

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

1. Penelitian yang dilakukan oleh Agus Setiawan dari Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (2024) dengan judul “ Preventive Maintenance Circulating Water Dbris Filter ” dari penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui parameter apa saja untuk mengidentifikasi pola yang dap digunakan dalam strategi preventive maintenance.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Farobi Miswan Mustofa dari Politeknik Ujung Pandang (2020) dengan judul “Pengaruh Debris Filter dan Ball Tube Cleaning Terhadap Tingkat Kevakuman dan Kebersihan Kondensor” dari penelitian ini yang didapatkan bagaimana pengaruh adanya debris filter terhadap tingkat kebersihan kondensor.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Chairil Alpha Toni dan Zakir Husin dari Universitas Teuku Umar – Meulaboh (2022) dengan judul “Pemeliharaan dan Perbaikan Debris Filter Model WFH – 1400” menunjukkan bahwa bagaimana cara untuk pemeliharaan Deebris filter.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Andri Ramadhan dari Universitas Al-Azhar Medan dengan judul “ Analisa Keandalan Kondensor dengan Menggunakan Debris Filter Di PLTU Belawan “ untuk mengetahui pengaruh penggunaan Debris Filter pada sistem pendingin di PLTU sektor Belawan

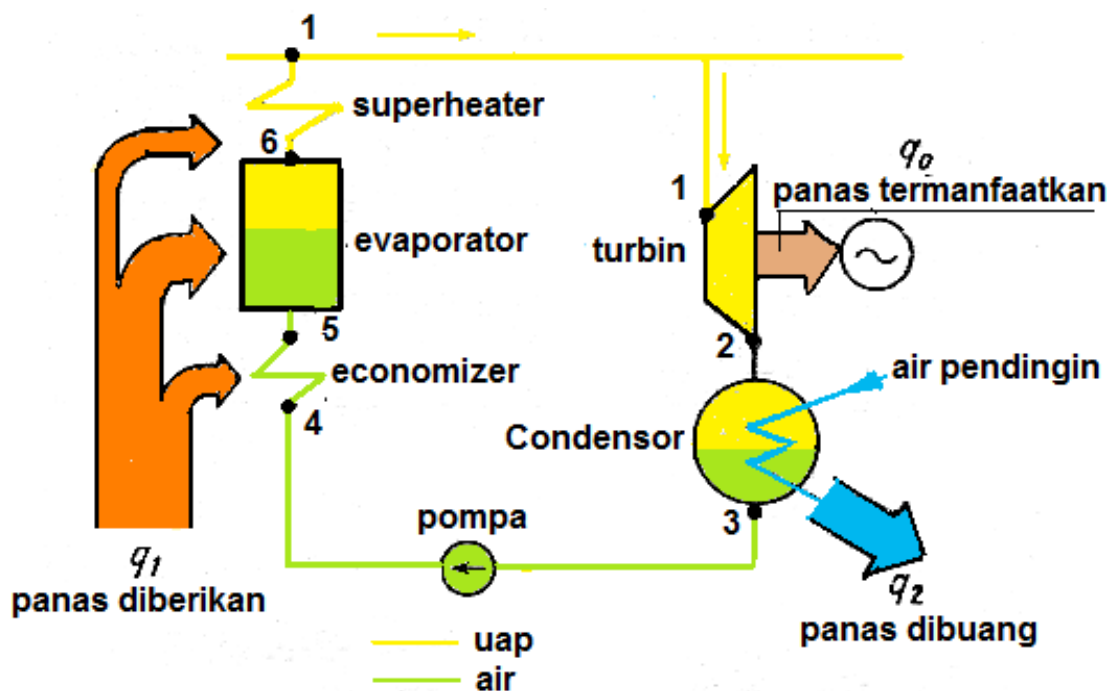
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) ialah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk meghasilkan listrik. Konstruksi utama pembangkit ini meliputi turbin uap yang digerakan oleh uap panas/kering dan tersambung satu poros dengan generator. PLTU beroperasi dengan bahan bakar seperti batu bara atau minyak HSD (solar) yang dikonversi menjadi energi panas, digunakan untuk memanaskan pipa boiler yang berisi air, sehingga air tersebut

berubah menjadi uap yang bertekanan. Uap bertekanan inilah yang akan dialirkan ke turbin uap sehingga dapat memutar turbin. Putaran dari turbin ini akan memutar generator yang terhubung dalam satu poros. Generator akan mengubah energi kinetik yang berupa putaran turbin menjadi listrik, yang mana listrik ini akan didistribusikan kepada pelanggan listrik melalui transmisi dan sumber-sumber beban.

Secara garis besar semua pembangkit memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri sesuai dengan konstruksi dan pembebanannya. Adapun Kelebihan dari PLTU dibandingkan dengan pembangkit lain antara lain, bisa dijalankan dengan beragam jenis bahan bakar, baik zat cair, padat, maupun gas, dan bisa dibangun dalam kapasitas beragam serta dijalankan dalam berbagai mode beban. PLTU memiliki kontinuitas operasi yang tinggi dan umur pakai (life time) yang relatif lama. Tetapi, PLTU juga memiliki beberapa kekurangan, seperti ketergantungan beroperasi (start) tanpa pasokan listrik dari luar, kebutuhan akan pasokan air pendingin yang sangat banyak serta berkelanjutan, serta investasi awal yang mahal.



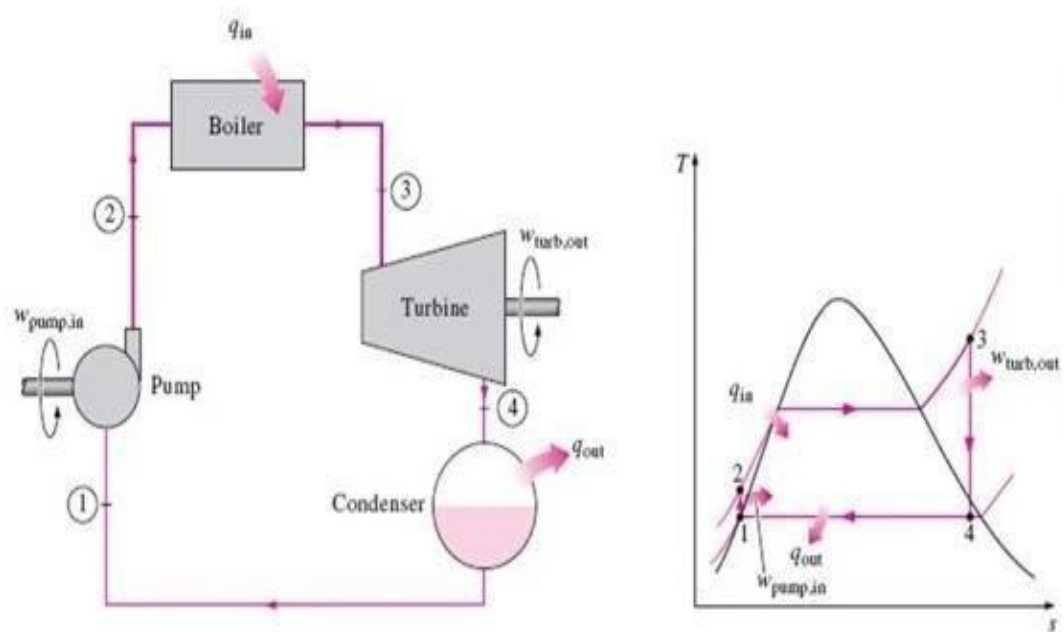
Gambar 2. 1 Prinsip kerja sederhana pada PLTU

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

2.2.2 Siklus Rankine

Siklus Rankine ialah proses yang mengonversi energi panas menjadi energi mekanik, di mana panas diberikan dari sumber eksternal ke sistem dalam siklus aliran tertutup, dengan air umumnya digunakan sebagai fluida kerja (fluida yang mengalami pemanasan atau pendinginan).

Siklus Rankine ialah model kerja mesin uap yang banyak diaplikasikan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Panas dalam siklus ini dapat dihasilkan dari beragam sumber, seperti batubara, energi nuklir, gas alam, minyak bumi, biomassa, serta energi matahari.



Gambar 2. 2 Diagram termodinamika Siklus PLTU (Siklus Rankine)

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

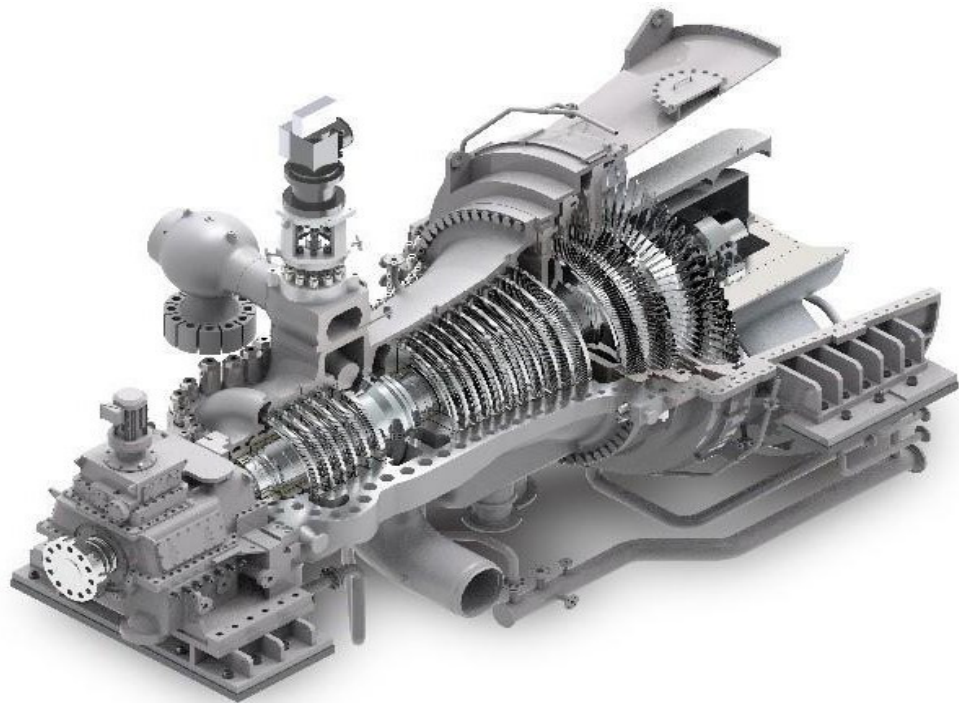
Keterangan :

- 1 – 2 : Dalam proses ini, air dipompa dan dikompresi untuk meningkatkan tekanannya dari tekanan rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Tahapan ini dikenal sebagai kompresi *isentropis*, yang terjadi dipompa air pengisi.
- 2 – 3 : Dalam proses ini, air bertekanan tinggi masuk ke dalam boiler untuk

meningkatkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Proses ini berlangsung pada tekanan yang konstan.

- **3 – 4** : Uap bertekanan setelah memutar turbin, suhu dan tekanannya turun menjadi uap jenuh. Ini disebut proses *ekspansi isentropis*.
- **4 – 1** : Tahap ini pembuangan panas laten uap atau uap jenuh menuju kondensor dan dikondensasikan menjadi air kondensat. Proses *isobar isothermis* ini terjadi di kondensor.

2.2.3 Turbin Uap



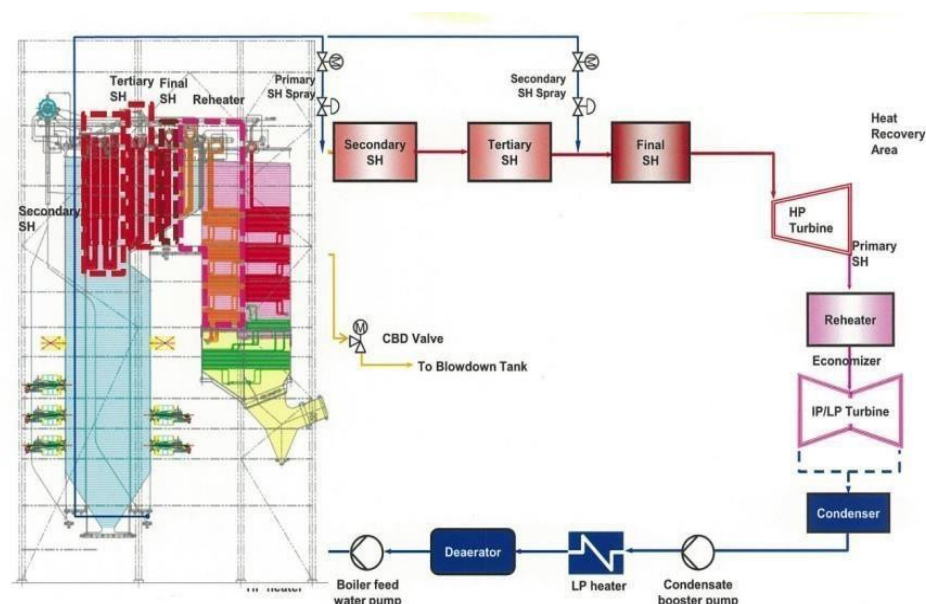
Gambar 2. 3 Turbin Uap

Turbin uap adalah mesin yang berputar pada porosnya dengan memanfaatkan energi dari uap panas yang diproduksi oleh boiler. Fungsi utama turbin ini ialah mengonversi energi potensial dari uap jadi energi kinetik, yang selanjutnya diubah kembali jadi energi mekanis untuk memutar poros turbin. Proses transformasi energi

potensial menjadi energi mekanis dan perputaran porosnya dilakukan melalui berbagai metode. Umumnya, turbin uap tersusun atas dua komponen utama: stator dan rotor, yang menjadi bagian inti dari turbin, serta dilengkapi komponen pendukung seperti kopling, bantalan, serta sistem bantu lainnya supaya performa turbin bisa maksimal. Turbin ini mendayagunakan energi kinetik dari fluida kerja yang meningkat karena adanya tambahan energi panas.

Turbin uap memiliki fungsi untuk mengonversi energi panas dari uap jadi energi mekanik berupa rotasi. Uap bertekanan tinggi serta bersuhu panas mengalir melalui nozzle, yang meningkatkan kecepatannya dan diarahkan guna mendorong bilah-bilah turbin yang terpasang pada poros. Saat uap melewati sudu-sudu yang bergerak, terjadi perubahan momentum pada uap tersebut, menghasilkan tenaga yang digunakan untuk menggerakkan generator, yang kemudian mengubahnya menjadi listrik. Setelah melewati turbin, tekanan dan suhu uap yang telah digunakan akan menurun hingga berubah jadi uap basah. Uap ini kemudian keluar dari turbin dan dialihkan ke kondensor untuk melalui proses kondensasi atau pendinginan, sehingga menjadi air kondensat yang dapat digunakan kembali memanaskan air diboiler.

2.2.4 Boiler



Gambar 2. 4 Siklus Boiler

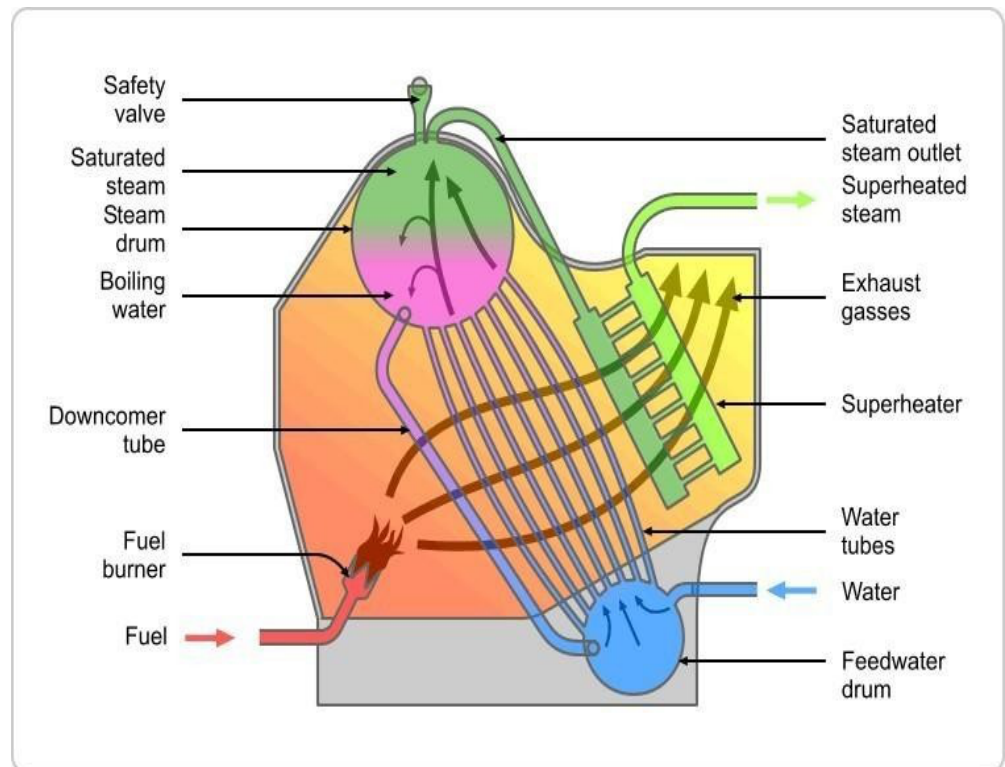
Boiler ialah salah satu komponen penting dalam PLTU. Fungsi utama boiler ialah mengonversi air menjadi uap, yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin, yang pada gilirannya menggerakkan generator listrik.

Boiler bekerja berdasarkan prinsip perubahan energi dari energi kimia (bahan bakar) jadi energi panas (Uap air). Dalam boiler bahan bakar seperti batubara, minyak atau gas dibakar didalam ruang bakar kemudian panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut dipakai untuk memanaskan air yang ada di pipa-pipa boiler hingga mencapai kondisi tertentu (Temperatur dan tekanan tinggi) hingga berubah menjadi uap.

Jenis-Jenis Boiler pada PLTU

Terdapat beberapa jenis boiler yang dipakai pada PLTU yakni :

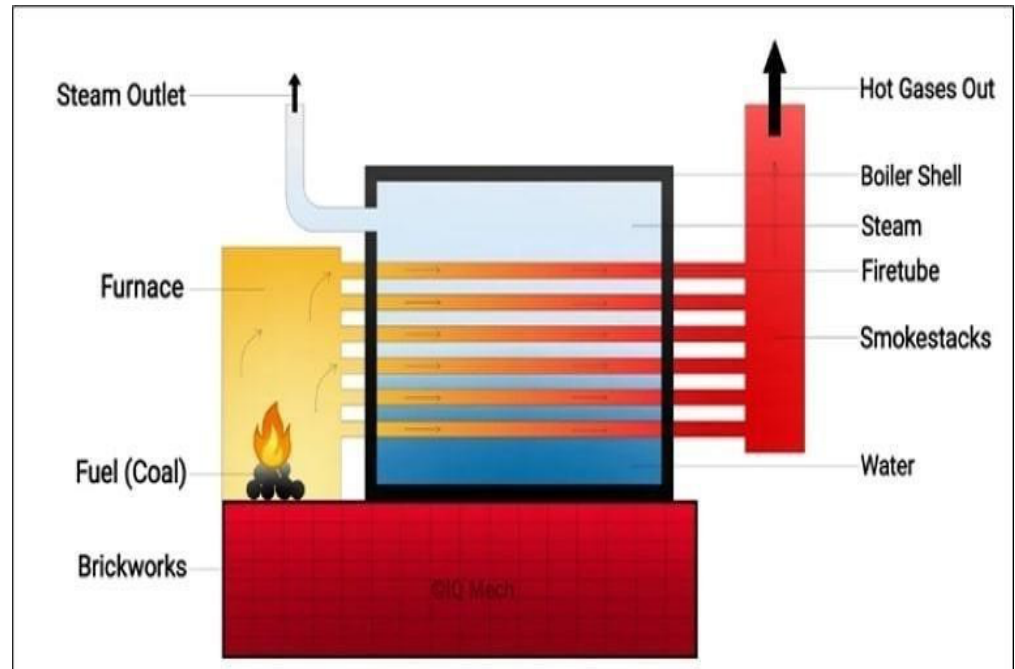
- *Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)* : Dalam jenis ini air bergerak melalui pipa-pipa kecil, sementara panas hasil pembakaran bergerak di luar pipa. Jenis boiler ini umum digunakan pada PLTU karena mampu menghasilkan uap dengan tekanan serta temperatur yang tinggi.



Gambar 2. 5 Boiler Pipa Air

(Sumber: <https://artikel-teknologi.com/pengertian-boiler-pipa-air/>)

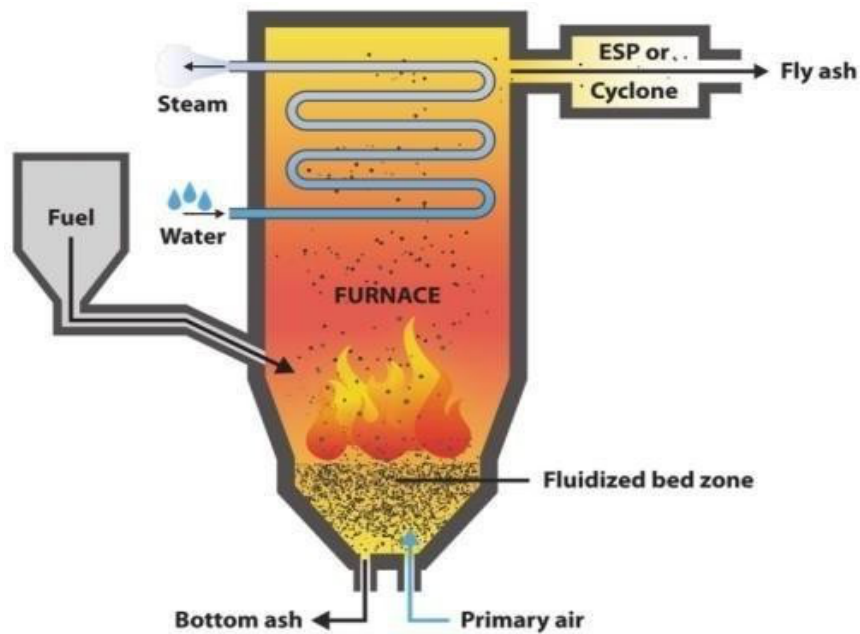
- *Boiler Pipa Api (Fire Tube Boiler)* : Dalam jenis boiler ini, gas panas hasil pembakaran bergerak melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air. Boiler jenis ini lebih cocok untuk skala kecil dan tekanan yang lebih rendah.



Gambar 2. 6 Boiler Pipa Api

(Sumber: <https://www.anakteknik.co.id/yaakovarvin/articles/perancangan-pipa-api-pada-ketel-uap-pipa-api-atau-fire-tube-boiler>)

- *Boiler Fluidized Bed* : Menggunakan konsep Fluidisasi, dimana partikel bahan bakar dihembuskan dengan udara sehingga membentuk “bed” yang fluidized. Jenis boiler ini memiliki efisiensi tinggi dan mampu membakar berbagai jenis bahan bakar, termasuk biomasa.

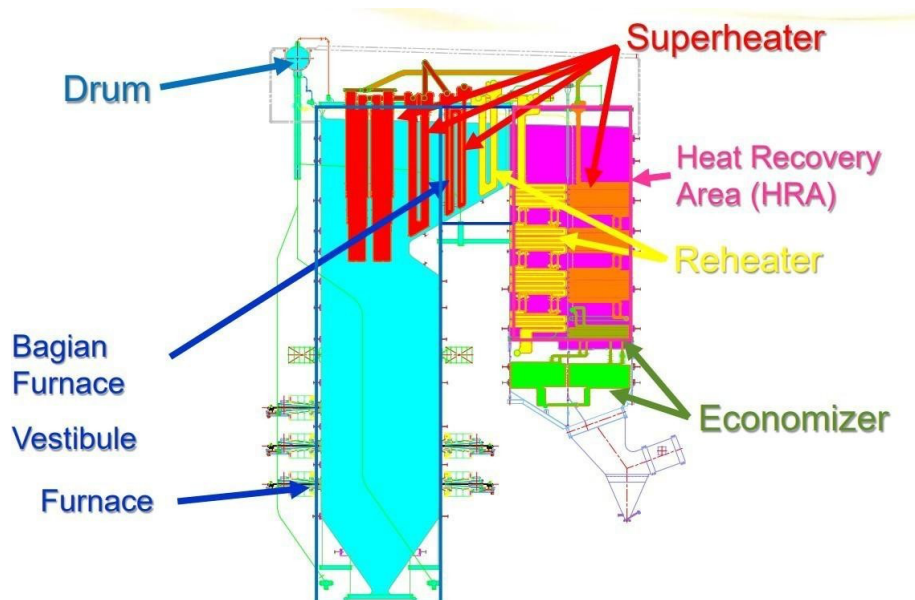


Gambar 2. 7 Boiler Fluidized Bed

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-a-fluidized-bed-boiler_fig1_323848125)

Komponen-Komponen Utama Boiler

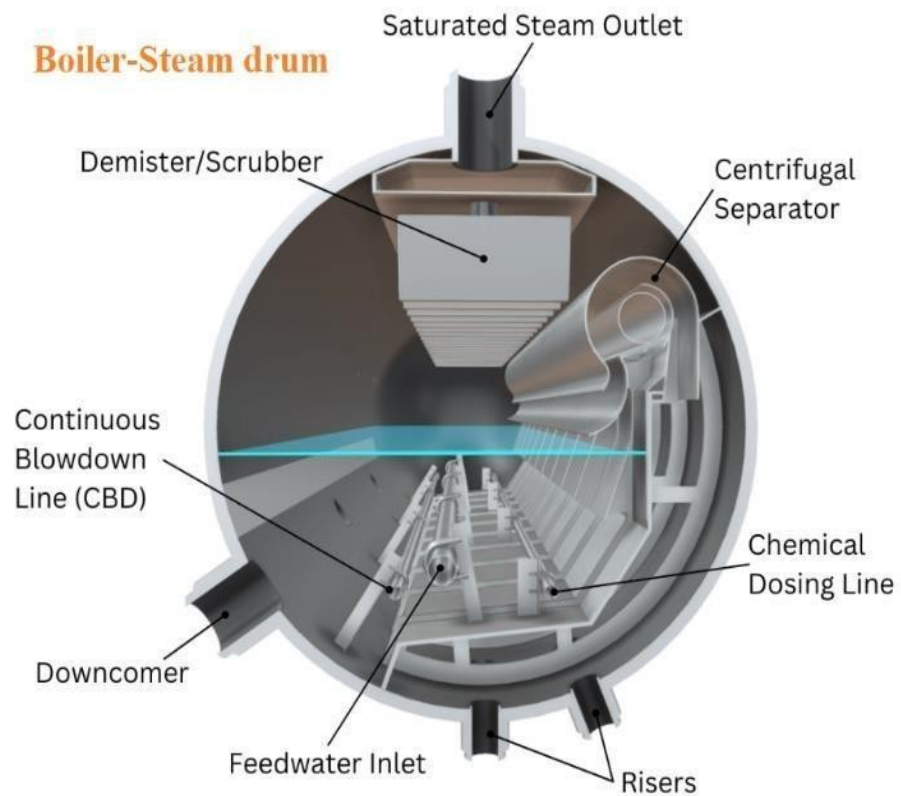
Beberapa komponen penting dalam boiler pada PLTU adalah :



Gambar 2. 8 Komponen Boiler

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

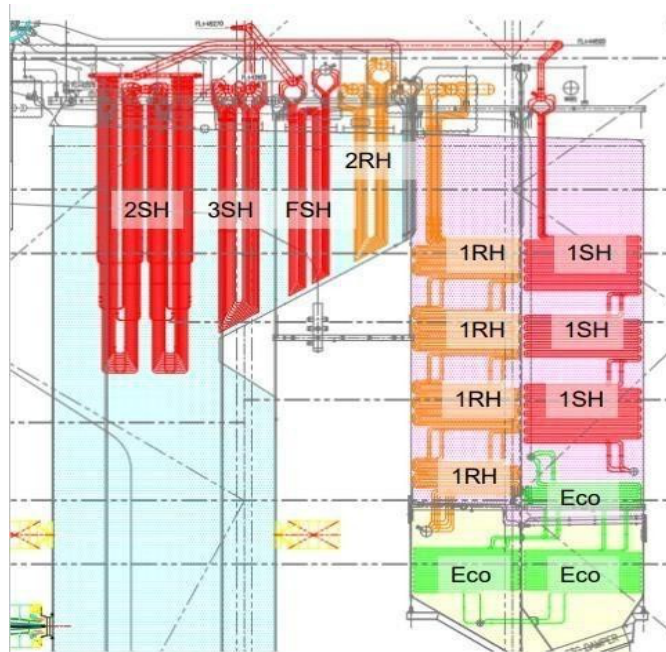
- **Drum Boiler :** Bagian ini berfungsi untuk memisahkan air dan uap. Uap yang terbentuk dikumpulkan di drum ini sebelum di alirkan ke turbin.



Gambar 2. 9 Drum Boiler

(Sumber: https://www.powerplantandcalculations.com/2023/10/9-functions-of-boiler-steam-drum.html#google_vignette)

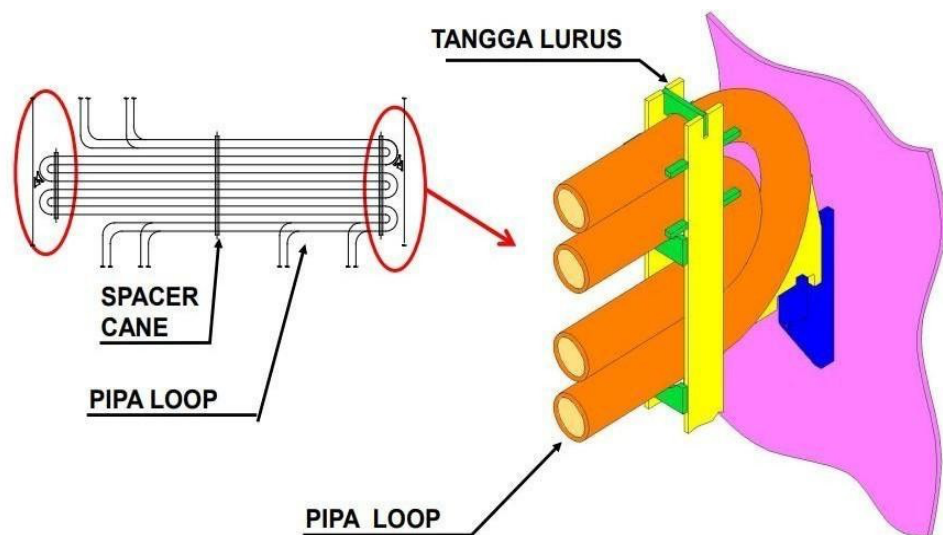
- **Superheater :** Digunakan untuk meningkatkan suhu uap yang dihasilkan hingga mencapai suhu superheated, sehingga meningkatkan efisiensi turbin.



Gambar 2. 10 Rangkaian Superheater

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

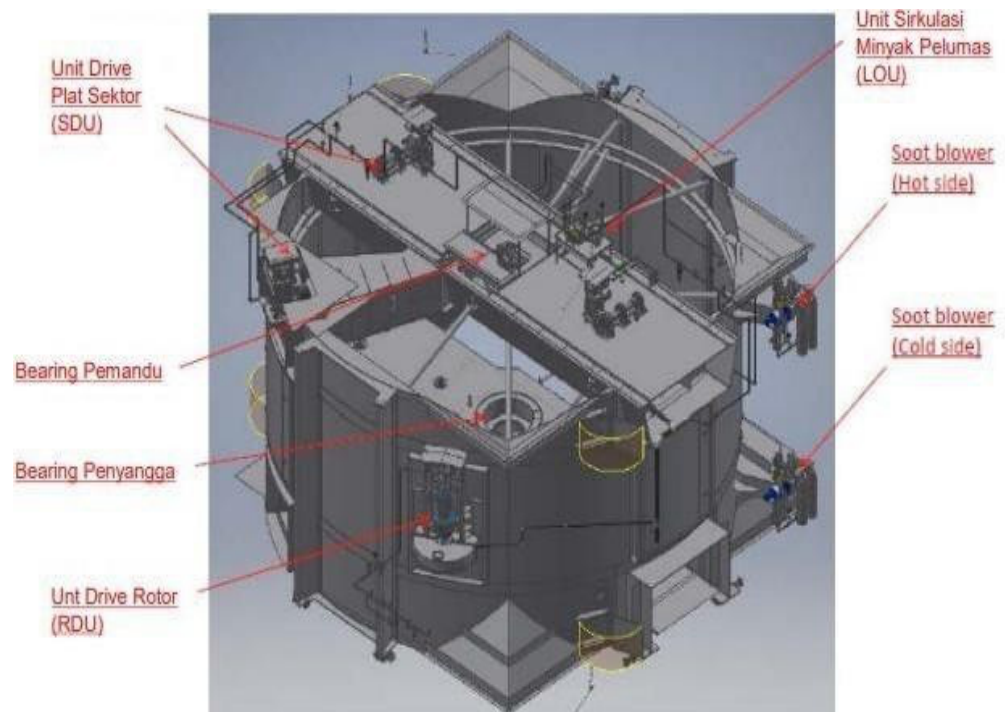
- **Economizer** : Pemanas awal air umpan yang menggunakan panas dari gas buang, sehingga meningkatkan efisiensi termal boiler.



Gambar 2. 11 Economizer

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

- **Air Preheater** : Memanaskan udara pembakaran sebelum masuk ke ruang bakar menggunakan panas dari gas buang, juga untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.



Gambar 2. 12 Air Preheater

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

2.2.5 Sistem air pendingin (*Cooling Tower*)

Fungsi utama dari sistem pendingin air utama ialah menyediakan serta mengalirkan air yang dibutuhkan untuk mengondensasikan uap sisa serta drainase uap sisa pada kondensor. Selain itu, sistem ini juga berperan dalam menyuplai air yang dipakai dalam mendinginkan "*heat exchanger*" pada sistem pendingin air bantu (*Auxiliary cooling water*), yang beroperasi dalam siklus pendinginan tertutup.

PLTU Asam asam menggunakan Kondensor jenis *Shell and Tube* dan

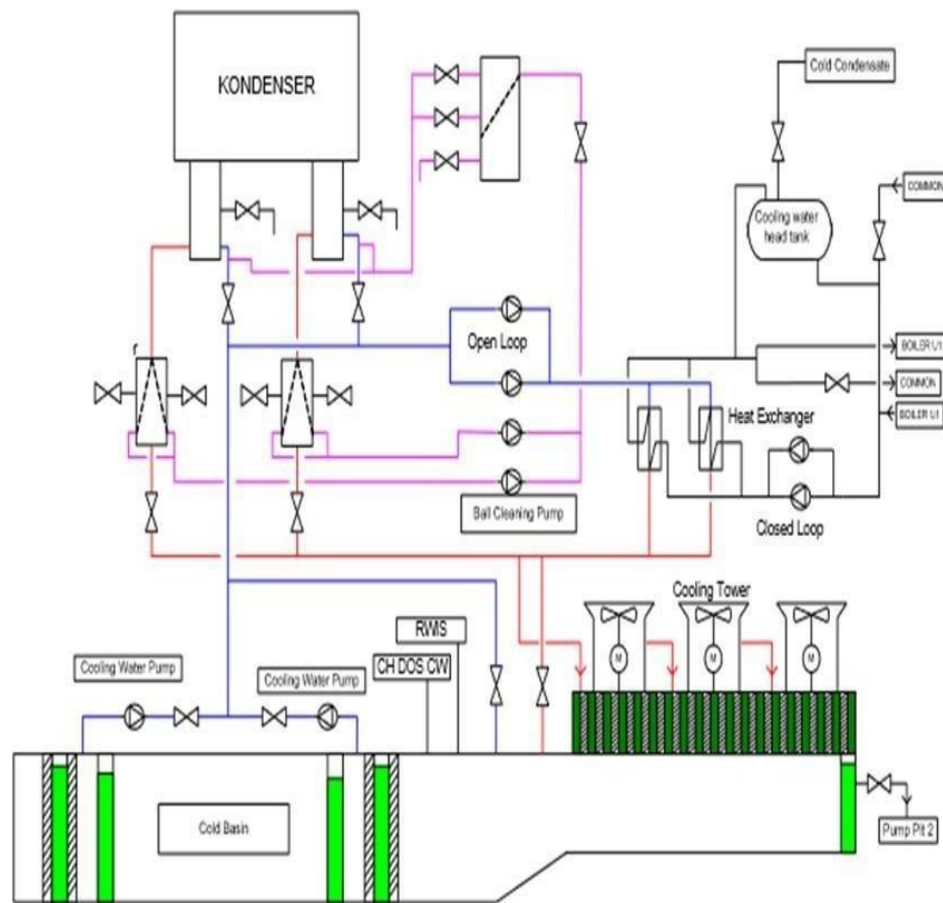
bertipe *Surface Condensor*, Prinsip kerjanya dimana air pendingin yang berasal dari *Cooling tower* dipompa oleh *Cooling Water Pump* yang masuk ke dalam tube kondensor. Kemudian uap panas yang berasal dari keluaran turbin masuk ke kondensor pada sisi *shell* karena perbedaan temperatur antara air pendingin dan uap bekas dari turbin maka terjadilah kondensasi. Uap hasil kondensasi yang berubah wujud menjadi air kondensat kemudian ditampung di dalam *Hotwell*. Sedangkan untuk fluida pendingin yang sudah digunakan untuk mendinginkan uap panas kembali ke *Cooling tower* untuk di dinginkan kembali oleh *Cooling tower fan*, dan siklus ini akan berulang kembali terus menerus selama turbin uap beroperasi.

Keberlangsungan operasional turbin uap sangat bergantung pada kontinuitas pasokan air pendingin. Jika aliran air pendingin terhenti atau tidak tersedia, maka pengoperasian turbin uap harus dihentikan, karena turbin tersebut tidak dapat berfungsi tanpa adanya aliran pendingin ke kondensor.

Tingkat vakum maksimum yang bisa dicapai pada kondensor dipengaruhi oleh jumlah dan suhu air pendingin yang tersedia. Itulah sebabnya, banyak PLTU atau PLTGU berlokasi dekat pantai, karena laut menyediakan air pendingin yang melimpah. Agar perpindahan panas laten dari uap ke air pendingin dapat berjalan optimal, aliran uap bekas yang masuk ke kondensor perlu didistribusikan secara benar.

Sasaran utama air pendingin adalah :

- a. Menjamin ketersediaan air untuk semua jenis operasi di setiap saat (Kontiyu)
- b. Kesiapan dan pengaturan jumlah air yang tepat sehingga memberikan efisiensi pembangkit yang optimal pada seluruh kondisi temperatur air
- c. Pemeliharaannya sedikit dan dapat dilaksanakan secara mudah
- d. Biaya investasi dan biaya operasionalnya rendah



Gambar 2. 13 Diagram Air Sistem Pendingin Utama

(Sumber: PLTU Asam Asam)

2.2.6 Jenis Sistem Air Pendingin

Berdasarkan cara sirkulasinya, ada 2 jenis sistem air pendingin utama yang umum dipakai di pembangkit thermail, yakni :

a. Siklus Terbuka (Once throught)

Siklus terbuka berarti bahwa fluida kerja setelah menjalankan fungsinya tidak dikembalikan ke dalam siklus, melainkan dibuang atau dialihkan keluar dari siklus tersebut. Pada sistem siklus terbuka, air pendingin terus-menerus diambil dari sumber alami yang melimpah, meliputi danau, sungai, ataupun air laut, kemudian dialirkan ke kondensor, dan akhirnya dikembalikan ke sumbernya. Air yang dipompa dialirkan melalui kondensor serta heat exchanger sebelum akhirnya dialirkan ke saluran pembuangan.

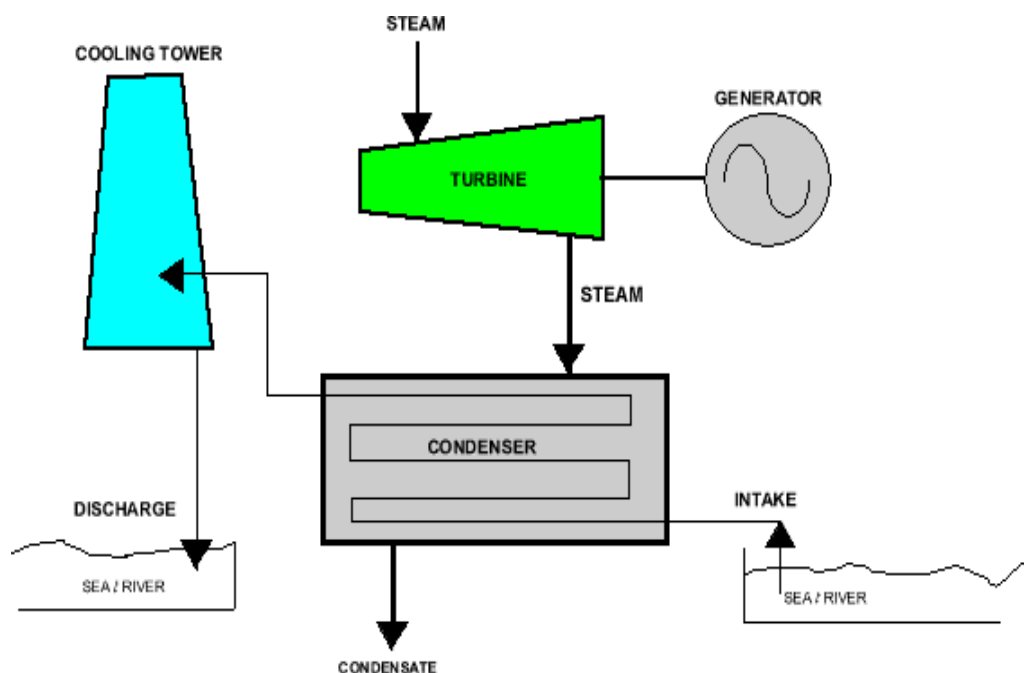
Air yang masuk kedalam sistem siklus terbuka selalu baru sehingga diharapkan dapat memberikan pendinginan yang optimal. Selain itu dengan air yang selalu baru temperatur air masuk dapat dijaga selalu konstan sesuai dengan kondisi temperatur lingkungan.

Beberapa keuntungan sistem air pendingin siklus terbuka dibandingkan dengan siklus tertutup yakni :

- Pengeluaran awal serta biaya operasionalnya lebih ekonomis
- Lebih sedikit jumlah peralatan yang diperlukan
- karena suhu air pendingin yang masuk lebih rendah, sehingga membuat kinerja kondensor bekerja lebih optimal

Sementara itu, kerugian yang ada ialah :

- Kualitas air yang tidak bisa dikendalikan
- Diperlukan izin dari lembaga lingkungan karena bisa menimbulkan polusi
- Air harus selalu ada dalam jumlah yang cukup besar serta terus-menerus



Gambar 2. 14 Sistem Air Pendingin Utama Siklus Terbuka.

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

Dari segi arah air pendingin, komponen pada sistem air pendingin siklus terbuka meliputi :

- ***Saringan-saringan (Screen)***

Dalam sistem siklus terbuka, saringan dibutuhkan untuk menghindari masuknya sampah dan organisme laut ke dalam intake serta pompa. Trash rack dipasang di sisi masuk saringan guna menangkap limbah berukuran besar. Saringan yang terdapat di saluran masuk mencakup tiga jenis, dipasang secara berurutan sesuai arah aliran. Saringan yang pertama adalah saringan apung, diikuti oleh saringan kasar, dan terakhir adalah saringan putar.

- ***Pompa Pendingin air pertama (CWP)***

Pompa air untuk pendinginan diperlukan untuk mengalirkan volume air yang besar dengan tekanan yang relatif rendah. Biasanya, jenis pompa yang dipakai ialah pompa sentrifugal, dan jenisnya yang dipakai meliputi :

- Sentrifugal *double entry*
- Sentrifugal *single entry* (Aliran aksial dan aliran campuran)

Penamaan pompa tersebut didasarkan pada arah aliran air di dalam impeller. Dengan meningkatnya permintaan energi listrik, kapasitas PLTU juga semakin besar, yang berarti kapasitas pompa pendingin yang digunakan juga perlu ditingkatkan.

- ***Intake***

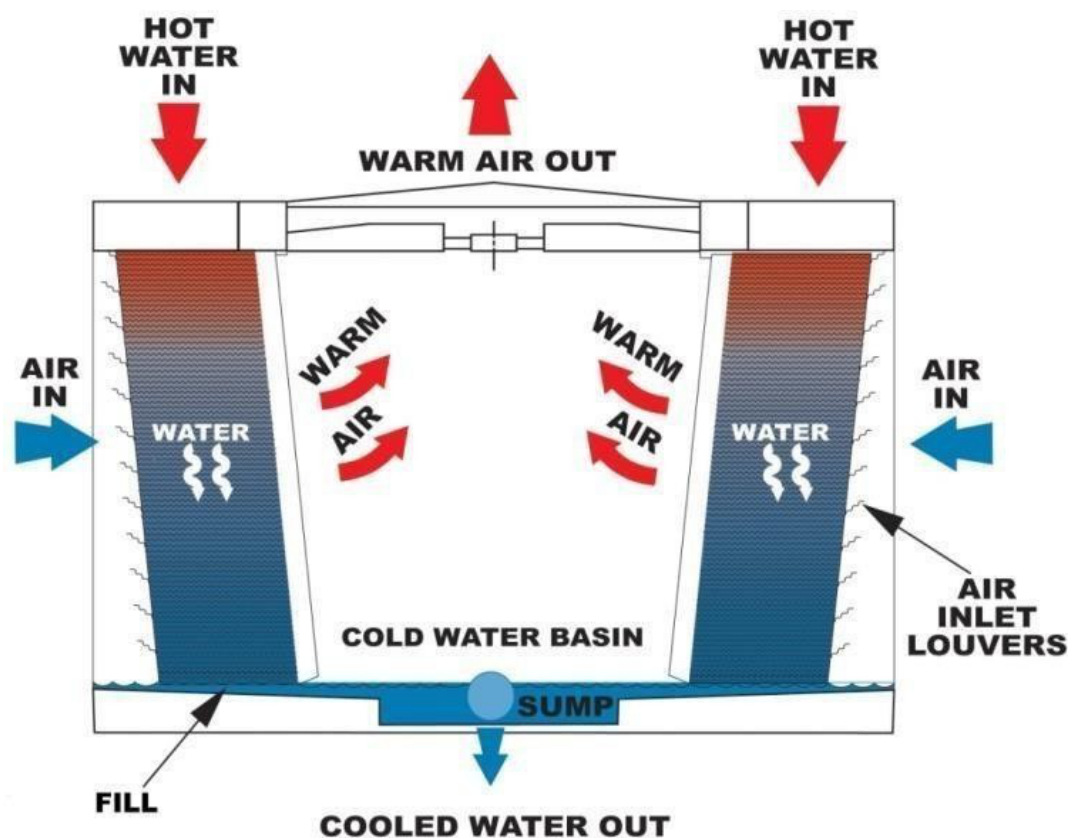
Intake memiliki peran penting dalam menyuplai air ke dalam pompa, sehingga aliran air yang dipompa bisa tersebar dengan baik serta memastikan pompa beroperasi secara optimal. Desain struktur *intake* harus dipertimbangkan agar bisa menunjang pemasangan saringan serta pompa. Selain itu, rancangan intake perlu memenuhi standar lingkungan supaya kecepatan aliran air masuk tetap rendah, guna mengurangi penangkapan ikan serta akumulasi sampah. Dalam sistem dengan siklus terbuka, *intake* biasanya disertai dengan saringan serta *trash rack* (penyaring sampah), di mana *trash rack* perlu mempunyai mekanisme pembersihan untuk membuang sampah, sementara saringan harus disertai sistem pembersihan memakai semprotan air (*spray water*) serta pembuangan ikan.

b. Siklus Tertutup

Sistem pendingin air utama dengan siklus tertutup memakai media pendingin yang serupa dalam sirkulasi tertutup secara berulang. Sistem ini memerlukan lebih tinggi investasi dibandingkan dengan sistem siklus terbuka, sebab memanfaatkan menara pendingin yang lebih tinggi dan lebih mahal.

Biaya operasinya pun lebih tinggi, sebab sistem ini tidak bisa dirancang secara simetris, sehingga memerlukan lebih besar tenaga pemompaan. Bahkan, jika memakai sistem *draft* (tekanan paksa), beberapa kipas perlu dioperasikan secara kontinu.

Meskipun demikian, siklus tertutup adalah solusi yang tepat untuk menghadapi keterbatasan jumlah air yang tersedia. Kehilangan air pendingin pada proses perpindahan panas didalam menara pendingin relative sedikit. Air pendingin yang terbuang ke atmosfer bersama dengan udara yang mendinginkannya.



Gambar 2. 15 Proses Pembuangan Panas pada *Cooling Tower*

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

Siklusnya melibatkan pemompaan air pendingin dari *reservoir* menara pendingin (*Cooling Tower*) ke kondensor melalui pompa air pendingin utama (CWP) guna menurunkan suhu uap bekas turbin, sehingga uap tersebut mengalami proses kondensasi. Akibat penyerapan panas pada kondensor, suhu yang keluar dari kondensor akan meningkat. Air pendingin dari kondensor kemudian dialirkan ke menara pendingin untuk didinginkan. Setelah mengalami pendinginan didalam menara, air pendingin ditampung dalam bak dibawah menara. Air ini akan di pompa dengan pompa pendingin untuk digunakan lagi sebagai pendingin kondensor, demikian seterusnya air pendingin bersirkulasi secara tertutup.

2.2.7 Tata letak dan bagian-bagian siklus tertutup

Air pendingin yang digunakan pada siklus tertutup relative bersih dibandingkan dengan air pendingin siklus terbuka. Oleh karena itu saringan yang digunakan tidak sebanyak dalam siklus terbuka. Lokasi menara pendingin biasanya terletak terpisah agak jauh dari bangunan mesin pembangkit agar memperoleh udara pendingin yang cukup.

Pada *intake* siklus tertutup tidak diperlukan sistem pembersih saringan dan saluran masuk pompa juga lebih sederhana.

Sebagian besar peralatan pada sistem air pendingin dengan siklus tertutup ialah serupa dengan peralatan yang terpasang pada siklus terbuka seperti pompa air pendingin, Kondensor, dan *Auxiliary cooling water head exchanger*. Perbedaannya ada pada menara pendingin (*Cooling tower*) yang tidak ada dalam sistem air pendingin siklus terbuka.

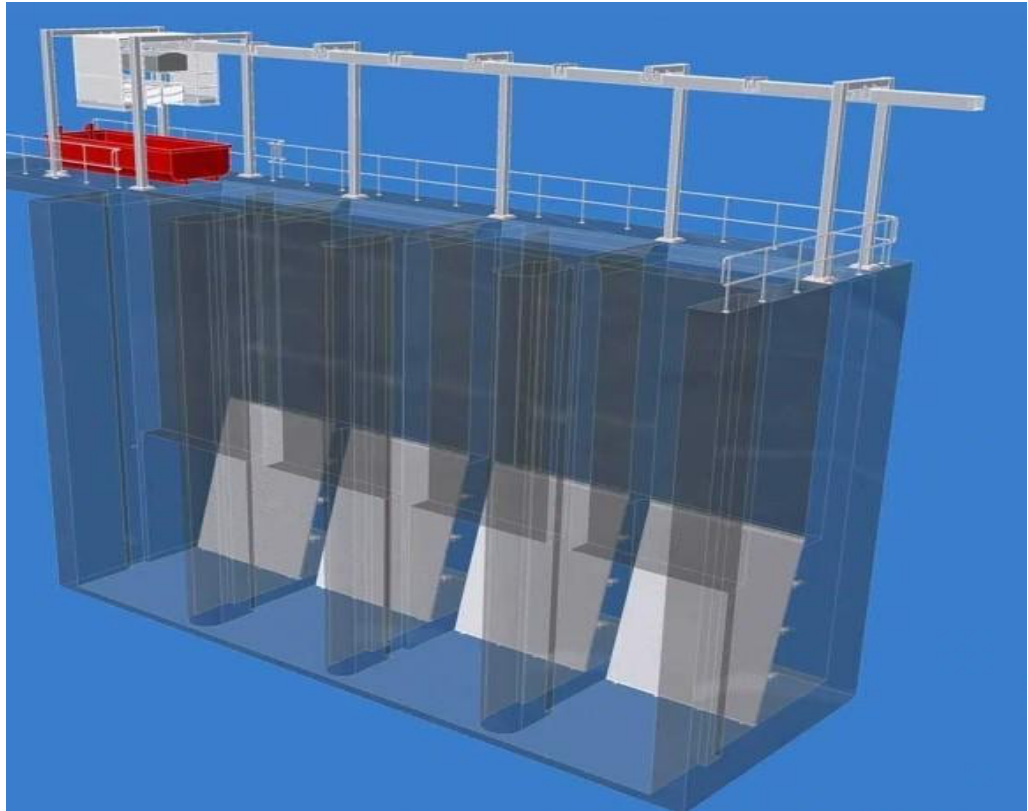
Pada siklus tertutup dilengkapi dengan sistem air penambah untuk menggantikan air yang terbuang di menara pendingin. Penambahan air dilakukan secara kontinyu pada saat sistem beroperasi.

2.2.8 Jenis- jenis *Debris Filter*

Debris filter merupakan komponen penting dalam sistem *Raw Water Intake* yang berfungsi untuk menyaring dan menghilangkan material padat seperti sampah

organik, plastik, sedimen, daun hingga biota air yang dapat mengganggu kinerja pompa air baku serta mengurangi efisiensi sistem pendingin pada pembangkit listrik, mulai dari penyaringan kasar hingga penyaringa halus. Berikut merupakan jenis-jenis *debris filter* yang umum digunakan pada pembangkit.

1. *Bar Screen (Coarse Screen/Trash Rack)*



Gambar 2. 16 *Bar Screen*

Bar Screen atau yang sering disebut sebagai *Coarse Screen (Trash Rack)* merupakan alat penyaringan awal pada sistem *Raw Water Intake (RWI)* sebelum air masuk ke tahap penyaringan berikutnya seperti *debris filter*. Peralatan ini berfungsi untuk menahan material berukuran besar seperti kayu, ranting, sampah plastik, daun, serta benda padat lainnya yang terbawa oleh aliran air bak. Dengan adanya *bar screen*, material berukuran besar dapat dicegah masuk ke dalam sistem *intake* sehingga dapat melindungi peralatan berikutnya seperti pompa pendingin dan *debris filter* dari potensi kerusakan maupun penyumbatan.

Bar screen terdiri dari susunan batang baja atau logam yang dipasang secara vertikal maupun miring dengan jarak antar batang tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem penyaringan. Material *debris* yang tertahan pada permukaan *bar screen* biasanya akan dibersihkan secara manual maupun menggunakan sistem pembersih mekanis agar tidak menghambat aliran air masuk. Apabila terjadi penumpukan *debris* pada *bar screen*, maka dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas aliran air menuju sistem *Raw Water Intake*.

2. *Mechanical Bar Screen (Automatic Screen)*



Gambar 2. 17 *Mechanical Bar Screen*

Mechanical Bar Screen atau yang dikenal sebagai *Automatic Screen* merupakan pengembangan dari *bar screen* konvensional yang dilengkapi dengan sistem pembersihan otomatis untuk meningkatkan efektivitas proses penyaringan pada sistem *Raw Water Intake* (RWI). Peralatan ini berfungsi untuk menyaring material kotoran berukuran besar hingga sedang seperti sampah, daun, ranting, plastik, maupun material padat lainnya yang terbawa oleh aliran air baku sebelum

masuk ke peralatan penyaringan berikutnya. Penggunaan *mechanical bar screen* bertujuan untuk menjaga kontinuitas aliran air pendingin agar tetap stabil tanpa harus bergantung sepenuhnya pada proses pembersihan manual.

Mechanical bar screen menggunakan mekanisme penggerak berupa motor dan rantai atau *rake system* yang bergerak secara otomatis untuk mengangkat material *debris* yang menempel pada permukaan. Material *debris* yang terangkat kemudian diarahkan menuju sistem conveyor sehingga tidak kembali masuk ke aliran air.

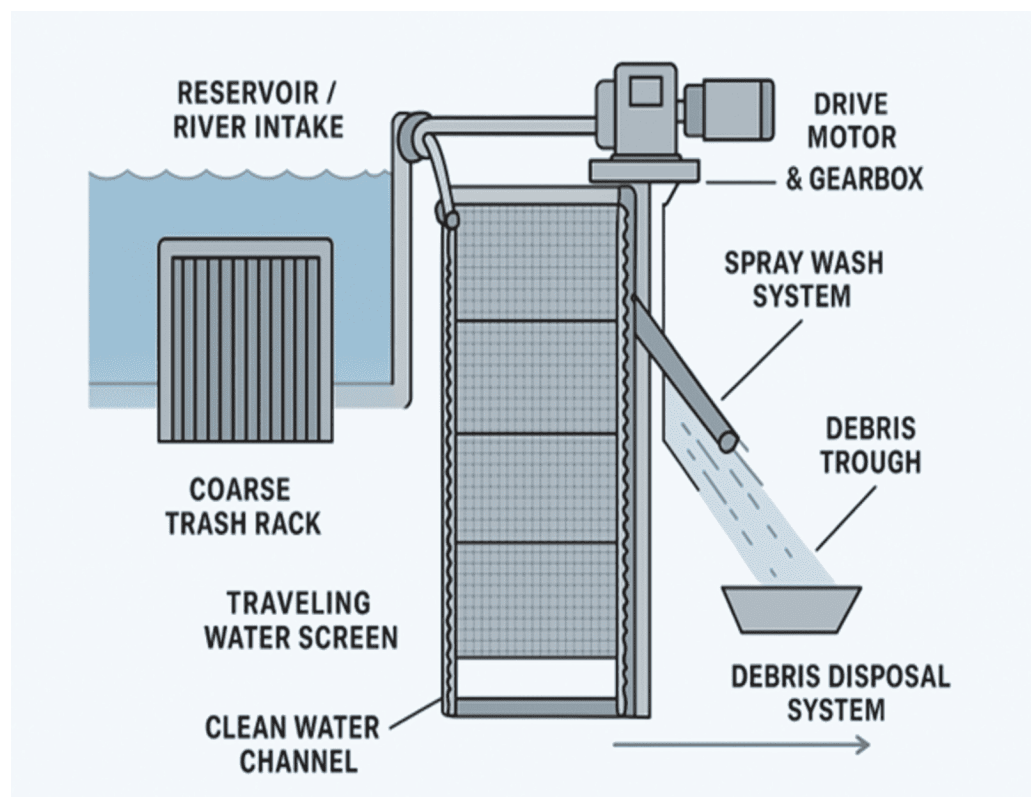
Mechanical bar screen sangat membantu dalam mengurangi beban kerja *debris filter* karena sebagian besar material kotoran telah tersaring pada tahap awal. Apabila sistem otomatis ini mengalami gangguan, seperti kerusakan motor penggerak, penyumbatan rake, atau penumpukan *debris* yang berlebihan, maka proses penyaringan menjadi tidak optimal. Kondisi tersebut dapat menyebabkan meningkatnya jumlah material yang lolos ke tahap penyaringan berikutnya dan berpotensi meningkatkan nilai *differential pressure* (ΔP) pada debris filter.

Oleh karena itu, kegiatan inspeksi rutin, pelumasan komponen mekanis, serta pengecekan sistem penggerak perlu dilakukan secara berkala agar *mechanical bar screen* dapat bekerja optimal. Dengan kinerja *automatic screen* yang baik, sistem *Raw Water Intake* dapat menjaga kelancaran suplai air pendingin sehingga mendukung keandalan dan stabilitas operasi.

3. *Traveling Water Screen (TWS)*

Traveling Water Screen (TWS) merupakan salah satu peralatan penyaringan lanjutan pada sistem *Raw Water Intake (RWI)* yang berfungsi untuk menyaring material kotoran berukuran kecil hingga sedang sebelum air dialirkan menuju sistem pendingin pembangkit. Peralatan ini umumnya dipasang setelah *bar screen* atau *mechanical bar screen* sebagai tahap penyaringan berikutnya untuk memastikan air yang masuk ke sistem memiliki tingkat kebersihan yang lebih baik. *Traveling Water Screen* berfungsi penting dalam melindungi peralatan *downstream* seperti pompa pendingin, kondensor, serta *heat exchanger* dari potensi penyumbatan maupun kerusakan akibat masuknya material asing.

Traveling Water Screen menggunakan rangkaian *screen* yang terpasang pada sistem rantai (*chain drive*) yang bergerak secara berputar atau kontinu. Ketika air mengalir melewati *screen*, debris seperti daun, rumput air, plastik kecil, maupun sedimen akan tertahan pada permukaan *screen*. Selanjutnya, *screen* yang bergerak akan membawa *debris* tersebut menuju bagian atas sistem untuk dibersihkan menggunakan *spray water nozzle* bertekanan tinggi. *Debris* yang telah terlepas kemudian diarahkan menuju saluran pembuangan sehingga tidak kembali masuk ke sistem *intake*.



Gambar 2. 18 *Traveling Water Screen*

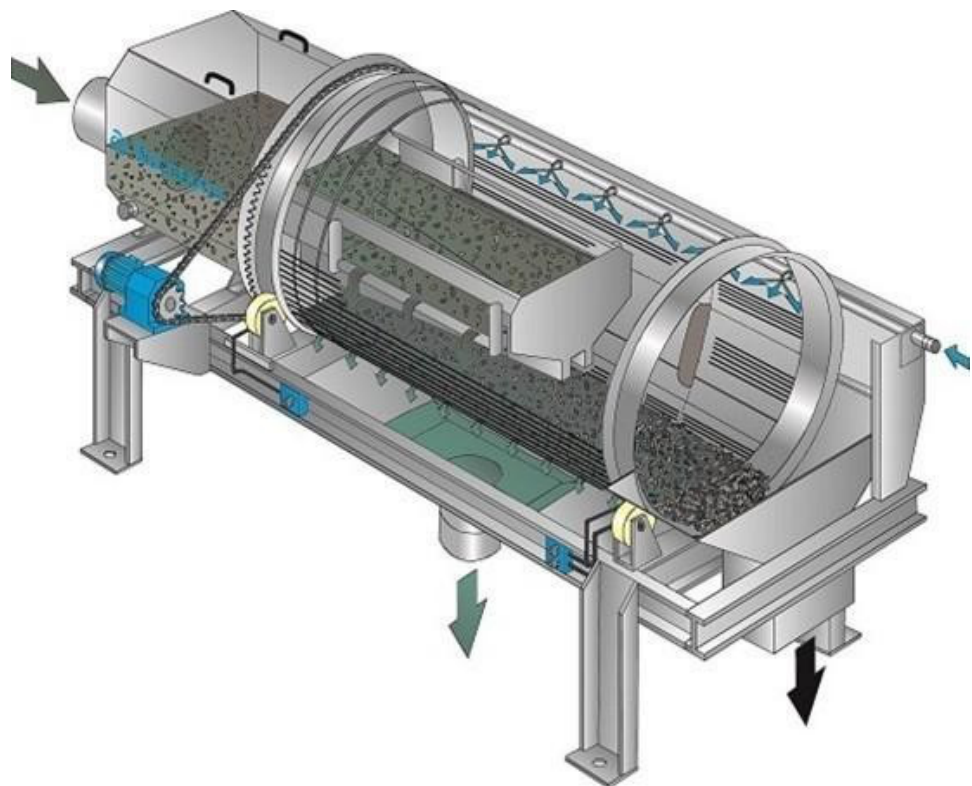
4. Drum Screen / Rotary Dreum Filter

Drum Screen merupakan salah satu peralatan penyaringan pada sistem *Raw Water Intake* (RWI) yang digunakan untuk menyaring material *debris* yang berukuran kecil hingga sedang sebelum air masuk ke sistem pendingin pembangkit. Peralatan ini berbentuk silinder atau *drum* yang dilengkapi dengan media penyaring pada seluruh permukaannya dan berputar secara kontinyu selama proses operasi

berlangsung. *Drum screen* berfungsi untuk mengurangi jumlah material *debris* seperti daun, rumput air, plastik kecil, maupun partikel padat lainnya agar tidak masuk ke peralatan seperti pompa pendingin dan kondensor.

Prinsip kerja *drum screen* yaitu air baku mengalir melewati permukaan *drum* yang berputar sehingga material *debris* akan tertahan pada bagian luar *screen*. Seiring dengan perputaran *drum*, *debris* yang menempel akan terbawa menuju bagian atas sistem dan kemudian dibersihkan menggunakan sistem *spray nozzle* bertekanan. Material kotor yang telah terlepas selanjutnya dialirkan menuju saluran pembuangan sehingga tidak kembali masuk ke aliran air intake.

Kinerja *drum screen* sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan jumlah *debris* yang masuk ke sistem *intake*. Jika terjadi penumpukan kotoran pada permukaan *screen* atau sistem pembersihan tidak bekerja secara optimal, maka hambatan aliran air akan meningkat. Kondisi tersebut dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas aliran air pendingin serta berpotensi meningkatkan nilai *differential pressure* (ΔP) pada sistem penyaringan berikutnya.

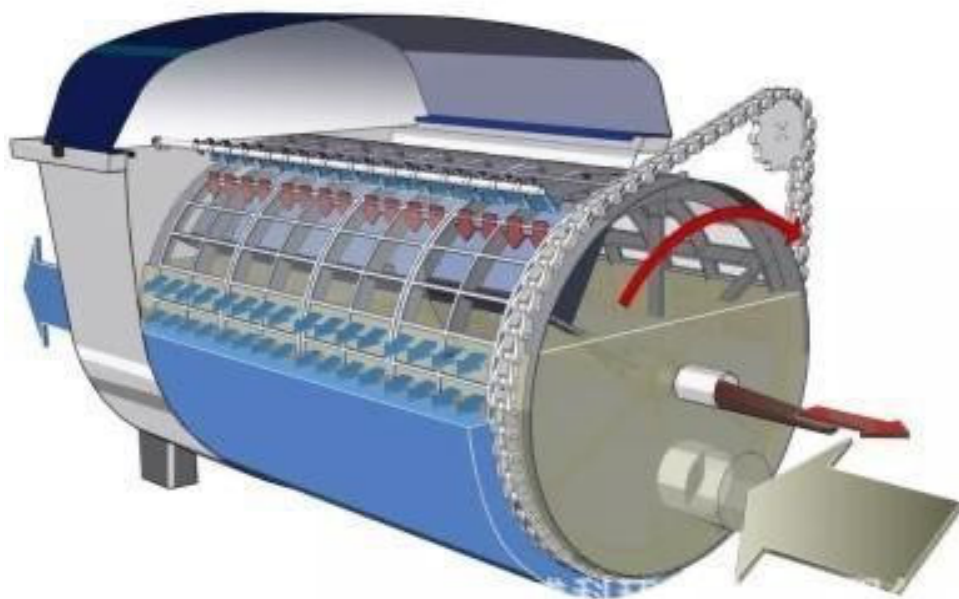


Gambar 2. 19 *Drum Screen*

5. *Fine Screen / Micro Strainer*

Fine Screen atau *Micro Strainer* merupakan peralatan penyaringan lanjutan pada sistem *Raw Water Intake* (RWI) yang berfungsi untuk menyaring partikel kotoran berukuran lebih kecil yang masih lolos dari proses penyaringan sebelumnya, seperti *bar screen*, *traveling water screen*, atau *drum screen*. Peralatan ini memiliki tingkat penyaringan yang lebih kecil untuk mampu menahan partikel kecil seperti lumpur halus, ganggang, serat organik, serta material ringan lainnya yang berpotensi masuk ke sistem pendingin pembangkit.

Fine screen atau *micro strainer* menggunakan media penyaring dengan ukuran lubang (*mesh*) yang lebih kecil dibandingkan *screen* sebelumnya. Air baku akan melewati permukaan media penyaring sehingga partikel-partikel kecil akan tertahan pada *screen*. Untuk menjaga agar penyaringan tetap berjalan optimal, peralatan ini biasanya dilengkapi dengan sistem pembersihan otomatis menggunakan *backwash* atau *spray water system* yang berfungsi membersihkan permukaan *screen* dari material *debris* yang menempel.



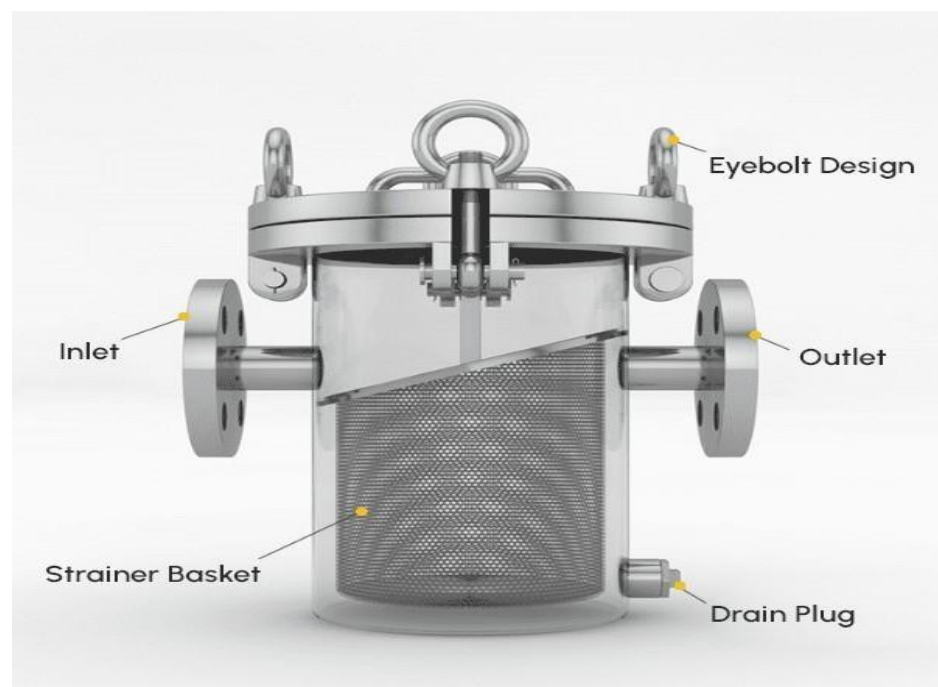
Gambar 2. 20 *Fine Screen*

6. *Basket Strainer (inline debris filter)*

Basket Strainer atau bisa disebut juga sebagai *inline debris filter* merupakan peralatan penyaringan yang dipasang langsung pada jalur pipa aliran air pendingin untuk menangkap material kotoran yang masih terbawa setelah melewati proses penyaringan sebelumnya. Peralatan ini berfungsi sebagai penyaringan tambahan guna melindungi peralatan *downstream* seperti pompa, *heat exchanger*, maupun kondensor dari potensi penyumbatan atau kerusakan akibat masuknya partikel padat ke dalam sistem.

Basket Strainer terdiri dari sebuah *housing* yang di dalamnya terdapat media penyaring berbentuk keranjang dengan lubang tertentu sesuai kebutuhan sistem. Air pendingin yang mengalir melalui pipa akan melewati media penyaring tersebut sehingga partikel *debris* seperti serpihan material, lumpur kasar akan tertahan di dalam basket. Seiring waktu operasi, material *debris* yang tertahan akan semakin menumpuk dan dapat menyebabkan meningkatnya hambatan aliran.

Penyumbatan pada *basket strainer* dapat menyebabkan peningkatan nilai *differential pressure* (ΔP) antara sisi inlet dan outlet filter. Kenaikan ΔP ini menjadi indikator bahwa media penyaring telah dipenuhi oleh *debris* dan memerlukan tindakan pemeliharaan berupa pembersihan atau penggantian basket.



Gambar 2. 21 *Basket Strainer*

2.2.9 Peralatan dalam *Debris filter* RWI

Sistem *debris filter* pada *Raw Water Intake* (RWI) dirancang agar proses penyaringan dapat berlangsung secara optimal dan berkelanjutan selama unit pembangkit beroperasi. Untuk mendukung fungsi tersebut, *debris filter* dilengkapi dengan beberapa komponen yang saling terintegrasi dalam proses penyaringan, pembersihan, dan pengendalian operasi peralatan. Komponen tersebut meliputi *filter screen* sebagai media penyaring utama, motor penggerak dan *gear box* sebagai sistem penggerak mekanisme *filter*, *backwash pump* yang berfungsi membersihkan permukaan *screen*, *differential pressure transmitter* sebagai alat monitoring kondisi *filter*, *control panel* sebagai pusat pengendalian sistem, *inlet* dan *outlet valve* untuk mengatur aliran air, serta *drain system* yang berfungsi membuang air dan material *debris* hasil pembersihan. Seluruh komponen tersebut bekerja secara bersamaan untuk memastikan material kotoran dapat terfilter dengan baik sehingga aliran air menuju *Cooling Water Pump* (CWP) dan kondensor tetap lancar serta mampu menjaga kinerja sistem pendingin.

1. *Filter Screen*



Gambar 2. 22 *Screen Debris Filter*

Filter Screen merupakan bagian utama dari *debris filter* yang berbentuk silinder dan berputar secara perlahan. Desain *screen* berbentuk setengah silinder (*half-cylinder*) memberikan luas permukaan penyaringan yang lebih besar sekaligus mampu mengurangi penurunan tekanan (*pressure drop*) secara keseluruhan. Ukuran standar kesempurnaan penyaringan (*perforasi*) adalah sekitar 6–7 mm. Desain *screen* dari JIMC memiliki tingkat area terbuka (*open area*) sebesar 50 hingga 80%.

Filter Screen merupakan salah satu komponen penyaringan pada sistem *Raw Water Intake* (RWI) yang berfungsi untuk menyaring material *debris* yang terbawa oleh aliran air baku sebelum masuk ke sistem pendingin. Peralatan ini berperan penting dalam menjaga kualitas air pendingin agar terbebas dari partikel padat seperti daun, plastik, lumpur, maupun material *debris* lainnya yang dapat menyebabkan gangguan pada peralatan.

Prinsip kerja *filter screen* bekerja dengan cara menahan material kotoran pada permukaan media penyaring ketika air mengalir melewatinya. Air yang telah melewati *filter screen* akan memiliki tingkat kebersihan yang lebih baik sehingga risiko penyumbatan pada pompa pendingin maupun sistem kondensor dapat diminimalkan.

Performa *filter screen* sangat dipengaruhi oleh *debris* yang masuk ke sistem intake. Penumpukan *debris* pada permukaan *screen* dapat menyebabkan meningkatnya hambatan aliran air yang ditandai dengan kenaikan *differential pressure* (ΔP) antara sisi masuk dan keluar filter. Apabila *differential pressure* ΔP terus meningkat, maka kapasitas aliran air pendingin dapat menurun dan berpotensi mengganggu kestabilan operasi.

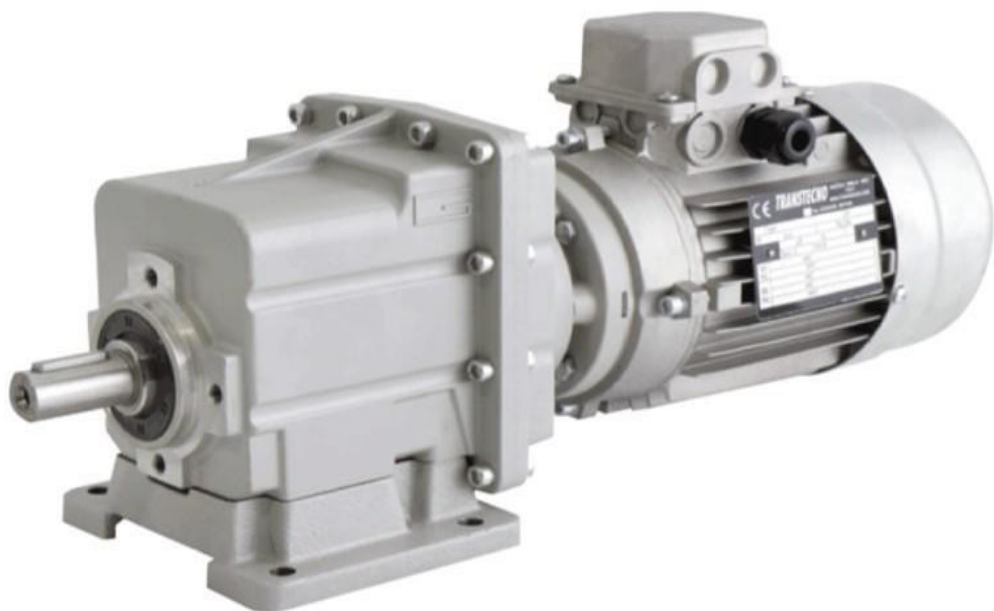
2. Motor Penggerak dan Gear box

Motor penggerak dan *gear box* adalah komponen pada sistem pengoperasian peralatan penyaringan di sistem *Raw Water Intake* (RWI) yang berfungsi untuk menggerakkan mekanisme *filter* secara otomatis. Motor penggerak digunakan

sebagai sumber tenaga untuk memutar atau menggerakkan bagian *filter*, seperti *screen* atau rotor pembersih *debris*, sehingga proses penyaringan dan pembersihan kotoran dapat berlangsung secara kontinu selama sistem beroperasi.

Motor penggerak bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang kemudian diteruskan ke *gear box*. *Gear box* berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran serta meningkatkan torsi yang dibutuhkan agar sistem *filter* mampu beroperasi secara stabil meskipun menerima beban akibat penumpukan material *debris*. Dengan adanya *gear box*, putaran motor yang relatif tinggi dapat diturunkan menjadi putaran yang lebih sesuai dengan kebutuhan mekanisme *filter* sehingga peralatan dapat bekerja secara lebih efektif dan aman.

Apabila terjadi gangguan seperti keausan *gear*, pelumasan yang kurang optimal, atau kerusakan pada motor, maka putaran filter dapat melambat atau bahkan berhenti. Kondisi tersebut dapat menyebabkan *debris* menumpuk pada permukaan *screen* dan meningkatkan hambatan aliran air yang ditandai dengan kenaikan nilai *differential pressure* (ΔP) pada sistem penyaringan.



Gambar 2. 23 Motor Penggerak dan Gear Box

3. *Backwash Pump*

Backwash Pump merupakan salah satu komponen pendukung pada sistem penyaringan di Raw Water Intake (RWI) yang berfungsi membantu proses pembersihan media filter dari material debris yang menempel selama proses operasi berlangsung. Pompa ini digunakan untuk menghasilkan aliran air bertekanan yang diarahkan kembali ke permukaan screen sehingga kotoran yang menempel dapat terlepas dan terbawa menuju saluran pembuangan.

Prinsip kerja backwash pump yaitu dengan mengalirkan air bertekanan melalui sistem pipa dan nozzle menuju bagian filter yang mengalami penumpukan debris. Proses backwash ini bertujuan untuk menjaga agar permukaan screen tetap bersih dan tidak terjadi penyumbatan yang dapat menghambat aliran air masuk ke sistem pendingin. Dengan adanya sistem backwash, proses pembersihan dapat dilakukan secara otomatis tanpa harus menghentikan operasi sistem intake.

kinerja backwash pump sangat berpengaruh terhadap efektivitas proses pembersihan filter. Apabila tekanan pompa menurun atau terjadi gangguan seperti penyumbatan pada jalur pipa ataupun nozzle, maka proses pembersihan debris menjadi kurang optimal.

Oleh karena itu, pemeliharaan backwash pump perlu dilakukan secara rutin melalui pemeriksaan performa pompa, pengecekan tekanan operasi, inspeksi kondisi impeller, serta memastikan sistem nozzle bekerja dengan baik. Dengan kinerja *backwash pump* yang optimal, proses pembersihan filter dapat berjalan secara efektif sehingga aliran air tetap stabil dan mendukung keandalan operasi sistem *Raw Water Intake*.



Gambar 2. 24 *Backwash Pump*

4. Differential Pressure Transmitter



Gambar 2. 25 *Differential pressure transmitter*

Differential Pressure Transmitter (DP Transmitter) merupakan alat pengukuran yang digunakan untuk memonitor perbedaan tekanan antara sisi *inlet* dan *outlet* pada sistem penyaringan di *Raw Water Intake* (RWI). Alat ini berperan penting dalam mengetahui kondisi operasional *filter*, terutama untuk mendeteksi adanya hambatan aliran yang disebabkan oleh penumpukan material *debris* pada permukaan *screen* atau *filter*.

Prinsip kerja *differential pressure transmitter* adalah dengan mengukur selisih tekanan *fluida* pada dua titik yang berbeda, yaitu sebelum dan sesudah *filter*. Ketika kondisi *filter* masih bersih, perbedaan tekanan yang terjadi relatif kecil karena aliran air dapat melewati media penyaring dengan lancar. Seiring dengan bertambahnya *debris* yang tertahan pada *filter*, hambatan aliran akan meningkat sehingga *differential pressure* (ΔP) mengalami kenaikan. Nilai *differential pressure* ΔP yang digunakan sebagai indikator untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan.

Data yang dihasilkan oleh *DP transmitter* biasanya terhubung dengan sistem *monitoring* seperti DCS (*Distributed Control System*) sehingga operator dapat memantau kondisi filter secara real time dari ruang kontrol. Apabila *differential pressure* ΔP melebihi batas operasi yang ditentukan, maka sistem dapat memberikan alarm sebagai tanda bahwa filter memerlukan tindakan pembersihan atau inspeksi lebih lanjut.

Oleh karena itu, keandalan *differential pressure transmitter* sangat penting untuk menjaga efektivitas sistem pemeliharaan. Kegiatan pemeliharaan instrumen seperti kalibrasi berkala, pengecekan impulse line, serta memastikan sensor tidak mengalami penyumbatan perlu dilakukan secara rutin. Dengan pengukuran *differential pressure* ΔP yang akurat, kondisi *debris* filter dapat dipantau dengan baik sehingga kelancaran aliran air pendingin tetap terjaga dan beroperasi optimal.

5. Control Panel

Control Panel merupakan bagian penting dalam sistem pengoperasian

peralatan penyaringan pada *Raw Water Intake* (RWI) yang berfungsi sebagai pusat kontrol dan monitoring seluruh komponen peralatan, seperti motor penggerak *filter*, *backwash pump*, dan sistem pembersihan otomatis lainnya. Melalui *control panel*, operator dapat mengoperasikan peralatan secara manual maupun otomatis sesuai dengan kebutuhan kondisi operasi di lapangan.

Control panel terdiri dari beberapa komponen utama seperti tombol kontrol (*start-stop*), indikator operasi, relay, kontaktor, sistem proteksi listrik, serta perangkat untuk monitoring parameter operasi. Panel ini juga terintegrasi dengan sistem kontrol pembangkit *Distributed Control System* (DCS) sehingga kondisi peralatan dapat dipantau secara *real time* dari ruang kontrol. Informasi yang ditampilkan meliputi status operasi peralatan, alarm gangguan, serta parameter penting seperti nilai *differential pressure* (ΔP) pada sistem filter.

Apabila terjadi gangguan pada sistem kontrol, seperti kegagalan sinyal, kerusakan komponen listrik, atau sistem otomatis yang tidak berfungsi, maka proses pembersihan *filter* dapat terganggu. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penumpukan *debris* pada *filter* yang akan meningkatkan hambatan aliran air.



Gambar 2. 26 *Control panel*

6. *Inlet dan Outlet valve*

Inlet valve dan *outlet valve* merupakan komponen penting pada sistem aliran air di *Raw Water Intake* (RWI) yang berfungsi untuk mengatur masuk dan keluarnya aliran air melalui peralatan penyaringan, termasuk *debris filter*. *Inlet valve* berada pada sisi masuk aliran air menuju *filter*, sedangkan *outlet valve* terpasang pada sisi keluar *filter*. Kedua valve ini memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan aliran serta mendukung proses operasi maupun kegiatan pemeliharaan peralatan.

Valve bekerja dengan membuka atau menutup jalur aliran sesuai kebutuhan operasi. Pada kondisi normal, *inlet* dan *outlet valve* berada pada posisi terbuka agar air dapat mengalir secara kontinu menuju sistem pendingin. Namun ketika dilakukan kegiatan pemeliharaan seperti pembersihan *filter*, *valve* dapat ditutup untuk menghentikan aliran dan mengisolasi peralatan sehingga proses pemeliharaan dapat dilakukan dengan aman.

Kondisi *inlet* dan *outlet valve* yang tidak bekerja optimal dapat memengaruhi kestabilan aliran air pendingin. Misalnya, apabila *valve* tidak terbuka sepenuhnya atau mengalami kerusakan seperti kebocoran dan keausan, maka hambatan aliran dapat meningkat.





Gambar 2. 27 *Inlet dan outlet valve*

7. Drain System

Drain System merupakan bagian pendukung pada sistem *Raw Water Intake* (RWI) yang berfungsi untuk mengalirkan dan membuang air sisa beserta kotoran hasil proses pembersihan filter maupun saat kegiatan pemeliharaan peralatan dilakukan. Sistem ini sangat penting terutama ketika dilakukan proses pembersihan *debris filter*, *backwash*, maupun *draining* peralatan agar area kerja tetap aman dan tidak terjadi penumpukan air di dalam sistem.

Drain system bekerja dengan mengalirkan air dan material *debris* melalui jalur pipa pembuangan menuju saluran *drain* yang telah disediakan. Pada saat *filter* dibersihkan atau dilakukan isolasi peralatan menggunakan valve, air yang masih berada di dalam *housing filter* akan dialirkan keluar melewati *drain*. Hal ini bertujuan untuk mengurangi tekanan di dalam peralatan serta mempermudah proses inspeksi dan pemeliharaan.

Kondisi *drain system* yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan proses pembersihan *debris filter* menjadi kurang optimal. Penyumbatan pada jalur *drain* atau *valve drain* yang tidak bekerja dengan baik dapat menghambat

pembuangan *debris* sehingga material *debris* berpotensi kembali menumpuk pada sistem *filter*.

Kegiatan pemeliharaan *drain system* perlu dilakukan secara rutin melalui pengecekan jalur pipa drain, pembersihan endapan *debris*, serta memastikan *valve drain* dapat beroperasi dengan optimal. Dengan sistem *drain* yang bekerja optimal, proses pemeliharaan filter dapat dilakukan secara lebih efektif sehingga kebersihan peralatan terjaga dan kinerja sistem *Raw Water Intake* beroperasi secara optimal.



Gambar 2. 28 *Drain system*

2.2.10 Data Spesifikasi debris filter raw water intake (RWI)

Data spesifikasi Debris Filter Raw Water Intake (RWI) bisa dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.1 Spesifikasi Debris Filter Raw Water Intake (RWI) Asam asam

Keterangan	Spesifikasi
Nama peralatan	<i>Debris Filter</i>
No Equipment	00PBB12AT001
Kode & spesifikasi	<i>ASME Sec. VIII Div.1, 2017 Edition</i>
Tekanan Rancang (<i>design pressure</i>)	6 barg & Full Vacuum
Temperature Rancang (<i>design temperature</i>)	50 °C
Jenis Layanan (<i>service</i>)	<i>Brackish Water</i> (air payau)
Tekanan Uji Hidrostatik (<i>hydro test pressure</i>)	9 barg
Diameter nominal	DN 500
Berat Bersih	1.450 kg
Volume	0,8 m ³
Ketebalan Dinding	10 mm
Jenis	<i>Perforated</i>
Pabrikan	<i>Jeongwoo Industrial Machine Co., Ltd</i>
Engineering	<i>Hyundai Engineering Co., Ltd</i>
Pemilik	PT PLN (Persero)

2.2.11 Data dan Pembahasan

Debris Filter Raw Water Intake (RWI) adalah alat yang berfungsi untuk menyaring kotoran atau material padat yang berukuran besar yang terbawa dari air sungai sebelum air tersebut dialirkan menuju kesistem pendingin (*Cooling Water System*).

Tujuan utama pemasangan *debris filter* adalah untuk melindungi pompa air pendingin (*Cooling Water Pump*) dan kondensor dari risiko kerusakan akibat masuknya material asing.

Kinerja *debris filter* sangat menentukan kualitas air pendingin dan berpengaruh langsung terhadap efisiensi pendingin dan keandalan pompa CWP (*cooling water pump*).

Analisis kinerja berdasarkan spesifikasi teknis :

a. Kapasitas dan ukuran

Debris filter dengan diameter DN500 dan volume 0,8 m³ menunjukkan bahwa alat tersebut dirancang untuk debit air sedang hingga besar sesuai dengan kebutuhan sistem pendingin di PLTU Asam Asam unit 5 dan 6. Ukuran ini memungkinkan proses penyaringan tanpa hambatan yang signifikan terhadap laju aliran air. Dengan kapasitas tersebut filter mampu bekerja secara terus menerus dan menjaga agar tidak terjadi penumpukan kotoran pada inlet sistem pendingin.

b. Tekanan sudah ketahanan

Spesifikasi dengan *pressure* 6 barg dan *full vacuum* menunjukkan bahwa *debris filter* dapat bekerja dalam kondisi tekanan air normal ataupun ketika terjadi kevakuman disisi hisap pompa. Kondisi ini umum terjadi saat sistem RWI melakukan proses *start-up* atau *backwash*.

Hydro test pressure 9 barg menunjukkan bahwa alat ini telah diuji dengan tekanan 1,5 kali dari tekanan rancangannya dan aman digunakan dalam jangka panjang.

c. Kondisi – air payau (*brackish water*)

Penggunaan. Air payau mengandung risiko yang cukup tinggi karena kadar garam dan mineral. Oleh sebab itu, *debris filter* ini menggunakan material dengan ketebalan *shell* 10 mm dan jenis *perfoated* dari bahan *stainless steel*. Kontruksi ini dirancang agar mampu bertahan terhadap air payau dan meminimalkan perawatan akibat korosi dan penyumbatan.

d. Desain perforated dan efisiensi penyaringan

Desain *perforated* berarti bagian dalam filter menggunakan lembaran berlubang yang berfungsi menyaring material berukuran lebih besar dari lubang filter.

Jenis filter ini efisien untuk menahan benda-benda seperti :

- Daun dan rumput laut
- Plastik, kain, atau kotoran organik
- Batu kecil dan lumpur padat

Sistem ini bekerja dengan pembersihan otomatis (*auto backwash*) menggunakan air bertekanan , menjaga filter tetap bersih dan tidak mengalami penurunan performa.

e. Efisiensi operasional dan pengaruh terhadap sistem. Kinerja *debris filter* yang baik berdampak pada :

1. Peningkatan umur pompa dan kondensor karena tidak terpapar benda asing
2. Stabilitasnya debit air pendingin tanda adanya gangguan akibat penyumbatan
3. Efisiensi termal sistem pendingin meningkat karena air yang masuk ke kondensor lebih bersih dan lebih lancar
4. Perawatan sistem lebih mudah karena debris filter tidak menumpuk di *downstream pipeline*.

Jika filter mengalami penurunan efisiensi, maka perbedaan tekanan (ΔP) antara inlet dan outlet akan meningkat, ini menjadi indikasi bahwa sistem perlu melakukan *backwash* secara otomatis atau pembersihan manual.

f. Kinerja struktur dan keandalan

Dengan berat 1.450 kg dan volume 0,8 m³ konstruksi *debris filter* ini cukup kuat. Pabrikan *Jeongwoo Industrial Machine Co., Ltd* dan dukungan *engineering* dari *Hyundai Engineering* memberikan jaminan mutu bahwa peralatan ini dibuat berdasarkan *ASME Section VIII Div.1* yaitu standar internasional untuk peralatan bertekanan.

Hal ini menunjukkan bahwa *debris filter* ini memiliki :

- Kinerja yang stabil dalam jangka waktu yang panjang
- Keamanan tinggi terhadap tekanan dan getaran
- Ketahanan terhadap korosi dan kondisi ekstrem di lingkungan PLTU pesisir.

Secara keseluruhan, berdasarkan spesifikasi dan disain nya, *debris filter* pada sistem *Raw Water Intake* PLTU Asam Asam memiliki kinerja yang baik untuk kondisi air payau. Filter ini tidak hanya berfungsi sebagai penyaring tapi juga sebagai proteksi utama untuk sistem pompa dan kondesor.

Dengan pengoperasian dan pemeliharaan yang rutin seperti pemeriksaan *differentiation pressure*, pembersihan *screen* , dan *backwash* berkala *debris filter* ini mampu beroperasi secara optimal dan berkontribusi terhadap keandalan sistem pendingin PLTU secara keseluruhan.