

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengerinan

Pengerinan merupakan salah satu cara untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang dikandung melalui penguapan energi panas (Ari, 2007). Prinsip pengerinan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut pindah panas ke dalam dan pindah massa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengerinan adalah:

- a. Luas permukaan
- b. Perbedaan suhu sekitar
- c. Kecepatan aliran udara
- d. Tekanan Udara

Dalam industri kimia sering sekali bahan-bahan padat harus dipisahkan dari suspensi, misalnya secara mekanis dengan penjernihan atau filtrasi. Dalam hal ini pemisahan yang sempurna sering kali tidak dapat diperoleh, artinya bahan padat selalu masih mengandung sedikit atau banyak cairan, yang acapkali hanya dapat dihilangkan dengan pengerinan. Karena pertimbangan ekonomi (penghematan energi), maka sebelum pengerinan dilakukan, sebaiknya sebanyak mungkin cairan sudah dipisahkan secara mekanis. (Bernasconi, G., 1995)

2.1.1 Tujuan Pengerinan

Tujuan pengerinan adalah untuk mengurangi kadar air sampai batas perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti. Dengan demikian bahan yang dikeringkan dapat mempunyai waktu simpan yang lama. Keuntungan dan Kelemahan Teknik Pengerinan

- a. Keuntungan pengerinan :
 1. Bahan menjadi lebih tahan lama disimpan
 2. Volume bahan menjadi kecil
 3. Mempermudah dan menghemat ruang pengangkutan

4. Mempermudah transport
 5. Biaya produksi menjadi murah
- b. Kerugian pengeringan
1. Sifat asal bahan yang dikeringkan berubah (bentuk penampakan fisik, penurunan mutu, dan lain-lain)
 2. Perlu pekerjaan tambahan untuk menghindari di atas.

2.2 Jenis-Jenis Alat Pengering

Menurut (Iswandari, M.,2000), berdasarkan bahan yang akan dipisahkan, alat pengering terbagi menjadi 2 jenis, yaitu pengering untuk zat padat dan tapal, serta pengering untuk larutan dan bubur.

1. Pengering untuk Zat Padat dan Tapal

a. Pengering Putar (*Rotary Dryer*)

Pengering putar terdiri dari sebuah selongsong berbentuk silinder yang berputar, horisontal atau gerak miring ke bawah ke arah keluar. Umpan masuk dari satu ujung silinder, bahan kering keluar dari ujung yang satu lagi.

b. *Screen Conveyor Dryer*

Lapisan bahan yang akan dikeringkan diangkut perlahan-lahan diatas logam melalui kamar atau terowongan pengering yang mempunyai kipas dan pemanas udara.

c. Pengering Menara (*Tower Dryer*)

Pengering menara terdiri dari sederetan talam bundar yang dipasang bersusun keatas pada suatu poros tengah yang berputar. Zat padat itu menempuh jalan seperti melalui pengering, sampai keluar sebagian hasil yang kering dari dasar menara.

d. Pengering Konveyor Sekrup (*Screw Conveyor Dryer*)

Pengering konveyor sekrup adalah suatu pengering kontinyu kalor tak langsung, yang pada pokoknya terdiri dari sebuah konveyor sekrup horizontal (konveyor dayung) yang terletak di dalam selongsong bermantel berbentuk silinder.

e. Alat Pengering Tipe Rak (*Tray Dryer*)

Tray dryer atau alat pengering tipe rak, mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak, yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Pada umumnya rak tidak dapat dikeluarkan. Beberapa alat pengering jenis ini rak-raknya mempunyai roda sehingga dapat dikeluarkan dari alat pengeringnya. Bahan diletakan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut untuk mengalirkan udara panas.

Ukuran yang digunakan bermacam-macam, ada yang luasnya 200 cm² dan ada juga yang 400 cm². Luas rak dan besar lubang-lubang rak tergantung pada bahan yang dikeringkan. Apabila bahan yang akan dikeringkan berupa butiran halus, maka lubangnya berukuran kecil. Pada alat pengering ini bahan selain ditempatkan langsung pada rak-rak dapat juga ditebarkan pada wadah lainnya misalnya pada baki dan nampan. Kemudian pada baki dan nampan ini disusun diatas rak yang ada di dalam pengering. Selain alat pemanas udara, biasanya juga digunakan juga kipas (*fan*) untuk mengatur sirkulasi udara dalam alat pengering. Udara yang telah melewati kipas masuk ke dalam alat pemanas, pada alat ini udara dipanaskan lebih dulu kemudian dialurkan diantara rak-rak yang sudah berisi bahan. Arah aliran udara panas didalam alat pengering bisa dari atas ke bawah dan bisa juga dari bawah ke atas, sesuai dengan dengan ukuran bahan yang dikeringkan. Untuk menentukan arah aliran udara panas ini maka letak kipas juga harus disesuaikan (Unari Taib, dkk, 2008).

2. Pengeringan Larutan dan Bubur

a. Pengering Semprot (*Spray Dyer*)

Pada *spray dryer*, bahan cair berpartikel kasar (*slurry*) dimasukkan lewat pipa saluran yang berputar dan disemprotkan ke dalam jalur yang berudara bersih, kering, dan panas dalam suatu tempat yang besar, kemudian produk yang telah kering dikumpulkan dalam filter kotak, dan siap untuk dikemas.

b. Pengering Film Tipis (*Thin Film Dryer*)

Saingan *spray dryer* dalam beberapa penerapan tertentu adalah pengering film tipis yang dapat menanganani zat padat maupun bubur dan menghasilkan hasil padat yang kering dan bebas mengalir. Efisiensi termal pengering film tipis

biasanya tinggi dan kehilangan zat padatnya pun kecil. Alat ini relatif lebih mahal dan luas permukaan perpindahan kalornya terbatas (Unair Thaib, dkk).

2.3 Pengertian Kerupuk

Kerupuk adalah suatu jenis makanan kering yang terbuat dari bahan-bahan yang mengandung pati cukup tinggi. Pengertian lain menyebutkan bahwa kerupuk merupakan jenis makanan kecil yang mengalami pengembangan volume membentuk produk yang porus dan mempunyai densitas rendah selama proses penggorengan. Demikian juga produk ekstrusi akan mengalami pengembangan pada saat pengolahannya (e-bookpangan.com,2009).

Berdasarkan bentuknya dikenal dua macam kerupuk (yang terbuat dari tapioka), yaitu kerupuk yang diiris (di Palembang disebut kerupuk kemplang) dan kerupuk yang dicetak seperti mie lalu dibentuk berupa bulatan (kerupuk mie). dengan demikian proses pembuatannya pun berbeda. Secara garis besar proses pembuatan kerupuk irisan (kemplang) adalah sebagai berikut : pencampuran bahan baku, pembuatan adonan, pembentukan (berupa silinder), pengukusan, pendinginan, pengirisan, pengeringan dan penggorengan (untuk produk mentah cukup sampai proses pengeringan). Sedangkan untuk membuat kerupuk mie, adonan yang terbentuk kemudian dilewatkan pada suatu cetakan sambil dipres sehingga keluar lembaran-lembaran seperti mie yang kemudian ditampung sambil dibentuk menjadi bulatan-bulatan. Selanjutnya dilakukan pengukusan dan pengeringan (e-bookpangan.com, 2009).

Komposisi atau perbandingan bahan yang digunakan tidak pernah diseragamkan, jadi tergantung dari selera produsen. Bahan yang paling banyak digunakan adalah tepung tapioka, kemudian ikan atau udang, air dan garam serta MSG dalam jumlah sedikit. Jadi berdasarkan komposisi bahan yang digunakan, kandungan utama kerupuk adalah zat pati, kemudian sedikit protein (yang berasal dari ikan atau udang), serta mungkin beberapa jenis vitamin dan mineral (yang mungkin berasal dari ikan atau udang) (e-bookpangan.com, 2009).

Di pasaran dapat dijumpai bermacam-macam jenis, sehingga kadang-kadang membingungkan konsumen untuk memilihnya. Memang cukup sulit memilih kerupuk mentah yang bermutu baik. Kriteria penilaian yang paling

mungkin dilakukan adalah melihat warnanya, keseragaman atau homogenitas campuran bahan baku, baunya dan kekeringannya serta ada tidaknya jamur. Kerupuk yang telah digoreng akan lebih mudah dinilai mutunya, misalnya berdasarkan kerenyahannya, warnanya, rasanya dan lain-lain. Kesulitan untuk memilih kerupuk mentah sesungguhnya dapat diatasi apabila produsen mencantumkan dalam labelnya, jenis bahan yang digunakan, komposisinya, dan tanggal kadaluwarsanya. Sayang sekali hal ini nampaknya belum menjadi kewajiban para produsen yang diharuskan oleh undang-undang, karena negara kita belum mempunyai undang-undang pangan yang antara lain akan berisi tentang peraturan tersebut (e-bookpangan.com,2009).

2.4 Tungku Pembakaran (*Furnace*)

Furnace adalah alat tempat terjadinya pembakaran suatu bahan bakar (*oil* atau *gas*) dimana gas hasil pembakaran tersebut dimanfaatkan panasnya untuk memanaskan suatu bahan. *Furnace* berfungsi untuk memindahkan panas (kalor) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang berlangsung dalam suatu ruang pembakaran (*combustion chamber*) ke fluida yang dipanaskan dengan mengalirkannya melalui pipa-pipa pembuluh (*tube*). Tujuan dari pemindahan panas hasil pembakaran ke *fluida* adalah agar tercapai suhu operasi yang diinginkan pada proses berikutnya. Sumber panas *furnace* berasal dari pembakaran antara bahan bakar cair (*fuel oil*) atau bahan bakar (*fuel gas*) dengan udara yang panasnya digunakan untuk memanaskan *crude oil* yang mengalir di dalam tube.

Furnace memiliki struktur bangunan plat baja (*metal*) yang bagian dalamnya dilapisi oleh material tahan api, batu isolasi, dan *refractory* yang fungsinya untuk mencegah kehilangan panas serta dapat menyimpan sekaligus memantulkan panas radiasi kembali ke permukaan *tube* yang dikenal dengan "*Fire Box*" atau "*Combustion Chamber*". *Furnace* pada dasarnya terdiri dari sebuah ruang pembakaran yang menghasilkan sumber kalor untuk diserap kumparan pipa (*tube coil*) yang didalamnya mengalir *fluida*. Dalam konstruksi ini biasanya *tube coil* dipasang menelusuri dan merapat ke bagian lorong yang menyalurkan gas hasil bakar (*flue gas*) dari ruang bakar ke cerobong asap (*stack*).

Perpindahan kalor di ruang pembakaran terutama terjadi karena radiasi disebut seksi radiasi (*radiant section*), sedangkan di saluran gas hasil pembakaran terutama oleh konveksi disebut seksi konveksi (*convection section*). Untuk mencegah supaya gas buangan tidak terlalu cepat meninggalkan ruang konveksi maka pada cerobong sering kali dipasang penyekat (*damper*). Perpindahan panas kalor melalui pembuluh dikenal sebagai konduksi (Putri,2012)

2.4.1 Tipe *Furnace*

Furnace memiliki beberapa jenis atau tipe. Jenis-jenis furnace tersebut terdiri dari (Putri,2012):

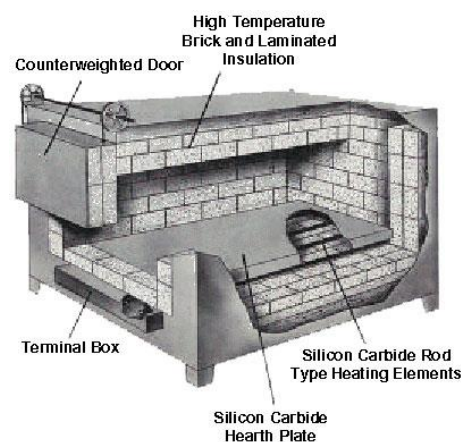
a. Tipe *Box (Box Furnace)*

Dapur tipe *box* mempunyai bagian *radiant* dan konveksi yang dipisahkan oleh dinding batu tahan api yang disebut *bridge wall*. Burner dipasang pada ujung dapur dan api diarahkan tegak lurus dengan pipa atau dinding samping dapur (api sejajar dengan pipa).

Aplikasi dapur tipe *box* :

- 1) Beban kalor berkisar 60-80 MM Btu/Jam atau lebih.
- 2) Dipakai untuk melayani unit proses dengan kapasitas besar.
- 3) Umumnya bahan bakar yang dipakai adalah *fuel oil*.
- 4) Dipakai pada instalasi-instalasi tua, adakalanya pada instalasi baru yang mempunyai persediaan bahan bakar dengan kadar abu (*ash*) tinggi.

Gambar 1 berikut ini merupakan gambar dari furnace tipe *box*.



Gambar 1. Furnace Box

b. Tipe Silindris Tegak (*Vertical*)

Furnace ini mempunyai bentuk konstruksi silinder dan bentuk alas (lantai) bulat. *Tube* dipasang *vertical* ataupun *konikal*. Burner dipasang pada lantai sehingga nyala api tegak lurus ke atas sejajar dengan dinding *furnace*. *Furnace* ini dibuat dengan atau tanpa ruang konveksi. Jenis pipa pemanas yang dipasang di ruang konveksi biasanya menggunakan *finned tube* yang banyak digunakan pada *furnace* dengan bahan bakar gas.

Aplikasi dapur tipe silindris :

- 1) Digunakan untuk pemanasan *fluida* yang mempunyai perbedaan suhu antara *inlet* dan *outlet* tidak terlalu besar atau sekitar 200⁰F (90⁰C).
- 2) Beban kalor berkisar antara 10 s.d. 200 gj/jam.
- 3) Umumnya dipakai pemanas fluida umpan reaktor.

Gambar 2 berikut ini merupakan gambar dari *furnace* tipe silinder vertikal.

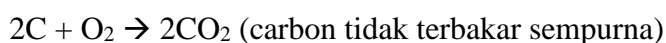


Gambar 2. Furnace Silinder Vertikal

2.5 Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen dan sulfur.

Dalam proses suatu pembakaran jika tidak ada cukup oksigen, maka karbon tidak akan terbakar seluruhnya, contohnya sebagai berikut :



Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” yaitu:

a. T- Temperatur

Temperatur yang digunakan untuk 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 harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

Selain pengontrolan “tiga T” di atas, dalam proses pembakaran juga harus diperhatikan hal-hal berikut ini :

a) Kebutuhan Udara Pembakaran

Dalam suatu pembakaran perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting dalam menentukan hasil proses pembakaran. Rasio campuran bahan bakar dan udara dapat dinyatakan dalam beberapa parameter yang lazim antara lain AFR (Air Fuel Ratio), FAR (Fuel Air Ratio), dan Rasio Ekuivalen (ϕ).

b) Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*)

Rasio ini merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbolis, AFR dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut ini :

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : m_a : laju massa udara (kg/s)

m_f : laju massa bahan bakar (kg/s)

N_a : massa molar udara

N_f : jumlah mol udara

M_a : massa molar bahan bakar

M_f : jumlah mol bahan bakar

Jika nilai aktual lebih besar dari a_{fr} , maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran

2.6 Boiler

Boiler atau yang disebut dengan ketel uap adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, dimana terdiri dari dua bagian yang penting yaitu: dapur pemanasan, dimana yang menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper, sebuah alat yang mengubah air menjadi uap. Uap atau fluida panas kemudian disirkulasikan dari ketel untuk berbagai proses dalam aplikasi pemanasan. Ketel uap (*boiler*) dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar (ridho fadillah,2015. Academia.com).

2.6.1 Syarat Air Umpan Boiler

Boiler atau ketel uap merupakan sebuah alat untuk pembangkit uap dimana uap ini berfungsi sebagai zat pemindah tenaga kaloris. Tenaga kalor yang dikandung dalam uap dinyatakan dengan entalpi panas.

Hal-hal yang mempengaruhi efisiensi boiler adalah bahan bakar dan kualitas air umpan boiler. Parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas air umpan boiler antara lain (PT. PLN (Persero) PLTU Bukit Asam) :

1. Oksigen terlarut, dalam jumlah yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada peralatan boiler.
2. Kekeruhan, dapat mengenda pada perpipaan dan peralatan proses serta mengganggu proses.
3. PH. Bila tidak sesuai dengan standar kualitas air umpan boiler dapat menyebabkan korosi pada peralatan
4. Kesadahan, merupakan kandungan ion Ca dan Mg yang dapat menyebabkan kerak pada peralatan serta perpipaan boiler sehingga menimbulkan *local overheating*
5. Fe, dapat menyebabkan air bewarna dan mengendap disaluran air dan boiler bila teroksidasi oleh oksigen

Secara umum air yang akan digunakan sebagai umpan boiler adalah air yang tidak mengandung unsur yang dapat menyebabkan terjadinya endapan yang dapat membentuk kerak pada boiler dan air yang tidak mengandung unsur yang dapat menyebabkan korosi boiler. Berikut ini merupakan standar air umpan boiler yang ada di PT. PLN (Persero) PLTU Bukit Asam :

Tabel 1. Standar Air Pengisi Ketel

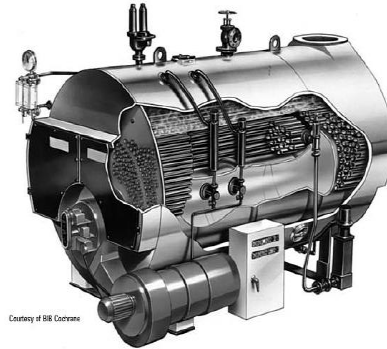
Tekanan Kerja (atm)	40 atm	60 atm	80 atm
Oksigen terlarut (ppm)	< 0,02	< 0,02	<0,02
Total besi (ppm)	<0,05	<0,05	<0,001
Total tembaga (ppm)	<0,01	<0,01	<0,005
pH pada 25 0C (ppm)	8-9	8-9	8-9
Silika (ppm)	<0,02	<0,02	<0,02
Conduktivity (μ s / cm)	<1,0	<0,5	<0,3
Chlorida (Cl-) ppm	-	-	-
Hydrazin (N ₂ H ₄) ppm	<0,01-0,03	<0,01-0,03	<0,01-0,03

2.6.2 Jenis-jenis Boiler

Klasifikasi boiler (ketel uap) ada beberapa macam, untuk memilih boiler harus mengetahui klasifikasinya terlebih dahulu, sehingga dapat memilih dengan benar dan sesuai dengan kegunaannya di industri. Karena jika salah dalam pemilihan ketel uap akan menyebabkan penggunaan tidak akan maksimal dan dapat menyebabkan masalah dikemudian harinya. Klasifikasi boiler berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka boiler diklasifikasikan menjadi 2, yaitu (Iskandar, J., 2001) :

a. Ketel Pipa api (*Fire tube boiler*)

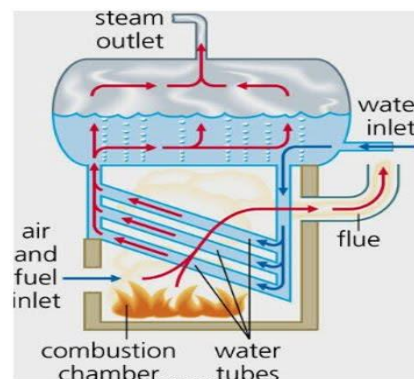
Pada ketel pipa api, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada di dalam shell untuk dirubah menjadi steam. Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bkar padat dalam operasinya. Gambar 3 berikut ini merupakan *boiler fire tube/* pipa api.



Gambar 3. Ketel Pipa Api

b. Ketel pipa air (*water tube boiler*)

Pada ketel pipa air, air diumpankan boiler melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. .Gambar 4 berikut ini merupakan *boiler water tube/* pipa air.



Gambar 4. Ketel Pipa Air

2.6.3 Paket Boiler

Disebut boiler paket sebab sudah tersedia sebagai paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik, hanya memerlukan pipa steam, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket boiler biasanya merupakan tipe *shell and tube* dengan rancangan *fire tube* dengan transfer panas baik radiasi maupun konveksi yang tinggi (Mawardi.S : 2007).

Ciri-ciri dari *packaged boilers* adalah:

- a. Kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat.
- b. Dirancang dengan transfer panas, penguapan, transfer panas konveksi dan tingkat efisiensi panas yang tinggi.
- c. Diklasifikasikan berdasarkan jumlah pass, yang paling umum adalah unit tiga pass.

2.6.4 Boiler Pembakaran dengan *Fluidized Bed* (FBC)

Pembakaran dengan *fluidized bed* (FBC) memiliki kelebihan dibanding sistem pembakaran yang konvensional karena rancangan boiler yang kompak, fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi dan berkurangnya emisi polutan yang merugikan seperti SO_x dan NO_x. Dapat digunakan bahan bakar batubara kualitas rendah, limbah industri dan komersial, sekam padi, bagas & limbah pertanian lainnya. Kisaran suhu operasinya cukup luas antara 840° C – 950° C dengan kapasitas antara 0.5 T/jam sampai lebih dari 100 T/jam.

2.6.5 *Stoker Fired Boilers*

Stokers diklasifikasikan menurut metode pengumpanan bahan bakar ke tungku dan oleh jenis *grate* nya. Klasifikasi utamanya adalah *spreader stoker* dan *chain-gate* atau *traveling-gate stoker*. Jenisnya antara lain *Spreader stokers* dan *chain-grate* atau *travelinggrate stoker*.

2.6.6 *Pulverized Fuel Boiler*

Kebanyakan boiler stasiun pembangkit tenaga yang berbahan bakar batubara menggunakan batubara halus, dan banyak boiler pipa air di industri yang lebih besar juga menggunakan batubara yang halus. Teknologi ini berkembang

dengan baik dan diseluruh dunia terdapat ribuan unit dan lebih dari 90 persen kapasitas pembakaran batubara merupakan jenis ini. Sistem ini memiliki banyak keuntungan seperti kemampuan membakar berbagai kualitas batubara, respon yang cepat terhadap perubahan beban muatan, penggunaan suhu udara pemanas awal yang tinggi dll.

2.6.7 Boiler Limbah Panas

Boiler ini beroperasi dengan memanfaatkan limbah panas yang tersedia dalam pabrik, seperti gas panas dari berbagai proses, gas buang dari turbin gas dan mesin diesel.

2.7 Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas dibagi menjadi tiga mekanisme yaitu konduksi (hantaran), konveksi, dan radiasi (sinaran). Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Perpindahan panas secara konduksi tidak hanya terjadi pada padatan saja tetapi bisa juga terjadi pada cairan ataupun gas, hanya saja konduktivitas terbesar ada pada padatan. Jika media perpindahan panas konduksi berupa gas, molekul-molekul gas yang suhunya tinggi akan bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dari pada molekul gas yang suhunya lebih rendah (Luqman Buchori, 2004).

2.7.1 Perpindahan Panas Konduksi

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas.

2.7.2 Perpindahan panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas dimana cairan atau gas yang suhunya tinggi mengalir ketempat yang suhunya lebih rendah, memberikan panas pada permukaan yang suhunya lebih rendah. Perpindahan panas terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang

mengalir disekitarnya. Jadi perpindahan panas ini memerlukan media penghantar berupa fluida (cairan atau gas) (Luqman Buchori, 2004).

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu :

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)
Adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.
Contoh : plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.
2. Konveksi paksaan (*forced convection*)
Adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.
Contoh : plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

2.7.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berlangsung elektromagnetik dengan panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung dalam ruangan hampa udara. Contoh : panas matahari yang sampai ke bumi (Luqman Buchori, 2004)..

Benda yang dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut radiator yang sempurna dan dikenal sebagai benda hitam (*black body*). Sedangkan benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu-abu (*gray body*).

2.8 Evaluasi Kinerja Boiler

Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja boiler adalah:

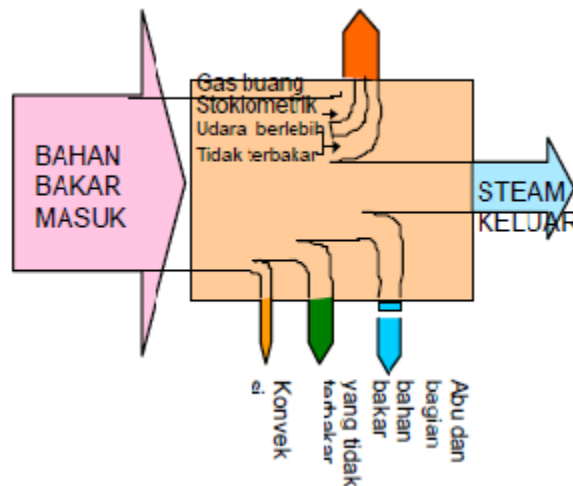
- a. Efisiensi boiler
- b. Rasio penguapan/ evaporation ratio
- c. Pengerakan pada permukaan
- d. Transfer panas
- e. Perawatan yang kurang baik

f. Kualitas dan kandungan air bahan bakar

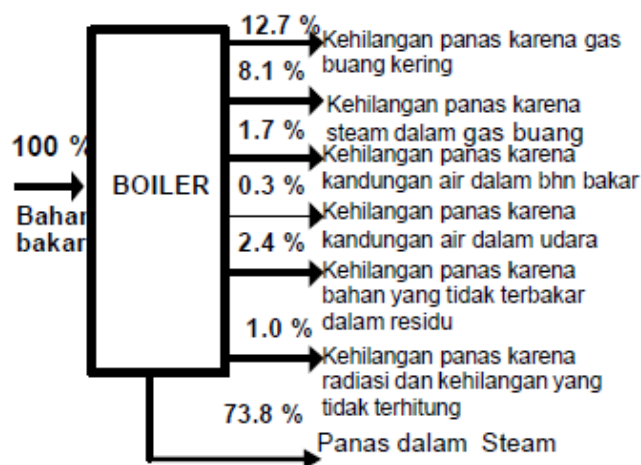
Uji efisiensi boiler dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi boiler dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan.

2.8.1 Neraca Panas

Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi, seperti terlihat pada gambar 5. Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar 6. berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan *steam*.



Gambar 5. Diagram Neraca Energi



Gambar 6. Berbagai Kehilangan Panas pada Produksi Steam

2.9 Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada ketel uap (*boiler*) adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Efisiensi pada ketel uap (*boiler*) dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (rosidi, 2012) :

Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai “persen energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan.” Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler (*boiler and thermics fluida heater : 2010*) :

- a. Metode Langsung: energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (steam) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan 23 dan 24 sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = \frac{\text{panas keluar}}{\text{panas masuk}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = \frac{Q (h_g - h_f)}{Q \times HHV} \dots\dots\dots (3)$$

Keuntungan metode langsung

Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler

- 1) Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- 2) Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- 3) Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *benchmark*

Kerugian metode langsung

- 1) Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
 - 2) Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi
- b. Metode Tidak Langsung : efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energy yang masuk. Standar acuan untuk Uji Boiler di Tempat dengan

menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845:1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units*.

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas.

Pada perhitungan efisiensi kali ini akan menggunakan metode tak langsung, dimana kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- 1) Gas cerobong yang kering
- 2) Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar
- 3) Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- 4) Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- 5) Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*
- 6) Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*
- 7) Radiasi dan kehilangan lain yang tidak dihitung

Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung adalah:

- 1) Analisis *ultimate* bahan bakar (H₂, O₂, S, C, kadar air, kadar abu)
- 2) Persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang
- 3) Suhu gas buang dalam °C (T_f)
- 4) Suhu ambien dalam °C (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- 5) HHV bahan bakar dalam kkal/kg
- 6) Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- 7) HHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

2.10 Metode Perhitungan

Pada lampiran 2 akan dibahas mengenai perhitungan berdasarkan data yang didapat. Berikut ini merupakan metode perhitungan yang akan diterapkan pada lampiran 2 :

1. Menghitung Neraca Massa

Perhitungan neraca massa dan neraca energi untuk sistem yang didefinisikan merupakan dasar dari analisis karakteristik pemakaian energi. Pada hakekatnya merupakan penerapan dari prinsip kekekalan massa dan energi yang

menyatakan bahwa massa dan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan (digilib itb). Berikut ini merupakan syarat yang harus dipenuhi dalam menghitung neraca massa dan neraca energi pada boiler furnace :

a. Input

- 1) Mengetahui berat dari bahan bakar
- 2) Mengetahui berat dari udara kering yang disuplai
- 3) Mengetahui berat air pada udara suplai

b. Output

- 1) Mengetahui berat dari flue gas kering
- 2) Mengetahui berat dari uap air pada flue gas
- 3) Mengetahui berat refuse

Langkah-langkah yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan di atas serta rumus yang digunakan dalam perhitungan neraca massa adalah sebagai berikut (Hougen, 1959) :

a. Menghitung Total Abu dalam Refuse

Untuk mengetahui total abu dalam refuse (berat refuse) dapat menggunakan persamaan 1 sebagai berikut (Hougen, *page* 418) :

$$\text{Berat refuse} = \frac{\text{abu pada tempurung kelapa}}{\text{abu pada refuse}} \dots\dots\dots(4)$$

b. Menghitung Neraca Carbon

Kandungan Carbon berasal dari bahan bakar tempurung kelapa dan refuse hasil sampingan dari pembakaran, untuk mengetahui kadar carbon yang terkandung pada bahan bakar dan refuse dapat dihitung menggunakan persamaan 2 dan 3 berikut ini (Hougen, *page* 419) :

$$\text{Carbon pada refuse} = \text{berat refuse} \times \text{carbon di refuse} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Carbon pada TK} = \% \text{ TK} \times \text{basis bahan bakar} \dots\dots\dots(6)$$

c. Neraca Hidrogen

Kandungan Hidrogen berasal dari bahan bakar tempurung kelapa dan refuse hasil sampingan dari pembakaran, untuk mengetahui kadar hidrogen yang terkandung pada bahan bakar dan refuse dapat dihitung menggunakan persamaan 3 dan 4 berikut ini (Hougen, *page* 421) :

$$\text{H pada refuse} = \text{W refuse} \times \% \text{H pada refuse} \dots\dots\dots(7)$$

$$H \text{ pada tempurung kelapa} = \% \text{ TK} \times \text{basis bahan bakar} \dots\dots\dots(8)$$

d. Reaksi Pembakaran

Untuk mengetahui komposisi flue gas, karena tidak menggunakan analisis orsat maka dapat dihitung dengan menggunakan reaksi kesetimbangan. Selanjutnya dapat menggunakan persamaan 6, 7 dan 8 berikut ini :

$$C \text{ bereaksi} = C \text{ tempurung kelapa} - C \text{ unburner} \dots\dots\dots(9)$$

$$H_2 \text{ bereaksi} = H_2 \text{ tempurung kelapa} - H_2 \text{ refuse} \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{Reaksi Kesetimbangan} \dots\dots\dots(11)$$

e. Menghitung Udara Teoritis

Untuk menentukan udara teoritis harus diketahui mol dari O_2 dan N_2 . Mol O_2 diperoleh dari reaksi kesetimbangan. Kemudian dapat dihitung dengan persamaan 9, 10, dan 11 berikut ini :

$$O_2 \text{ teoritis} = O_2 \text{ (reaksi 1 + reaksi 2 +)} \dots\dots\dots(12)$$

$$N_2 \text{ teoritis} = \frac{79}{21} \times \text{mol } O_2 \text{ teoritis} \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{Udara Teoritis} = (O_2 + N_2) \text{ teoritis} \dots\dots\dots(14)$$

f. Menghitung Udara Supplay

Udara supplay berasal dari fan, dapat dihitung dengan mengetahui laju udara, diameter, luas discharge fan, massa jenis udara, dan massa udara supplay dari fan. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12,13 dan 14 berikut ini :

$$\text{Luas discharge Fan} = \frac{\pi D^2}{4} \dots\dots\dots(15)$$

$$V \text{ udara} = \text{Luas discharge Fan} \times \text{kecepatan udara} \dots\dots\dots(16)$$

$$P \times V = n \times R \times T \dots\dots\dots(17)$$

$$m = \rho \times V \dots\dots\dots(18)$$

$$\text{Maka } O_2 \text{ supplay} = \frac{21}{100} \times \text{massa udara supplay} \dots\dots\dots(19)$$

$$N_2 \text{ supplay} = \frac{79}{100} \times \text{massa udara supplay} \dots\dots\dots(20)$$

g. Menghitung Komposisi Gas Buang

Gas buang terdiri dari CO_2 , N_2 , H_2O , dan O_2 . Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$O_2 \text{ flue Gas} = O_2 \text{ supplay} - O_2 \text{ bereaksi} \dots\dots\dots(21)$$

$$N_2 \text{ supply} + N_2 \text{ tempurung kelapa} = N_2 \text{ Flue Gas} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$\text{Massa H}_2\text{O di udara} = \text{kelembaban udara kering} \times \text{massa udara} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\text{Massa H}_2\text{O total} = \text{massa H}_2\text{O di udara} + \text{H}_2\text{O reaksi} \quad \dots\dots\dots(24)$$

h. Menghitung Udara Berlebih

Dapat menggunakan persamaan 22 berikut ini :

$$\% \text{ udara excess} = \frac{\text{udara supply} - \text{udara teoritis}}{\text{udara teoritis}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(25)$$

2. Menghitung Neraca Energi

Perhitungan neraca energi (neraca panas) merupakan perhitungan untuk mengetahui panas yang hilang (*heat loss*) pada sistem sebelum menghitung nilai efisiensi. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam menghitung neraca energi pada boiler (Hougen,1959) :

a. Menghitung Heating Value Tempurung Kelapa

Untuk menghitung heating value (panas pembakaran pada tempurung kelapa) dapat menggunakan persamaan 26 berikut ini.

$$\text{HHV} = m \times \text{nilai kalor tempurung kelapa} \quad \dots\dots\dots(26)$$

b. Menghitung Panas Sensibel Udara Kering

Untuk menghitung heating value (panas pembakaran pada tempurung kelapa) dalam satuan *kcal* dapat menggunakan persamaan 27 berikut ini

$$Q = \text{massa tempurung kelapa} \times \text{cp tempurung kelapa} \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(27)$$

c. Menghitung Panas Laten H₂O Udara

Untuk menghitung Panas Laten H₂O Udara dapat menggunakan persamaan 28 berikut ini.

$$Q = \text{massa H}_2\text{O di udara} \times \text{hfg} \quad \dots\dots\dots(28)$$

d. Menghitung Entalpy Air Umpan Boiler (BFW)

Untuk menghitung entalpi air umpan boiler (BFW) dapat menggunakan persamaan 29 berikut ini.

$$Q = \text{massa BFW} \times \text{hf} \quad \dots\dots\dots(29)$$

e. Menghitung Panas Sensibel Flue Gas Basah

Flue gas merupakan gas buang yang keluar melalui cimney (cerobong asap) hasil dari pembakaran dan dibuang ke lingkungan. Flue gas terdiri

dari CO₂, N₂, O₂, H₂O. Untuk menghitung panas sensibel flue gas dapat menggunakan persamaan 30 berikut ini.

$$Q = \text{massa flue gas} \times c_p \text{ flue gas} \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(30)$$

f. Menghitung Panas Penguapan H₂O

Untuk menghitung Panas penguapan H₂O dapat menggunakan persamaan 31 berikut ini.

$$Q = \text{massa H}_2\text{O} \times h_g \quad \dots\dots\dots(31)$$

g. Menghitung Entalpy Steam

Untuk menghitung entalpy steam dapat menggunakan persamaan 32 berikut ini.

$$Q = \text{massa steam} \times h_g \quad \dots\dots\dots(32)$$

h. Entalpy Blowdown (Air yang tidak berubah menjadi steam)

Untuk menghitung entalpy blowdown dapat menggunakan persamaan 33 berikut ini.

$$Q = \text{massa air sisa (blowdown)} \times h_g \quad \dots\dots\dots(33)$$

i. Menghitung Entalpy Refuse

Untuk menghitung entalpy refuse dapat menggunakan persamaan 34 berikut ini.

$$Q = \text{massa refuse} \times HV \quad \dots\dots\dots(34)$$

j. Menghitung Panas Sensibel Refuse

Untuk menghitung Panas sensibel refuse dapat menggunakan persamaan 35 berikut ini.

$$Q = \text{massa refuse} \times c_p \text{ refuse} \times \Delta t \quad \dots\dots\dots(35)$$

k. Menghitung Panas yang Hilang (*Heat Loss*)

Untuk menghitung *heat loss* dapat menggunakan persamaan 36 berikut ini.

$$Q = Q_{\text{input}} - Q_{\text{output}} \quad \dots\dots\dots(36)$$

3. Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler merupakan perbandingan antara jumlah produk yang dihasilkan dengan bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan produk tersebut. Kehilangan panas yang terjadi sangat mempengaruhi persen efisiensi

yang diperoleh. Untuk mengitung Panas sensibel refuse dapat menggunakan persamaan 37 berikut ini.

$$\eta_{th} = \frac{\text{entalpy steam}}{\text{HHV bahan bakar}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(37)$$

atau dapat juga menggunakan persamaan 38 berikut :

$$\eta_{th} = 100 - (\text{rugi total}) \quad \dots\dots\dots(38)$$

2.11 Pengertian Steam

Steam, atau air yang berbentuk gas, merupakan media panas yang sangat penting karena memiliki kandungan panas yang sangat besar (panas kodensasi), dan merupakan bahan pemanas yang paling banyak digunakan dalam industri kimia (Muhammad Yusuf, 2012). *Steam* dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

1. *Saturated Steam*, yaitu uap air yang terbentuk pada suhu didih dan tidak mengandung titik-titik air maupun gas asing.
2. *Wet Steam*, yaitu campuran dari *saturated steam* dan titik-titik air yang terdistribusi merata. *Steam* ini terbentuk misalnya pada waktu air mendidih dengan sangat kuat atau karena kondensasi sebagian dari uap jenuh.
3. *Supaerheated Steam*, yaitu uap yang dipanaskan melebihi temperatur didihnya. Pada tekanan yang sama *steam* ini memiliki kerapatan lebih rendah daripada *saturated steam*.

Tekanan dan temperatur *steam* harus diketahui agar keadaan *steam* ini dapat diidentifikasi dengan baik. Untuk mengolah 1 kg air pada temperatur 0 °C menjadi *steam* diperlukan panas sebagai berikut:

1. Panas sensibel cairan, yaitu jumlah panas yang diperlukan untuk memanaskan iar tersebut dari 0 °C ke temperatur didih.
2. Panas penguapan, yaitu jumlah panas yang diperlukan untuk menguapkan air tersebut pada temperatur didih tanpa terjadi keaikan temperatur.
3. Panas *steam* lanjut, yaitu panas yang diperlukan untuk pemanasan *saturated steam* sehingga terjadi *superheated steam*.

Jumlah panas keseluruhan yang dibutuhkan untuk mengubah air bertemperatur 0 °C menjadi *steam* disebut kandungan panas dari uap/*steam*

(kkal/kg). Pada pemanfaatan *steam* sebagai media pemanas akan terjadi hal-hal sebagai berikut:

1. Pada waktu pendinginan, *superheated steam* akan melepaskan panasnya sampai menjadi *saturated steam*.
2. Jumlah panas yang dibebaskan ini relatif kecil (misalnya hanya 10 %) bila dibandingkan dengan jumlah panas kondensasi.
3. Pada waktu pendinginan, *saturated steam* akan segera terkondensasi. Seluruh panas kondensasi akan dibebaskan, yang besarnya sama dengan panas penguapan.
4. Pada waktu pendinginan kondensat, sebagian energi panas dibebaskan lagi (panas sensibel air). Penggunaan energi panas ini hampir selalu berlangsung dengan tidak sempurna dalam sistem pemanasan yang pertama. Panas yang tersisa sering dimanfaatkan lagi dalam alat penukar panas selanjutnya, misalnya untuk pemanasan awal bahan-bahan proses yang akan diumpankan.

Sebagian besar kandungan panas *steam* merupakan panas kondensasi, karena itu panas tersebut mutlak harus dimanfaatkan. Agar *steam* yang belum termanfaatkan tidak ada yang keluar dari sistem pemanas dan agar tidak terjadi pemampatan kondensat di dalam ruang pemanas, maka pada saluran keluar harus dipasang alat penyalur kondensat. Penyalur kondensat ini juga dapat mempertahankan tekanan uap dalam ruang pemanas agar tetap tinggi.

Pada pemanasan tidak langsung, panas yang dimanfaatkan hanya panas *superheated steam* dan panas kondensasi. Temperatur yang diinginkan dalam ruang pemanas dapat diatur dengan regulator tekanan. Melalui pentil, pemasukan *steam*-pun bisa diatur. Dengan mengumpulkan *steam* secara langsung ke dalam bahan yang akan dipanaskan, panas sensibel cairan akan termanfaatkan dengan lebih baik.

Air sangat menguntungkan jika digunakan sebagai media pemanas karena memiliki panas kondensasi yang besar sekali, tidak mudah terbakar, dan tidak beracun. *Steam* dapat mengakibatkan luka bakar yang parah terutama bila seluruh

panas kondensasi dibebaskan di atas kulit. Oleh karena itu, saluran-saluran yang dialiri *steam* tidak boleh dimanipulasi sebelum saluran dibebaskan dari tekanan dan didinginkan.

2.11 Biomassa

Biomassa adalah jumlah total berat kering bahan-bahan organik hidup yang terdapat di atas dan juga di bawah permukaan tanah dan dinyatakan dalam ton per unit area. Komponen biomassa hutan sendiri terdiri dari biomassa hidup di atas dan di bawah permukaan tanah antara lain berupa pohon, semak belukar, semai, akar, epifit dan tumbuhan menjalar lainnya. Biomassa juga dapat berasal dari tanaman yang sudah mati seperti serasah kayu. Stok biomassa yang terdapat dalam tiap pohon atau tegakan hutan dapat berubah-ubah. Perubahan stok biomassa dapat dipengaruhi oleh waktu dan gangguan terhadap hutan baik secara alami maupun akibat kegiatan manusia. Brown (1997) dalam Lukito. (2010).

Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman, 1981). Untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada tempurung kelapa dapat dilihat pada tabel 1 berikut

Tabel 2. Komposisi Tempurung Kelapa

No	Sifat (properties)	Tempurung Kelapa (coconut shell)
1	Rendemen, yield %	23,07
2	Kadar air, moisture content %	2,53
3	Kadar abu, ash content %	1,72
4	Kadar zat mudah menguap, volatile matter %	23,09
5	Kadar karbon terikat, fix carbon %	75,09
6	Nilai kalor, calor value %	6184

