

BAB 2

Tinjauan Pustaka

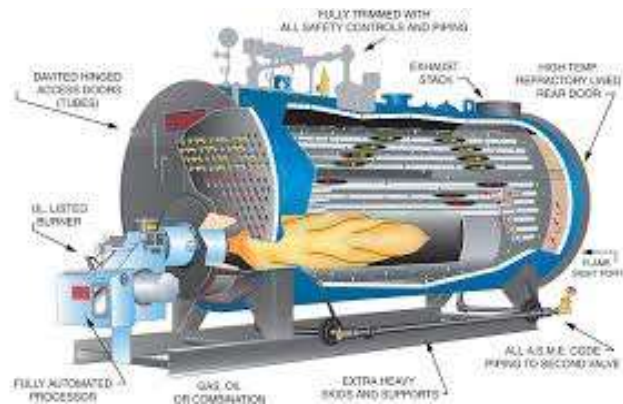
2.1 Pengertian Boiler

Boiler merupakan salah satu dari beberapa pesawat bantu yang ada di kapal. Fungsi boiler adalah sebuah bejana tertutup, yang dapat membentuk uap dengan tekanan lebih dari satu atmosfer, yaitu dengan jalan memanaskan air ketel yang ada di dalamnyadengan gas-gas steam dari hasil pembakaran.

Boiler dibagi menjadi dua macam yaitu boiler pipa api dan boiler pipa air. Masing-masing boiler tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. Berikut adalah beberapa pengetahuan tentang kelebihan dan kekurangan boiler pipa api yang diatas kapal.

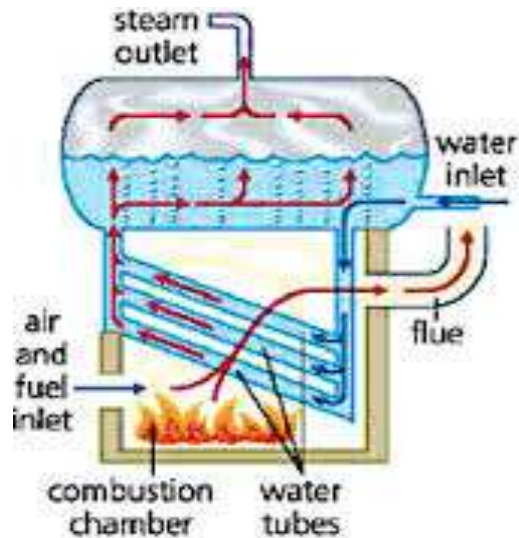
Boiler pada kapal terdapat dua jenis, yaitu:

1. **Boiler pipa api**, dimana proses pengapiannya terjadi di dalam pipa, kemudian panas yang dihasilkan dihantarkan langsung ke dalam boiler yang berisi air.



Gambar 1: boiler pipa api (matabayangan.blogspot.com)

2. **Boiler pipa air**, dimana proses pengapian terjadi diluar pipa kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air, dimana di dalam pipa air ini merupakan air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut terhadap air tersebut.



Gambar 2: Boiler pipa air (matabayangan.blogspot.com)

Pada boiler pipa api, api dan gas panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar mengalir melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air yang berfungsi sebagai penyerap panas. Panas di hantarkan melalui dinding-dinding pipa dari gas-gas panas ke air di sekelilingnya. Boiler pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak gas, dan bahan bakar padat.

Boiler pipa api memiliki kelebihan sebagai berikut:

- a. Konstruksi yang relatif lebih kuat
- b. Biaya perawatan murah
- c. Pengoperasian dan perawatan mudah

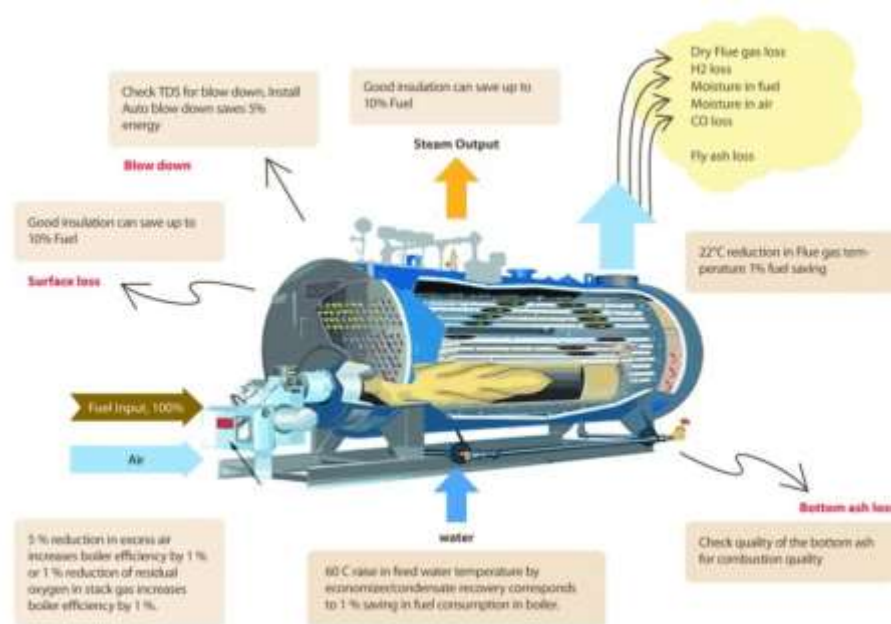
- d. Flexibilitas dalam pengaturan dan perubahan bahan pada saat pengoperasiannya.

Akan tetapi, terdapat juga beberapa kekurangan, antara lain:

- a. Kapasitas kecil
- b. Efisiensi termal rendah
- c. Lambat mencapai tekanan kerja maksimum

2.2 Perlengkapan Boiler

1. Klep pemakaian uap utama (Main steam stop valve)
2. Klep uap bantu (Auxiliary steam valve)
3. Klep induk pengisian air (Main water feed valve)
4. Klep bantu pengisian air (Auxiliary water feed valve)
5. Klep keamanan (Safety valve)
6. Pengukur air (Water gauge)
7. Pengukur tekanan (Pressure gauge)
8. Permukaan klep penghembus (Surface blow off valve)
9. Ruang busa (Scum pan)
10. Klep penghembus (Boiler bottom Blow off valve)
11. Penghembus keluar kapal (Ship side blow off bow off cock)
12. Salino meter (Salinometer cock)
13. Hidrokineter

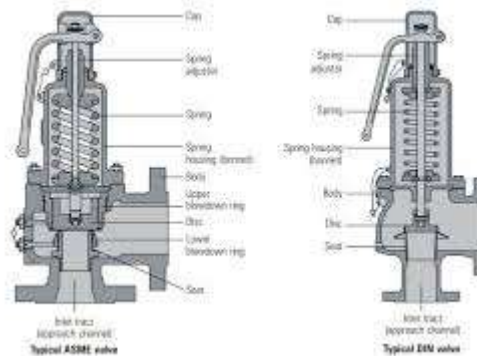


Gambar 3: Komponen-komponen pada boiler (artikel teknologi Indonesia)

Pada gambar 3, beberapa perlengkapan serta komponen-komponen yang membantu kinerja pada boiler sehingga boiler berjalan dengan maksimal dan menghasilkan uap serta panas yang dibutuhkan :

1. Katup keamanan (safety valve)

Katup ini mengalirkan uap dari ketel. Ada katup uap utama untuk mengalirkan uap ke mesin induk dan katup uap bantu bagi mesin-mesin bantu dan secara otomatis katup ini akan tertutup jika uap panas berlebih.



Gambar 4: Komponen safety valve (Ismail Arifin)

2. Katup pengisian (Water feed valve)
Adalah katup yang mengatur jumlah air yang di isikan ke ketel. Selain katup air (Water stop valve) juga terdapat katup pengatur pengisian (Feed check valve) untuk mencegah aliran balik dari ketel.
3. Katup keamanan (Safety valve)
Merupakan katup untuk memelihara keamanan ketel dengan cara melepaskan uap secara otomatis jika tekanan uap dalam ketel melampaui nilai yang ditentukan.
4. Gelas pendugan (Water gauge)
Merupakan alat untuk menunjukkan tinggi permukaan air dalam ketel. Jika permukaan air dalam ketel terlalu rendah, permukaan pemanas akan terlalu panas sehingga akan berbahaya. Begitu juga sebaliknya, jika terlalu tinggi, uap akan tercampur tetes-tetes air, sehingga akan mengganggu jalannya mesin. Oleh karena itu, permukaan harus dijaga berada pada tinggi yang normal.
5. Pengukur tekanan (Pressure gauge)
Merupakan alat untuk menunjukkan tekanan uap dalam ketel. Pada umumnya, digunakan tabung pengukur tabung bourdon.

6. Katup-katup lain

Selain katup-katup di atas, ketel; juga dilengkapi dengan katup pembuang (blow off valve). Katup ini berfungsi untuk membuang kotoran dari air ketel. Katup salino meter untuk mengambil contoh air ketel sebagai pemeriksaan. Katup pembersih udara (air purge valve) dan katup kontrol bagi sirene atau suling uap.

2.3 Komponen utama boiler

1. Drum Ketel

- a. Sebagai “steam separators” dan “purificators”
- b. Sebagai pencampur air agar homogen

2. Superheater

Digunakan untuk memanaskan uap jenuh yang terpisah di dalam drum uap. Dalam beberapa bagian uap tersebut hanya di panaskan sedikit di atas titik saturasi di mana dalam bagian yang lain mungkin di panaskan sampai temperatur yang signifikan untuk penambahan penyimpanan energi. Bagian superheater ini normalnya diletakkan dalam aliran gas yang lebih panas, di depan evaporator.

3. Economizer

Digunakan untuk pemanasan awal feedwater sebelum uap dipindahkan melalui superheater atau steam outlet dan air keluar melalui blowdown. Pada umumnya economizer diletakkan di dalam gas yang lebih dingin pada bagian hilir (down stream) evaporation. Jika ingin melakukan perawatan boiler, periksalah economizer ini.

4. Evaporator

Merupakan bagian yang berfungsi untuk menaikkan temperatur air mencapai titik didih. Pada evaporator terjadi peristiwa perubahan fase dari cair menjadi uap. Jika ingin melakukan perawatan pada boiler, periksalah bagian

evaporator ini, karena bagian evaporator merupakan alat bantu yang penting bagi boiler dan merupakan alat bantu pembuatan uap yang efektif.

2.4 Peralatan pembakaran dan penyediaan air

1. Peralatan pembakaran

Pada saat ini, dilaut bahan bakar yang digunakan adalah minyak berat. Untuk membakarnya, minyak tersebut perlu di pancarkan terlebih dahulu oleh brander (oil burner) kemudian dicampur dengan udara. Berikut adalah peralatan pembakaran dan penyediaan air:

a. Tangki persediaan (Tangki pengendapan/settling tank)

Dalam tangki ini, kandungan air dalam minyak dipisahkan dan diendapkan dengan cara memanaskan kemudian mendinginkannya. Ada dua tangki pengendapan yang dapat di gunakan bergantian.

b. Saringan

Saringan ini berfungsi untuk menyaring kotoran yang terkandung dalam minyak. Terdapat dua saringan, pertama ditempatkan dimuka pompa pembakaran minyak dan yang kedua di tempatkan di belakang pemanas minyak.

c. Pompa brander (Oil burning pump)

Pompa untuk memberikan tekanan bagi penguraian minyak. Terdapat dua pompa yang dapat digunakan sebagai pompa pengganti.

d. Pemanas minyak

Pemanas ini berfungsi untuk mengurangi kekentalan minyak melalui pemanasan sehingga mempermudah penguraian

e. Burner

Burner menguraikan minyak dan menyembrotkan ke dalam tungku untuk di bakar.

f. Penyediaan udara

Udara yang dialirkan dari sebuah kipas angin melalui pemanas pendahulu, sampai ke tungku di putar oleh sudu-sudu antar (guide blades) di kelilingi ruang pembakaran, dan kemudian tercampur dengan minyak yang telah terurai. Banyaknya udara di atur oleh sebuah alat pengatur.

2. Peralatan penyediaan air

Uap yang dibangkitkan dalam ketel dimanfaatkan oleh mesin kemudian diembunkan menjadi air oleh kondensor. Peralatan penyediaan air yang diembunkan itu kembali ke ketel. Peralatan ini dapat type terbuka ataupun tertutup. Berikut adalah peralatan penyediaan air antara lain:

a. Pompa pengisian

Pompa pengisian adalah pompa untuk mengisi air ke ketel. Pompa ini merupakan bagian yang terpenting dari peralatan air. Biasanya terdapat dua pompa, salah satunya sebagai persediaan.

b. Saringan dan tangki air pengisi

Peralatan persediaan air type terbuka dilengkapi dengan saringan untuk memisahkan minyak atau kotoran lain. Biasanya digunakan tangki bertangga dengan saringan air di dalam tangki air pengisi. Tangki air pengisi berfungsi menyesuaikan ketidak seimbangan yang sewaktu-waktu terjadi antara jumlah air kondensasi dengan jumlah air pengisian.

c. Tangki air pengisian bantu

Air pengisian akan terpakai dan mungkin kurang karena kebocoran atau hal lain. Tangki ini menyimpan air tawar atau air destilasi untuk mengisi kekurangan itu.

2.5 Perawatan Air Boiler

Air adalah media yang berguna dan murah untuk konduksi panas ke suatu proses. Kualitas uap yang dihasilkan dalam sistem boiler dipengaruhi oleh pengolahan air yang tepat. Kualitas air yang dipasok ke dalam boiler juga mempengaruhi efisiensi operasi dan umur boiler.

Air mengandung berbagai zat yang terlarut seperti mineral, gas-gas, campuran dan benda asing yang seperti kotoran dan sebagainya. Apabila terjadi kenaikan panas dan tekanan terhadap air, hampir semua bahan-bahan terlarut akan terpisah dari larutan menjadi pertikel padat yang jika dibiarkan akan terjadinya pembentukan endapan dan kerak air. Air boiler harus terbebas dari endapan padat supaya proses transfer panas terjadi dengan cepat dan efisien.

Bahan-bahan kimia yang sering ditambahkan untuk perawatan air boiler

1. Oxygen scavenger

Bahan kimia oxygen scavenger sangat sering ditambahkan ke feed water boiler deaerated untuk mengeluarkan sisa-sisa oksigen yang tidak dihapus oleh deaerator tersebut. Oksigen scavenger yang sering digunakan adalah natrium sulfit (Na_2SO_3) yang non scaling.

2. Dealkalisation

Dealkalisation air mengacu pada penghapusan ion alkalinitas dari air. Klorida siklus anion pertukaran ion dealkalisers menghapus alkalinitas dari air. Dealkalisers siklus klorida beroperasi mirip dengan siklus kation pelunak air natrium. Seperti pelunak air, dealkalisers mengandung resing pertukaran ion yang diregenerasi dengan garam terkonsentrasi (brine) solusi – NaCl . Dalam kasus pelembut air, resin pertukaran kation adalah pertukaran natrium (Na ion NaCl) untuk kekerasan mineral seperti kalsium dan magnesium.

2.6 Prinsip kerja boiler

Pada dasarnya prinsip kerja dari sebuah boiler adalah, jika air di panaskan pada tekanan suatu atmosfer, suhunya akan berangsur-angsur naik sampai 100°C . Namun pemanasan lebih lanjut tidak akan menaikkan suhu lebih tinggi. Air akan mendidih dan yang di tambahkan itu seluruhnya terpakai untuk membangkitkan uap. Jikatekanan uap yang dihasilkan adalah satu atmosfer dan suhunya 100°C . Akan tetapi, jika air dipanaskan pada tekanan lebih besar dari pada satu atmosfer, suhunya akan naik sampai melebihi 100°C dan air akan mendidih pada suhu yang sebanding dengan tekanannya. Setelah mendidih, suhu tidak akan meningkat oleh pemanasan lanjut dan semua panas hanya dipakai membentuk uap.

Suhu tertentu yang sebanding tekanan disebut suhu jenuh (Saturation Temperatur) dan tekanannya disebut tekanan jenuh (Saturation pressure). Antara suhu jenuh dengan tekanan jenuh terdapat hubungan yang pasti, sehingga jika tekanan diketahui, maka tekanan jenuh yang sebanding juga diketahui. Uap yang dibangkitkan pada tekanan jenuh dan suhu jenuh disebut uap jenuh (Saturated Steam). Uap jenuh biasanya mengandung sejumlah air sehingga di sebut uap jenuh basah, uap yang sama sekali tidak mengandung air (karena telah menguap semua)disebut uap jenuh kering. Jika uap jenuh kering dipanaskan lebih lanjut pada tekanan jenuh, suhunya akan naik melebihi suhu jenuh disertai penambah volume uap ini di sebut uap pemanasan lanjut (Superheated steam).

Panas yang ditambah untuk menaikkan suhu sampai titik didih disebut panas nyata yang ditambahkan sesuai titik didih tercapai dan dipakai untuk membangkitkan uap disebut panas laten (Latent head).

2.7 Perawatan Boiler

Setelah boiler sudah di periksa, langkah berikutnya adalah langkah perawatan. Perawatan pada boiler merupakan suatu kegiatan dengan tujuan agar fasilitas atau asset yang dipelihara atau dirawat selalu berada dalam keadaan yang dikehendaki. Secara garis besar klasifikasi terapan dari teknik pemeliharaan dapat dibagi menjadi empat kelompok, antara lain:

1. Setiap 1 s/d 2 minggu
 - a. Memeriksa dan membersihkan strainer (saringan), air maupun steam.
 - b. Memeriksa dan membersihkan pipa dan dinding batu api dari semua abu dan kerak pembakaran yang melekat di dinding.
 - c. Memeriksa rotor (impeller) blower terutama pada impeller blower ID Fan atas kemungkinan terdapat abu yang melekat.
 - d. Periksa tekanan uap boiler dan ketinggian air.
 - e. Periksa apakah sistem kontrol air umpan berfungsi secara operasional
 - f. Periksa kondisi air boiler dan lakukan tindakan pencegahan yang diperlukan terkait dengan pengolahan air umpan dan boiler. Jika perlu blow-down boiler.
 - g. Periksa fungsi burner minyak pada kapasitas yang berbeda melalui libang inspeksi pada boiler.
 - h. Periksa suhu gas buang setelah dan atau kehilangan draft pada boiler. Jika suhu atau draft kerugian terlalu tinggi, bagian pin-tube harus dibersihkan.
2. Setiap 1 s/d 3 bulan
 - a. Meriksa dan membersihkan bagian luar dan dalam boiler.
 - b. Membersihkan bagian dalam semua water tube (pipa) dan semua header serta drum dari scale (kerak).
 - c. Memeriksa roster dan menggatinya jika ada yang patah atau rusak.

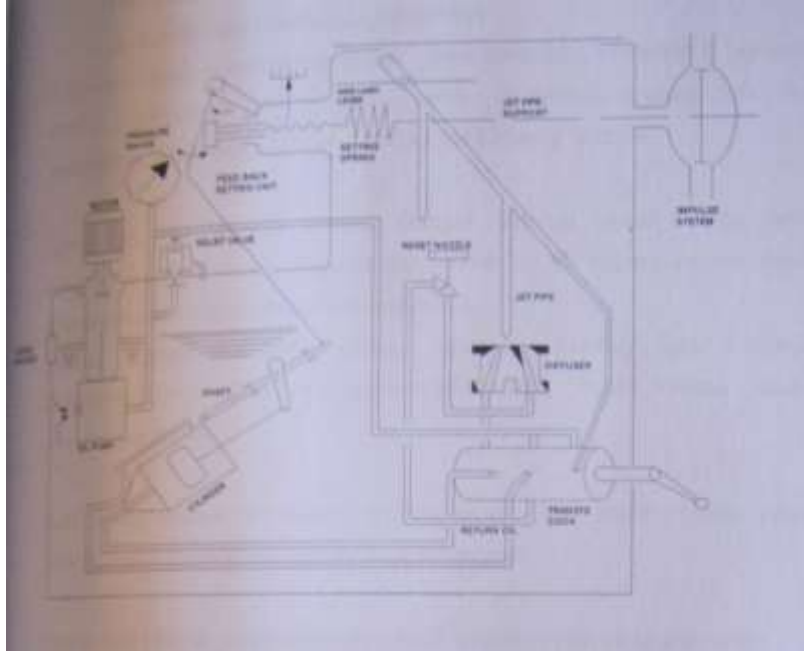
- d. Membersihkan semua abu dari dalam chimney.
 - e. Tiriskan setiap gelas tingkat air selama sekitar 10-15 detik.
 - f. Dalam hal air boiler yang terkontaminasi atau pengolahan air yang tidak mencukupi, pengeringan gelas air harus dilakukan lebih kering.
 - g. Periksa perangkat tingkat air aman.
 - h. Tergantung pada tes air boiler yang ditiupkan ke bawah boiler. Buka tutup blow-down dengan cepat selama beberapa detik, lalu tutup dan buka lagi selama sekitar 5-10 detik.
 - i. Ulangi operasi ini bila diperlukan sesuai dengan tes air boiler.
 - j. Lakukan scum blow out dengan menggunakan scum valve saat dibutuhkan. Sampah harus dibuang sampai air yang terkuras bersih.
3. Di atas 1 tahun
- a. Periksa dan perawatan pada casing (dinding).
 - b. Periksa dan perawatan pada gas duct dan dust collector.
 - c. Periksa dan perawatan pada collector, perawatan dan instrument.
 - d. Periksa dan perawatan pada kerangan, cock dan piping.
4. Pemeriksaan boiler water side
- a. Sisi air boiler (interior) harus diperiksa secara hati-hati setidaknya dua kali setahun. Inspeksi ini sangat penting dan tidak diragukan lagi yang paling penting dari semua langkah-langkah pemeliharaan, karena memiliki pengaruh langsung pada umur panjang boiler dan pada keamanan.
 - b. Pada pemeriksaan ini, endapan keras, korosi, dan gangguan sirkulasi dapat di temukan pada tahap awal, dan tindakan pencegahan harus di ambil untuk menghindari kerusakan material yang tidak terduga dan kerusakan boiler.
 - c. Kehadiran deposito keras di dinding tungku dan tabung mengurangi sifat perpindahan panas mereka dan mengurangi kapasitas boiler.
 - d. Lebih lanjut, adalah mungkin untuk mengetahui apakah pengolahan air umpan telah memuaskan dan apakah blow-down telah di lakukan dengan cukup.

- e. Pengolahan air umpan yang salah biasanya menyebabkan endapan keras atau korosi.
 - f. Blow-down yang tidak memadai akan menyebabkan endapan lumpur dalam tabung dan akumulasi lumpur di bagian bawah boiler.
 - g. Jika endapan keras tidak dihilangkan, dapat menyebabkan panas berlebih pada bahan pelat boiler yang terkena nyala api di area dinding tungku. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan material.
 - h. Pengolahan air umpan yang salah tidak selalu menyebabkan endapan keras. Sebagai contoh, nilai pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat memberikan reaksi elektrolitik, menyebabkan korosi pada boiler.
 - i. Ketika interior boiler di periksa, periksa semua bagian dengan hati-hati dan penuh perhatian terhadap endapan, korosi, dan retakan. Dianjurkan untuk memberikan perhatian khusus pada pemeriksaan ini.
5. Prosedur dan keterangan untuk inspeksi
- a. Matikan boiler dan biarkan hingga dingin (di bawah 100°C). Boiler tidak harus diletakkan dengan mengangkat katup pengaman dan kemudian di isi dengan air umpan dingin karena tekanan yang disebabkan oleh pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan kerusakan.
 - b. Kosongkan ketel dan tutup semua katup. Jika boiler terhubung dengan boiler kedua, periksalah apakah katup diantara keduanya tertutup.
 - c. Buka sekrup dan lepaskan lubang menetas (s) pada ketel dan masukkan ketel ketika cukup dingin. Periksa pengelasan boiler. Pemeriksaan yang cermat harus dilakukan sehubungan dengan kemungkinan pembentukan korosi.
 - d. Perhatian khusus harus diberikan ke area garis air di bejana tekanan dimana pitting oksigen dapat terjadi
 - e. Jika endapan ditemukan terbentuk dalam tabung boiler, boiler harus dibersihkan secara kimia.

- f. Dianjurkan untuk berkonsultasi dengan perusahaan spesialis pembersih yang akan memeriksa deposit boiler dan memperlakukan boiler yang sesuai.
- g. Setelah diperlakukan secara kimia, boiler harus diledakkan setidaknya dua kali sehari selama kurang lebih satu minggu. Hal ini akan memastikan bahwa endapan lumpur berlebihan karena perawatan kimia tidak terkumpul di bagian bawah bejana tekanan.

2.8 Pengoperasian Boiler

1. Buka valve blow-down atau pembuangan, setiap kurang lebih 15 detik sebanyak tiga kali.
2. Hidupkan pompa fresh water pump boiler dan cek kran hisap dan tekan.
3. Nyalakan burner atau api.
4. Setelah api menyala, buka dumper sekitar $\frac{1}{4}$ terbuka.
5. Naikkan secara pelan-pelan tekanan uap hingga pada titik tekanan kerja. Dengan selalu mengecek bahwa ketinggian air di gauge glass.
6. Tidak melebihi batas, jika ketinggian diatas batas $\frac{1}{2}$ dari gauge glass maka tutup valve feedwater. Jika tidak menyelesaikan masalah atau air tetap tinggi maka valve blow-down harus dibuka.
7. Periksa bahwa bahan bakar yang masuk merata.
8. Jika tidak ada steam terpantau pada manometer boiler, maka bahan bakar harus dikurangi agar panas dapat meratadeseluruh bagian boiler. Matikan fan hingga muncul tekanan. Waktu yang dibutuhkan tergantung terhadap suhu yang ada di boiler.
9. Boiler membutuhkan 6 jam untuk proses pendinginan pada saat dimatikan dengan menghembuskan udara melalui fan dengan membuka dumper $\frac{1}{4}$ terbuka sampai tekanan terlihat pada manometer.
10. Jika boiler dalam keadaan dingin, dibutuhkan waktu sekitar 8 jam untuk pengapian tanpa fan.



Gambar 5: Urutan pengoperasian boiler (*Engineering, Procurement, construction*).

2.9 Permasalahan yang sering terjadi pada boiler

1. Katup inlet bahan bakar ke burner dalam posisi tertutup

Saluran bahan bakar untuk kompor boiler terdiri dari beberapa katup yang terletak di tangki bahan bakar, pompa hisap, katup pembuangan atau katup sebelum pembakar boiler. Semua ini dapat berada dalam posisi tertutup yang mengakibatkan kelaparan bahan bakar.

2. Filter garis di saluran masuk saluran bahan bakar untuk pembakar tersedak

Jika sistem berjalan dalam minyak berat maka ada kemungkinan filter digaris semakin tersedak. Untuk menghindari hal ini, sistem boiler biasanya dibangun untuk peralihan dari diesel ke minyak berat saat mulai dan berat ke diesel selama berhenti. Ini membuat filter dan saluran bahan bakar bersih.

3. Pompa pasokan bahan bakar tidak berjalan

Ada dua alasan untuk pompa bahan bakar tidak berjalan. Biasanya ketika pompa berpasangan, perubahan atas sistem otomatis disimpan dalam posisi manual, dan jika perjalanan pompa operasi, stand by pump tidak akan dimulai secara otomatis. Alasan lain adalah tersandung pompa karena korsleting di sistem, dll.

4. Solenoid valve pada jalur suplai bahan bakar tidak berfungsi

Saat ini sebagian besar sistem mengadopsi otomatis lanjutan, tetapi mereka dapat menjadi kemungkinan di mana solenoid di jalur suplai bahan bakar tidak berfungsi dan tidak terbuka.

5. Mata api tidak berfungsi

Mata api adalah sensor nyala api yang dioperasikan oleh photocell yang dipasang langsung pada refraktori untuk mendeteksi cuaca yang terbakar atau tidak. Jika unit mata api tidak berfungsi, maka akan memberikan sinyal perjalanan bahkan sebelum burner mulai menyala.

6. Pengaturan rasio udara atau uap tidak tepat

Untuk pembakaran yang tepat dan efisien, ransum bahan bakar udara sangat penting, jika pasokan udara berlebih maka akan ada kelebihan asap, dan jika melebihi dari tingkat normal, pembakaran akan terbakar sehingga menyebabkan kegagalan nyala api.

7. Paksa fan flaps gagal berfungsi

Untuk menghilangkan kelebihan gas yang terperangkap di dalam ruang bakar, forced draft (FDF) digunakan untuk operasi pra-pembersihan dan pasca pembilasan dan dihubungkan dengan timer untuk menutup flap kipas. Jika flap tidak berfungsi maka udara paksa terus-menerus akan masuk ke dalam ruangan, mencegah burner menghasilkan nyala api yang menyebabkan kegagalan boiler.

8. Setiap saklar kontraktor di dalam panel kontrol tidak berfungsi

Panel kontrol terdiri dari beberapa kontaktor. Bahkan salah satu kontaktor yang rusak dapat menyebabkan masalah untuk memulai boiler.

9. Perjalanan tidak diatur ulang

Jika perjalanan sebelumnya seperti tingkat air yang rendah, kegagalan nyala api, berhenti darurat, dll. Belum di atur ulang dari boiler tidak akan dimulai.

10. Mainiserer atomiser tersumbat

Pembakaran utama terdiri dari alat penyemprot untuk pembakaran bahan bakar yang efisien. Jika alat penyemprot tersumbat oleh endapan dan endapan bahan bakar maka burner mungkin tidak menghasilkan nyala apidan trip boiler.

11. Nosel pilot burner tersumbat

Nosel pembakar percontohan sangat kecil dan dapat terhalang oleh endapan karbon dan endapan yang menyebabkan kegagalan nyala api. Beberapa pilot burner terdiri dari filter kecil yang dapat tersumbat setelah operasi terus-menerus yang mengakibatkan kegagalan nyata karena akumulasi karbon.

12. Elektroda tidak menghasilkan percikan api

Percikan awal untuk menghasilkan nyala dihasilkan oleh elektroda yang mungkin di sebabkan oleh endapan karbon pada mereka atau kesalahan dalam rangkaian elektroda, dll.