

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

Gula kristal putih atau gula jenis SHS (Superior Hoofd Suiker) merupakan produk utama yang dihasilkan di PG. Meritjan, Kediri. Sesuai dengan tujuan dari proses pada pengolahan pabrik yaitu untuk mendapatkan produksi gula setinggi mungkin dengan meminimalkan kehilangan nira sekecil mungkin selama proses berlangsung. Sehingga diperlukan tahapan-tahapan untuk mendapatkan gula jadi (siap dipasarkan), yaitu :

1. Proses persiapan
2. Penggilingan tebu (stasiun gilingan)
3. Pemurnian nira (stasiun pemurnian)
4. Penguapan nira (stasiun penguapan)
5. Kristalisasi (stasiun masakan)
6. Pemisahan (stasiun putaran)
7. Proses pengeringan dan pendinginan
8. Proses pengemasan

II.1.1 Proses Persiapan

Stasiun persiapan bertujuan untuk mempersiapkan tebu hingga tebu siap untuk digiling. Pada tahap ini, tebu (cane) yang akan di giling dipersiapkan, baik itu kualitas maupun kuantitasnya. Kualitas meliputi kondisi fisik tebu, tingkat kebersihan dan potensi kandungan gula (rendemen) di dalamnya. Sedang dari segi kuantitas, di lihat jumlahnya dengan ditimbang yang akhirnya menentukan jumlah gula yang akan dihasilkan. Pada stasiun perisapan terdapat tiga pos, yaitu :

1. Pos Penerimaan

Pada pos penerimaan dilakukan pemeriksaan kadar gula (brix) tebu menggunakan refraktometer dan pemeriksaan pH tebu menggunakan pH meter. Setelah tebu ditebang di kebun, kemudian tebu diantar ke pabrik secepat mungkin dengan tenggang waktu 24 jam dengan tujuan untuk

menjaga kualitas tebu, karena bila lewat 24 jam kualitas tebu akan berkurang dikarenakan penguraian sukrosa yang terdapat dalam tebu oleh mikroorganisme sehingga kadar gula dalam tebu akan menurun dan tebu akan terasa asam. Tebu yang berasal dari kebun diangkut dengan truk menuju emplacement tebu

2. Pos Penimbangan

Truk yang bermuatan tebu di timbang terlebih dahulu di pos penimbangan. Berat muatan yang diperoleh merupakan selisih dari berat truk bermuatan dan berat truk kosong.

3. Pos Pembongkaran

Pada proses pembongkaran, tebu dari truk dipindahkan ke lori tebu menggunakan cane crane kemudian kemudian dipindahkan ke meja tebu sebelum masuk ke dalam stasiun gilingan. Tempat antrian tebu yang akan digiling disebut dengan emplacement tebu. Pengambilan pada emplacement ini menggunakan sistem *First In First Out* (FIFO)

II.1.2 Stasiun Gilingan

Tujuan stasiun gilingan ini adalah untuk memperoleh nira sebanyak-banyaknya dari batang tebu dengan cara pemerahan menggunakan beberapa unit gilingan yang disusun secara seri yaitu gilingan I sampai gilingan IV dengan masing-masing unit gilingan terdiri 3 buah roll sehingga pada tiap - tiap unit membentuk sudut 120^0 . Pada masing-masing gilingan akan terjadi dua kali pemerahan. Tebu yang layak untuk digiling bila telah mencapai fase kemasakan, dimana rendemen batang tebu bagian pucuk mendekati rendemen bagian batang bawah, kemudian kebersihan tebu $> 95\%$.

II.1.3 Stasiun Pemurnian

Pada stasiun pemurnian ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan kotoran dan bahan non sugar (yang tidak termasuk gula) dalam nira mentah dengan catatan gula reduksi maupun sukrosa jangan sampai rusak selama proses terjadi sehingga didapatkan nira jernih.

Nira tebu yang diperoleh dari gilingan akan ditampung dalam tangki penampung dan dipanaskan dengan menggunakan uap panas dari boiler. Nira yang dihasilkan dari proses ini masih merupakan nira yang kotor karena masih mengandung sisa-sisa tanah yang ada pada tebu, serat-serat tebu, serta ekstrak dari daun dan kulit tanaman.

II.1.4 Stasiun Penguapan

Pada stasiun penguapan bertujuan untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam nira encer agar diperoleh nira yang lebih kental, dengan kekentalan 60 – 65 % brix. Penguapan ini dilakukan pada temperatur 65 – 110 °C. Penguapan dilakukan dalam bejana evaporator. Tujuan dari penguapan nira jernih adalah untuk menaikkan konsentrasi dari nira mendekati konsentrasi jenuhnya. Pada proses penguapan menggunakan multiple effect evaporator dengan kondisi vakum. Penggunaan multiple effect evaporator dengan pertimbangan untuk menghemat penggunaan uap. Sistem multiple effect evaporator terdiri dari 3 buah evaporator atau lebih yang dipasang secara seri.

Pada proses penguapan air yang terkandung dalam nira akan diuapkan. Uap baru digunakan pada evaporator badan I sedangkan untuk penguapan pada evaporator badan selanjutnya menggunakan uap bekas yang berasal dari pressure vessel. Penguapan dilakukan pada kondisi vakum dengan pertimbangan untuk menurunkan titik didih dari nira. Karena nira pada suhu tertentu ($> 125\text{ }^{\circ}\text{C}$) akan mengalami karamelisasi atau kerusakan. Dengan kondisi vakum maka titik didih nira akan terjadi pada suhu 70 °C. Produk yang dihasilkan dalam proses penguapan adalah nira kental.

II.1.5 Stasiun Masakan

Tujuan pada stasiun masakan adalah untuk pembentukan dan pembesaran kristal gula agar mudah dipisahkan dengan kotorannya dalam pemutaran sehingga didapatkan hasil yang memiliki kemurnian tinggi, serta untuk mengubah saccarosa dalam larutan menjadi kristal agar pembentukan gula setinggi-tingginya dan hasil akhir dari proses produksi berupa tetes yang masih sedikit mengandung gula,

bahkan diharapkan tidak mengandung gula lagi. Proses kristalisasi dibagi dalam beberapa tingkat masakan, yaitu :

- a. Sistem masak 4 tingkat : masakan A,B,C,D
- b. Sistem masak 3 tingkat : masakan A,B,D atau ACD
- c. Sistem masak 2 tingkat : masakan A,D

II.1.6 Stasiun Puteran

Tujuan pada stasiun ini adalah untuk memisahkan antara kristal gula dengan larutan (stroop) yang masih menempel pada kristal gula. Pemisahan ini memanfaatkan gaya sentrifugal atau putaran sehingga kristal gula akan tertahan pada saringan sedangkan molase akan menembus saringan. Gula yang tertinggal inilah yang akan diproses lebih lanjut ke proses drying-cooling.

II.1.7 Proses Pengeringan dan Pendinginan

Prinsip dasar dari proses ini adalah mengeringkan gula dengan mengurangi kadar air pada kristal gula dengan menggunakan dryer. Pengeringan dilakukan dengan penyemprotan uap panas dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$, kemudian didinginkan kembali karena gula tidak tahan pada temperatur yang tinggi. Tujuan pengeringan ini adalah untuk menghindari kerusakan gula yang disebabkan oleh mikroorganisme, agar gula tahan lama selama proses penyimpanan sebelum disalurkan kepada konsumen. Setelah kering gula diangkat dengan elevator dan disaring pada saringan vibrating screen. Kristal gula yang diturunkan dari putaran SHS (Superior Hoofd Suiker) melalui grasshopper conveyor menuju Tangga Yacobb. Kemudian ditumpahkan ke sugar dryer dan cooler untuk dikeringkan karena gula hasil putaran hasil SHS (Superior Hoofd Suiker) masih basah, selain itu menghindari kerusakan gula oleh jamur agar bisa disimpan lebih lama. Pengeringan dilakukan dengan cara penghembusan udara panas dengan temperatur 75°C . Kemudian gula tersebut diangkat ke saringan gula yang mempunyai dua macam ukuran yang berbeda. Gula halus dan kasar yang tidak memenuhi standar akan dilebur kembali. Gula yang memenuhi standar akan melewati saringan yang



dilengkapi dengan magnet *separator* yang berguna untuk menangkap partikel-partikel logam yang mungkin terikat dalam gula.

II.1.8 Proses Pengemasan

Gula yang sudah bersih selanjutnya akan masuk ke dalam sugar bin dan dikemas dalam karung dengan berat 50 kg secara otomatis lalu dijahit. Setelah dikemas, karung gula akan disimpan di dalam gudang penyimpanan gula dan siap dipasarkan.

II.2. Uraian Tugas Khusus

II.2.1. Latar Belakang

Konsumsi gula nasional semakin meningkat dari tahun ke tahun. Sementara itu kapasitas produksi pabrik-pabrik gula nasional yang semakin menurun. Untuk tahun 2007 diperkirakan kebutuhan konsumsi gula nasional mencapai angka 3,75 juta ton. Pabrik gula merupakan salah satu industri padat energi yang memproduksi gula putih dari tebu (*sugar canes*) sebagai bahan mentah. Pada awalnya pabrik gula ini dirancang agar dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri dengan memakai sumber energi yang gratis dan melimpah, yakni ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu tersebut digunakan sebagai bahan bakar ketel uap (*boiler*)

Ketel uap atau boiler merupakan jantung dari pabrik gula. Fungsi dari ketel ini adalah untuk menyediakan uap yang digunakan untuk proses-proses dalam pembuatan gula, seperti: gilingan, pemanasan nira, penguapan nira, pemasakan nira kental, dan pemutaran. Ketel terdiri pipa-pipa dimana lingkungannya terus menerus kontak dengan air dan uap. Kebutuhan uap di PG ini disuplai oleh 4 unit ketel yaitu 2 unit ketel Yoshimine dan 2 unit ketel Cheng - chen. Uap yang dihasilkan ketel tersebut yang merupakan uap panas lanjut (*superheated steam*) dengan tekanan menengah sekitar 17 kg/cm² dan temperatur 300 s.d. 330 °C. Untuk mendapatkan tekanan rendah digunakan *desuperheater*. Kapasitas uap maksimum yang dihasilkan semua ketel 30 ton/jam – digunakan untuk menggerakkan turbin alternator yang menghasilkan listrik.

II.2.2. Tujuan

Adapun tujuan dari tugas khusus ini adalah untuk menghitung persen efisiensi dari Boiler Cheng-chen yang berfungsi untuk menghasilkan panad dan mengalirkannya pada proses pengolahan gula berdasarkan data di lapangan yang diperoleh dari pengamatan dan study literatur.

II.2.3. Manfaat

Manfaat dari menghitung efissienasi boiler sendiri yaitu dapat mengetahui apakah kinerja boiler selama proses menghasilkan panas dan mengalirkan panas berjalan dengan efektif dan sesuai dengan yang dibutuhkan.

II.2.4. Tinjauan Pustaka

II.2.4.1. Boiler

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Boiler menjadi sumber pengahsil uap (steam) yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap dan mesin gilingan. Uap (steam) sisa dari turbin dan gilingan masih bisa dipakai untuk memasak gula. Uap (steam) diperoleh dengan memanaskan air yang berada didalam bejana dengan bahan bakar.

Boiler mengubah energi kimia menjadi energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Ketel uap dirancang untuk memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. Sedangkan definisi lainnya, boiler merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan uap/steam untuk berbagai keperluan. Jenis air dan uap air sangat dipengaruhi oleh tingkat efisiensi boiler itu sendiri. Pada mesin boiler, jenis air yang digunakan harus dilakukan demineralisasi terlebih dahulu untuk mensterilkan air yang digunakan,

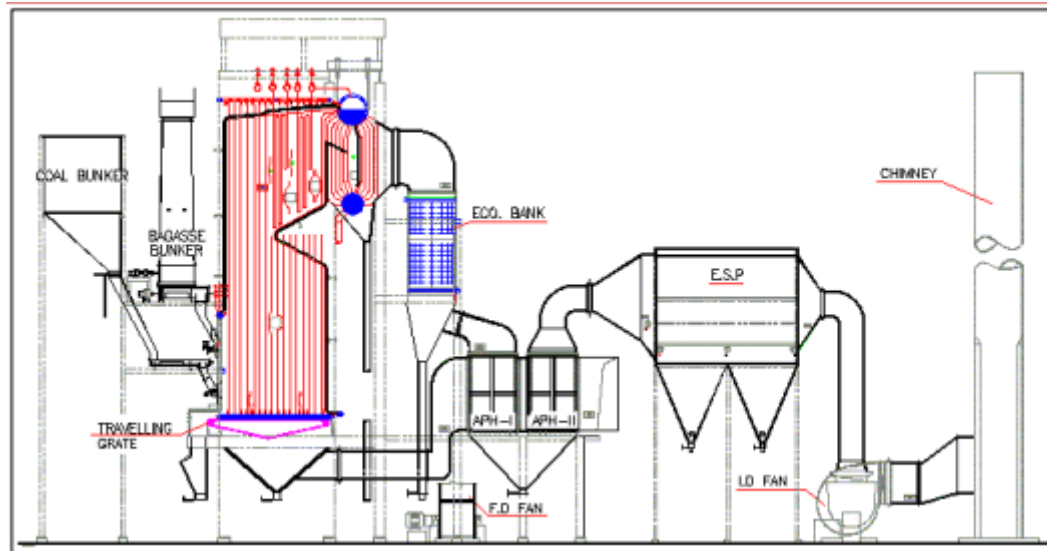
sehingga pengaplikasian untuk dijadikan uap air dapat dimaksimalkan dengan baik. (Djokosetyardj M.J, 1990).

Uap (steam) yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak, pemanas, dan lain-lain. Pengoperasian Boiler harus sesuai dengan standar operasi yang telah ditentukan oleh pengguna boiler maupun standar pabrik pembuat boiler itu sendiri. Standar yang dibuatkan menjamin keamanan dalam pengoperasian, sehingga akan meningkatkan efisiensi ketel uap sekaligus menekan biaya operasional (Sugiharto, 56). Komponen boiler adalah seperangkat alat atau unit proses yang merupakan bagian dari boiler. Setiap komponen memiliki fungsinya yang berbeda dan terhubung dengan komponen lainnya sesuai alur prosesnya. Komponen – komponen utama dari boiler :

1. Drum Ketel, berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap. Drum ini menampung jenuh (saturated steam) beserta air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap.
2. Superheater, merupakan tempat pengeringan steam, dikarenakan uap yang berasal dari drum ketel masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan superheater pipe yang dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C. Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan peralatan lain.
3. Economizer, berfungsi menyerap panas dari gas hasil pembakaran setelah melewati superheater. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dengan air yang ada dalam drum ketel tidak terlalu tinggi, sehingga tidak terjadi thermal stress (tegangan yang terjadi karena adanya pemanasan) di dalam main drum. Selain itu, dengan memanfaatkan gas sisa pembakaran, maka akan meningkatkan efisiensi dari boiler dan proses pembentukan uap lebih cepat.

Steam Air Heater, Komponen ini merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus/meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air

heater memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal, yaitu 38°C. Namun, setelah melalui air heater, suhu udara tersebut akan meningkat menjadi 230°C.



Gambar 5. Sistem Boiler

Sistem kerja boiler terdiri dari sistem air umpan/air pengisi boiler, sistem uap, sistem bahan bakar serta sistem udara pembakaran dan gas buang. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Sistem uap berfungsi untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Sistem bahan bakar merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan, seperti coal handling system pada berbahan batu bakar, oil handling system pada berbahan minyak, dan natural gas system pada boiler berbahan bakar natural gas. Sistem udara pembakaran dan gas buang merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan udara sebagai suplai untuk pembakaran serta membuang dan mengontrol gas hasil pembakaran ke atmosfer.

II.2.4.2. Klasifikasi Boiler

Boiler pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa-pipa api maupun pipa-pipa air. Ketel uap juga telah banyak mengalami perkembangan dari bentuk yang

sederhana ke bentuk yang modern. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

A. Berdasarkan Teknannya

Berdasarkan tekanannya ketel uap dapat dibedakan menjadi :

1. Boiler tekanan rendah : 8 – 13 kg/cm²
2. Boiler tekanan menengah : 22 – 39 kg/cm²
3. Boiler tekanan tinggi : 60 – 125 kg/cm²
4. Boiler tekanan sangat tinggi : > 125 kg/cm²

B. Berdasarkan Konstruksi dan cara kerjanya

Berdasarkan konstruksi dan cara kerja ketel uap dapat dibagi menjadi :

1. Ketel Uap Pipa Api Terdiri dari tanki air yang dilubangi dan dilalui pipa-pipa, dimana gas panas yang mengalir pada tanki tersebut digunakan untuk memanaskan air di tanki. Air yang dipanaskan menghasilkan uap panas yang dapat digunakan untuk memanaskan air di kamar mandi ataupun laundry. Fire tube boiler biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, fire tube boilers kompetitif untuk kecepatan steam sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm². Fire tube boiler dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas dalam operasinya. Prinsip kerja dari boiler pipa api ini adalah gas panas dari hasil pembakaran dialirkan melalui sebuah pipa dimana disekeliling pipa terdapat air sehingga gas panas tersebut memanaskan air yang terdapat di dalam boiler secara konduksi panas sehingga terbentuk uap panas. Uap (steam) yang dihasilkan oleh boiler pipa air ini memiliki tekanan dan kapasitas yang rendah. Prinsip kerja dari boiler pipa air ini adalah air dilewatkan melalui pipa kemudian pipa tersebut dipanaskan dengan cara dibakar dengan api sehingga air berubah menjadi uap air. Uap yang dihasilkan boiler pipa air ini memiliki tekanan dan kapasitas yang lebih tinggi. Boiler pipa api dan boiler pipa air masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Keuntungan boiler pipa api adalah proses pemanasan yang mudah dan cepat dan tidak membutuhkan setting khusus, investasi awal yang lebih murah karena harga boiler jenis ini

lebih murahj daripada boiler pipa air, bentuknya lebih compact dan portable, dan tidak membutuhkan area yang besar untuk 1 HP boiler. Namun demikian boiler pipa api memiliki beberapa kekurangan seperti tekanan operasi steam terbatas untuk tekanan rendah 18 bar, kapasitas steam relative kecil (13.5 TPH) jika dibandingkan dengan boiler pipa air, tempat pembakarannya sulit dijangkau untuk dibersihkan, diperbaiki, dan diperiksa kondisinya, serta nilai effisiensinya rendah karena banyak energi kalor yang terbuang langsung menuju stack.

2. Ketel Uap Pipa Air Pada water tube boiler, air umpan boiler mengalir melalui pipa – pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga. Water tube boiler yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak water tube boiler yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk water tube yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket.

Karakteristik water tube boilers sebagai berikut:

1. Forced, induced dan balanced draft membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.
2. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.
3. Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.

Adapun kelebihan penggunaan boiler pipa air yakni kapasitas steam yang besar sampai 450 THP, tekanan operasi mencapai 100 bar, nilai effisiensi yang relatif besar, dan perawatan yang lebih mudah karena tungku mudah dijangkau untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan.. Sedangkan kekurangannya yakni proses konstruksi yang lebih detail, investasi awal relativemahal karena harga boiler pipa air lebih mahal daripada boliler pipa api, lebih sulit dalam penangann air yang masuk karena

komponen pendukungnya yang sensitif, dan membutuhkan tempat yang lebih luas karena kemampuannya dalam menghasilkan kapasitas steam yang lebih besar.

C. Berdasarkan cara pembakaran

Berdasarkan cara pembakaran, Boiler dibagi menjadi :

1. Atmospheric steam generator, yaitu bila bahan bakar dibakar pada tekanan udara atmosfer (1atm).
2. Supercharged steam generator, yaitu bila bahan bakar pada tekanan yang lebih besar dari atmosfer (>1atm).

D. Berdasarkan Kapasitas

Berdasarkan kapasitas uap yang dihasilkan (steam flow). Dibedakan menjadi :

1. Boiler kapasitas kecil : 1 – 6 ton/jam
2. Boiler kapasitas menengah : 10 – 90 ton/jam
3. Boiler kapasitas tinggi : 100 – 220 ton/jam
4. Boiler kapasitas sangat tinggi : > 220 ton/jam

II.2.4.3. Bagian Boiler

Sebuah boiler haruslah dilengkapi dengan komponen dan aksesoris yang mendukung, sehingga boiler dapat bekerja dengan baik dan aman. Berikut ini adalah komponen yang umum ditemukan pada semua jenis boiler :

1. Upper Drum (Dram Atas)

Berfungsi untuk menampung air pengisi ketel yang akan dialirkan ke lower drum, dan front header yang turun melalui down comer tube. Selain itu drum ini berfungsi untuk menampung air yang terhubung dari masing-masing wall tube dan generating tube. Pada Upper drum ini uap akan dialirkan menuju pipa-pipa superheater untuk memastikan uap air benar-benar kering, barulah uap tersebut dialirkan menuju ke mesin konversi energy pada

stasiun instalasi yang diperlukan. Sedangkan Lower Drum Merupakan tempat air yang akan dihasilkan ke genrating, side header dan rear header.



Gambar 6. Upper Drum



Gambar 7. Lower Drum

2. Generating Tube

Pipa – pipa pada ketel uap yang menghubungkan antara Upper Drum dengan Lower Drum, yaitu berfungsi sebagai tempat penguapan air menuju Upper Drum.



Gambar 8. Generating Tube

3. Down Corner Tubes

Adalah pipa – pipa yang meluangkan antara upper drum dengan front header dan upper header dengan lower header, lower drum dengan side header, dan lower drum dengan rear header



Gambar 9. Down Corner Tube

4. Pengangkut Ampas (Baggase Feeder)

Alat ini berfungsi untuk pemasukan bahan bakar (ampas) ke dalam ruang bakar.



Gambar 10. Baggase feeder

5. Distribution Air Fan

Alat ini digunakan untuk menghembuskan ampas dari baggase feeder sehingga dapat tersebar merata keseluruh dapur.

6. Dumping Grade

Yaitu salah satu jenis dari lantai dapur pembakaran sebuah ketel uap. Pada dumping grade ini lantai ruang bakar memiliki system mekanik yang berfungsi untuk membuka dan menutup guna membuang abu sisa pembakaran, selain itu lantai ruang bakar juga memiliki ringga-rongga yang berfungsi sebagai jalan masuknya udara luar pembakaran menuju ruang bakar.

7. Ash Conveyor

Adalah alat penampung abu bekas pembakaran bahan bakar (baggase)



Gambar 11. Ash Conveyor

8. Forced Draf Fan (FDF) Adalah alat yang berfungsi untuk menghisap udara dan menghembuskan kedalam ruang bakar, guna mensuplai oksigen yang diperlukan selama proses pembakaran berlangsung.

9. Induced Draf Fan IDF) Adalah alat yang berfungsi untuk menarik gas hasil pembakaran dari ruang bakar yang dikeluarkan melalui cerobong asap.

10. Secondary Air Fan (SAF) Adalah alat yang berfungsi menghembuskan udara panas pembakaran disekeliling dapur, agar terjadi pembakaran yang merata.



Gambar 12. Secondary Air Fan

11. Cerobong/Chimney Merupakan sarana pembuangan gas sisa pembakaran.

Fungsi utama antara lain:

- a. Membantu blower untuk mengatasi susut tekanan
- b. Membantu menyebarkan gas buang ke atmosfer

12. Dust Collector (Penangkap Debu)

Gas asap sebelum dibuang melalui cerobong terlebih dahulu melewati penangkap debu agar tidak mengotori dan menimbulkan polusi udara. Gerakan gate fan atas. penangkap debu adalah statis. Gas panas dan debu bergerak secara cyclone akibat dibelokkan oleh sudu-sudu pada gate fan. Akibat dari perbedaan berat jenis dari gas dan abu, maka abu tersebut akan turun menuju dust conveyor dan gas asap yang memiliki berat jenis lebih ringan daripada abu akan bergerak naik keatas yang terhisap melalui chimney oleh IDF.

13. Dust Conveyor

Adalah alat pengangkut debu kering dari dust collector.

14. Baggage Conveyor

Digunakan untuk mengangkut ampas tebu (baggage) dari stasiun gilingan menuju dapur pembakaran dan sisanya ditampung dalam gudang ampas.

15. Panel Boiler

Adalah alat yang digunakan untuk mengendalikan peralatan pendukung operasional boiler.

16. Super HeaterPipe Steam

super heater berfungsi untuk mengubah uap alau saturated steam menjadi uap kering alau superheater steam dengan menggunakan gas asap hasil pembakaran sebelum dibuang ke cerobong.

17. Air HeaterPipe

Air Heater berfungsi untuk memanaskan udara atau menaikkan suhu udarapembakaran dengan menggunakan gas-gas bekas sebelum dibuang melalui cerobong asap.

18. Dapur Pembakaran

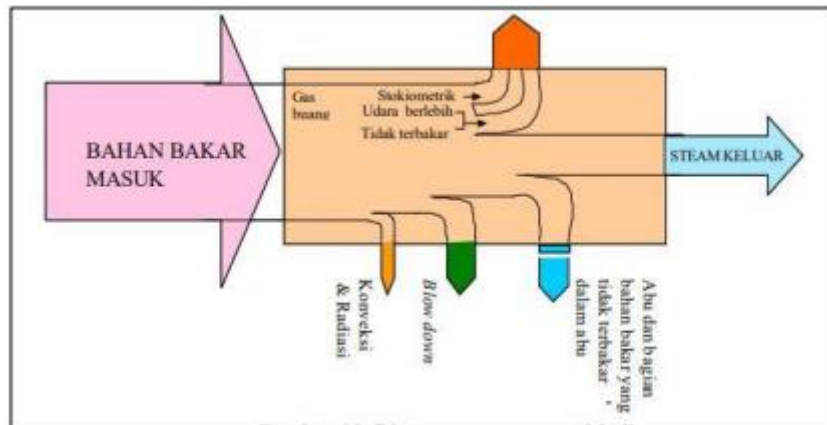
Adalah tempat pembakaran bahan bakar, dalam hal ini bahan bakar utamanya adalah ampas (baggase) dan sebagaian bahan bakar tambahan atau suplesi adalah residu. Alat-alat pendukung ketel uap tersebut adalah:

- a. Deaerator Adalah suatu alat yang berfungsi untuk menampung air dan melepaskan/ meminimalkan kandungan CO₂ atau gas-gas yang masih terkandung dalam air dan secara lalamiah akanmenaikkan temperature air pengisi ketel tersebut.
- b. Feed Water Pump Alat ini berfungsi untuk memompa air ke dalam ketel uap dari Dearator dan masuk ke dalam Upper Drum.
- c. Water Treatment Plan Merupakan instalasi peralatan pengolahan air yang berfungsi untuk memberikan treatment kualitas air, dari air biasa menjadi air murni yang diperlukan sebagai air pengisi ketel.
- d. Shot Blowing Alat yang digunakan untuk membersihkan jelaga yang menempel di sisi luar pipa di dalam boiler.

II.2.4.4. Prinsip Pembakaran

Proses pembakaran merupakan proses yang terjadi secara kimia antara bahan bakar/elemen mudah terbakar (combustible element) dengan oksigen dari udara untuk menghasilkan energi panas yang dapat digunakan untuk keperluan manusia. Komponen utama dari elemen yang mudah terbakar (combustible

element) terdiri dari carbon, hidrogen, dan campuran lainnya. Dalam proses pembakaran, komponen – komponen tersebut terbakar menjadi karbondioksida dan uap air. Sebagian sulfur juga terdapat pada bahan bakar (Singer, 1991).



Gambar 13. Prinsip Proses Pembakaran Boiler

Pada suatu proses pembakaran, jumlah oksigen yang digunakan dapat mempengaruhi kualitas pembakaran. Oksigen memiliki jumlah mencapai 20,9% dari seluruh komponen dari udara. Bahan bakar akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen (NOx) yang merupakan pencemar yang beracun.

Karbon, hidrogen, dan sulfur dalam bahan bakar tercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida melepaskan panas masing-masing 8.084 kkal, 28.922 kkal, 2.224 kkal. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2.430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO₂ akan menghasilkan panas persatuan bahan bakar dibandingkan menghasilkan CO atau asap.

II.2.4.5. Efisiensi

Efisiensi adalah tingkatan kerja / prestasi kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi boiler adalah prestasi kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi keluar dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap berkisar antara 70% – 90% (Agung.N 2007). Terdapat dua jenis metode pengkajian terhadap efisiensi boiler :

1. Metode Tidak Langsung

Metode yang mengguakan selisih antara besar energi input dan losses. Metode ini biasanya disebut metode heat losses. Terdapat 8 heat losses yang terdapat dalam boiler.

a. Heat loss due to dry dry flue gas (L1)

$$(L_1) = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV} \times 100$$

Dimana,

m : masaa dari gas buang kering (kg/kg fuel)

C_p : kalor spesifik dari gas buang kering (kCal/kg0C)

GCV : nilai kalor batubara (kCal/kg)

T_f : temperature gas buang (°C)

T_a : temperature ambient

b. Heat loss due to H₂ in fuel (L2)

$$(L_2) = \frac{9 \times H_2 \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{GCV} \times 100$$

Dimana,

H₂ : jumlah hydrogen dlm bahan bakar (kg/kg fuel)

C_p : kalor spesifik dari superheated steam (kCal/kg0C)

584 : panas latent (kCal/kg)

c. Heat loss due to moisture in fuel (L3)

$$(L_3) = \frac{M \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{HHV} \times 100$$

Dimana,

m : kelembapan dlm bahan bakar (kg/kg fuel)

d. Heat loss due to moisture in air (L4)

$$(L_4) = \frac{ASS \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{GCV} \times 100$$

Dimana,

AAS : massa aktual udara (kg/kg fuel)

Humidity factor : 0,024

Cp : kalor spesifik of air (kCal/kg0C)

e. Heat loss due to incomplete combustion (L5)

$$(L_5) = \frac{\%CO \times C \times 5654}{(\%CO + \%CO_2) \times GCV} \times 100$$

f. Heat loss due unburnt in fly ash (L6)

$$(L_6) = \frac{\text{Total fly ash} \times GCV \text{ fly ash}}{\text{Total fuel burnt} \times GCV} \times 100$$

g. Heat loss due unburnt in botom ash (L7)

$$(L_7) = \frac{\text{Total bottom ash} \times GCV \text{ bottom ash}}{\text{Total fuel burnt} \times GCV} \times 100$$

2. Metode Langsung

Metode langsung atau metode “input – output”, karena metode ini hanya memerlukan output (steam/uap) dan inputan panas (bahan bakar) evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat di evaluasi dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= \left(\frac{Q_{in}}{Q_{out}} \right) \times 100\% \\ &= \frac{W_s \times (h_u - h_a)}{W_f \times GCV} \times 100\% \end{aligned}$$

Dimana :

Ws : Kapasitas produksi uap/steam (kg/jam)

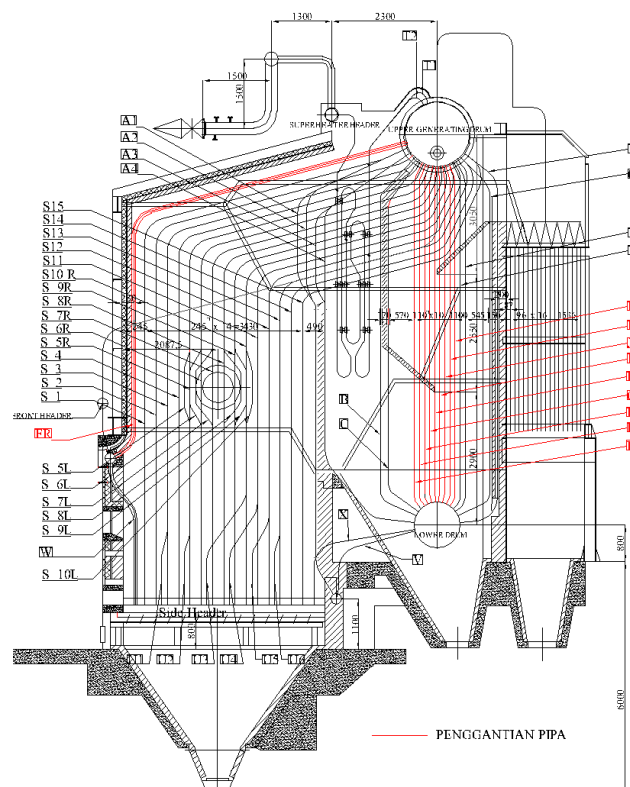
Wf : Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

ha : entalpi uap (kJ/kg) hu : entalpi air umpan / pengisi ketel (kJ/kg)

GCV : Jenis bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

II.2.5. Uraian Tugas Khusus

A. Konstruksi Boiler



Gambar 14. Konstruksi Boiler

B. Spesifikasi Alat

Boiler Yoshimine

Heating surface = 634 M²

Chamber = 241 M²

Effectif volume = 149 M³

Operasional pressure = 21 kg/cm²

Steam temperature = 325 °C

Furnace load at MCR = 160.000 kcal/m³ h

Kapasitas = 30 Ton/Jam



C. Perhitungan

Merk Boiler	: Yoshimine
Kapasitas boiler	: 30 ton/jam
Pol ampas	: 2,99 %
Bahan ampas kering	: 48, 63 %
Bahan ampas basah	: 51, 37%
Total ampas dibakar	: 42.176, 71 ton
Tekanan uap boiler	: 21 bar (2100 kPa)

Menghitung Nilai Kalori Ampas

$$NCV = 4250 - 10p - 48w \dots \dots \dots (1)$$

$$NCV = 4250 - 10 (2,99) - 48 (48,22)$$

$$= 1754, 34 \text{ kcal/kg}$$

$$= 7340, 15 \text{ kJ/kg}$$

Menghitung massa bahan bakar

Persentase bahan bakar ampas yang masuk ke boiler Yoshimine sebesar 55% dan sisanya ke boiler Cheng-chen sebesar 45%, sehingga total bahan bakar ampas yang masuk ke boiler Yoshimine sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Total bahan bakar ampas} &= 42.176, 71 \text{ ton} \times 55\% \\ &= 23.197,19 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bahan bakar ampas} &= \frac{23.197,19 \text{ ton}}{\text{Waktu produksi}} \\ &= \frac{23.197,19 \text{ ton}}{89} \\ &= 260,64 \text{ ton/ hari} \\ &= 10,86 \text{ ton/jam} \\ &= 10.860,11 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan Kapasitas uap boiler

Untuk mencari nilai kapasitas uap dari ketel, maka didapatkan data setam flow sebagai berikut :



Tabel 1. Data Steam Flow Boiler tiap jam

Waktu	Steam Flow
06.00 - 07.00	15,4
07.00 - 08.00	15,95
08.00 - 09.00	16,5275
09.00 - 10.00	17,2425
10.00 - 11.00	17,8475
11.00 - 12.00	18,4525
12.00 - 13.00	19,085
13.00 - 14.00	19,6625
14.00 - 15.00	20,0475
15.00 - 16.00	20,35
16.00 - 17.00	20,7075
17.00 - 18.00	21,01
18.00 - 19.00	21,2025
19.00 - 20.00	21,4225
20.00 - 21.00	21,5325
21.00 - 22.00	21,725
22.00 - 23.00	21,56
23.00 - 00.00	22,0825
00.00 - 01.00	22,4125
01.00 - 02.00	22,825
02.00 - 03.00	23,375
03.00 - 04.00	23,9525
04.00 - 05.00	24,53
05.00 - 06.00	25,1625
Jumlah	494,065
Rata-rata	20,5860

Dari data steam flow diatas, diperoleh kapasitas uap boiler sebesar :

Q boiler = 20,5860 ton/jam

= 20586 kg/jam



Menghitung Entalpy

Tabel 2. Data Temperatur Boiler

Waktu	Temperature (°C)	
	Feed Water Pump	Superheater
06.00 - 07.00	100	338
07.00 - 08.00	100	341
08.00 - 09.00	100	336
09.00 - 10.00	100	337
10.00 - 11.00	100	339
11.00 - 12.00	100	338
12.00 - 13.00	100	340
13.00 - 14.00	100	340
14.00 - 15.00	100	339
15.00 - 16.00	100	340
16.00 - 17.00	100	336
17.00 - 18.00	100	332
18.00 - 19.00	100	334
19.00 - 20.00	100	335
20.00 - 21.00	100	332
21.00 - 22.00	100	334
22.00 - 23.00	100	335
23.00 - 00.00	100	332
00.00 - 01.00	100	330
01.00 - 02.00	100	340
02.00 - 03.00	100	331
03.00 - 04.00	100	333
04.00 - 05.00	100	335
05.00 - 06.00	100	340
Jumlah	2400	8067
Rata-rata	100	336,04

Untuk mencari nilai h (input) menggunakan data temperature feed water pump sebesar 100 °C. Dengan menggunakan Tabel E.1 (Smith & Van Ness ed. 8) didapatkan nilai:

$$h_{\text{input}} = 419,1 \text{ kJ/kg}$$

Untuk mencari nilai h (output) menggunakan data temperature uap panas lanjut di pipa superheater sebesar $336,04\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dengan menggunakan Tabel E.2 (Smith & Van Ness ed. 8), interpolasi pada temperature antara $300 - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, tekanan yang digunakan 21 bar atau 2100 kPa didapatkan nilai:

Data Interpolasi		
Tekanan	Suhu	Enthalpy
2100	300	3087,3
	336,04	X
	350	3142,7

$$\text{Interpolasi : } \frac{336,04 - 300}{350 - 300} = \frac{X - 3087,3}{3142,7 - 3087,3}$$

$$\text{Interpolasi : } \frac{36,04}{50} = \frac{X - 3087,3}{55,4}$$

$$\text{Interpolasi : } 50x - 154,365 = 1.996,616$$

$$\text{Interpolasi : } 50x = 308.207,6288$$

$$\text{Interpolasi : } x = \frac{308.207,6288}{50}$$

$$(h \text{ out}) = 3111,765 \text{ kJ/kg}$$

Perhitungan efisiensi boiler

$$\text{Efisiensi boiler (\%)} = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{boiler}} \times (h_{\text{out}} - h_{\text{in}})}{m_{\text{bb}} \times \text{NCV}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{494.065 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times \left(743,73 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} - 100,17 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)}{260.642,61 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 1754,34 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{317.961.605,01 \frac{\text{kcal}}{\text{hari}}}{457.255.759,74 \frac{\text{kcal}}{\text{hari}}} \times 100\%$$

$$\eta = 69,54 \%$$



D, Pembahasan

Dari analisa efisiensi boiler Yoshimine dengan kapasitas 30 Ton/Jam dengan menggunakan metode langsung dan data yang didapatkan dari pengamatan pada tanggal 1 September 2023. Didapatkan nilai efisiensi boiler yoshimine sebesar 69,54 %. Dimana target untuk efisiensi boiler sendiri sebesar 80% karena boiler merupakan sumber uap untuk mengendalikan proses pada pabrik gula. Maka diperlukannya efisiensi boiler ini untuk menekan krisis energi pada pabrik gula. Untuk mencapai angka target tersebut ada beberapa hal yang harus diperbaiki seperti panas yang hilang, penggunaan ampas dll. Untuk kehilangan panas banyak disebabkan oleh perpindahan panas yang terjadi pada dinding-dinding boiler yang disebabkan karena isolasi yang sudah mulai mengelupas dan gaswool yang sudah rusak. Oleh karena itu boiler dapat dengan mudah kehilangan panas pada saat proses pembakaran. Adapun disebabkan oleh ampas tebu sisa tahun lalu dimana pasti nilai kalornya juga berbeda dari ampas tebu yang baru saja di proses. Kadar air dalam ampas tebu juga merupakan salah satu alasan kenapa boiler dapan kehilangan panas, rata-rata ampas masih memiliki kadar air yang tinggi jadi bisa mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Adapun penyebab lainnya yaitu kehilangan panas dari sisa panas setelah pembakaran yang langsung dikeluarkan lewat cerobong. Untuk meningkatkan efisiensi boiler bisa saja dengan memanfaatkan sisa panas dari hasil pembakaran untuk ditarik ke economizer. Dimana economizer sendiri bisa disebut pre-heater untuk feed water agar memperingan kerja superheater.