa dimasukkan dari atas begitu pula udara untuk pembakaran. Produser gas akan mengalir dari bawah reaktor, jadi aliran biomas dan udara searah (co current flow), sedangkan zona pengeringan, zona pirolisis, dan zona reduksi seperti up draft di atas. Kelebihan utama dari tipe down draft adalah menghasilkan produser gas dengan kandungan tar rendah. Pada Gambar 5, dijelaskan proses gasifikasi tipe down draft.

Kelebihan pada gasifikasi tipe down draft:

- Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan pada sistem updraft.
- Lebih mudah untuk dilanjutkan ke proses pembakaran.
- Teknik pembersihan gas lebih sederhana karena tar yang relatif rendah.

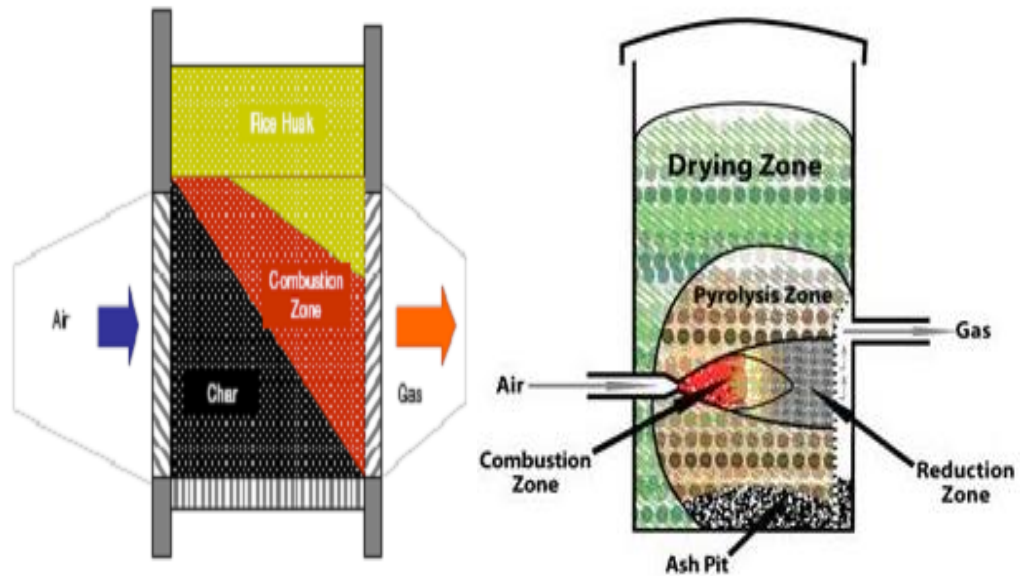


Gambar 5. Down draft gasifikasi

3. Cross Darft Gasifikasi

Pada tipe ini, udara masuk pada kecepatan tinggi melalui nozzle tunggal, termasuk beberapa aliran sirkulasi, dan mengalir sepanjang unggun dari bahan baku dan kokas (char). Tipe ini menghasilkan temperature yang sangat tinggi pada volume yang sangat kecil sehingga menghasilkan gas tar yang rendah. Bahan bakar beserta abu berguna sebagai isolator sepanjang dinding konstruksi gasifier, sehingga mild-steel dapat digunakan sebagai material konstruksi kecuali nozel dan grate-nya. Gasifier tipe cross draft hanya digunakan untuk kandungan bahan bakar dengan kandungan tar rendah. Beberapa yang berhasil menemukan adanya biomassa yang tidak terpiralisa, dan memerlukan pengaturan jarak antara nozzle dan grate. Bahan baku yang tidak tersortir dengan baik cenderung menyebabkan bridging, dan channelling sehingga menyumbat inti ruang pembakaran yang memicu produksi tar yang tinggi. Ukuran bahan baku juga

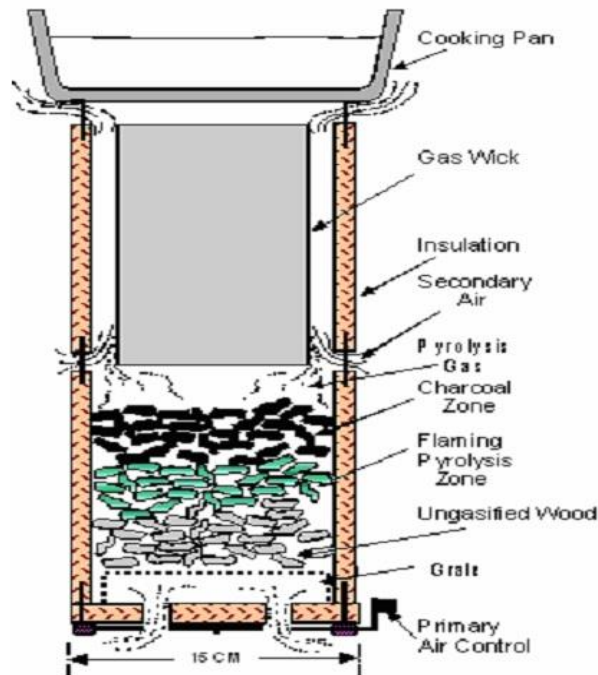
sangat penting untuk pengoperasian yang baik. Pada Gambar 6, dijelaskan proses gasifikasi tipe cross draft gasifikasi.



Gambar 6. Cross draft gasifikasi

2.5. Kinerja Kompor Gasifikasi

Kompor biomassa dengan menggunakan prinsip gasifikasi sangat berpotensi untuk memperbaiki kinerja tungku biomassa tradisional. Pada kompor gasifikasi mempunyai komponen utama yang terdiri dari reaktor atau tabung bakar dengan supply udara yang terbatas. Panas pada proses gasifikasi dihasilkan melalui pembakaran parsial dari material umpan. Nilai panas yang dihasilkan dari gas ini berkisar 4 – 6 MJ/Nm³. komposisi gas actual bervariasi tergantung dari jenis bahan bakar dan desain gasifier (Bhattacharya and Leon, 2005). Pada Gambar 7, dapat dilihat prinsip kerja gasifikasi yang bisa menghasilkan gas.



Gambar 7. Prinsip Kerja Kompor Biomassa

2.5.1. Lama Memasak

Lama memasak pada kompor gasifikasi ini dapat dihitung berapa lama waktu untuk mendidihkan air dengan stopwatch. Parameter yang digunakan adalah 5 liter air. Lama memasak pada kompor ini tergantung pada temperatur yang dihasilkan pada proses oksidasi, semakin tinggi suhu atau temperatur maka semakin cepat air akan mendidih.

2.5.2. Kebutuhan Bahan Bakar

Kebutuhan bahan bakar berdasarkan total penggunaan bahan bakar dari setiap jenis tabung bakar tersebut (kg) selama proses pembakaran bahan bakar habis

terpakai semua. Banyaknya energi pemakaian bahan bakar utama dapat digunakan dengan rumus:

$$E1 = N_b \times B_b \dots\dots\dots(1)$$

Dimana $E1$ = jumlah energi bahan bakar yang terpakai (kJ)
 N_b = nilai kalori bahan bakar (kJ/kg)
 B_b = banyaknya bahan bakar yang terpakai (kg)

2.5.3. Kebutuhan Energi Spesifik

Energi spesifik dalam kompor gasifikasi dapat diitung dengan jumlah energi konsumsi yang pakai per massa air yang didihkan ketika memasak. Dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_{\text{spesifik}} = \frac{E_{\text{tot}}}{m} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : E_{spesifik} = jumlah energi per massa air (MJ/kg)
 E_{tot} = konsumsi energi (MJ)
 m = massa air yang didihkan (kg)

2.5.4. Efisiensi Thermal

Nilai efisiensi energi kompor berbahan bakar biomassa adalah berapa nilai panas sensibel dan panas latennya dibagi dengan nilai energi bahan bakar biomassa yang terpakai (Belonio, 2005).

Persamaan matematis efisiensi energi kompor biomassa adalah sebagai berikut:

$$E_f = \frac{(Q_s + Q_l)}{E_1 + E_2 - E_3} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

Dimana: Q_l = panas laten (kJ)

Q_s = panas sensibel (kJ)

E_f = efisiensi kompor biomassa (%)

E_1 = energi dari bahan bakar utama (kJ)

E_2 = energi untuk penyalaan awal (minyak tanah) (kJ)

E_3 = energi bahan bakar sisa (kJ)

Panas sensibel ialah jumlah energi panas yang digunakan untuk menaikkan temperatur air, sedangkan panas laten yaitu jumlah energi panas yang digunakan untuk menguapkan air.

2.5.5. Emisi Pembakaran

Emisi yang dihasilkan dari pembakaran biomassa adalah CO_2 , CO, NO_x , SO_x , dan partikulat. Pada campuran serbuk batubara dan sekam padi untuk berbagai komposisi dan udara lebih (excess air). Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan emisi CO lebih dari 40% untuk campuran sekam padi 50%. Hal ini menunjukkan sekam padi dapat menyempurnakan proses pembakaran. Emisi yang dihasilkan dari pembakaran kayu dan arang kayu pada berbagai macam tungku. Hasilnya menunjukkan bahwa faktor emisi CO berkisar antara 19 - 136 g/kg.