

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompor Gas Biomassa

Kompor gas biomassa merupakan kompor berbahan bakar biomassa padat. Bahan biomassa adalah semua yang berasal dari makhluk hidup, seperti kayu, tumbuh-tumbuhan, dedaunan, rumput, limbah pertanian, limbah rumah tangga, sampah dan lain-lainnya. Komponen terpenting biomassa yang digunakan untuk pembakaran adalah selulosa dan ligno-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 buruk mengakibatkan efisiensi pembakaran biomassa sangat rendah. Disamping itu, asap pembakaran mengakibatkan polusi udara yang berbahaya bagi kesehatan. Pada Gambar 2.1, dapat dilihat tungku tradisional secara umum yang ada di masyarakat Indonesia. Kompor gasifikasi (gas biomassa) mengubah bahan bakar padat seperti biopellet menjadi gas mudah terbakar seperti karbonmonoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄) yang selanjutnya bereaksi dengan oksigen menjadi nyala api (Karmiza & Helianty, 2014).



Sumber: Google.com

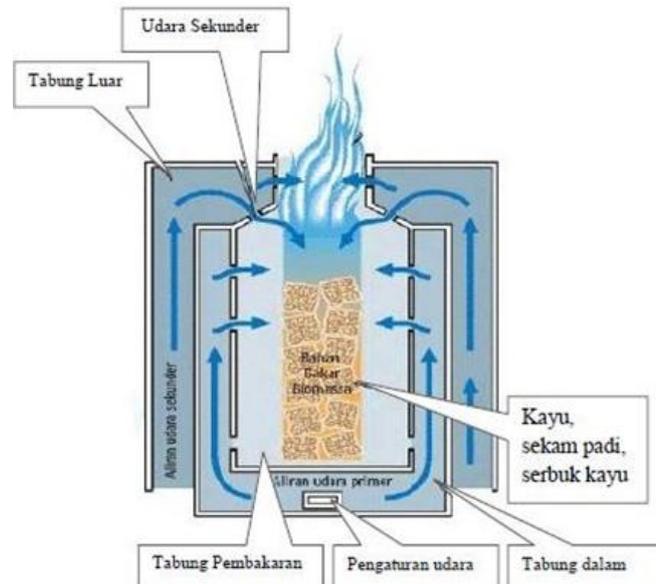
Gambar 2.1 Tungku tradisional

Dapat dilihat pada Gambar 2.2, kompor biomassa menggunakan bahan bakar pelet biasanya memiliki desain yang sederhana yaitu menggunakan sistem *top-lit updraft* (TLUD) yang terdiri dari mekanisme pembakaran secara *preheating*, *counter-flow*, dan *co-firing* (Giyanto, 2020). Prinsip TLUD pada dasarnya adalah melakukan penyalaan di bagian atas sehingga terjadi perpindahan panas ke arah

bawah. Udara dari bagian bawah unggun dalam jumlah terbatas (udara primer) dialirkan ke bagian atas unggun sehingga terjadi perpindahan massa udara ke arah atas. Pertemuan antara panas kebawah dan massa udara ke atas menyebabkan terbentuknya panas disekitar unggun biomassa yang bergerak kearah bawah sehingga gas-gas dari pelet biomassa terlepas (proses pirolisa) dan bereaksi secara tak sempurna dengan udara primer. Gas-gas yang terbentuk seperti karbonmonoksida (CO) dan asap hidrokarbon. Selanjutnya seluruh gas tersebut mengalir naik dan dibakar sempurna dibagian atas dengan udara sekunder berlebih sehingga dihasilkan emisi CO yang rendah. Pada saat bersamaan, panas tetap mengalir kebawah dan melanjutkan pembentukan gas pirolisa (Supramono & Winata, 2015).

Tahapan reaksi yang berlangsung simultan dan kontinu dalam reaktor gasifikasi sebagai berikut:

- a. Pengeringan (25°C - 150°C), ditujukan untuk menguapkan air biomassa yang sebagiannya digunakan untuk reaksi selanjutnya,
- b. Pirolisa (150°C - 800°C), merupakan reaksi endotermis dalam kondisi tanpa oksigen untuk mendekomposisi biomassa menjadi karbon (C), tar, minyak, gas dan produk pirolisa lainnya secara endotermis,
- c. Oksidasi (800°C - 1400°C), merupakan reaksi sangat eksotermis yang ditandai dengan temperatur yang tinggi dan dapat dimanfaatkan kembali oleh tahap pengeringan dan pirolisa,
- d. Reduksi (600°C - 900°C), berlangsung pada zona reduksi *gasifier* sehingga gas produser terkonversi menjadi *syngas* (H_2 , CO, dan CH_4). Selanjutnya gas tersebut dengan oksigen dalam udara menghasilkan nyala api (Karmiza & Helianty, 2014).



Sumber: (Nurhuda, 2008)

Gambar 2.2 Struktur kompor gas biomassa

Komponen dan fungsi dari bagian-bagian kompor biomassa gasifikasi yaitu:

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.

2.2 Isolator

Isolasi termal adalah cara atau proses yang digunakan untuk mengurangi perpindahan panas (kalor). Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas disebut isolator. Energi panas (kalor) ditransfer secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Oleh karena itu, panas masih dapat lolos meskipun ada upaya untuk menutupinya, akan tetapi isolator berfungsi mengurangi panas yang lolos tersebut. Isolator digunakan untuk memperkecil perpindahan energi panas. Aliran panas dapat dikurangi dengan menangani satu atau lebih dari tiga mekanisme perpindahan panas dan tergantung pada sifat fisik bahan isolator yang akan digunakan. Adapun syarat-syarat isolator yang baik yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis bahan yang akan dibuat sebagai isolator panas pada dinding kompor gas biomassa menurut (Burlian dkk., 2014) adalah sebagai berikut:

1. Memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah,
2. Bahan isolator yang digunakan mudah untuk didapatkan,
3. Memiliki harga yang cukup ekonomis,
4. Mudah dibuat dan dipasangkan pada dinding kompor.

Secara teoritis, nilai konduktivitas termal dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Konduktivitas Termal Bahan Isolator

Jenis Isolator	Konduktivitas Termal (W/m.K)
<i>Asbestos fiber</i>	0,1105
<i>Fiberglass</i>	0,0372
<i>Rockwool</i>	0,0465

Sumber: (Kothandaraman & S. Subramanyan, 2007)

2.2.1 Asbestos

Asbes atau asbestos merupakan bahan tambang, yang terdiri dari serat silikat mineral dan komposit kimiawi yang berbeda, lebih tahan dengan asam dan api

daripada bahan lainnya. Asbes memiliki 2 bentuk, *serpentine* dan *amphibole*, terbuat dari magnesium silikat murni. Asbes biasa digunakan untuk isolasi termal, isolasi listrik, pelapis rem, dan telah banyak digunakan diberbagai industri dunia seperti isolasi pipa uap, turbin, *boiler*, *kiln*, *oven*, dan peralatan produk bertemperatur tinggi lainnya (Wiranjaya, 2014). Isolator jenis asbestos dapat dilihat pada Gambar 2.3.

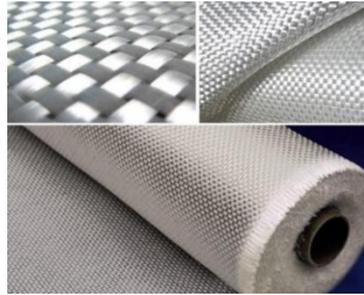


Sumber: Google.com

Gambar 2.3 Serat asbestos

2.2.2 *Fiberglass*

Fiberglass adalah bahan yang diproduksi dengan menggabungkan filamen kaca yang sangat tipis dikombinasikan dengan komposisi resin, biasanya poliester. *Fiberglass* dapat disusun ulang, diratakan menjadi bentuk lembaran atau ditenun menjadi kain. Bahan *fiberglass* sudah sejak lama digunakan secara luas terutama untuk bidang konstruksi mengingat sifat konstruksinya yang sangat kuat dan ringan. Selain digunakan dalam bidang konstruksi, *fiberglass* juga digunakan dalam bidang pengisolasian. Selain mempunyai sifat konstruksi yang kuat, *fiberglass* juga mempunyai sifat-sifat lain yang mendukung untuk digunakan dalam bidang pengisolasian. Sifat-sifat tersebut diantaranya kedap air dan udara, dan memiliki konduktivitas termal yang kecil dimana sifat ini merupakan syarat agar suatu bahan bisa dijadikan isolator yang baik (Amung dkk., 2017). Isolator jenis *fiberglass* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Sumber: Google.com

Gambar 2.4 Serat fiberglass

2.2.3 *Rockwool*

Rockwool adalah jenis wol mineral yang sering berfungsi sebagai bahan isolasi untuk rumah tinggal dan bangunan. *Rockwool* sering dibandingkan dengan *glasswool*, karena keduanya adalah jenis umum dari isolasi bangunan. Keuntungan menggunakan *rockwool* untuk mengisolasi/*insulation* lebih banyak dibanding kerugiannya, karena jenis isolasi ini dapat menawarkan perlindungan tambahan terhadap kebakaran, kerusakan air, dan kebisingan.

Rockwool adalah material *insulation*, termasuk jenis isolasi termal. Terbuat dari bahan tambang *fiber* ringan dengan inti berupa batu alam yang dipadukan dengan damar panas. Bahan baku terdiri dari batu vulkanik atau basalt. Serat tersebut kemudian dikumpulkan dan dikompresi menjadi tikar besar. Sebelum memasuki oven perawatan *curing*, kepadatan dan struktur keseluruhan dari *rockwool* disesuaikan dan disetujui. Ketika *rockwool* telah melalui oven perawatan *curing*, *wool* dipotong menjadi lembaran dan kubus. Sementara beberapa isolasi dipotong untuk isolasi pipa, jenis lainnya yang dipotong untuk keperluan perumahan (Wiranjaya, 2014). Isolator jenis *rockwool* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Sumber: Google.com

Gambar 2.5 *Rockwool*

2.3 Biopelet

Biopelet adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah dengan ukuran lebih kecil dari ukuran briket. Biopelet dapat dibuat dari beberapa bahan biomassa seperti limbah serbuk kayu jati, serbuk kayu sengon, dan serbuk kayu akasia dengan campuran arang tempurung kelapa. Pelet diproduksi oleh suatu alat dengan mekanisme pemasukan bahan secara terus-menerus serta mendorong bahan yang telah dikeringkan dan termampatkan melewati lingkaran baja dengan beberapa beberapa lubang yang memiliki ukuran tertentu. Proses pemampatan ini menghasilkan bahan padat dan akan patah ketika mencapai panjang yang diinginkan (Suyoko dkk., 2020). (Buratti & Fantozzi, 2009) menyatakan terdapat 6 tahapan proses pembuatan biopelet, yaitu: perlakuan pendahuluan bahan baku (*pre-treatment*), pengeringan (*drying*), pengecilan ukuran (*size reduction*), pencetakan biopelet (*peletization*), pendinginan (*cooling*), dan *silage*. Residu hutan, sisa penggergajian, sisa tanaman pertanian, dan *energy crops* dapat didensifikasi menjadi pelet. Proses peletisasi dapat meningkatkan kerapatan spesifik biomassa lebih dari 1000kg/m^3 (Lehtikangas 2001 dan Mani *et al.* 2004). Pelet dengan bahan baku biomassa dapat diproduksi dari proses pembuatan sebagai berikut:

1. Proses Pengeringan

Secara umum, kadar air awal biomassa adalah sekitar 50 – 90 %. Perlu untuk mengeringkan bahan baku hingga kadar air mencapai 10 – 20 % untuk mendapatkan kondisi optimum untuk proses penggilingan dan pemeletan. Bahan baku dengan ukuran partikel yang besar seharusnya dikeringkan dengan tanur putar, dan bahan baku dengan ukuran partikel yang kecil harus dikeringkan dengan menggunakan pengering kilat,

2. Proses Penggilingan

Bahan baku seharusnya digiling berdasarkan ukuran pelet. Untuk keseluruhan kayu atau limbah ukuran besar, bahan baku harus dihancurkan terlebih dahulusebelum proses pengeringan supaya kadar air seragam. Akan tetapi, proses ini tidak diperlukan jika bahan bakunya adalah sekam padi.

- a. Proses Pencetakan Pelet

Pembuatan biopellet dilakukan dengan menggunakan pellet mill, dengan komposisi dan ukuran bahan baku yang divariasikan,

b. Proses Pendinginan

Karena pelet yang telah dibuat memiliki suhu yang tinggi dan mengandung kadar air yang tinggi pula, maka diperlukan proses pendinginan.

2.3.1 Keunggulan Biopellet

Adapun keunggulan biopellet antara lain:

1. Mudah dalam pembuatan,
2. Biaya proses lebih murah,
3. Tidak beresiko meledak dan terbakar,
4. Sumber bahan baku biomassa melimpah.

2.3.2 Sifat Biopellet yang Baik

Adapun sifat biopellet yang baik antara lain:

1. Tidak berasap dan tidak berbau pada saat pembakaran,
2. Mempunyai kekuatan tertentu sehingga tidak mudah pecah saat diangkat dan dipindahkan,
3. Mempunyai suhu pembakaran yang tetap ($\pm 350^{\circ}\text{C}$) dalam jangka waktu yang cukup panjang (± 40 menit),
4. Setelah pembakaran masih mempunyai kekuatan tertentu sehingga mudah untuk dikeluarkan dari dalam tungku masak.

Berikut standar kualitas dari biopellet menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) dapat dilihat di Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Kualitas Biopellet Berdasarkan SNI 8021-2014

Parameter	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Karbon Terikat (%)	Kerapatan (g/cm^3)	Nilai Kalor (kal/g)
Nilai	$\leq 12\%$	$\leq 1,5\%$	$\leq 80\%$	$\geq 14\%$	$\geq 0,8\%$	≥ 4000

Sumber: (Mawardi, 2020)

Bentuk biopelet dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Sumber: Google.com

Gambar 2.6 Biopelet

2.4 Proses Pembakaran

Pengertian pembakaran secara umum yaitu terjadinya oksidasi cepat dari bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “Tiga T” yaitu :

a. T-Temperatur

Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia,

b. T-Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi,

c. T-Time

(Waktu) Waktu yang cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari tahap awal yaitu penyalaan dimana keadaan transisi dari tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung.

Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi

termal yang merupakan transfer energi termal ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu diperhatikan sesuai dengan karakteristiknya sehingga homogenitas campuran bahan bakar dengan udara dapat terjadi secara sempurna agar terjadi pembakaran yang sempurna. Viskositas bahan bakar adalah salah satu karakteristik bahan bakar yang sangat menentukan kesempurnaan proses pembakaran. Viskositas yang tinggi menyebabkan aliran bahan bakar terlalu lambat. Tingginya viskositas menyebabkan beban pada pompa injeksi menjadi lebih besar dan pengabutan saat injeksi kurang sempurna sehingga bahan bakar sulit terbakar.

Energi panas yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran senyawa hidrokarbon merupakan kebutuhan energi yang paling dominan dalam *refinery*. Pengelolaan energi yang tepat dan efisien merupakan langkah penting dalam upaya penghematan biaya produksi secara menyeluruh. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang bersifat eksotermis dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dengan oksigen serta menghasilkan panas. Proses pembakaran memerlukan udara, namun jumlah udara yang dibutuhkan tidak diberikan dalam jumlah yang tepat secara stoikiometri, namun dilebihkan. Hal ini bertujuan supaya pembakaran berlangsung sempurna. Kelebihan udara ini disebut *excess air* (udara yang berlebih).

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan jumlah panas yang maksimum. Pembakaran dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif dengan reaksi kimia. Jumlah panas yang dihasilkan bahan bakar dinyatakan sebagai nilai kalori pembakaran (*Calorific Value*). Reaksi kimia terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, hidrogen dan sulfur yang ada dalam bahan bakar. Reaksi ini umumnya menghasilkan nyala api.

Terdapat dua istilah pembakaran yang berhubungan dengan udara *excess*, yaitu :

- a. *Neutral combustion*, merupakan pembakaran tanpa *excess* atau defisit udara dan tanpa bahan bakar yang tidak terbakar,
- b. *Oxidizing combustion*, merupakan pembakaran dengan *excess* udara. Udara

yang berlebih bukan merupakan jaminan pembakaran yang sempurna (Abrar, 2019).

2.5 *Water Boiling Test*

Water Boiling Test (WBT) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kinerja suatu tungku dalam skala laboratorium, dimana kondisi iklim, bahan bakar (kelembaban, spesies, bentuk), jenis alat masak, pemasak, termasuk cara mengoperasikan tungku dipertahankan sama disepanjang pengujian (Mulyanto dkk., 2016). Air berfungsi sebagai media transfer panas untuk menghitung besarnya energi yang dihasilkan oleh kompor. Dengan menggunakan metode *Water Boiling Test* (WBT), maka dapat diukur efisiensi pembakaran dari kompor yang menggunakan biopellet (Nurhilal, 2018).

Metode WBT mengukur temperatur air dan temperatur saat air menguap. Efisiensi termal dihitung dengan membandingkan jumlah panas yang diserap oleh air untuk kenaikan temperaturnya dan panas laten penguapan air terhadap panas yang dihasilkan dari pembakaran volatile matter yang terkandung dalam biomassa (Supramono & Winata, 2015).

Parameter yang dicari dalam WBT adalah waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air, jumlah bahan bakar yang digunakan dalam waktu tersebut, jumlah air yang menguap. Data-data tersebut dipakai untuk menghitung laju bahan bakar, daya output (*power*), dan efisiensi.

Menggunakan persamaan (1) - (3) dari (Mulyanto dkk., 2016)

$$FCR = \frac{m_{bt}}{t} \quad (1)$$

$$m_{bt} = m_a - m_{ak} \quad (2)$$

Dengan FCR adalah *Fuel Consumption Rate* atau laju bahan bakar (kg/jam), m_{bt} sebagai massa bahan bakar terpakai (kg), m_a adalah massa bahan bakar awal (kg), merupakan massa bahan bakar akhir (kg), dan t adalah waktu untuk mendidihkan air (jam).

Daya output / *Power* kompor (P):

$$P = \frac{m_{bt} \times LHV}{t} \quad (3)$$

Dengan P adalah *Power* (kW), dan LHV adalah *Lower Heating Value* (kJ/kg).

Efisiensi termal menurut (Pambudi dkk., 2019) merupakan rasio perbandingan kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar terhadap kalor yang diterima oleh air untuk menaikkan suhunya dan menguapkannya. Perhitungan untuk menentukan besar efisiensi termal menurut BSN (2013) didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{m_a \cdot C_p \cdot \Delta T + \Delta m_a \cdot L}{\Delta m_k \cdot LHV} \times 100\% \quad (4)$$

Berbeda dengan keterangan 3 persamaan sebelumnya, dimana η_T adalah efisiensi termal (%), m_a adalah massa air (kg), C_p adalah kalor jenis air bernilai 4,1866 kJ/kg°C, ΔT adalah selisih suhu air (°C), Δm_a adalah massa air yang menguap (kg), L adalah kalor penguapan air bernilai 2268 kJ/kg, Δm_k adalah massa bahan bakar terpakai (kg), dan LHV adalah *Lower Heating Value* (kJ/kg).