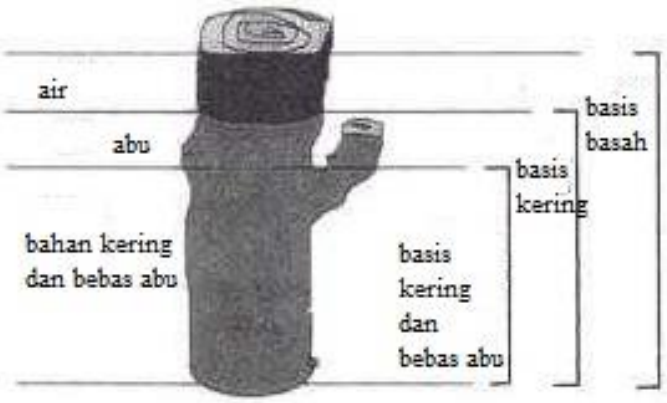
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

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 (CO_2). Energi biomassa merupakan energi tertua yang telah digunakan sejak peradaban manusia dimulai, sampai saat inipun energi biomassa masih memegang peranan penting khususnya di daerah pedesaan (Daryanto, 2007).

Salah satu bahan bakar biomassa yang paling penting adalah kayu. Kayu dapat dikumpulkan dari hutan dan hanya menebang pohon sesuai ukuran yang dibutuhkan untuk dijadikan bahan bakar. Tapi kayu sering kali terlalu berharga untuk dibakar, banyak industri memanfaatkannya sebagai bahan untuk kontruksi. Banyak dari hasil limbah pertanian yang ahirnya dijadikan bahan bakar, seperti misalnya jerami, biji-bijian, sekam padi, coklat, kopi, bagas tebu. Penggunaan limbah biomassa untuk dijadikan bahan bakar secara tidak langsung membantu menyelesaikan permasalahan lingkungan. Lahan-lahan kosong mulai ditanami tumbuhan yang nantinya akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Setiap jenis biomassa memiliki sifat tertentu yang menentukan kinerjanya sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran baik dengan menggunakan prisip gasifikasi. Sifat yang paling penting yang berkaitan dengan konversi termal biomassa adalah kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, komposisi unsur, nilai kalor, kerapatan jenis (Quakk et al., 1999). Pada Gambar 1 disajikan struktur komposisi dalam potongan kayu.



Gambar 1. Komposisi kayu

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang sangat besar, diantaranya mini/mikro hydro sebesar 450 MW, biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m^2/hari, energi angin 3-6 m/det, dan energy nuklir sebesar 3 GW. Pengembangan EBT mengacu pada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional, yang disebutkan bahwa kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi bahan bakar nabati sebesar 5%, panas bumi 5%, biomassa, nuklir, air, surya, dan angina 5%, serta batu bara yang dicairkan sebesar 2 %. Upaya yang dikembangkan pemerintah untuk mendorong pemanfaatan biomassa adalah memanfaatkan

limbah industri pertanian, dan kehutanan (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008).

Pembakaran biomassa tidak terlepas dari efek polusi, terutama NO_x yang tergantung dari aplikasi teknologi yang digunakan dan jenis biomassa yang dimanfaatkan. Bila kayu yang digunakan, hanya sedikit SO_2 yang ditimbulkan tetapi level emisi NO_x sangat tergantung dari desain ruang bakar. Hasil pembakaran biomassa menghasilkan tingkat polusi yang jauh lebih rendah dari pada misalnya bahan bakar batu bara. Dengan demikian, pemanfaatan biomassa memiliki dampak-dampak sebagai berikut (Kong, 2010):

1. Udara disekitar proses pembakaran biomassa lebih bersih dibandingkan kualitas udara didekat proses pembakaran bahan bakar minyak fosil. Dengan demikian, masyarakat lebih diuntungkan dalam menghemat biaya perawatan dan kesehatannya.
2. CO_2 hasil pembakaran biomassa juga dikategorikan sebagai "*carbon netral*" karena diserap kembali oleh tumbuh-tumbuhan guna menopang pertumbuhannya.
3. Penanaman tumbuhan energi di lahan-lahan marginal selain mendongkrak pendapatan masyarakat setempat juga dapat mencegah terjadinya erosi tanah dan berarti mengurangi potensi longsor.
4. Bila lahan-lahan tidur dimanfaatkan untuk tanaman-tanaman maka akan berubah fungsinya sebagai penyerap air hujan dan mencegah terjadinya banjir.

Indonesia memiliki sekam padi yang relatif banyak, sebagai contoh survey pada tahun 1987 menemukan sekitar 10% yang siap digunakan untuk perekonomian yang produktif. Masalah lebih lanjut yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi adalah menghasilkan silica sekitar 16-24%. Untuk memperpanjang proses pembakaran kecuali menggunakan pembakaran dengan suhu tinggi sering menyebabkan sekam yang mengisi tungku pembakaran tidak seluruhnya terbakar. Masalah tersebut dapat diselesaikan dengan mengubah volume pada sekam padi menjadi berukuran besar. Sekam padi menghasilkan sekitar 50% abu, dan lignin 18,6%. Sekam padi memiliki tipikal sekitar 22-24% basis kering (Bridgwater, 1997).

Sumber biomassa dapat membantu dalam pengadaan panas dan listrik, begitu besar potensi energi biomassa yang terdapat di Indonesia. Apabila dapat dimanfaatkan dengan baik, seharusnya krisis energi tidak terjadi seperti sekarang. Hasil pengelolaan limbah hasil pertanian maupun hutan akan sangat membantu tersedianya pasokan energi untuk kebutuhan masyarakat di Indonesia. Akan tetapi dengan memiliki potensi energi biomassa yang besar, masyarakat di Indonesia masih belum banyak yang memanfaatkannya. Mereka masih mengandalkan sumber energi seperti minyak bumi yang jumlahnya tidak lama lagi akan habis jika tidak segera ditemukan sumber yang baru bukan tidak mungkin peradaban di dunia akan punah. Indonesia diperkirakan memproduksi biomassa sebesar 146,7 juta ton/tahun atau setara dengan sekitar 470 juta GJ/tahun seperti yang disajikan oleh Tabel 1. Angka-angka di bawah merupakan potensi biomassa nasional yang dihasilkan oleh industri pertanian maupun kehutanan, yaitu sebesar 470 juta GJ/tahun. Sementara nilai potensi biomassa

nasional secara keseluruhan termasuk biomassa yang masih belum terjamah manusia yaitu sekitar 58 GW (Haryanto dan Hartanto, 2007).

Tabel 1. Produksi biomassa di Indonesia

Biomassa	Produksi (juta ton/tahun)	Energi Potensial (juta GJ/tahun)	Wilayah
Kayu karet	41,0	120	Sumatera, Kalimantan, Jawa
Kayu potong	4,5	19	Sumatera, Kalimantan
Kayu Gergajian	1,3	13	Sumatera, Kalimantan
Kayu lapis	1,5	16	Sumatera, Kalimantan, Jawa, Irian Jaya, Maluku
Tebu		78	Sumatera, Jawa, Kalimantan Selatan
– Ampas tebu	10,0		
– Pucuk tebu	4,0		
– Daun tebu	9,6		
Padi		150	Sumatera, Kalimantan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi
– Sekam	12,0		
– Kulit ari	2,5		
– Tangkai	2,0		
– Jerami	49,0		
Kelapa		7	Sumatera , Jawa, Sulawesi
– Batok	0,4		
– Sabut	0,7		
Kelapa sawit		67	Sumatera
– Tandan buah kosong	3,4		
– Serat	3,6		
– Cangkang sawit	1,2		

Sumber: Haryanto dan Hartanto, 2007.

Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam padi sekitar 20-30% dari bobot gabah, dedak 8-12%, beras giling antara 50-63,5%. Menurut Houston (1972) sekam padi memiliki *bulk density* 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3.300-3.600 kkal/kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU. Untuk lebih

memudahkan diversifikasi penggunaan sekam, maka sekam perlu dipadatkan menjadi bentuk yang lebih sederhana, praktis, dan tidak *voluminous* seperti misalnya dibuat menjadi briket (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2008). Pada Tabel 2 disajikan komposisi kimiawi sekam padi.

Tabel 2. Komposisi kimiawi sekam

Komponen	Persentase kandungan (%)
A. Menurut Suharno (1979)	
1. Kadar air	9,02
2. Protein kasar	3,03
3. Lemak	1,18
4. Serat kasar	35,68
5. Abu	17,71
6. Karbohidrat kasar	33,71
B. Menurut DTC-IPB	
1. Karbon (zat arang)	1,33
2. Hidrogen	1,54
3. Oksigen	33,64
4. Silika	16,98

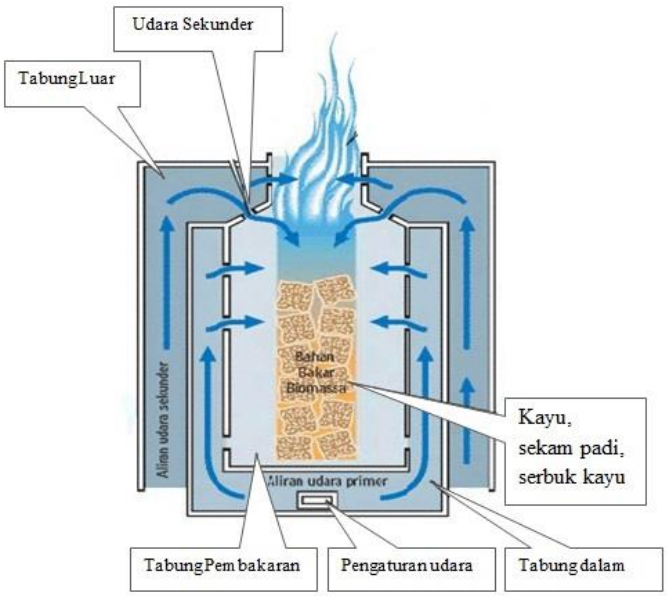
Nilai kalor kayu (sesuai proporsi kayu dan kulit) untuk jenis sengon buto pada kondisi KT adalah 4.602 kkal/kg, dan gmelina sebesar 4.788 kkal/kg. Sedangkan rata-rata nilai kalor kayu (sesuai proporsi kayu dan kulit) pada kondisi KU (kadar air 12%) untuk jenis kayu sengon buto adalah 4.125 kkal/kg, waru 4.248 kkal/kg dan gmelina 4.248 kkal/kg. Model hubungan kadar air dan nilai kalor adalah nilai kalor = -50,87 (kadar air) + 4695 dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,943 (Cahyono, 2008).

2.2. Kompor Berbahan Bakar Biomassa

Kompor berbahan bakar biomassa sebenarnya telah ditemukan di sejumlah daerah dan di negara lain. Perbedaan kompor biomassa dengan kompor konvensional

lain yaitu, jika kompor konvensional berbahar bakar minyak atau gas, kompor biomassa menggunakan bahan bakar seperti misalnya kayu, plastik, dan daun kering. Uniknya, ketika dibakar dalam kompor biomassa, bahan-bahan itu hampir tidak menimbulkan asap sehingga ramah lingkungan.

Penelitian yang telah dilakukan Nurhuda menunjukan satu kilogram bahan bakar bisa dinyalakan api selama satu jam. Untuk memperbesar nyala api, bisa digunakan kipas blower listrik. Api biru muncul karena pembakarannya dua tahap. Pertama, terjadi pembakaran kayu, oksigen, metana, dan nitrogen yang menghasilkan asap. Asap dan oksigen yang terbakar menghasilkan api membiru. Kedua, pembakaran arang dan oksigen yang menghasilkan karbondioksida. Pembakaran kedua ini menyala lebih baik dibandingkan dengan nyala pembakaran pertama. Pada Gambar 2 disajikan struktur kompor biomassa UB-03 Nurhuda.



Gambar 2. Struktur Kompor Biomassa UB-03 Nurhuda

Secara kimia, asap pembakaran tersusun atas gas-gas diantaranya adalah H_2, CO, CH_4, CO_2B, SOx, NOx dan uap air. Sebagian gas-gas tersebut, yaitu hydrogen (H_2), karbon monoksida (CO), dan metana (CH_4) 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 pengarangan harus dibakar lagi untuk kedua kali dan menghasilkan api yang mempunyai nyala yang lebih bersih (Nurhuda, 2008).

Pengujian terhadap tungku berbahan bakar sekam padi pernah dilakukan oleh Balai Besar Litbang Pascapanen di Karawang. Hasil pengamatan yang dilakukan di Laboratorium Karawang Balai Besar Litbang Pascapanen menunjukan bahwa penggunaan tungku sekam cukup prospektif untuk digunakan pada skala rumah tangga petani/pedesaan karena mudah mendapatkan bahan bakarnya, yaitu sekam padi. Hasil uji pemanasan dengan tungku sekam oleh balai besar litbang pascapanen disajikan dalam Tabel 3 (Rachmat, 2006).

Tabel 3. Uji pemanasan dengan tungku sekam oleh Balai Besar Litbang

Pemasak/tungku	**Berat sekam (gr)**	**Volume air (l)**	**Waktu didih (menit)**	**Suhu maksimal (^oC)**
Kompor (sekam segar)	600	6	12-15	360
Briket arang sekam (perekat tapioka)	600	6	51	360
Briket arang sekam (perekat tanah)	1200	6	50	360

Sumber: Balai Besar Litbang Pascapanen Karawang, 2006.

Laju kecepatan aliran udara primer (udara yang dihasilkan kipas) kompor Belonio diketahui ternyata mempengaruhi besarnya nyala api yang dihasilkan. Apabila

putaran kipas semakin kencang, maka nyala api akan semakin besar. Angin yang terdapat di udara sekitar juga mempengaruhi nyala api, karena semakin kencang angin yang berhembus di sekitar akan membuat nyala api tidak stabil bahkan apabila angin yang berhembus terlalu kencang akan memadamkan api, maka hendaknya pengoperasian kompor Belonio dilakukan di dalam ruangan.

Variasi kapasitas bahan bakar yang digunakan tidak mempengaruhi warna atau besarnya nyala api namun mempengaruhi waktu pengoperasian kompor. Banyaknya bahan bakar yang digunakan berbanding lurus dengan waktu pengoperasian kompor, semakin banyak bahan bakar yang digunakan maka waktu operasi kompor semakin lama. Rata-rata waktu operasi kompor dapat dilihat pada Tabel 4, rata-rata waktu tersebut berdasarkan tiga perlakuan pengisian bahan bakar yaitu dengan mengisi 90%, 75%, 50% dari volume reaktor.

Tabel 4. Rata-rata waktu operasi kompor Belonio

Waktu operasi	**Perlakuan**		
	90%	**75%**	**50%**
t penyalaan awal[1]	7,68	4,16	4,16
t api menjadi stabil[2]	2,12	2,70	2,30
t air mendidih[3]	25,68	23,83	N/A
t memasak efektif[4]	33,20	25,30	14,75
t total[5]	43,13	32,18	21,21

Ket : t (waktu) dalam satuan menit,
[1]) Waktu terhitung dari penyulutan api terhadap sekam,
[2]) Waktu terhitung dari burner ditutup hingga api mulai stabil,
[3]) Waktu terhitung dari mulai memasak hingga air mendidih,
(Khusus perlakuan 50%, bahan bakar habis sebelum air mendidih)
[4]) Waktu terhitung dari api mulai stabil hingga bahan bakar habis,
[5]) Waktu terhitung mulai dari penyulutan sekam hingga bahan bakar habis.

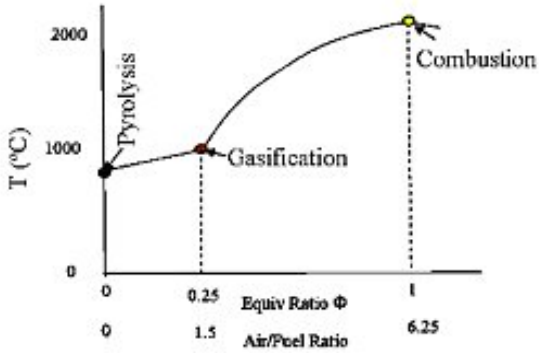
Kecepatan zona pembakaran adalah laju zona pembakaran (*combustion zone rate*) dalam reaktor yang bergerak dari atas ke bawah, mulai dari penyalaan api pada sekam hingga bahan bakar terbakar habis. Semakin padat biomassa yang ada pada reaktor maka akan semakin rendah kecepatan zona pembakaran yang diperoleh dan berlaku sebaliknya (Prayogo, 2009).

2.3. Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses yang mengubah bahan padat menjadi gas. Bahan padat yang dimaksud adalah bahan bakar padat yang termasuk diantaranya biomassa, batubara, dan arang. Gas yang dimasksud adalah gas-gas yang keluar dari proses gasifikasi dan umumnya berbentuk CO, CO_2, H_2, CH_4. Proses gasifikasi dari biomassa terjadi pada temperatur yang tinggi dengan penambahan oksigen yang terkontrol, produk berupa campuran gas CO dan H_2 dikenal sebagai *syngas* dan bisa digunakan sebagai subtitusi gas alami. Reaksi dasar gasifikasi adalah:

$$CnHm + 0{,}55n\ O_2 \rightarrow nCO + 0{,}5m\ H_2$$

Proses gasifikasi pada hakikatnya mengoksidasi suplai hidrokarbon pada lingkungan yang terkontrol untuk memproduksi gas sintetis yang memiliki nilai komersial yang signifikan. Gasifikasi merupakan suatu alternatif yang menarik karena proses ini mencegah pembentukan dioksin dan senyawa aromatik, proses gasifikasi juga menghasilkan reduksi utama pada volume input biomassa rata-rata 75%. Pada Gambar 3 disajikan grafik yang menjelaskan tentang perbedaan antara gasifikasi, periolisis, pembakaran.



Gambar 3. Grafik perbedaan gasifikasi, periolisis, pembakaran

Dapat disimpulkan berdasarkan Gambar 3, perbedaan gasifikasi, periolisis, dan pembakaran berdasarkan kebutuhan udara yang diperlukan selama proses:

- Jika jumlah udara: bahan bakar (AFR/air fuel ratio) = 0, maka disebut periolisis,
- Jika AFR<1,5 maka disebut gasifikasi,
- Jika AFR>1,5 maka disebut pembakaran.

Berdasarkan medium gasifikasi, reaktor gasifikasi (gasifier) dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok (Anonim, 2011):

1. Aliran udara, dimana udara sebagai medium gasifikasinya
2. Aliran oksigen, dimana oksigen murni sebagai medium gasifikasinya

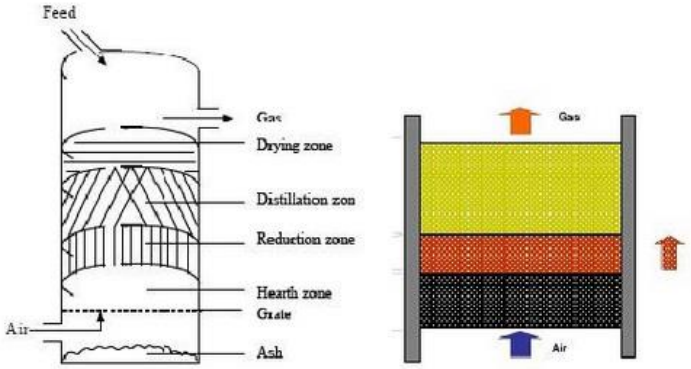
Gasifikasi adalah rincian termal lengkap biomassa menjadi gas yang mudah terbakar, mudah menguap, *char*, dan abu dalam reaktor tertutup atau gasifier. Gasifikasi adalah langkah-dua, endotermik proses. Pada pirolisis, reaksi pertama, komponen volatil dari bahan bakar yang menguap pada suhu di bawah 600°C oleh serangkaian reaksi yang kompleks. Termasuk dalam uap volatil adalah hidrokarbon gas, hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, tar, dan uap air.

Sebagai bahan bakar biomassa cenderung memiliki komponen yang lebih mudah menguap (70-86% pada basis kering) dibandingkan batubara (30%), pirolisis memainkan peran lebih besar dalam gasifikasi biomassa daripada di gasifikasi batubara. *Char* (*fixed carbon*) dan abu adalah pirolisis oleh-produk, yang tidak menguap. Pada langkah kedua, *char* gasifikasi melalui reaksi dengan oksigen, uap, karbon monoksida dan hidrogen. Panas yang dibutuhkan untuk reaksi endotermik gasifikasi dihasilkan oleh pembakaran bagian dari bahan bakar, *char*, atau gas, tergantung pada teknologi reaktor (Boerrigter *et al*., 2005).

Secara global gasifikasi diklasifikasian menjadi: *up draft*, *downdraft*, dan *Crossdraft* (Quakk et al.,1999).

- *Up draft*

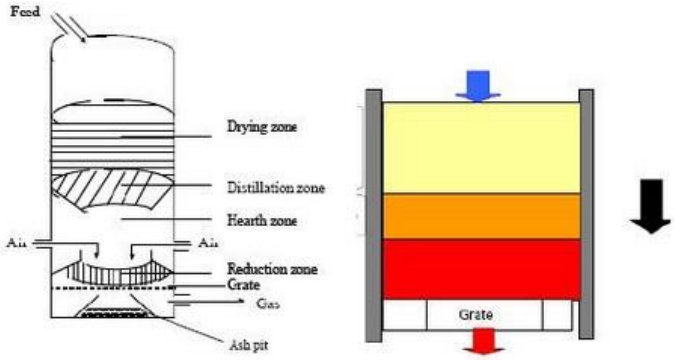
Tipe yang paling sederhana dari gasifikasi adalah *Up draft*. Biomassa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak kebawah menghasilkan gas dan arang, tempat udara masuk berada dibawah dan gas yang dihasilkan keluar kea rah atas. Pada tipe *up draft* bahan bakar bergerak berlawanan arah dengan zona aliran gas melewati zona pengeringan, zona distilasi, zona reduksi, dan zona pembakaran. Pada gambar 4 disajikan proses gasifikasi dengan tipe *up draft*.



Gambar 4. Gasifikasi tipe *up draft*

- *Down draft*

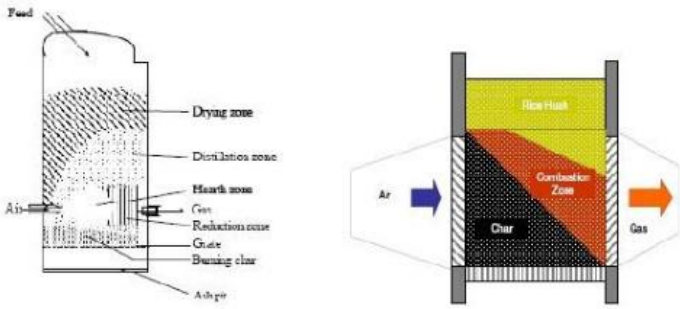
Pada tipe *down draft* biomassa dimasukkan melalui atas begitu pula dengan udara yang masuk. Gas yang dihasilkan akan mengalir kebawah reaktor, aliran biomassa dan udara searah. Kelebihan dari tipe *down draft* adalah menghasilkan gas dengan kandungan tar rendah. Pada Gambar 5 disajikan proses gasifikasi dengan tipe *down draft*.



Gambar 5. Gasifikasi tipe *down draft*

- *Cross draft*

Pada tipe *cross draft* biomassa dimasukkan melalui atas, udara masuk dan gas yang dihasilkan masing-masing berada pada bagian sisi reaktor. Tipe *cross draft* digunaan untuk menghasilkan arang hasil pembakaran dengan kualitas tinggi. Pada Gambar 6 disajikan proses gasifikasi dengan tipe *down draft*.



Gambar 6. Gasifikasi tipe *cross draft*

2.4. Efisiensi Energi Kompor

Efisiensi adalah penggunaan sumber daya secara minimum guna pencapaian hasil yang optimum. Efisiensi menganggap bahwa tujuan-tujuan yang benar telah ditentukan dan berusaha untuk mencari cara-cara yang paling baik untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut. Efisiensi hanya dapat dievaluasi dengan penilaian-penilaian relatif, membandingkan antara masukan dan keluaran yang diterima. Sebagai contoh untuk menyelesaikan sebuah tugas, cara A membutuhkan waktu 1 jam sedang cara B membutuhkan waktu 2 jam, maka cara A lebih efisien dari cara B. Dengan kata lain tugas tersebut dapat selesai menggunakan cara dengan benar atau efisiensi (Dewi, 2009).

Efisiensi termal kompor biomassa dihitung menggunakan persamaan yang dimodifikasi dari Baldwin (1987):

$$\eta_{th} = \frac{Cp \times W_i(T_f - T_i) + H_{fg}(W_i - W_f)}{M_b HV_b - M_c HV_c + M_k HV_k} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dimana:

- Cp adalah nilai panas jenis air (4.186 kJ/kg^{o}C)
- H_{fg} adalah nilai panas laten penguapan air (2260 kJ/kg)
- W_i adalah masa air awal (kg)
- W_f adalah masa air akhir (kg)
- T_f adalah suhu air mendidih (^{o}C)
- T_i adalah suhu air awal (^{o}C)
- M_b adalah massa bahan bakar kayu (kg)
- M_c adalah massa arang (kg)
- M_k adalah massa minyak tanah *starter* (kg)
- HV_b adalah nilai kalori bahan bakar kayu (kJ/kg)
- HV_c adalah niali kalori arang (kJ/kg)
- HV_k adalah nilai kalori minyak tanah *starter* (kJ/l)

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). Efisiensi energi kompor Belonio diperoleh dari hasil melakukan perebusan 5 liter air. Untuk langkah yang pertama diperlukan menghitung nilai panas laten dan panas sensibel dari semua jenis bahan bakar biomassa yang digunakan ketika mendidihkan air sebanyak 5 liter. Efisiensi konversi energi adalah besarnya nilai efisiensi energi bahan bakar yang terpakai pada pengujian kompor Belonio. Nilai efisiensi juga diperhitungkan dari jumlah pemakaian minyak sebagai penyulut api dan jumlah energi kipas yang terpakai selama pembakaran dari penyalaan api awal hingga bahan bakar terbakar habis semua. Pada Tabel 5 menyajikan perbandingan rata-rata nilai efisiensi dari masing-masing bahan bakar biomassa terhadap masing-masing perlakuannya.

Tabel 5. Perbandingan rata-rata efisiensi konversi energi oleh kompor Belonio

No.	Jenis bahan bakar biomassa	Perlakuan		
		90%	**75%**	**50%**
1	Sekam padi	26,43%	29,57%	24,06%
2	Serutan kayu	16,28%	20,98%	15,33%
3	Tatal kayu	7,65%	7,33%	5,23%
4	Ampas biji jarak	16,61%	14,07%	20,83%

Semakin besar nilai efisiensi kompor maka semakin banyak pula energi yang terpakai pada pengujian kompor Belonio. Sebaliknya, jika semakin kecil nilai efisiensi kompor maka semakin sedikit energi yang tidak terpakai (banyak terbuang) pada pengujian kompor Belonio (Harahap, 2009).

2.5. Aspek Ergonomika

Dalam membuat suatu alat harus memperhatikan aspek ergonomika, karena hal ini akan sangat berpengaruh terhadap produktivitas kerja dan efisiensi tenaga operator. Ada dua istilah yang lazim digunakan dalam ergonomika yaitu

anthropometri dan biomekanik. Anthoropometri adalah suatu bidang ergonomika yang menyangkut masalah pengukuran statik manusia. Berasal dari kata Yunani yaitu *anthropos* (pengukuran) dan *metros* (pengukuran). Data anthropometri dapat digunakan untuk optimasi dimensi berbagai macam benda yang sering digunakan manusia.

Anthropometer adalah suatu alat untuk mengukur jarak, ketinggian, dan sudut suatu titik dari suatu posisi acuan tertentu. Realisasinya, alat ini berguna sebagai alat bantu untuk mendesain atau mengetahui posisi alat-alat atau instrumen pengendali dari suatu alat terhadap posisi operatornya. Cara pengumpulan data anthropometri adalah dengan melakukan pengukuran dimensi tubuh masing-masing individu suatu populasi. Terdapat dua jenis pengukuran anthropometri yaitu data yang diperoleh dari pengukuran saat tubuh manusia dalam posisi tetap baik dalam kondisi duduk maupun berdiri. Sedangkan data dimensi dinamik adalah data yang diperoleh dari pengukuran saat tubuh manusia dalam posisi melakukan suatu aktivitas. Terdapat dua prinsip dalam memperoleh data dimensi dinamik, yaitu dengan estimasi dan integrasi. Prinsip estimasi adalah dengan mengkonversi data statik untuk kondisi dinamik, contohnya tinggi badan dinamik sama dengan 97% tinggi badan statik, jangkauan dinamik sama dengan 120% panjang tangan statik, dll. Sedangkan prinsip itegrasi adalah dengan menggabungkan data yang berhubungan dengan suatu ukuran, contohnya jangkauan dinamik adalah penjumlahan antara panjang tangan statik, pergerakan bahu, rotasi parsial punggung, jarak saat membungkuk, dan pergerakan telapak tangan. Populasi manusia memiliki variasi bentuk dan ukuran tubuh yang tinggi. Dengan menggunakan sebaran normal, persentil dalam data anthropometri

menunjukkan bila suatu ukuran adalah rata-rata, diatas atau dibawah rata-rata (Warji, 2011).

Pengkajian aspek anthropometri dan biomekanik sangat diperlukan dalam mendesain suatu alat. dengan mengetahui struktur anthropometri dan biomekanik suatu kelompok masyarakat dalam unsur yang sama dapat diketahui struktur fisik dan selang respon emosionalnya, sehingga dapat dilakukan perkiraan-perkiraan tertentu untuk mendesain suatu sistem dan peralatan kerja yang nyaman, aman, dan efisien (Herodian dkk., 1991). Pada Tabel 6 disajikan ukuran rata-rata anthoropometri orang Indonesia dalam posisi duduk.

Tabel 6. Ukuran rata-rata anthropometri orang Indonesia dalam posisi duduk

No	Ukuran Anthropometri	Laki-Laki		Perempuan	
		Rata-rata (cm)	Standar Deviasi (cm)	Rata-rata (cm)	Standar Deviasi (cm)
1	Tinggi duduk	83,2	3,7	77,9	3,4
2	Tinggi siku	23,0	10,0	22,2	3,1
3	Tinggi pinggul	18,4	3,9	19,0	2,2
4	Tinggi lutut	49,5	6,0	46,3	1,8
5	Tinggi pantat ke lantai	41,4	5,3	39,0	2,8

Sumber: Herodian dkk., 1991.

Untuk ukuran rata-rata orang Indonesia pada posisi berdiri dapat dilihat pada pada Tabel 7. Dengan mengetahui ukuran rata-rata anthropometri maka seseorang dapat memperhitungkan tingkat kenyamanan kerja serta mengetahui dimana posisi dari komponen alat akan diletakkan, sehingga alat tersebut dapat digunakan dengan nyaman, aman, dan efisien.

Tabel 7. Ukuran rata-rata anthropometri orang Indonesia dalam posisi berdiri

No	Ukuran anthropometri	Laki-laki		Perempuan	
		Rata-rata (cm)	Standar Deviasi (cm)	Rata-rata (cm)	Standar deviasi (cm)
1	Tinggi	161,3	5,6	151,6	5,4
2	Tinggi bahu	132,6	10,3	122,0	5,6
3	Lebar bahu	39,6	6,6	34,9	3,0
4	Tinggi siku	97,8	17,5	90,8	4,1
5	Tinggi pinggul	93,6	20,4	88.8	4,2
6	Lebar pinggul	28,9	5,7	31,5	2,5
7	Panjang tangan	66,7	11,7	61,4	3,5
8	Panjang lengan atas	34,8	4,9	31,5	2,3
9	Panjang lengan bawah	44,2	7,0	40,7	2,7
10	Jangkauan vertikal tangan	202,1	8,0	186,9	8,0
11	Jangkauan horizontal tangan	165,6	6,9	151,7	6,0

Sumber: Herodian dkk., 1991.