

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Dadang Suhendra Permana dan Yuriadi Kusuma. 2021, dalam jurnal yang berjudul “Analisis Kinerja Sistim Kompresor Udara di Jalur Produksi PT. X Melalui Audit Energi” menyatakan bahwa Permasalahan ini kemungkinan besar disebabkan oleh bagian *airend/screw* pada kompresor sudah mengalami penurunan ukuran, karena clearance antara male-female rotor dan rumah airend sudah cukup besar. *Clearance* antara *male-female* rotor sangat memengaruhi kemampuan kompresor dalam mengkompresi udara. Saat ini belum dipasang sistem pengontrolan terpusat, masing-masing kompresor hanya dikontrol oleh pengontrol yang ada pada kompresor dengan menggunakan sistem bertingkat (*cascade*). Kekurangan dari sistem bertingkat ini adalah *pressure* band menjadi besar.
2. Menurut Ahmad Jibril¹⁾, Pandu Adi Cakranegara²⁾ , Raudya Setya Wismoko Putri³⁾ , Cut Susan Octiva⁴⁾. 2022, dalam jurnal yang berjudul “Analisis Efisiensi Kerja Kompresor Pada Mesin Refrigerasi di PT. XYZ” berisi mengenai efisiensi terhadap kinerja kompresor sistem refrigerasi pada PT. XYZ, maka diperoleh nilai efisiensi sebesar 73.98%, dimana nilai ini berada dibawah standar nilai efisiensi dari sistem refrigerasi pada PT. XYZ. Hal ini disebabkan oleh sudah banyaknya komponen dari sistem *refrigerasi* tersebut yang membutuhkan perhatian sparepart..
3. Menurut Anata Adiwidya Rosyidah¹ , Monika Retno Gunarti² , Agus Prawoto ³ , Antonius Edy Kristiyono⁴. 2023, dalam jurnal yang berjudul “Uji Kapasitas Udara yang Dihasilkan Kompresor Sentrifugal 3 *Stage*” pada Unit Energy di PT Toba Pulp Lestari” Besarnya kapasitas udara bertekanan yang dihasilkan kompresor sentrifugal 3 stage dihitung dengan persamaan kontinuitas. Karena luas penampang tidak diketahui dalam data penelitian maka terlebih dahulu

menghitung luas permukaan. Dari hasil pembahasan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut bahwa besarnya kapasitas udara bertekanan yang dihasilkan kompresor sentrifugal 3 stage adalah sama untuk setiap *stage*.

4. Menurut Sugeng Haryadi, Sunu Arsy Pratomo. 2024, dalam jurnal yang berjudul “Manajemen Perawatan Kompresor Udara Pada Mesin Induk di KM UMSINI” menyatakan bahwa untuk melakukan perawatan dan perbaikan pada kompresor udara pada mesin induk di KM Umsini perlu dilakukannya manajemen perawatan dan perbaikan yang meliputi perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan serta yang terakhir pengawasan. Saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebaiknya kru kapal terutama masinis mempelajari secara benar cara kerja atau fungsi dari kompresor udara pada mesin induk sehingga apabila saat kapal sedang beroperasi mengalami kendala dapat teratasi dengan baik.

Tabel 2. 1 Penelitian Yang Relefan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	Analisis Kinerja Sistem Kompresor Udara di Lini Produksi PT. X Melalui Audit Energi” (Dadang Suhendra Permana dan Yuriadi Kusuma, 2021)	Analisis Kinerja Sistem Kompresor Udara di Lini Produksi PT. X Melalui Audit Energi” (Dadang Suhendra Permana dan Yuriadi Kusuma, 2021)	Studi ini mengandalkan data primer, sumber sekunder, dan informasi tambahan untuk mengevaluasi permasalahan tersebut. Penelitian ini melibatkan pengukuran langsung daya input dalam kilowatt (kW) dan kapasitas aliran udara	Dengan memperkirakan kerugian energi listrik, dampak biaya tahunan dapat dihitung, dengan asumsi kompresor beroperasi selama 8.000 jam per tahun	Karena penurunan kinerja kelima kompresor dalam sistem telah melampaui batas toleransi yang dapat diterima secara signifikan, perbaikan umum segera direkomendasikan untuk seluruh rangkaian guna memulihkan efisiensinya.

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
			bertekanan dalam meter kubik per menit (m^3/menit).	ini memberikan perkiraan penghematan biaya listrik.	
2.	“Analisis Efisiensi Operasi Kompresor pada Mesin Refrigerasi di PT. XYZ” (Ahmad Jibril, Pandu Adi Cakranegara, Raudya Setya Wismoko Putri, Cut Susan Octiva, 2022)	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji bagaimana penurunan kemampuan kompresor dalam menyerap panas mengurangi efisiensi keseluruhannya.	Penelitian ini menggunakan observasi langsung terhadap kinerja sistem refrigerasi di PT. XYZ, termasuk komponen pendukungnya, untuk mengevaluasi status operasional dan faktor-faktor terkait yang memengaruhi perhitungan efisiensi kompresor.	Analisis menunjukkan tingkat efisiensi kompresor sistem refrigerasi sebesar 73,98%, yang jauh di bawah standar perusahaan.	Observasi dan pengumpulan data parameter proses utama dilakukan selama operasi sistem refrigerasi dalam kondisi tunak, bebas dari gangguan apa pun.
3.	“Pengujian Kapasitas Udara yang Dihasilkan	Penelitian ini bertujuan untuk	Data dikumpulkan melalui	Kapasitas udara bertekanan	Pembahasan menyimpulkan bahwa kapasitas

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
	oleh Kompresor Sentrifugal 3-Tahap di Unit Energi PT Toba Pulp Lestari” (B. N. Br Simanungkalit dan Karti, 2023)	menentukan kapasitas keluaran udara bertekanan dari kompresor sentrifugal 3-tahap.	wawancara, yang melibatkan pertanyaan langsung kepada karyawan di Unit Energi.	untuk kompresor sentrifugal 3-tahap dihitung menggunakan persamaan kontinuitas. Karena luas penampang tidak tersedia dalam data studi, luas tersebut telah dihitung sebelumnya.	udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor tetap konsisten di ketiga tahap.
4.	“Analisis Penurunan Kinerja Kompresor Udara Utama Model J.P. Sauer & Sohn WP 81L-100 pada Kapal MV. Tangguh Sago”	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi penyebab penurunan kinerja kompresor dan mengusulkan solusi perawatan praktis.	Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan menggunakan diagram tulang ikan untuk mengidentifikasi akar permasalahan.	Pengumpulan data meliputi observasi langsung, wawancara dengan awak kapal, dan peninjauan catatan	Analisis tulang ikan mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang berkontribusi terhadap penurunan tersebut, seperti keausan komponen, perawatan preventif yang

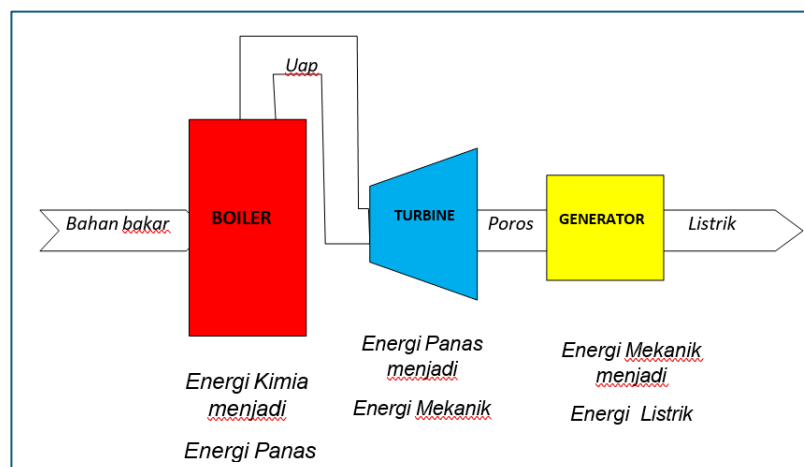
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
	(Anata Adiwidya Rosyidah, 2024)			perawatan dan kinerja.	tidak memadai, penumpukan kotoran internal, dan kurangnya pengetahuan awak kapal tentang prosedur perawatan yang tepat. Sebagai kesimpulan, penelitian ini menyoroti perlunya praktik perawatan yang lebih sistematis dan pelatihan teknis yang lebih baik bagi awak kapal untuk mencapai kinerja kompresor yang optimal.
5.	“Pemilihan Strategi Pemeliharaan Alternatif untuk Sistem Pengangkut Abu terbang di PLTU XYZ Menggunakan Metode AHP dan TOPSIS”	Studi ini mengevaluasi potensi risiko dalam penerapan alternatif yang dipilih untuk mengidentifikasi strategi mitigasi.	Berdasarkan analisis data, keluarnya residu abu pembakaran melalui cerobong asap terutama disebabkan oleh kerusakan	Metode yang digunakan meliputi Proses Hirarki Analitik (AHP) dan Teknik Preferensi	Beberapa penyebab potensial kegagalan dalam penerapan strategi pemeliharaan telah diidentifikasi, dengan banyak di antaranya berasal

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
	(Naufal Hilmi tom dan Nurhadi iswantoro, 2025)		yang sering terjadi pada peralatan saluran masuk katup geser di dalam transporter. Penelitian ini menerapkan kerangka kerja Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria (MCDM) untuk memilih solusi dari berbagai opsi berdasarkan beberapa kriteria, dikombinasikan dengan Pemecahan Akar Masalah (RCPS) untuk mengungkap masalah yang mendasarinya.	Urutan berdasarkan Kesamaan dengan Solusi Ideal (TOPSIS).	dari mitra atau kolaborator eksternal, seperti yang ditunjukkan pada tabel. Akar masalah keluarnya residu abu melalui cerobong asap muncul dari kerusakan yang berulang pada sistem pengangkut abu terbang.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi panas dari pembakaran batu bara untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator listrik. Sebagai mesin konversi energi, PLTU mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Proses konversi energi tersebut berlangsung dalam 3 tahapan yaitu, pertama: energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi, kedua : energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik



Gambar 2. 1 Prinsip kerja sederhana pada PLTU

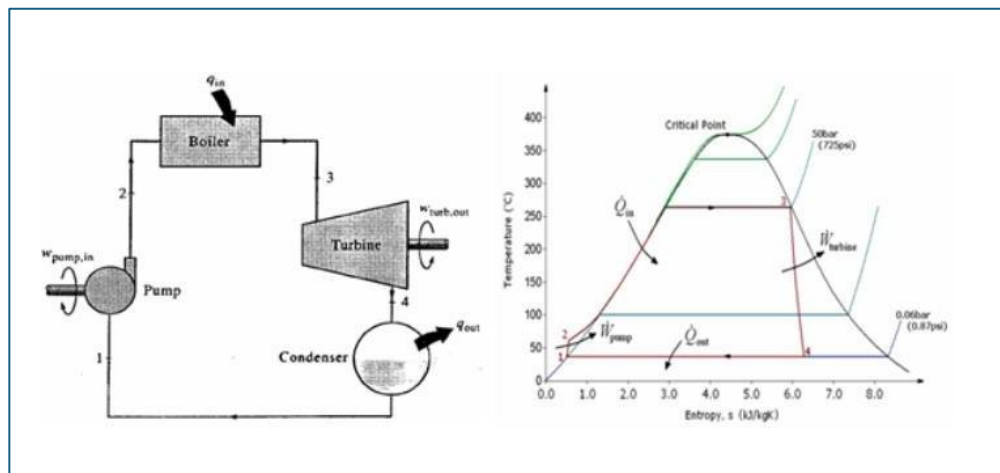
dalam bentuk putaran dan ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

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 an).

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)

Keterangan:

- **1 - 2:** Dalam proses ini, air dipompa dan dikompresi untuk meningkatkan tekanannya dari tekanan rendah ke tekanan yang 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

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 kemudian 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 semisal 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 an, sehingga menjadi air kondensat yang dapat digunakan kembali memanaskan air di boiler.



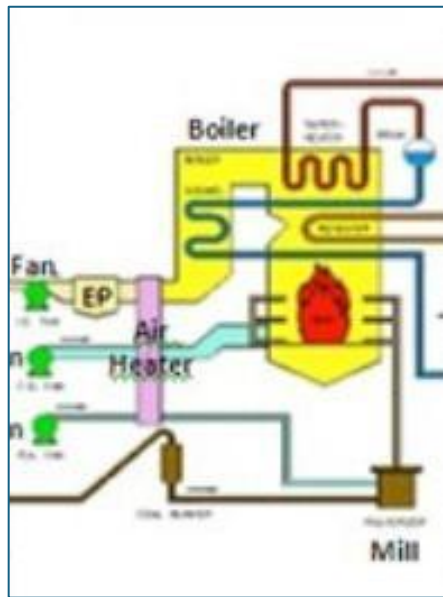
Gambar 2. 3 Turbin Uap

2.2.4 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 semisal minyak batubara atau gas dibakar didalam ruang bakar kemudian panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut dipakai guna memanaskan air yang terdapat di pipa-pipa boiler hingga mencapai kondisi tertentu (Temperatur dan tekanan

tinggi) hingga berubah menjadi uap.

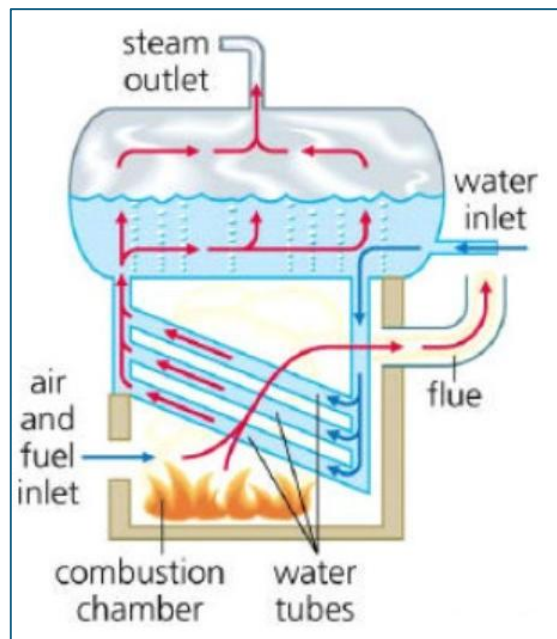


Gambar 2. 4 Siklus Boiler

2.2.4.1 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

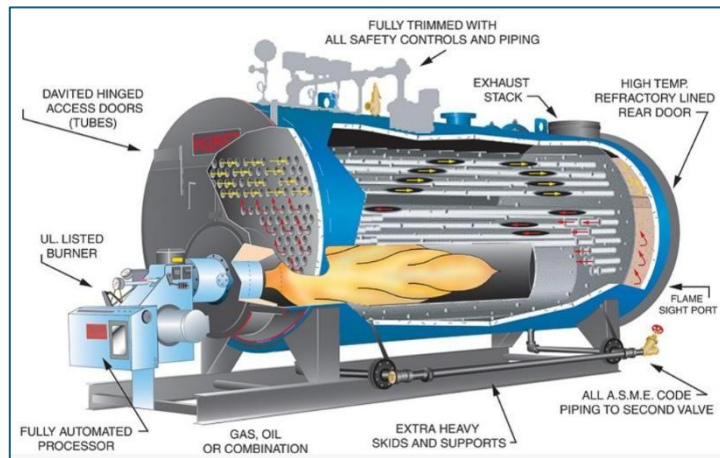


Gambar 2. 5 Boiler Pipa Air

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.

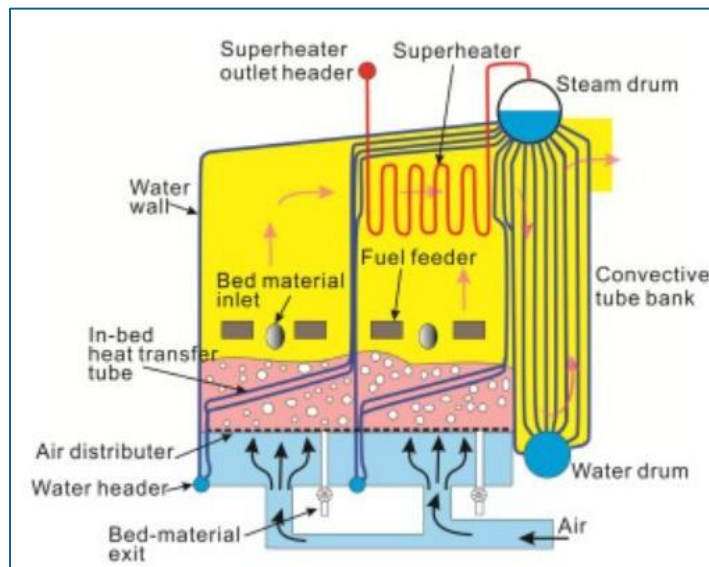
- Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*) : Dalam jenis boiler ini, gas panas

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

- 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.

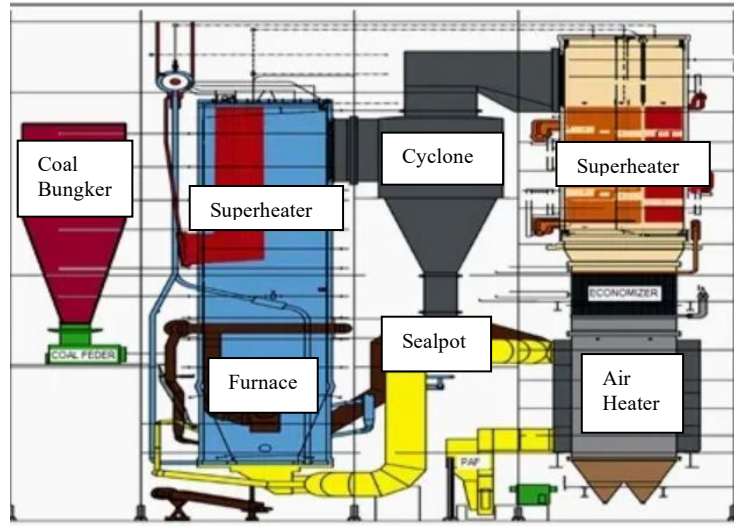


Gambar 2. 7 Boiler Fluidized Bed

2.2.4.2 Komponen-Komponen Utama Boiler

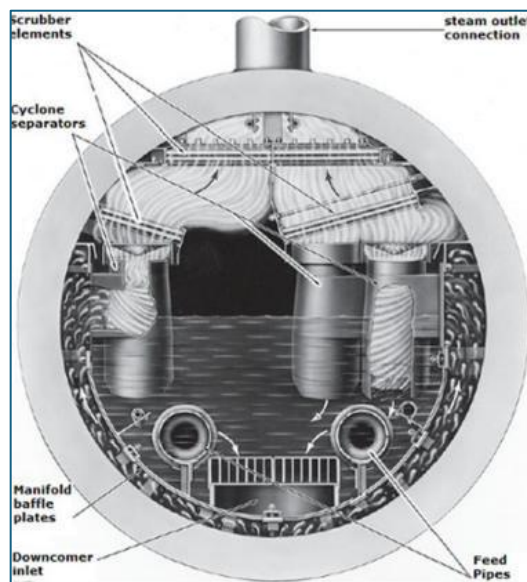
Beberapa komponen penting dalam boiler pada PLTU adalah :

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



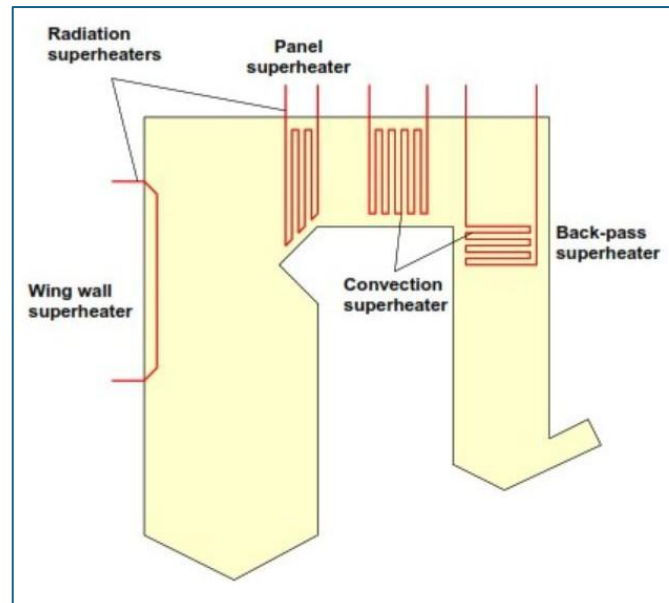
Gambar 2. 8 Komponen Boiler

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



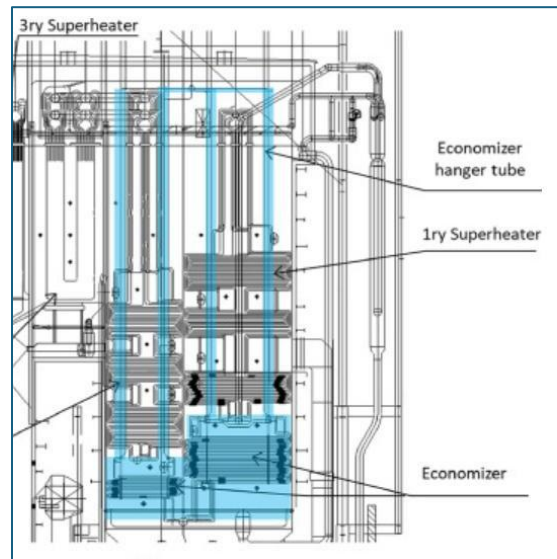
Gambar 2. 9 Drum Boiler

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



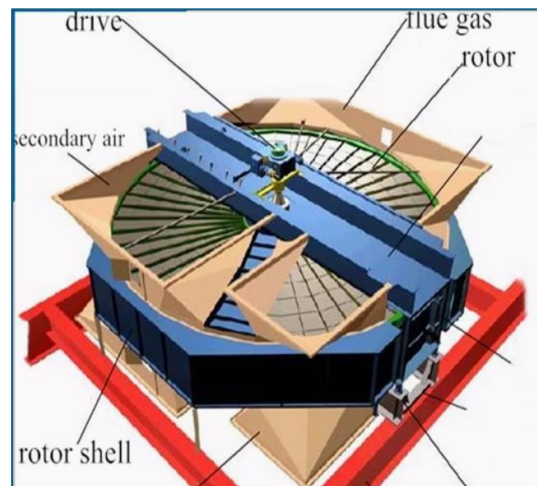
Gambar 2. 10 Rangkaian Superheater

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



Gambar 2. 11 Ekonomizer

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

2.2.5 Sistem *Ash handling*

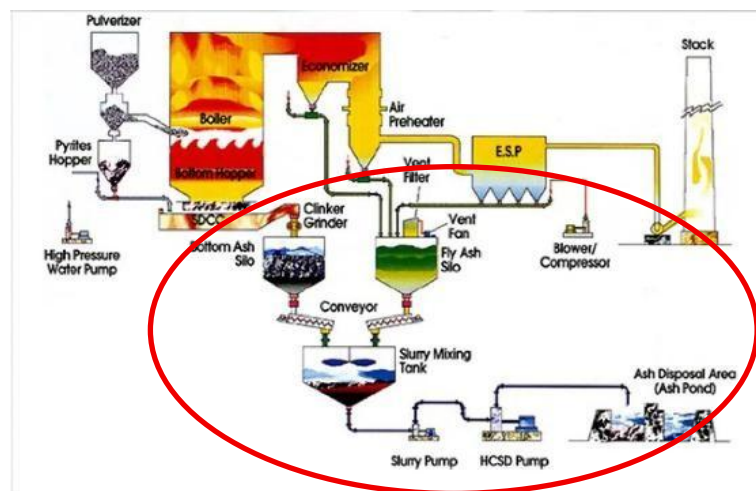
Pembakaran di PLTU menghasilkan abu yang mengandung bahan kimia yang berbahaya untuk lingkungan sekitar. Maka untuk itu, sistem pembuangan gas adalah bagian yang sangat penting. *Electrostatic Precipitator (ESP)* adalah alat yang digunakan sebagai alat penangkapan abu (*Ash Collection*) di industri yang digunakan untuk mengurangi pencemaran udara yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara). Pada dasarnya *Electrostatic Precipitator (ESP)* ada 3 sistem utama yang bekerja. Pertama proses ionisasi abu yang terkandung dalam gas buang, selanjutnya proses collection abu yang telah terionisasi dan terakhir proses rapping abu yang menempel pada *collecting plate* agar jatuh ke area *Hopper*. Berikut proses terjadinya medan elektrostatis pada *ESP*;

1. Pada *ESP* ada dua jenis *elektrode*, yaitu *discharge electrode (DE)* berupa kawat baja yang diberi muatan negatif dan *collecting electrode (CE)* berupa plat pengumpul yang diberi muatan positif.
2. *Discharge electrode* ditempatkan antara plat pengumpul atau *collecting electrode (CE)*.
3. Pada *Discharge electrode* diberi arus listrik searah (DC) dengan muatan

negatif, pada tingkat tegangan diantara 55–75 KvDC. (sumber listrik yang pada awalnya 380V AC, dinaikkan pada trafo menjadi sekitar 55–75 KvDC dan disearahkan menjadi arus DC menggunakan *rectifier*, lalu hanya diambil potensial negatif saja).

4. Plat pengumpul di *grounding* supaya memiliki muatan positif.
5. Dengan demikian, pada saat *discharge electrode* diberi arus DC maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi tirai-tirai elektroda tersebut dan partikel debu akan tertarik pada pelat tersebut.

Di era sekarang, perkembangan teknologi akan semakin meningkat pesat. Hal ini tidak terlepas dengan kebutuhan dan penggunaan dari energi listrik yang juga meningkat. Pengguna terbesar energi listrik berasal dari sektor industri. Industri akan menggunakan energi listrik untuk dapat menjalankan produksi dan untuk penggunaan lain. Energi listrik yang kebanyakan industri gunakan berasal dari PT. PLN. Masih sedikit perusahaan yang memiliki pembangkit sendiri sebagai pemasok kebutuhan energi listriknya. PT. Dian Swastatika Sentosa Tbk. (DSS) Serang Power Plant bergerak dalam bidang penyedia listrik (Electrical Energy) yang beroperasi pada pembangkit listrik. Pembangkit listrik yang digunakan disini adalah pembangkit listrik dengan tenaga uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara. Berhubungan dengan hal itu, sudah sewajarnya dampak pada lingkungan harus tetap diperhatikan, karena pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar berupa batu bara bisa menjadi sumber polusi udara apabila tidak ditangani secara tepat. Dengan adanya abu-abu yang tersisa hasil pembakaran yang dapat mencemari lingkungan ini tentu



Gambar 2. 13 AlurAsh Handling

saja memerlukan alat yang dapat mengontrolnya. Alat yang paling efektif dan umum digunakan untuk mengurangi pencemaran udara yang juga digunakan *Electrostatic Precipitator*.

2.2.5.1 Proses Pembakaran Batubara di Boiler

Batubara dibakar di dalam boiler untuk menghasilkan panas yang digunakan memanaskan air menjadi uap. Pada proses ini dihasilkan dua jenis abu, yaitu *Fly Ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar). *Fly Ash* (abu terbang) terbawa aliran gas buang, sedangkan *bottom ash* (abu dasar) jatuh ke bagian bawah furnace akibat gaya gravitasi.

2.2.5.2 Pembentukan *Fly Ash* (abu terbang) dan *Bottom ash* (abu dasar)

a. *Fly Ash* (abu terbang)

Abu halus hasil pembakaran yang ikut terbawa gas buang menuju peralatan penangkap abu.

b. *Bottom ash* (abu dasar)

Abu kasar yang mengendap di bagian bawah boiler dan dikeluarkan melalui sistem pembuangan bawah furnace.

2.2.5.3 Penanganan *Fly Ash* (abu terbang)

Gas buang yang membawa *Fly Ash* (abu terbang) dialirkan menuju *Electrostatic Precipitator (ESP)* atau bag filter. Di dalam *ESP*, partikel abu ditangkap oleh medan listrik sehingga terpisah dari gas buang.

1. *Fly Ash* (abu terbang) yang tertangkap kemudian Jatuh ke *Hopper ESP*;
2. Dialirkan secara pneumatik menggunakan udara bertekanan dari kompresor *ash handling*;
3. Disalurkan melalui pipa menuju silo *Fly Ash* (abu terbang) atau langsung ke area pembuangan.

2.2.5.4 Penanganan *Bottom ash* (abu dasar)

Bottom ash (abu dasar) yang terkumpul di bawah boiler:

1. Didinginkan menggunakan air pada *bottom ash* (abu dasar) *Hopper*,

2. Dihancurkan (jika diperlukan),
3. Dialirkan menggunakan sistem hidrolik atau mekanik (*sluice system / conveyor*).
4. *Bottom ash* (abu dasar) kemudian dibawa menuju temporary storage atau langsung ke *ash pond*.

2.2.5.5 Peran Kompresor pada *Ash handling* System

Kompresor berfungsi menyediakan udara bertekanan untuk:

1. Mengangkut *Fly Ash* (abu terbang) secara pneumatik dari *Hopper ESP*,
2. Menjaga kelancaran aliran abu dalam pipa,
3. Mencegah penyumbatan sistem.
4. Penurunan tekanan udara dari kompresor dapat menyebabkan ash plugging, penurunan kapasitas angkut, hingga gangguan operasional PLTU.

2.2.5.6 Transportasi Abu ke *Ash pond*

Fly Ash (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar) yang tidak dimanfaatkan akan dialirkan menuju *ash pond*, yaitu area penampungan akhir abu. Di *ash pond*, abu akan mengendap, sementara air limpasan akan dikontrol agar tidak mencemari lingkungan.

2.2.5.7 *Ash pond* (Tempat Penampungan Akhir)

Ash pond berfungsi sebagai:

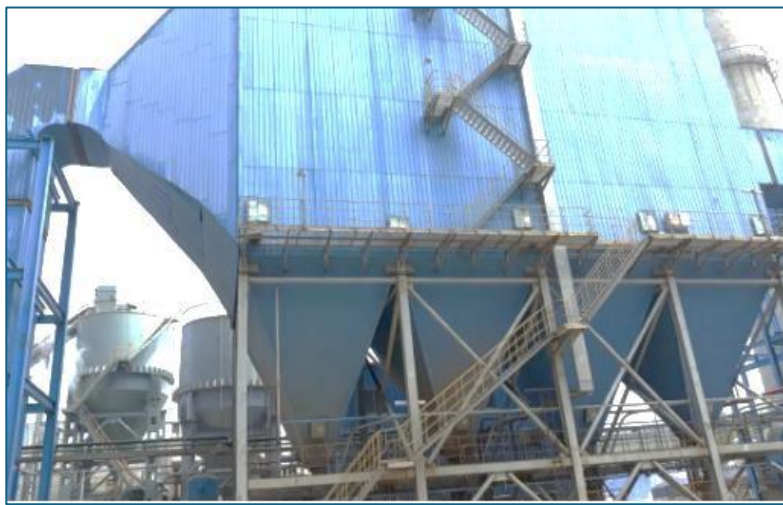
1. tempat penimbunan abu sisa pembakaran,
2. area pengendalian dampak lingkungan,
3. bagian akhir dari sistem *ash handling* PLTU.

2.2.6 Prinsip Kerja *ESP*

ESP di PLTU adalah *Electrostatic Precipitator*, alat pengendali polusi yang menangkap partikel abu halus dari gas buang PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dengan memberi muatan listrik pada abu, membuatnya menempel pada pelat pengumpul, lalu dijatuhkan dan ditampung, sehingga gas buang bersih sebelum dilepas ke atmosfer, menjaga lingkungan tetap sehat.

2.2.6.1 Cara Kerja ESP:

1. Ionisasi: Gas buang panas dari pembakaran batu bara melewati elektroda (kawat/jarum) bermuatan negatif bertegangan tinggi, membuat partikel abu menjadi bermuatan negatif.
2. Penangkapan: Partikel abu bermuatan negatif ini tertarik ke pelat pengumpul (*collecting plate*) yang bermuatan positif.
3. Pembersihan: Abu yang menempel di pelat akan digetarkan (*rapping system*) agar jatuh ke *Hopper* (penampung) di bawahnya, sementara gas bersih terus mengalir keluar.

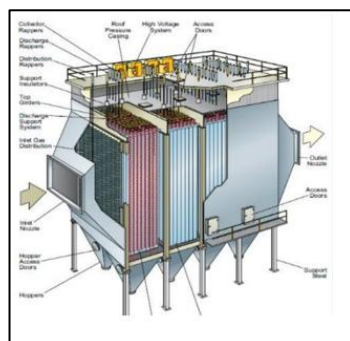


Gambar 2. 14 *Electrostatic Precipitator*

2.2.7 Bagian Bagian *Electrostatic Precipitator*

Komponen Utama *ESP*:

1. Transformer Tegangan Tinggi: Menyediakan tegangan DC untuk elektroda.
2. *Discharge electrode* (DE): Elektroda negatif yang mengionisasi partikel.
3. *Collecting plate* (CP): Pelat positif tempat partikel menempel.
4. *Rapper*: Mekanisme pemukul untuk menjatuhkan abu.
5. *Hopper*: Tempat penampungan abu.



Gambar 2. 15 3D Model

2.2.8 Spesifikasi Elektrostatic Precipitator (ESP)

Tabel 2. 2 Spesifikasi Electristatic Precipitator

No.	Item	Data
1	ESP Model	2FAA4×40M-4×88-153
2	Standard dry gas treating amount	2,193,796 Nm ³ /h
3	ESP efficiency	≥ 99.5 %
4	ESP proper resistance	≤ 200 Pa
5	ESP proper air leakage rate	≤ 2 %
6	ESP quantity for each boiler	2 sets
7	Chamber quantity in each ESP	Double chamber
8	Electric field quantity	4
9	Flue gas flow speed in electric field	1.085 m/s
10	Dust content in inlet flue gas	5.401 g/Nm ³
11	Dust content in outlet flue gas	≤ 0.1 g/Nm ³

2.2.9 Ash Transporter

Ash transporter di PLTU adalah bagian dari sistem penanganan abu (*Ash handling System*) yang berfungsi memindahkan abu sisa pembakaran batu bara (*Fly Ash* (abu terbang) dan *Bottom ash* (abu dasar)) dari boiler ke tempat penampungan akhir (*Ash Yard/Silo*) menggunakan peralatan seperti vacuum system, conveyor, atau pompa, untuk mencegah pencemaran lingkungan dan mengolahnya lebih lanjut, sering kali melibatkan teknologi seperti *Electrostatic Precipitator* (EP) untuk abu halus.

Fungsi Utama Ash Transporter:

1. Mengangkut Limbah: Memindahkan abu terbang (*Fly Ash* (abu terbang)) dan abu dasar (*Bottom ash* (abu dasar)).
2. Mencegah Polusi: Mengurangi dampak lingkungan dari emisi abu.
3. Menyalurkan ke Penampungan: Mengirim abu ke *Hopper*, silo, atau lokasi pembuangan akhir (*Ash Yard*).
4. Jenis Abu yang Ditangani:

5. *Fly Ash* (abu terbang): Partikel abu halus yang terbawa gas buang, ditangkap oleh alat seperti *Electrostatic Precipitator* (ESP).



Gambar 2. 16 Ash Transporter

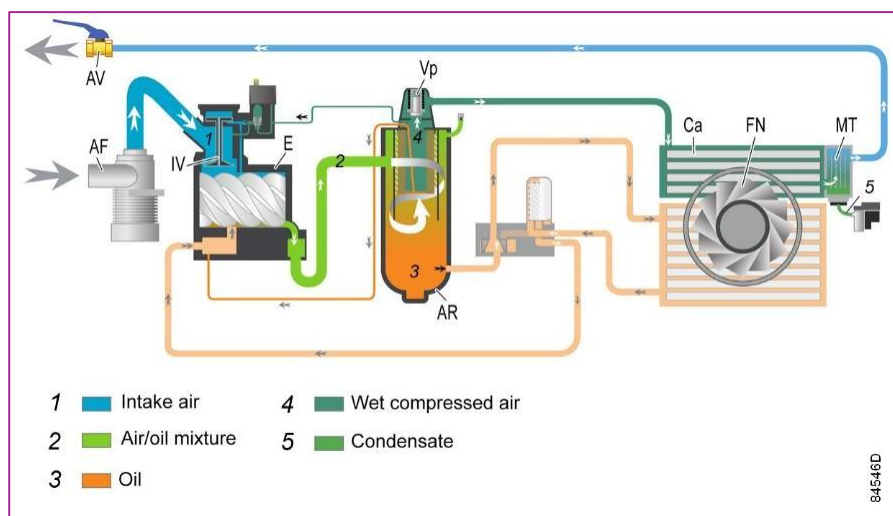
2.2.10 Kompresor *Ash handling*

Mesin Kompresor merupakan peralatan penting dalam industri skala besar maupun kecil, yang banyak digunakan untuk menggerakkan mesin produksi dengan mengubah sistem penggerak motor listrik tradisional menjadi sistem pneumatik. Di antara berbagai jenisnya, kompresor ulir merupakan salah satu yang paling umum digunakan dalam industri. Perangkat ini beroperasi berdasarkan prinsip mekanisme ulir atau heliks. Prosesnya dimulai dengan udara sekitar yang dihisap melalui saluran masuk khusus dan kemudian dikompresi oleh elemen ulir yang berputar. Udara terkompresi tersebut kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan. Pada dasarnya, kompresor ulir beroperasi melalui tiga tahap utama: pemasukan, kompresi, dan pengeluaran udara optimal.

Kompresor bekerja dengan memaksa udara masuk ke ruang antara dua rotor jantan dan betina yang berputar berlawanan arah. Gerakan ini menyebabkan volume udara berkurang, sehingga meningkatkan tekanannya. Udara bertekanan ini kemudian disalurkan ke outlet untuk digunakan oleh berbagai peralatan industry.



Gambar 2. 17 Kompresor *Ash handling*



Gambar 2. 18 Flow Diagram Kompresor

Secara umum, aliran udara pada kompresor *oil-injected* (khususnya tipe *screw*) berlangsung sebagai berikut:

1. *Air Inlet (Suction)*

- Udara lingkungan masuk melalui air filter.
- Fungsi: menyaring debu dan partikel agar tidak merusak elemen kompresi.

2. *Inlet Valve / Suction Control*

- Mengatur jumlah udara yang masuk sesuai kebutuhan beban.
- Berperan dalam pengendalian kapasitas dan efisiensi energi.

3. Ruang Kompresi (*Air End / Screw Element*)

- Udara masuk ke ruang kompresi.
- Di sinilah udara bercampur langsung dengan oli yang diinjeksi.
- Volume ruang berkurang akibat putaran *screw* → tekanan udara meningkat.

4. Discharge (Keluar dari Air End)

- Campuran udara + oli keluar dari air end menuju separator tank

Oli pada kompresor *oil-injected* tidak sekadar pelumas, tetapi fluida multifungsi.

1. *Oil Sump / Separator Tank*

Oli tersimpan di bagian bawah oil separator tank., di sinilah oli dipisahkan dari udara bertekanan.

2. *Oil Filter*

Oli dialirkan melalui oil filter, fungsi: menyaring partikel logam, karbon, atau kotoran hasil gesekan.

3. *Oil Cooler*

Oli panas didinginkan melalui oil *cooler* (air-cooled atau water-cooled), menjaga viskositas dan kemampuan pelumasan oli.

4. *Oil Injection Line*

Oli dingin dan bersih diinjeksi ke ruang kompresi, bearing, gear (jika ada).

5. *Kembali ke Air End*

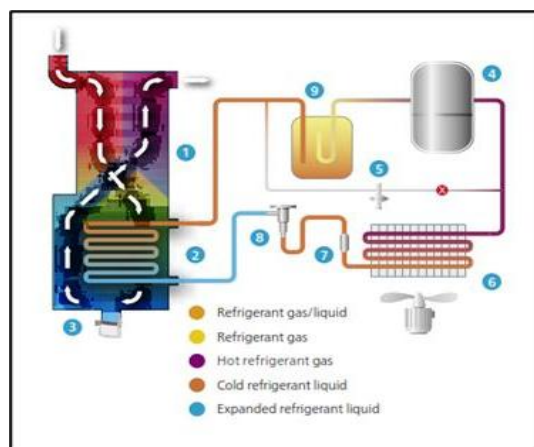
Oli bercampur dengan udara selama proses kompresi. Setelah itu ikut keluar menuju separator dan siklus berulang.

2.2.11 Air Dryer

Dryer kompresor bekerja dengan mendinginkan udara basah yang keluar dari kompresor hingga uap air mengembun menjadi cairan, kemudian memisahkan cairan tersebut, dan akhirnya menyaring udara agar keluar dalam keadaan kering. Proses ini menghilangkan kelembapan dari udara terkompresi untuk mencegah korosi dan masalah lain pada peralatan yang menggunakannya



Gambar 2. 19 Air Dryer



Gambar 2. 20 Flow Diagram Air Dryer

2.2.12 Bagian Komponen Kompresor

Kompresor *ash handling* adalah peralatan kunci di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan udara bertekanan untuk memindahkan abu terbang (*Fly Ash* (abu terbang)) dari *Electrostatic Precipitator* (*ESP*) menuju silo penampungan, seringkali melalui sistem pneumatik (*pneumatic conveying*) untuk pengumpulan abu secara kering (*dry unloading*), memastikan abu tidak terbang ke lingkungan dan dapat diolah lebih lanjut (misal: bahan semen) atau dibuang dengan aman.

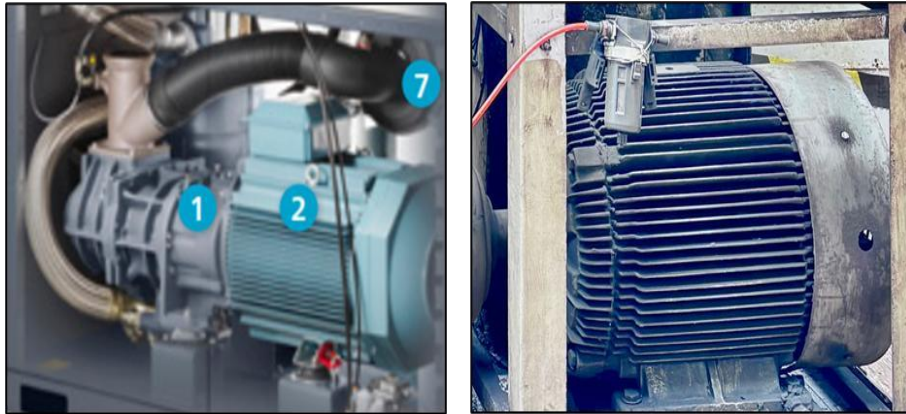
Kinerja kompresor *ash handling* (penanganan abu) sangat krusial untuk memindahkan abu hasil pembakaran batubara menggunakan udara bertekanan; performanya dinilai dari kapasitas, efisiensi, rasio kompresi, dan *head polytropis*, yang bisa menurun akibat kualitas udara buruk, kebocoran, atau *wear and tear*, sehingga memerlukan perawatan rutin seperti penggantian filter dan pelumasan untuk menjaga keandalan sistem, terutama pada kompresor jenis *screw*.

Faktor Penentu Kinerja

1. Kualitas Udara Masuk: Udara yang kotor atau panas berlebih dapat menurunkan efisiensi dan meningkatkan suhu kompresor.
2. Efisiensi: Perbandingan antara kinerja aktual dengan desain ideal, penurunan efisiensi bisa signifikan.
3. Kapasitas Aliran Udara: Laju aliran udara yang mampu dihasilkan untuk mengangkut abu.
4. Rasio Kompresi & *Head Polytropis*: Parameter teknis yang menunjukkan kemampuan kompresor untuk meningkatkan tekanan.
5. Kondisi Komponen: Kebocoran, keausan pada *bearing* atau elemen kompresi, serta kondisi filter dan separator sangat mempengaruhi kinerja.

2.2.12.1 Motor

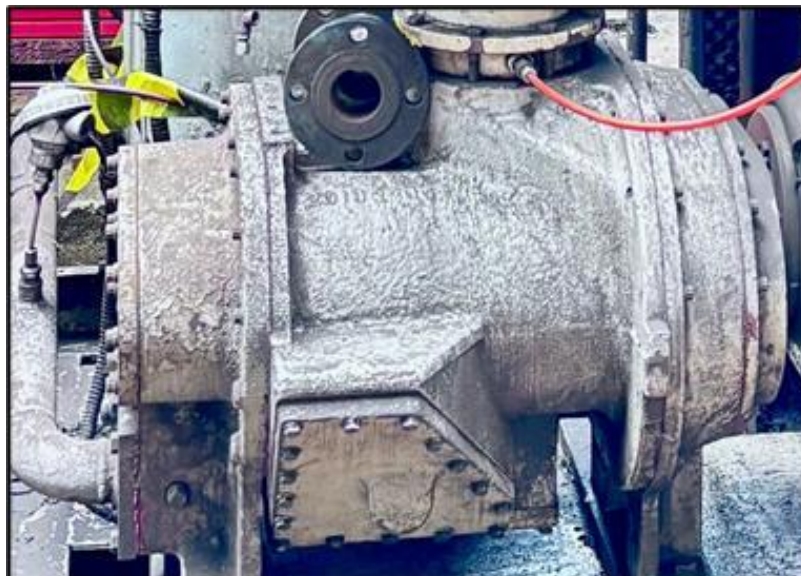
Fungsi motor kompresor adalah mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanis untuk menggerakkan komponen kompresor seperti piston atau rotor, sehingga proses pemampatan udara atau gas dapat terjadi.



Gambar 2. 21 Motor Kompresor

2.2.12.2 Silinder Kompresi

Ruang utama tempat kedua rotor berputar dan menjebak udara untuk dikompres.. Kompresor *screw* memiliki silinder kompresi utama yang menampung rol. Saat udara terkumpul, udara mengalir melalui ruang silinder dan masuk ke rotor yang saling mengunci dan berputar.



Gambar 2. 22 Silinder Kompresi

2.2.12.3 Oil Sparator

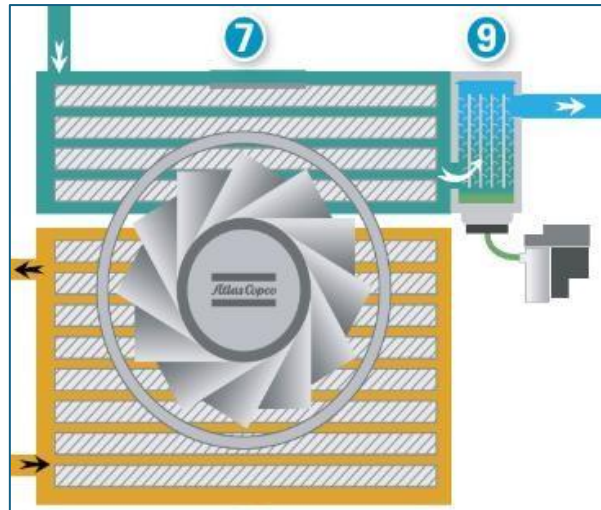
Memisahkan udara terkompresi dari oli pelumas, memastikan udara yang keluar bersih dari cairan, dan meminimalkan kehilangan energi akibat timbulnya pusaran. Pada kompresor *oil-injected* , tangki pemisah digunakan sebagai taktik pertahanan lain terhadap campuran minyak dan gas. Hal ini karena dapat merusak kemurnian aliran gas terkompresi.



Gambar 2. 23 *Oil Sparator*

2.2.12.4 Air Cooled

Fungsi air *cooler* (atau lebih tepatnya *cooler*) pada kompresor adalah untuk menurunkan suhu udara atau oli panas yang dihasilkan selama proses kompresi. Dengan mendinginkan udara sebelum dikirim ke tahap selanjutnya atau ke pengguna, *cooler* meningkatkan efisiensi, mengurangi konsumsi energi, mencegah kerusakan akibat panas berlebih, dan menghilangkan kelembapan



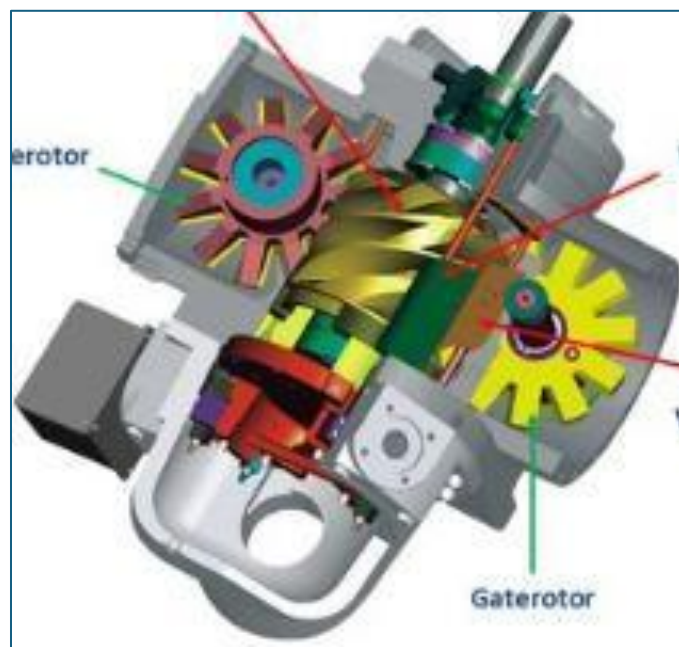
Gambar 2. 24 Air Cooled

2.2.13 Jenis Jenis Kompresor *Screw*

Kompresor *screw* memiliki beberapa jenis bergantung pada prinsip kerjanya. Berikut ini merupakan jenis – jenis dari kompresor *screw*, yaitu:

2.2.13.1 Kompresor *Screw* Tunggal

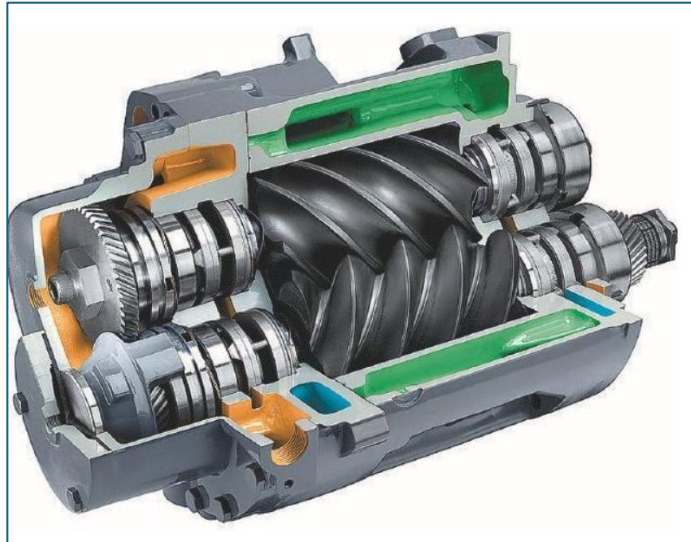
Jenis ini menggunakan satu rotor utama berbentuk ulir (*screw*) yang berinteraksi dengan satu atau beberapa rotor pendukung untuk melakukan proses kompresi udara.



Gambar 2. 25 Kompresor *screw* tunggal

2.2.13.2 Kompresor *Screw Ganda*

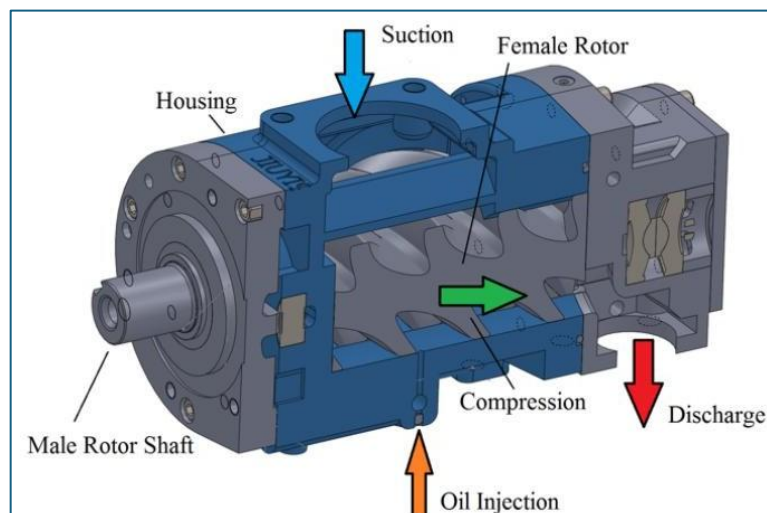
Kompresor *screw* ganda Kompresor Tipe ini memiliki dua rotor ulir yang terpasang sejajar. Keduanya berputar secara bersamaan, baik dalam arah yang sama maupun berlawanan, sehingga udara dapat ditekan di ruang di antara rotor tersebut.



Gambar 2. 26 Kompresor *screw* ganda

2.2.13.3 Oil Injected *Screw* Kompresor

Pada kompresor ini, oli disuntikkan ke dalam ruang kompresi untuk membantu pelumasan, an, serta menutup celah antara rotor dan dinding rumah kompresor agar proses kompresi lebih efisien.



Gambar 2. 27 Oil injected *screw* kompresor

2.2.13.4 Oil Free Kompresor

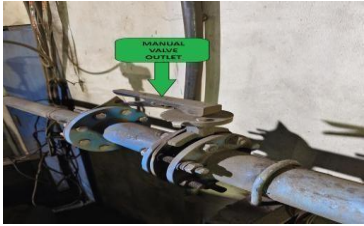
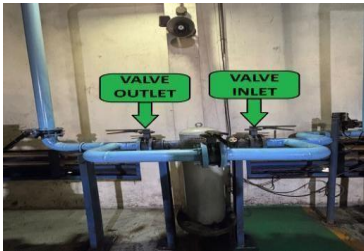
Kompresor Jenis ini dirancang untuk memproduksi udara bertekanan tanpa campuran minyak, sehingga cocok digunakan pada aplikasi yang membutuhkan udara bersih dan bebas kontaminasi.



Gambar 2. 28 Oil free screw kompresor

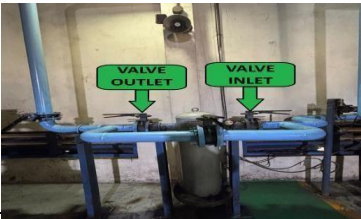
2.2.14 Standart Operasional Prosedure Pengoperasian Kompresor

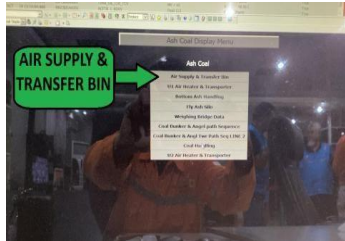
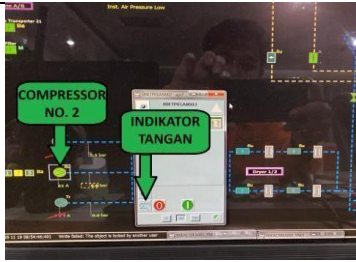
A. Persiapan Pengoperasian Compressor		
1	Pastikan breaker kompresor NO. 1 MCB power di ruang MCC dalam posisi “ON”. Perhatikan gambar disamping.	
2	Pastikan push botton “Emergency Stop” dalam kondisi standby/rilis. Perhatikan gambar disamping.	
3	Pastikan kondisi level oli separator normal, Level seperti gambar no.1 disamping. Perhatikan gambar disamping.	

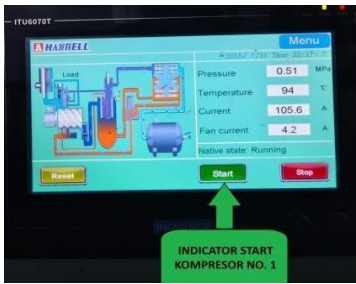
A. Persiapan Pengoperasian Compressor		
4	Pastikan manual valve outlet compressor <i>open</i> . Perhatikan gambar disamping.	
5	Pastikan manual valve in dan out pada air filter <i>open</i> . Perhatikan gambar disamping.	

B. Persiapan Pengoperasian Compressor		
1	Pastikan breaker kompresor NO. 2 MCB power di ruang MCC dalam posisi “ON”. Perhatikan gambar disamping.	
2	Pastikan push botton “Emergency Stop” dalam kondisi standby/rilis. Perhatikan gambar disamping.	
3	Pastikan kondisi level oli separator normal, Level seperti gambar no.1 disamping. Perhatikan gambar disamping.	
4	Pastikan manual valve outlet compressor <i>open</i> . Perhatikan gambar disamping.	



B. Persiapan Pengoperasian Compressor		
5	Pastikan manual valve in dan out pada air filter <i>open</i> . Perhatikan gambar disamping.	

C. Pengoperasian Compressor Secara Remote		
1	Pastikan selector dalam posisi remote.	
2	Pada display menu pilih “COMMON ASH COAL DISPLAY MENU” . Perhatikan gambar disamping.	
3	Kemudian pilih/klik indikator “AIR SUPPLY & TRANSFER BIN” . Perhatikan gambar disamping.	
4	Kemudian pilih indikator kompresor mana yang akan dioperasikan. Perhatikan gambar disamping.	
5	Setelah memilih kompresor mana yang akan dioperasikan. Selanjutnya klik/pilih tanda tangan (Tanda refresh indicator Lokal ke Auto) seperti gambar disamping. Perhatikan gambar disamping.	
6	Kemudian pilih/klik tanda “BULAT HIJAU” ON . Lihat gambar disamping. Kompresor sudah operasi. Perhatikan gambar disamping.	

D Pengoperasian Compressor Lokal		
1	Kemudian pada display kompresor tekan tombol “START”. (Kompresor sudah operasi). Perhatikan gambar disamping.	

2.2.15 Jenis Jenis Pemeliharaan

Istilah "pemeliharaan" merujuk pada berbagai prosedur yang digunakan untuk menjaga sesuatu dalam kondisi baik atau mengembalikannya ke keadaan yang layak. Secara lebih spesifik, pemeliharaan mengacu pada langkah-langkah yang dilakukan untuk memperpanjang umur mesin atau peralatan pabrik serta mencegah kerusakan atau kegagalan. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), "pemeliharaan" didefinisikan sebagai tindakan merawat sesuatu dengan baik. Selain itu, pemeliharaan mencakup pelaksanaan tugas rutin untuk menjaga peralatan tetap berfungsi dengan baik (pemeliharaan terencana) atau mencegah potensi masalah (pemeliharaan pencegahan). (Corder, Hadi, & Sempurno, 1992).

Seiring dengan berkurangnya kerusakan pada mesin dan peralatan kerja, produktivitas serta efisiensi produksi akan meningkat, yang pada akhirnya meningkatkan keuntungan perusahaan. Pemeliharaan diklasifikasikan ke dalam enam kategori berdasarkan jenisnya, antara lain:

2.2.15.1 Breakdown Maintenance

Pemeliharaan jenis ini dilakukan setelah mesin atau peralatan kerja mengalami kerusakan, sehingga tidak dapat berfungsi secara normal atau menyebabkan penghentian operasional secara tiba-tiba. *Breakdown maintenance* ini harus dihindari karena akan menyebabkan kerugian atau tidak tercapainya kualitas ataupun output produksi karena berhenti beroperasi secara mendadak.

2.2.15.2 Preventive Maintenance

Pemeliharaan jenis ini dilakukan secara teratur dan terencana untuk mencegah kerusakan atau kegagalan pada mesin maupun peralatan kerja. Menjadwalkan pembersihan serta inspeksi berkala merupakan salah satu contoh pemeliharaan preventif.

2.2.15.3 Predictive Maintenance

Tujuan pemeliharaan ini adalah untuk mengantisipasi kerusakan sebelum menyebabkan gangguan total. Dengan memeriksa mesin atau peralatan kerja, pemeliharaan prediktif memperkirakan kapan suatu bagian dari mesin akan mengalami kegagalan.

2.2.15.4 Corrective Maintenance

Pemeliharaan jenis ini melibatkan penentuan sumber kerusakan dan perbaikannya guna mengembalikan operasi normal pada mesin atau peralatan kerja. Mesin atau peralatan manufaktur yang tidak berfungsi dengan baik atau masih beroperasi tetapi tidak dalam kondisi optimal akan menjalani pemeliharaan korektif.

2.2.15.5 Running Maintenance

Pemeliharaan jenis ini dilakukan saat mesin atau peralatan kerja sedang digunakan. Peralatan yang harus beroperasi terus-menerus untuk mendukung proses produksi memerlukan pemeliharaan ini.

2.2.15.6 Emergency Maintenance

Merupakan jenis *maintenance* yang mesti segera dilaksanakan akibat adanya kerusakan yang bersifat signifikan.

2.2.16 Kerangka Pemikiran

Sistem *ash handling* pada PLTU Asam-Asam merupakan bagian penting dalam mendukung kontinuitas operasi pembangkit, khususnya dalam proses penanganan abu hasil pembakaran batubara berupa *Fly Ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar). Sistem ini umumnya bekerja secara pneumatik dengan memanfaatkan udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor. Oleh karena itu, kompresor memiliki peran strategis sebagai sumber energi utama dalam sistem *ash handling*, di mana kinerjanya sangat memengaruhi keandalan sistem, konsumsi daya listrik internal (auxiliary power), serta biaya operasional pembangkit secara keseluruhan.

Dalam praktik operasional, kompresor *ash handling* beroperasi secara kontinu dengan beban yang relatif tinggi. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan penurunan performa seiring waktu akibat keausan komponen, kebocoran udara, maupun pengaturan tekanan dan laju aliran yang tidak optimal. Namun demikian, selama sistem masih dapat beroperasi dan proses pembuangan abu berjalan normal, kompresor sering dianggap masih dalam kondisi baik tanpa dilakukan evaluasi performa secara menyeluruh. Asumsi ini perlu dikaji lebih lanjut, karena kompresor yang masih beroperasi belum tentu bekerja secara efisien dari sisi energi dan biaya.

Analisis performa kompresor *ash handling* menjadi penting untuk mengetahui hubungan antara parameter operasi seperti tekanan kerja, laju aliran udara, dan daya listrik yang dikonsumsi. Melalui analisis ini, dapat dihitung nilai efisiensi energi kompresor, salah satunya menggunakan indikator *Specific Power Consumption* (SPC). Nilai SPC memberikan gambaran seberapa besar energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan aliran udara, sehingga dapat digunakan sebagai tolok ukur efisiensi mesin. Dengan membandingkan kondisi aktual kompresor terhadap standar atau spesifikasi desain, dapat diketahui apakah kompresor masih bekerja pada kondisi operasi yang optimal atau justru mengalami pemborosan energi.

Selain dari sisi teknis, analisis performa kompresor juga memiliki keterkaitan erat dengan efisiensi biaya operasional PLTU. Kompresor termasuk peralatan bantu yang mengonsumsi energi listrik cukup besar dan berkontribusi langsung terhadap biaya produksi listrik. Apabila kompresor bekerja tidak efisien,

maka konsumsi energi akan meningkat, biaya operasional menjadi lebih tinggi, serta beban kerja peralatan semakin berat yang pada akhirnya dapat mempercepat penurunan umur pakai dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Oleh karena itu, evaluasi performa kompresor diperlukan sebagai dasar untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi dan biaya.

Berdasarkan uraian tersebut, analisis performa kompresor *ash handling* di PLTU Asam-Asam perlu dilakukan sebagai upaya untuk memastikan bahwa kompresor beroperasi secara efisien, baik dari sisi kinerja mesin maupun biaya operasional. Hasil analisis diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan teknis, seperti optimasi tekanan kerja, perbaikan sistem, serta perencanaan pemeliharaan yang lebih efektif, sehingga mendukung keandalan operasi pembangkit dan peningkatan efisiensi secara berkelanjutan.