

ANALISIS OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MAMUJU
2X25 MW BERDASARKAN PENGARUH *LOAD CAPACITY* TERHADAP
EFISIENSI GENERATOR UNIT 1 & 2



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata 1
terapan (S-1 Terapan) Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ABDEHI PERDANA AIN

42122278

PROGRAM STUDI S-1 TERAPAN TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul *Analisis Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mamuju 2x25 MW Berdasarkan Pengaruh Load Capacity Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 & 2* oleh Abdehi Perdana Ain, 42122278 dinyatakan layak untuk diujikan.

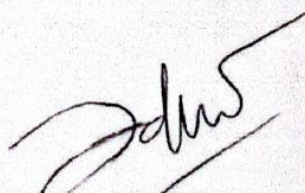
Makassar, 15 Agustus 2023

Pembimbing I

Pembimbing II



Sarma Thaha, S.T., M.T.
NIP. 197810022015042001



Andarini Asri, S.T., M.T.
NIP. 199010012019032018

Mengetahui

Ketua Program Studi,



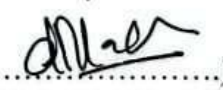

Idris, S.T., M.T.
NIP. 196684042015041001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, ..Jumadl:.. tanggal ..18 Agustus 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Abdehi Perdana Ain, NIM: 42122278 dengan judul "*Analisis Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mamuju 2x25 MW Berdasarkan Pengaruh Load Capacity Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 & 2*".

Makassar, 18 Agustus 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- | | |
|--|---|
| 1. Ir. Syarifuddin, M.T. | Ketua (..... ) |
| 2. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. | Sekretaris (..... ) |
| 3. Muhammad Imran Bachtiar, S.T., M.T. | Anggota 1 (..... ) |
| 4. Desy Widyaningsih, S.ST., M.T. | Anggota 2 (..... ) |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul ” *Analisis Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mamuju 2x25 MW Berdasarkan Pengaruh Load Capacity Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 & 2*” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian bertempat di PLTU Mamuju 2x25 MW.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T
2. Ketua Jurusan T. ELEktro Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D.
3. Ketua Program Studi S1-Terapan Teknik Listrik Bapak Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.
4. Ibu Sarma Thaha, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I dan Ibu Andarini Asri S.T., M.T. sebagai Pembimbing II, yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Pihak industry PLTU Mamuju 2x25 MW
6. Dosen dan tenaga kependidikan
7. Kedua orang tua penulis Bapak Almin Ilham Nender dan Ibu Mantansia AR, yang selalu memberikan support serta do'a dalam setiap langkah yang diambil oleh penulis.
8. Teman-teman alih jenjang S1-Terapan Teknik Listrik

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, 15 Agustus 2023

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PENERIMAAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Masalah	3
1.4 Tujuan Kegiatan	4
1.5 Manfaat Kegiatan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengertian PLTU	6
2.2 Prinsip Kerja PLTU.....	7
2.3 Siklus Rankine.....	9
2.4 Bagian-Bagian PLTU	11
2.4.2.1 Perhitungan Interpolasi Entalpy antara Tekanan & Temperature.....	33
2.4.2.2 Perhitungan Efisiensi turbine	33
2.4.2.3 Perhitungan Kerja dan Daya turbine	33
2.5 Optimasi	41
2.5.1 Pemeliharaan Rutin.....	43
2.5.2 Pemeliharaan Periodik	44
BAB III METODE PENELITIAN.....	49
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	49

3.2	Prosedur Penelitian.....	49
3.3	Teknik Pengumpulan Data	51
3.4	Teknik Analisis Data	52
3.5	Data Pembebanan PLTU	53

BAB IV HASIL & PEMBAHASAN

4.1	Umum.....	56
4.2	Hasil Perhitungan	56
4.3	Optimalisasi Efisiensi Generator	66

BAB V KESIMPULAN & SARAN

5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Rencana Usaha Penyedia Tenaga Listrik (RUPTL)	1
Gambar 2. 1 Proses Konversi Energi Pada PLTU	6
Gambar 2. 2 Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU	8
Gambar 2. 3 Bagan Sederhana Siklus Rankine	9
Gambar 2. 4 Diagram T-s Siklus Rankine.....	10
Gambar 2. 5 Jenis-Jenis Boiler	13
Gambar 2. 6 Boiler CFB.....	13
Gambar 2. 7 Spesifikasi Boiler CFB PLTU Mamuju.....	14
Gambar 2. 8 Proses Boiler CFB	15
Gambar 2. 9 Siklus Air Pada Boiler	16
Gambar 2. 10 Boiler Drum.....	19
Gambar 2. 11 LP Heater	20
Gambar 2. 12 Gambar 2.14 HP Heater.....	21
Gambar 2. 13 Hubungan Temperatur Dengan Kelarutan Oksigen.....	22
Gambar 2. 14 Deaerator	23
Gambar 2. 15 Steam Drum.....	24
Gambar 2. 16 Primary Air Fan (PAF) PLTU Mamuju 2x25 MW	28
Gambar 2. 17 Secondary Air Fan (SAF) PLTU Mamuju 2x25 MW	28
Gambar 2. 18 Prinsip Kerja ESP	29
Gambar 2. 19 Electro Static Precipitator (ESP).....	30
Gambar 2. 20 <i>Stack/Chimney</i>	31
Gambar 2. 21 Turbin Uap 30 MW PLTU Mamuju.....	32
Gambar 2. 22 Generator PLTU Mamuju.....	37
Gambar 2. 23 <i>Main Exciter</i> Generator PLTU Mamuju 2x25 MW.....	38
Gambar 2. 24 <i>Main transformator</i> PLTU Mamuju 2x25 MW.....	39
Gambar 2. 25 <i>Auxylary Transformator</i> PLTU Mamuju 2x25 MW	40
Gambar 2. 26 Kondensor.....	41
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> penelitian.....	49
Gambar 4.1 <i>Software</i> perhitungan <i>steam table</i>	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data pembebanan unit 2.....	53
Tabel 3.2 Data pembebanan unit 1.....	54
Tabel 4.1 Hasil perhitungan efisiensi generator unit 1.....	59
Tabel 4.2 Hasil perhitungan efisiensi generator unit 2.....	61



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Abdehi Perdana Ain
NIM : 42122278
Program Studi : D4 Teknik Listrik
Tempat / Tgl. Lahir : Ujung Pandang, 11 Mei 1999
Alamat : Jl. Dirgantara Lr. 2 No. 22 A

Dengan ini menyatakan :

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul :

Analisis Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mamuju 2x25 MW Berdasarkan pengaruh *Load Capacity* terhadap *Efisiensi* Generator Unit 1 & 2

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 15 Agustus 2023

Hormat Saya,


(Abdehi Perdana Ain)

**ANALISIS OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
MAMUJU 2X25 MW BERDASARKAN PENGARUH *LOAD CAPACITY*
TERHADAP EFISIENSI GENERATOR UNIT 1 & 2**

RINGKASAN

Dalam menghadapi kebutuhan energi yang kian mendesak, efisiensi operasional di lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi sorotan utama. Penelitian ini menyoroti urgensi efisiensi di PLTU Mamuju 2x25 MW, dengan fokus pada analisis efisiensi generator dan rekomendasi yang konkret untuk mengembangkan kinerja.

Data operasional dari kedua unit generator menjadi titik tolak penelitian. Analisis mendalam melibatkan perhitungan daya masuk dan keluaran, serta mengevaluasi perubahan efisiensi pada Unit 1 dan Unit 2 seiring variasi beban. Analisis ini mengungkap arah penurunan efisiensi yang terjadi pada unit generator tertentu selama kurun waktu tertentu.

Penelitian ini merujuk pada studi-studi sebelumnya, seperti analisis Dwi Cahyadi dan Hermawan (2015) terhadap PLTU Rembang kapasitas 300 MW serta riset Joko Purnomo dan Mohamad Effendy terhadap PLTU Tanjung Awar-Awar 350 MW. Rekomendasi yang dihasilkan memberikan pijakan kuat bagi PLTU Mamuju untuk mengadopsi strategi yang teruji guna meningkatkan efisiensi operasionalnya.

Dalam kesimpulannya, penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai efisiensi dan performa operasional generator di PLTU Mamuju. Dengan memahami perhitungan daya, tren efisiensi pada variasi beban, serta dengan implementasi rekomendasi yang dihasilkan, diharapkan efisiensi operasional PLTU Mamuju dapat ditingkatkan secara signifikan.

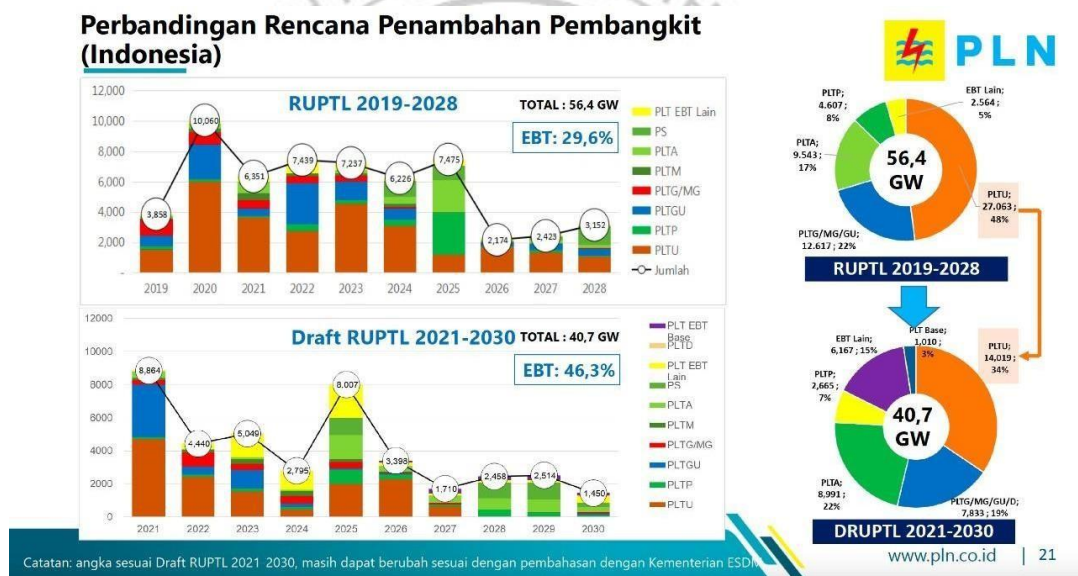
Kata Kunci: Efisiensi operasional, PLTU Mamuju, analisis data, variasi beban, rekomendasi operasional, studi sebelumnya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, terutama dalam sektor industri, teknologi, dan pembangunan, mendorong PLN (Persero) untuk meningkatkan produksi tenaga listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi salah satu pilihan utama dalam rencana usaha penyedia tenaga listrik energi primer, terutama karena kemudahan akses dan ketersediaan bahan bakar batu bara.



Gambar 1. 1 Rencana Usaha Penyedia Tenaga Listrik (RUPTL)
(sumber: www.pln.co.id)

Berdasarkan gambar 1.2, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menjadi rencana usaha penyedia tenaga listrik energi primer terbesar digunakan. Hal ini disebabkan bahan bakar batu bara yang relatif mudah didapat. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi

panas dari uap (*steam*) untuk memutar turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui komponen generator.

PLTU Mamuju memiliki kemampuan daya nominal sebesar 30 MW sesuai desain dalam *manual book* yang telah beroperasi selama 5 tahun. Selama periode operasional tersebut, efisiensi generator diindikasikan mengalami penurunan yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti derating, pemeliharaan, kesalahan pengoperasian, dan lain-lain.

Dwi Cahyadi, Hermawan (2015) dalam penelitiannya melakukan analisa perhitungan efisiensi turbin generator pada proses pembangkitan listrik PLTU Rembang kapasitas unit 300MW. Efisiensi generator didapat setelah mencari kerja total aktual turbin uap. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 98%, maka nilai efisiensi Turbin Generator QFSN-300-2-20B saat ini mengalami penurunan sebesar $\pm 5\%$.

Joko Purnomo, Mohamad Effendy dalam penelitiannya membuat analisa perhitungan efisiensi generator untuk PLTU Tanjung Awar-Awar 350 MW. Hasil perhitungan statistik microsoft excel dapat diprediksi interval antara data aktual dengan *comisioning* berkisar 1,13%, angka tersebut sekaligus penurunan performa generator dari efisiensi optimal yang pernah dicapai generator saat pertama kali dioperasikan.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis optimasi pada PLTU Mamuju untuk memahami pengaruh load capacity terhadap efisiensi generator di Unit 1 dan Unit 2.

Berdasarkan uraian di atas maka judul tugas akhir ini akan membahas tentang “Analisis Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mamuju 2x25 MW Berdasarkan Pengaruh *Load Capacity* Terhadap *Efisiensi* Generator Unit 1 & 2” yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh optimasi terhadap efisiensi generator di PLTU Mamuju 2x25 MW.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan analisis daya masuk dan daya keluaran pada generator PLTU Mamuju 2x25 MW?
2. Berapakah nilai efisiensi generator pada Unit 1 dan Unit 2 pada berbagai variasi load capacity? Manakah generator yang mengalami penurunan efisiensi paling signifikan?
3. Bagaimana menyusun rekomendasi untuk meningkatkan atau mempertahankan efisiensi generator di PLTU Mamuju 2x25 MW berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan??

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Untuk memperjelas masalah yang dibahas dan agar tidak terjadi pembahasan yang meluas, maka dibuat ruang lingkup kegiatan yang dibahas dalam proposal skripsi ini sebagai berikut:

1. Tidak membahas mengenai jaringan transmisi pada pembangkit listrik tenaga uap PLTU Mamuju 2x25 MW.
2. Tidak membahas perubahan kecepatan putar.

3. Tidak membahas masalah gangguan dan proteksinya.
4. Tidak membahas control generator.

1.4 Tujuan Kegiatan

Tujuan dari kegiatan ini adalah:

1. Menganalisis perhitungan daya masuk dan daya keluaran pada genertaor PLTU Mamuju 2x25 MW
2. Menganalisis nilai efisiensi generator unit 1 dan unit 2 pada berbagai variasi *load capacity* dan menganalisis perbandingan efisiensi generator unit 1 dan unit 2
3. Menyusun rekomendasi yang berdasarkan analisis untuk meningkatkan atau mempertahankan efisiensi generator di PLTU Mamuju 2x25 MW, dengan fokus pada unit generator yang mengalami penurunan efisiensi, sehingga memberikan kontribusi pada optimalisasi kinerja pembangkit dan pemanfaatan energi yang lebih efisien

1.5 Manfaat Kegiatan

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Manfaat Bagi Perusahaan: Dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk dapat melakukan tindakan optimalisasi efisiensi generator untuk menunjang produktivitas perusahaan
2. Manfaat Bagi Politeknik Negeri Ujung Pandang: Menambah refrensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang
3. Manfaat bagi peneliti:

- Menambah ilmu serta wawasan yang lebih luas lagi, mengenai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang PLTU khususnya pada pengalaman tentang optimasi generator.



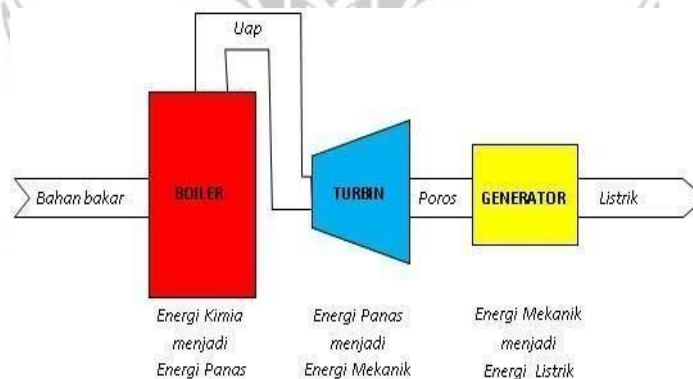
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian PLTU

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya baik dan bahan bakarnya mudah didapat sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 (tiga) tahapan yaitu :

- a. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
- b. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran
- c. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2. 1 Proses Konversi Energi Pada PLTU
(sumber: <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>)

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jenis pembangkit listrik lainnya. Keunggulan tersebut antarlain:

- a. Dapat dioperasikan dengan menggunakan berbagai jenis bahan bakar (padat, cair, gas).
- b. Dapat dibangun dengan kapasitas yang bervariasi.
- c. Dapat dioperasikan dengan berbagai mode pembebanan.
- d. Kontinuitas operasinya tinggi.
- e. Usia pakai (*life time*) relatif lama.

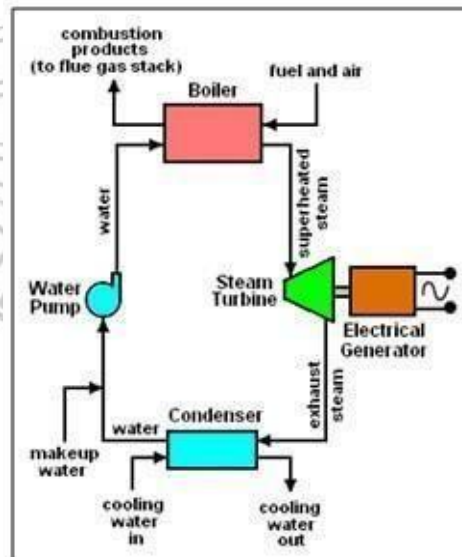
Namun pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) mempunyai beberapa kelemahan yang harus dipertimbangkan dalam memilih jenis pembangkit termal. Kelemahan itu adalah:

- a. Sangat tergantung pada tersedianya pasokan bahan bakar.
- b. Tidak dapat dioperasikan (*start*) tanpa pasok listrik dari luar.
- c. Memerlukan tersedianya air pendingin yang sangat banyak dan kontinu.
- d. Investasi awalnya mahal.

2.2 Prinsip Kerja PLTU

Prinsip Kerja PLTU Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu sistem tertutup, air dari kondensat atau air dari hasil proses pengondensasian di kondensor dan air *make up water* (air yang dimurnikan) dipompa oleh *condensat pump* ke pemanas tekanan rendah. Disini air dipanasi kemudian dimasukkan oleh *deaerator* untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh *boiler feed water pump* masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa untuk dipanaskan pada *tube boiler*.

Pada *tube*, air dipanasi berbentuk uap air. Uap air ini dikumpulkan kembalipada *steam drum*, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada *superheater* sudah berubah menjadi uap kering yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi, dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan sudu turbin tekanan tinggi, untuk sudu turbin menggerakkan poros turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar poros generator yang dihubungkan dengan *coupling*, dari putaran ini dihasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari generator disalurkan dan didistribusikan lebih lanjut ke pelanggan. Uap bebas dari turbin selanjutnya dikondensasikan dari kondensor dan bersama air dari *make up water pump* dipompa lagi oleh pompa kondensat masuk ke pemanas tekanan rendah, *deaerator*, *boiler feed water pump*, pemanas tekanan tinggi, *economizer*, dan akhirnya menuju boiler untuk dipanaskan menjadi uap lagi. Proses ini akan terjadi berulang-ulang.

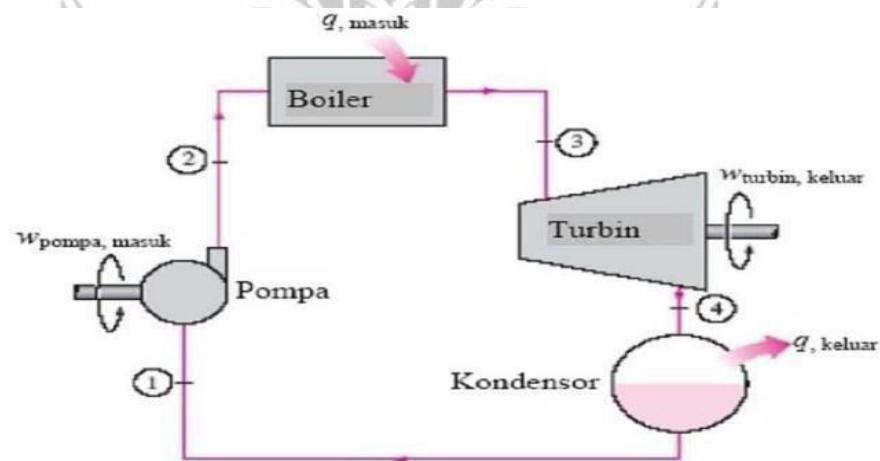


Gambar 2. 2 Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU
(sumber: <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>)

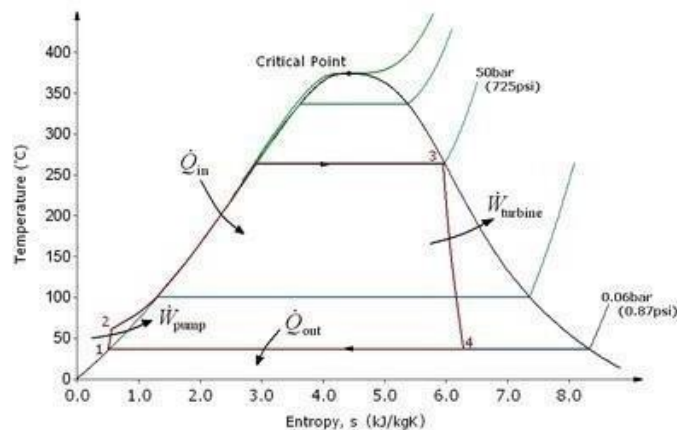
2.3 Siklus Rankine

Siklus rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus menghasilkan 80 % dari seluruh energi listrik yang dihasilkan diseluruh dunia.

Siklus rankine adalah model operasi mesin uap panas yang secara umum ditemukan di pembangkit listrik. Sumber panas yang utama untuk siklus rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari. Fluida pada siklus rankine mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun air dipilih karena berbagai karakteristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, dan murah.



Gambar 2. 3 Bagan Sederhana Siklus Rankine
(sumber: <https://www.etsworlds.id/2019/03/siklus-rankine-pada-pembangkit-listrik.html>)



Gambar 2. 4 Diagram T-s Siklus Rankine
(sumber: <https://www.etsworlds.id/2019/03/siklus-rankine-pada-pembangkit-listrik.html>)

Siklus rankine tidak melibatkan irreversibel internal dan terdiri

dari 4 tahapan proses

- 1– 2 merupakan proses kompresi isentropik dengan pompa
- 2– 3 Penambahan panas dalam boiler pada $P = \text{konstan}$
- 3– 4 Ekspansi isentropik ke dalam turbin
- 4– 1 Pelepasan panas di dalam kondensor pada $P = \text{konstan}$

Air masuk pompa pada kondisi sebagai cairan jenuh dan dikompresi sampai tekanan operasi boiler. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropi ini melalui sedikit pengurangan dari volume spesifik air. Jarak vertikal antara 1–2 pada T–s diagram ini biasanya dilebihkan untuk lebih amannya proses Air memasuki boiler sebagai cairan terkompresi pada kondisi 2 dan akan menjadi uap superheated pada kondisi 3.

Dimana panas diberikan oleh boiler ke air pada T tetap. Boiler dan seluruh bagian yang menghasilkan steam ini disebut sebagai steam generator. Uap superheated pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin

untuk diekspansi secara isentropik dan akan menghasilkan kerja untuk memutar *shaft* yang terhubung dengan generator listrik sehingga dihasilkanlah listrik.

P dan T dari steam akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana steam akan masuk kondensor dan biasanya sudah berupa uap jenuh. Steam ini akan didinginkan pada P konstan di dalam kondensor dan akan meninggalkan kondensor sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini. Area dibawah kurva proses 2–3 menunjukkan panas yang ditransfer ke boiler, dan area dibawah kurva proses 4–1 menunjukkan panas yang dilepaskan di kondensor. Perbedaan dari kedua aliran ini adalah kerja netto yang dihasilkan selama siklus.

2.4 Bagian-Bagian PLTU

PLTU adalah mesin pembangkit yang terdiri dari bagian utama dan peralatan penunjang / peralatan bantu. Bagian utama dari PLTU adalah:

- Boiler
- Turbin Uap
- Generator
- Transformator
- Kondensor

Sedangkan peralatan penunjang terdiri dari:

- *Water Treatment Plant (WTP)*
- *Water Cooling System*

- *Coal Handling System*
- *Ash Handling System*
- *Fuel Oil System*

Tiap-tiap komponen utama dan peralatan penunjang dilengkapi dengan sistem-sistem dan alat bantu yang mendukung kerja komponen tersebut.

Gangguan atau *malfunction* dari salah satu bagian komponen utama akan dapat menyebabkan terganggunya seluruh sistem PLTU.

2.4.1 Boiler

Boiler adalah salah satu peralatan utama suatu PLTU yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap dengan memanfaatkan energi panas yang diperoleh dari hasil pembakaran bahan-bahan seperti batu bara, HSD, Gas, MFO, dll.

Berikut beberapa jenis boiler:

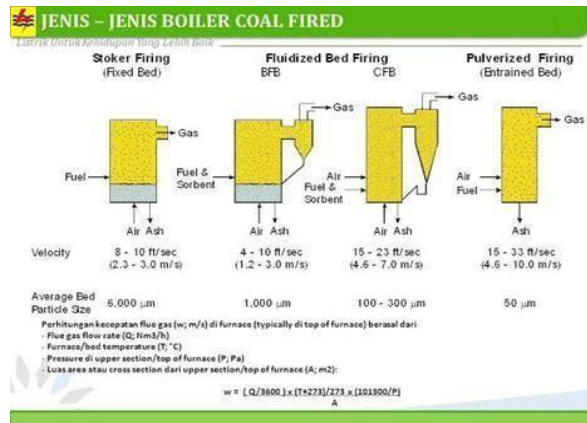
1. Boiler stoker mekanik

Jenis boiler ini menggunakan rantai berjalan sebagai tempat pembakaran terjadi. Udara panas ditiupkan dari bawah rantai sehingga batu bara terbakar. Boiler jenis ini dapat membakar berbagai jenis batu bara, limbah kayu, kulit kayu, bahkan sampah anorganik.

2. Pulverized

Jenis boiler ini yang paling banyak digunakan pada saat ini, menggunakan mill untuk menggiling batu bara menjadi serbuk sebelum diumpankan ke ruang bakar. Prinsip kerjanya hampir sama dengan boiler stoker mekanik, tidak menggunakan rantai, udara dengan tekanan dan

kecepatan tinggi dibebaskan dari dasar *furnace* sehingga batu bara melayang dan terbakar.



Gambar 2. 5 Jenis-Jenis Boiler
(sumber: <https://slideplayer.info/slide/2293304/>)

Pada PLTU mamuju menggunakan boiler CFB yang merupakan hasil repowering dan redesign dari boiler unggun fluidisasi.



Gambar 2. 6 Boiler CFB
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

Spesifikasi *Boiler* CFB PLTU Mamuju 2x25 MW:



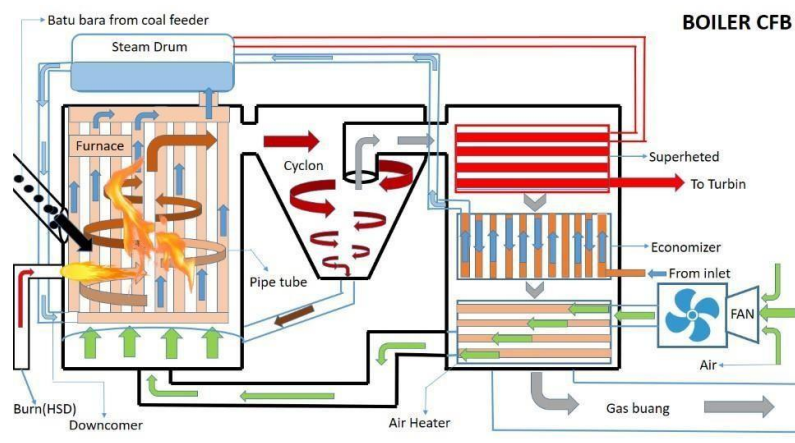
Gambar 2. 7 Spesifikasi *Boiler* CFB PLTU Mamuju
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

Manufacture	: wuxi huangang boiler CO.LTD.
Model	: UG-130/9.81-M
Nominal Operating Pressure	: 9.81 Mpa
Nominal Capacity	:117 t/h
Nominal Steal Temperature	: 540 °C

A. Prinsip Kerja *Boiler* CFB

Pada *furnace boiler* tipe CFB kecepatan gas lebih cepat daripada *boiler fluidized bed* yang sistem *bubling*. Agar kepadatan yang ada di dalam *furnace* yaitu *bed material* dapat terangkat dan mengalir maka diperlukan nilai kecepatan gas minimum agar partikel dapat terangkat dan keluar *furnance*. Pembakaran bahan bakar di dalam *furnace* terjadi akibat turbelensi, berbenturan dengan media pembakar yaitu pasir. Sisa bahan

bakar padat yang belum terbakar akan bersirkulasi melalui cyclone/compact separator.



Gambar 2. 8 Proses Boiler CFB
(sumber: <https://slideplayer.info/slide/2293304/>)

B. Komponen Utama *Boiler* CFB

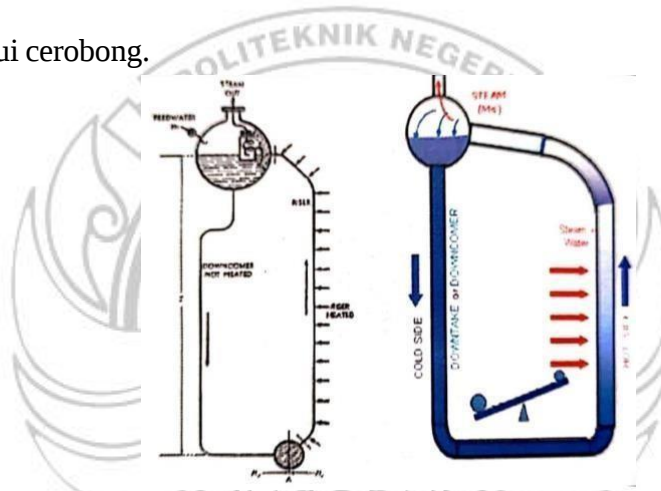
Boiler terdiri dari beberapa ruangan yang memiliki fungsi yang berbeda-beda, yaitu :

- **Furnance** yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pembakaran bahan bakar. Komponen yang terdapat di furnace: *Wall Tube, Panel Evaporator, Panel Superheater*.
- **Cyclone** yang berfungsi untuk memisahkan batubara yang belum terbakar dengan abu (ash) sisa pembakaran dan mengembalikannya ke furnace. Komponen utama *Cyclone*: *Cyclone, Seal Pot, Seal Pot*.
- **Backpass** yang berfungsi sebagai ruang pemanfaatan kalor yang terdapat dalam flue gas. Komponen utama di *Backpass*: *Finishing Superheater, Low Temperature Superheater, Economizer, Tubular Air Heater*.

C. Siklus Yang Terjadi dalam Boiler

1. Siklus air

Air sebagai fluida kerja diisikan ke boiler menggunakan pompa air pengisi (BFP) dengan melalui *economizer* dan ditampung didalam steam drum. *Economizer* adalah bagian dari boiler yang merupakan pemanas air terakhir sebelum masuk ke steam drum. Didalam *economizer* air menyerap panas gas buang yang keluar dari furnace sebelum dibuang ke atmosfer melalui cerobong.



Gambar 2. 9 Siklus Air Pada Boiler

(sumber: <https://www.eonchemicals.com/artikel/prinsip-kerja-boiler/>)

Siklus air di boiler adalah air dari steam drum turun melalui pipa-pipadown comer ke header bawah (*bottom header*). Dari header bawah air didistribusikan ke pipa-pipa pemanas (*riser*) yang tersusun membentuk dinding ruang bakar boiler. Didalam riser air mengalami pemanasan sehingga mendidih dan naik ke drum kembali.

Perpindahan panas dari api/gas ke air didalam pipa-pipa boiler terjadi secara radiasi, konveksi dan konduksi. Akibat pemanasan selain temperatur naik hingga

mendidih juga terjadi sirkulasi air secara alami dari drum turun melalui down comer ke header bawah dan naik kembali ke drum melalui pipa-pipa riser. Adanya sirkulasi ini sangat diperlukan agar terjadi pendinginan terhadap pipa-pipa pemanas dan mempercepat proses perpindahan panas, Kecepatan sirkulasi akan berpengaruh terhadap produksi uap dan kenaikan tekanan serta temperaturnya.

a. *Economizer*

Economizer merupakan salah satu peralatan yang meningkatkan efisiensi boiler karena memanfaatkan kalor yang terkandung dalam flue gas sebelum terbuang ke atmosfer melalui stack. Dengan kata lain dengan adanya ekonomizer maka unit PLTU telah menghemat konsumsi bahan bakar. Economizer terdiri dari pipa-pipa air yang ditempatkan pada lintasan gas asap sebelum meninggalkan boiler. Transfer panas yang terjadi pada ekonomizer adalah secara konveksi. Artinya flue gas memberikan panas pada pipa-pipa *economizer* sehingga temperatur air yang ada di dalam pipa-pipa naik dari 180°C sampai 250°C. Pipa-pipa ekonomizer terbuat dari bahan baja yang sanggup menahan panas dan tekanan tinggi. Pada pipa-pipa ekonomizer sering sekali terjadi kerusakan. Beberapa penyebab kerusakan yang sering terjadi pada pipa-pipa ekonomizer adalah acid attack, shorttherm overheat, mechanical fatigue, slagging, scalling. Apabila temperatur flue gas melalui ekonomizer terlalu tinggi maka dapat terjadi overheat pada pipa-pipa ekonomizer yang mengakibatkan pipa ekonomizer pecah. Dan apabila temperatur flue gas melalui ekonomizer terlalu

rendah maka dapat terjadi slagging yang mengakibatkan pipa economizer bocor akibat diferensial temperatur.

Kerusakan pipa *economizer* pada bagian dalam pipa (sisi air) dapat dihindarkan dengan jalan melunakkan air pengisi terlebih dahulu, dan kerusakan pipa *economizer* pada bagian luar pipa (sisi gas asap) diatasi dengan mempertahankan temperatur flue gas diatas titik embun gas sulfur dan melakukan *soot blowing* secara berkala.

b. *Boiler Drum*

Boiler drum adalah bejana tempat menampung air yang datang dari economizer dan uap hasil penguapan dari tube wall. Kira-kira setengah dari drum berisi air dan setengahnya lagi berisi uap. Boiler drum terbuat dari plat baja dilas dan dilengkapi diantaranya:

- *Manhole*
 - Saluran menuju *superheater*
 - Saluran menuju *feedwaterinlet*
 - Saluran menuju *blowdown*
 - Saluran menuju *downcomer*
 - Saluran menuju *safetyvalve*
- Pipa injeksi bahan kimia
 - Pipa sample taking
 - Pipa menuju alat ukur dan *control*

Pengaturan level didalam boiler drum dilakukan dengan mengatru besarnya pembukaan flow control valve. Apabila level air didalam drum terlalu rendah atau tidak terkontrol akan menyebabkan terjadinya *overheating* pada pipa-pipa boiler, sedangkan bila level drum terlalu tinggi, kemungkinan butir-butir air terbawa keturbin dan mengakibatkan kerusakan pada turbin. Untuk mengamankannya, pada boiler drum dipasang alaram *level high* dan *level low* dan *very high*. Uap yang dihasilkan dari dalam tube wall terkumpul didalm boiler drum. Uap akan mengalir kearah puncak boiler drum melewati steam separator dan screen dryer lalu keluar dari dalam drum menuju superhater dan akhirnya keturbin. Sedangkan butir-butir air ysng jatuh akan bersiklus kembali bersama air yang baru masuk.



Gambar 2. 10 Boiler Drum
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

c. *LP Heater dan HP Heater*

Prinsip kerja *LP heater* adalah air kondensat dialirkan di dalam pipa dan uap panas mengalir di luar pipa. PLTU Mamuju 2 x 25 MW menggunakan empat buah *LP heater* untuk pemanasan awal pada tekanan rendah secara bertahap. Proses selanjutnya air menuju deaerator untuk proses pengurangan unsur oksigen yang masih terkandung dalam air kondensat. Dari deaerator air kondensat dipompakan oleh boiler feed pump untuk menambah tekanannya. Setelah diberi tekanan oleh boiler feed pump, air kondensat berubah sebutannya menjadi air pengisi. Air pengisi lalu menuju *HP heater* untuk pemanasan awal. Prinsip kerja dari *HP heater* sama dengan *LP heater*, bedanya hanya pada tekanan dan temperatur air pengisi serta sumber uap ekstraksi. PLTU Mamuju menggunakan dua buah *HP heater* sehingga pemanasan awal air pengisi pada tekanan tinggi dilakukan secara bertahap. Proses selanjutnya setelah *HP heater* air pengisi kemudian masuk ke bagian bawah boiler yang disebut economizer untuk dipanaskan lebih lanjut.



Gambar 2. 11 LP Heater
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)



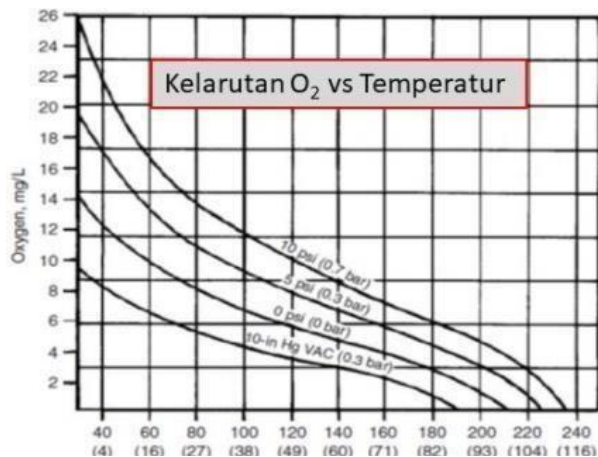
Gambar 2. 12 Gambar 2.14 HP Heater
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

d. Deaerator

Deaerator adalah alat yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen dan gas terlarut dalam air. Prinsip kerja deaerator adalah dengan (1) Pemanasan (2) Agitasi dan (3) Penghirupan oksigen yang telah dilepaskan dari air. Alat ini biasanya digunakan dalam pengolahan air umpan boiler. Kegagalan dalam menghilangkan oksigen dapat menimbulkan masalah pada boiler yang sangat serius.

1. Pemanasan

Hubungan temperatur dan kelarutan oksigen dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 2. 13 Hubungan Temperatur Dengan Kelarutan Oksigen
(sumber: <https://www.eonchemicals.com/artikel/prinsip-kerja-deaerator/>)

Semakin rendah temperatur air, kelarutan oksigen semakin tinggi. Hal ini berarti oksigen sulit untuk terlepas dari air sehingga nilai oksigen terlarut akan tinggi. Jika oksigen terlarut tinggi maka potensi terjadinya korosi akan semakin tinggi pula. Sebaliknya, jika temperatur air tinggi maka kelarutan oksigen menurun. Hal ini berarti oksigen mudah terlepas dari air, dan kandungan oksigen menjadi kecil. Dengan sifat inilah maka faktor pemanasan menjadi prinsip kerja deaerator yang perlu diperhatikan.

Dengan kecilnya jumlah oksigen terlarut dalam air, maka potensi terjadinya korosi juga akan kecil temperatur deaerator $> 95^{\circ}\text{C}$ nilai kelarutan oksigen sudah kurang lebih 1 ppm.

2. Agitasi

Selain dengan pemanasan, untuk mempercepat hilangnya oksigen dengan cara agitasi atau pengadukan yang meliputi *spray* (penyemprotan) dan *tray* (tatakan).

3. Peniupan

Setelah oksigen terlepas, baik dengan sistem pemanasan maupun dengan agitasi, maka selanjutnya ditiup keluar dengan steam.

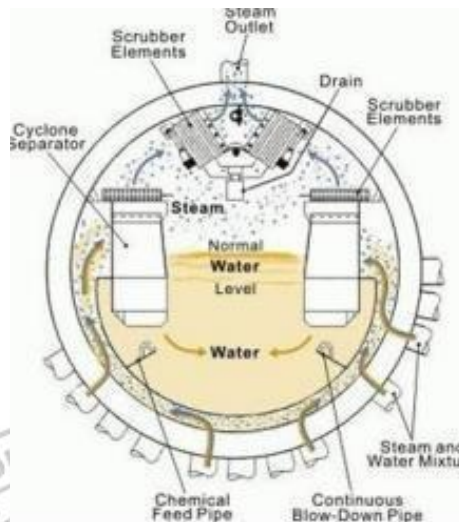


Gambar 2. 14 Deaerator
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

e. *Steam Drum*

Steam drum adalah suatu alat pada boiler yang berfungsi untuk menampung *feed water* dalam pembuatan uap yang temperaturnya cukup tinggi dan berupa campuran air dan di dalam steam drum terapat peralatan pemisah uap. Campuran *feed water* dan uap mengalir mengikuti bentuk *separator* sehingga uap air pada campuran akan jatuh dan masuk ke saluran primary dan *secondary superheater*. Uap yang telah dipisahkan oleh separator masuk ke *cevrondryers*. Disini uap mengalami pemisahan yang terakhir sehingga di dapat uap jenuh. Air yang jatuh akan dialirkan ke bagian bawah dari drum secara gravitasi

dan mengalir ke dalam tempat penampungan kemudian keluar melalui *down corner* dan uap jenuh akan keluar dari *dry box*.



Gambar 2. 15 Steam Drum
(sumber: <https://artikel-teknologi.com/komponen-komponen-boiler-pipa-air/>)

f. *Superheater*

Superheater adalah peralatan yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan turbin. Karena uap yang terbentuk dari pemanasan didalam pipa - pipa di ruang bakar berada dalam wujud jenuh atau basah maka uap yang demikian jika digunakan atau diekspansi dalam turbin, akan menimbulkan pengembunan yang cepat. *Superheater* dibedakan atas 2 jenis yaitu:

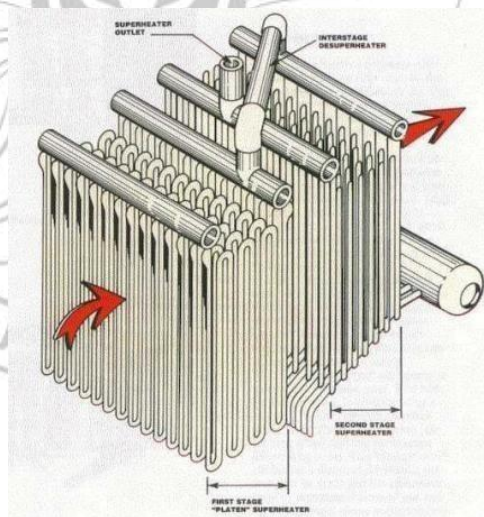
- *Low Temperature Superheater (LTS)*

Uap jenuh dari steam drum dialirkan ke primary superheater atau low temperature superheater. Low Temperature Superheater (LTS)

menghasilkan uap dengan temperatur 426°C. Uap yang keluar dari LTS kemudian dialirkan ke HighTemperature Superheater untuk dipanaskan kembali menjadi uap panas lanjut. Uap dari LTS juga digunakan untuk steam atomizing yang membantu proses pengabutan bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar sempurna.

- *High temperature superheater*

Uap hasil pemanasan *LTS* selanjutnya mengalir ke *high temperature superheater (HST)* yang terletak pada bagian gas sangat panas. Sebagian *HST* terletak tepat diatas ruang bakar, oleh karena itu transfer panas yang diperoleh *HTS* adalah secara konveksi. Kemudian uap panas yang diperoleh dari *HTS* mengalir keturbin.



Gambar 2.18 *Superheater*
(sumber: <https://artikel-teknologi.com/komponen-komponen-boiler-pipa-air/>)

g. *Desuperheater*

Desuperheater merupakan *spray water* yang digunakan untuk mengatur temperatur uap yang dialirkan ke turbin. Alat sudah dibuat sedemikian rupa sehingga bila temperatur uap melebihi ketentuan, maka *desuperheater* ini akan menyemprotkan air yang berasal dari discharge boiler feed pump sampai temperaturnya normal kembali.

h. *Soot Blower*

Fungsi *soot blower* adalah untuk membersihkan abu atau jelaga yang menempel pada bagian boiler yang dilewati gas buang. Hasil reaksi pembakaran bahan bakar dan udara selain api dan gas panas adalah abu dan jelaga. Abu ini terbawa gas dan akan menempel pada pipa-pipa dan saluran yang dilewati gas buang sehingga menimbulkan *slaging* dan *fouling* (pengotoran). Apabila hal pengotoran ini dibiarkan menempel pada pipa-pipa (peralatan pemindah panas) akan menghambat perpindahan panas dari gas ke air, uap atau udara yang dipanaskan. Oleh karena itu abu dan jelaga ini harus dibersihkan dan dibuang. Bagian yang di *soot blowing* adalah:

- a. Pipa-pipa *superheater*
- b. Pipa-pipa *economizer*
- c. Elemen-elemen *air heater*

soot blower PLTU Mamuju dioperasikan pada saat boiler beroperasi dengan menggunakan media uap.

2. Siklus Uap

Uap yang ada di dalam steam drum dalam kondisi jenuh kemudian dialirkan ke Superheater I, Superhaeter II, Kemudian Finishing Superheater. Uap dari keluaran dari Finishing Superheater kemudian masuk ke Turbin yang digunakan untuk memutar Turbin. Pada Superheater, uap dipanaskan dengan menggunakan gas sisa pembakaran didalam Furnace.

Apabila suhu uap melebihi batas suhu kerjanya, maka desuperheater kerja menyemprotkan air untuk menurunkan suhu sehingga sesuai harga yang diinginkan. Desuperheater terletak diantara Superheater I dan Superheater II.

3. Siklus udara pembakaran

Udara diperlukan didalam proses pembakaran bahan bakar didalam furnace. Udara tersebut berasal dari atmosfer yang dihisap oleh Secondary Air Fan (SAF) dan Primary Air Fan (PAF). Kemudian di alirkan ke Tabular Air Heater dan di distribusikan ke Furnace untuk proses pembakaran. PAF berfungsi sebagai udara primer yang digunakan untuk menjaga agar material bed dan batubara tetap melayang dalam Furnace. SAF berfungsi untuk pemasok udara pembakaran dan sebagai sealing pada dinding furnace agar material tidak menempel pada dinding furnace.



Gambar 2. 16 *Primary Air Fan (PAF)* PLTU Mamuju 2x25 MW

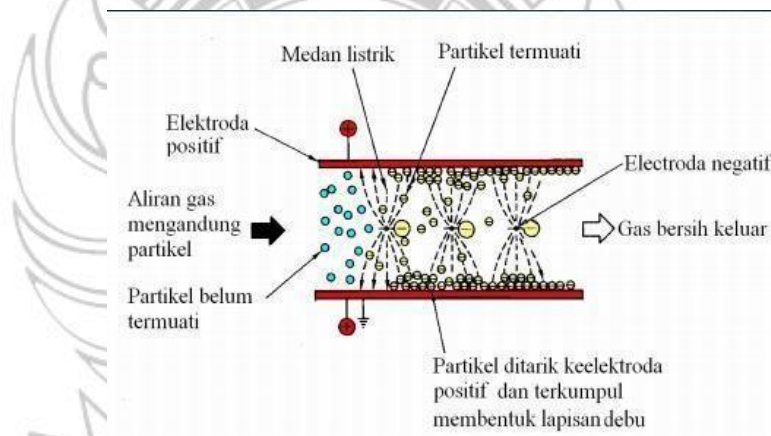


Gambar 2. 17 *Secondary Air Fan (SAF)* PLTU Mamuju 2x25 MW

Sedangkan untuk mendorong material yang belum habis terbakar dalam *Furnace* dari *Cyclone* masuk ke *Furnace* kembali agar pembakaran lebih sempurna maka digunakan *High Pressure Fluidizing Fan (HPPF)*.

4. Sistem gas buang

Gas panas hasil pembakaran atau disebut gas buang (*flue gas*) berfungsi sebagai sumber energi panas / kalor yang dialirkan dari ruang bakar (*furnace*) ke pipa-pipa Superheater kemudian ke Economizer dan Tabular Air Heater. Dari air heater, gas masuk ke *Electrostatic Precipitator (ESP)* kemudian dihisap oleh *Induced Draft Fan (IDF)* untuk selanjutnya dibuang ke atmosfer melalui Stack/Chimney yang berfungsi sebagai pendispersi flue gas sehingga batas emisi *flue gas* yang dibuang ke lingkungan sesuai dengan peraturan mengenai baku mutu emisi untuk PLTU berbahan bakar batubara.



Gambar 2. 18 Prinsip Kerja ESP
(sumber: <https://www.pengadaan.web.id/2021/10/electrostatic-precipitator-adalah.html>)



Gambar 2. 19 Electro Static Precipitator (ESP)
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)



Gambar 2.24 *Induced Draft Fan* (IDF)
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)



Gambar 2. 20 *Stack/Chimney*
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

2.4.2 Turbine Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara. Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua

bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal.

Pada PLTU Mamuju menggunakan turbin uap N30-8.83-1 dengan daya 30 MW.



Gambar 2. 21 Turbin Uap 30 MW PLTU Mamuju

Berikut Spesifikasi turbin uap N30-8.83-1 :

<i>Type</i>	: <i>Condensing Steam Turbine</i>
<i>Manufacture</i>	: DONGFANG TURBINE Co. Ltd.
<i>Rated Power</i>	: 30 MW
<i>Steam Pressure</i>	: 8.83 Mpa
<i>Steam Temperature</i>	: 535 °C

<i>Rated Speed</i>	: 3000 rpm
<i>Critical speed</i>	: 1700-2000 rpm (<i>design</i>)
<i>Feedwater Temperature</i>	: 160 °C
<i>Cooling water temperature</i>	: 36 °C

2.4.2.1 Perhitungan Interpolasi Entalpy antara Tekanan & Temperature

Dengan menggunakan perhitungan interpolasi pada *steam table* termodinamika dasar. Kita, dapat mengetahui nilai Entalpy dengan menggunakan parameter tekanan dan temperature. Namun, pada saat ini teknologi software *steam table* juga mampu melakukan tersebut dengan hanya memasukkan nilai-nilai tekanan dan temperature, maka nilai Entalpy dan lain2 akan dapat diketahui

2.4.2.2 Perhitungan Efisiensi turbine

Menghitung *heat rate* turbine (THR)

$$THR = \frac{m (h_1 - h_2)}{GROSS\ OUTPUT} \times 100\%$$

Menghitung efisiensi turbine uap dengan persamaan:

$$\eta_{turbine} = \frac{Energi\ kalor\ dalam\ 1\ kWh}{Heat\ Rate\ Turbine} \times 100\%$$

2.4.2.3 Perhitungan Kerja dan Daya turbine

Menghitung kerja dan Daya Turbine dengan persamaan:

$$W_T = m \cdot (h_1 - h_2)$$

Dimana: $m = \text{steam flow uap (kg/s)}$

$h_1 = \text{Entalpy masuk turbine (kJ/kg)}$

h_2 = Entalpy masuk boiler / keluaran turbine (kJ/kg)

$$P_T = W_T \cdot \eta \text{ turbin} / 1000$$

Dimana: W_T = Kerja Turbine (kW)

P_T = Daya Turbine (MW)

η_{turbin} = Efisiensi Turbine (%)

2.4.3 Generator dan Exciter

Tujuan utama dari kegiatan di PLTU adalah menghasilkan energi listrik. Produksi energi listrik merupakan target dari proses konversi energi di PLTU. Generator yang dikopel langsung dengan turbin akan menghasilkan tegangan listrik manakala turbin berputar.

Proses konversi energi di dalam generator adalah dengan memutar medan magnet didalam kumparan. Rotor generator sebagai medan magnet menginduksi kumparan yang dipasang pada stator sehingga timbul tegangan diantara kedua ujung kumparan generator. Untuk membuat rotor agar menjadi medan magnet, maka dialirkan arus DC ke kumparan rotor. Sistem pemberian arus DC kepada rotor agar menjadi magnet ini disebut eksitasi.

Secara umum terdapat 2 tipe konstruksi. Pada salah satu tipe sistem magnet berada dalam keadaan *stasioner* yaitu tidak bergerak sedangkan armatur kumparan yang berputar di dalam medan magnet. Pada tipe kedua armatur kumparan yang tidak bergerak sedangkan magnet terpasang pada suatu roda yang bergerak mengelilingi kumparan. Kedua tipe mesin menghasilkan listrik arus bolak balik, atau arus tukar. Arus tukar dapat di konversikan menjadi arus searah dengan mempergunakan kontak kontak berputar dan sikat, berupa

komutator yang terpasang pada poros generator listrik. Roda yang terpasang di tengah tengah dengan elektromagnetik pada tipenya dikenal sebagai rotor. Rotor yang diperlihatkan memiliki dua pasang *elektromagnet* yang menonjol. Karena yang dinamakan rotor kutup menonjol. Jenis rotor lain adalah rotor silinder, dan kutub kutubnya tidak menonjol keluar. *Elektromagnet* yang terpasang pada rotor diisi dengan arus searah oleh sebuah generator kecil yang dinamakan dinamo penguat, yang biasanya terpasang pada poros generator. Tegangan arus searah diatur dengan mengendalikan sebuah *reostat*. Rotor terletak di dalam sebuah rumah dilengkapi dengan kumparan karena rumah ini merupakan bagian generator yang tidak bergerak atau statis, dinamakan stator. Bila mana poros rotor tersambung pada sebuah penggerak mula dan diputar, medan magnet yang turun berputar akan memotong kumparan kumparan stator. Didalam kumparan stator akan diinduksikan gaya gerak listrik dan dibangkitkan energi listrik. Frekuensi energi listrik itu tergantung dari jumlah pasangan kutub dan kecepatan putar rotor berputar: (Pembangkit tenaga listrik, Abdul Kadir, 2010)

$$F = \frac{(P \times N)}{60}$$

F = Frekuensi (c/s)

P = Jumlah pasang kutub

N = putaran per menit (ppm)

Di dalam generator arus searah dikenal tiga macam daya yaitu daya masukan (Pin), daya pada jangkar (daya dalam Pa), dan daya keluaran (Pout). Daya masukan adalah daya yang digunakan untuk memutar rotor generator. Daya pada jangkar (daya dalam) adalah daya yang dihasilkan

oleh lilitan jangkar sedangkan daya keluaran adalah daya yang dipakai oleh beban. Perbandingan antara daya keluaran P1 dengan daya masukan Pm disebut efisiensi generator dan dinyatakan dengan persamaan (Nuraini priyaningsi.2017)

Menghitung efisiensi generator dengan persamaan:

$$\eta_{\text{Generator}} = \frac{\text{Beban Generator}}{\text{Daya Turbine}} \times 100\%$$

atau

$$n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

Keterangan:

P_{out} = Daya Output

P_{in} = Daya Input

2.4.4 Rotor

Rotor adalah bagian motor listrik yang berputar. Rotor ini berbentuk silinder dan terbuat dari pelat pelat besi yang di pres atau dipadatkan. Seperti motor induksi yang lain, rotor pada motor pasa terpisah juga tidak berkumparan oleh karena itu, rotor ini jarang sekali rusak .

2.4.5 Stator

Stator adalah bagian motor listrik yang diam atau tidak berputar. Stator dibuat juga dengan menyusun dan mengepres pelat pelat besi menjadi bentuk utuh dan rapi sebagai tempat semua kumparan. Biasanya stator pada motor

induksi (kecuali pada motor kutub bayangan). Sumber:(Motor listrik,indra gunawan,2012)

Spesifikasi Generator PLTU Mamuju adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 22 Generator PLTU Mamuju

<i>Manufacture</i>	: Dongfang Electric Consortium/Machinery CO.LTD
<i>Type</i>	: QF2W-30-2CE
<i>Rated Power</i>	: 30 MW
<i>Rated Voltage</i>	: 10500 V
<i>Rated Current</i>	: 1941 A
<i>Excitation Current</i>	: 390 A
<i>Frequency</i>	: 50 Hz
<i>Rated Speed</i>	: 3000 rpm
<i>Power Factor</i>	: 0.85

Insulation Class : F

Connection : Y

Weight : 75.2 t

Efisiensi : 97.4 %

Spesifikasi *Exciter* Generator PLTU Mamuju:



Gambar 2. 23 *Main Exciter* Generator PLTU Mamuju 2x25 MW

Manufacture : Dongfang Electric Consortium/Machinery
CO.LTD

Type : WLQ130-3000

Frequency : 200 Hz

Rated Power : 130 kVA

Rated Voltage : 88 V

<i>Rated Current</i>	: 4.8 A
<i>Rated Speed</i>	: 3000 rpm
<i>Excitation Voltage</i>	: 200 V
<i>Excitation Current</i>	: 390 A
<i>Insulation Class</i>	: F
<i>Connection</i>	: Y

2.4.6 Transformator

Transformator merupakan alat listrik yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Tenaga listrik yang dihasilkan dari keluaran trafo selanjutnya dihubungkan ke rangkaian serandang hubung (*switch yard*). Selanjutnya dilanjutkan ke gardu induk (GI).



Gambar 2. 24 Main transformator PLTU Mamuju 2x25 MW

Spesifikasi Transformator Utama PLTU Mamuju :

Pabrik pembuat	: Shandong Dachi Electric Co.,Ltd
<i>Rated Power</i>	: 40 MVA
<i>Rated Voltage</i>	: 157,5±8x1,25%/10,5 KV

Rated Current : 2199,4 A
Wiring Group : Ynd11
Frequency : 50 Hz
Cooling : ONAN/ONAF
Impedance Uk : 12,5 %



Gambar 2. 25 Auxylary Transformator PLTU Mamuju 2x25 MW

Spesifikasi Transformator Pemakaian Sendiri PLTU Mamuju :

Pabrik pembuat : Shandong Dachi Electric Co.,Ltd

Rated Power : 10 MVA

Rated Voltage : 10,5±2x2,5%/6,3 KV

Rated Current : 916,4 A

Wiring Group : Ynd11

Frequency : 50 Hz

Cooling : ONAN/ONAF

Impedance Uk : 5 %

2.4.7 Kondensor

Kondensor adalah sebuah alat pengubah panas (*heat exchanger*) yang digunakan pada unit pembangkit dimana uap turbin yang telah menyelesaikan kerjanya diubah kembali menjadi air sebelum dikembalikan melalui sistem pemanasan air pengisi *boiler*. Tidak semua energi panas dapat dikonversikan menjadi energi berguna atau dengan kata lain harus ada yang dibuang ke lingkungan. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap proses transfer panas ke lingkungan terjadi pada kondensor. Fungsi kondensor adalah alat penukar panas yang merubah uap sisa dari kerja turbin untuk di kondensasikan kembali.



Gambar 2. 26 Kondensor
(sumber: PLTU Mamuju 2x25 MW)

2.5 Optimasi

Optimasi (Optimization) adalah aktivitas untuk mendapatkan hasil terbaik di dalam suatu keadaan yang diberikan. Tujuan akhir dari aktivitas tersebut adalah meminimumkan usaha (effort) atau memaksimumkan manfaat (benefit) yang diinginkan. Karena usaha yang diperlukan atau manfaat yang diinginkan dapat dinyatakan sebagai proses untuk

menemukan kondisi yang memberikan nilai minimum atau maksimum dari sebuah fungsi. Kondisi tersebut dapat dimodelkan dalam fungsi tujuan, dimana fungsi tujuan itu dapat berupa fungsi linier atau fungsi non linier. (Theresia, dkk, 2018)

Optimasi efisiensi adalah proses mengidentifikasi, menganalisis, dan mengambil langkah-langkah untuk meningkatkan penggunaan sumber daya dan performa suatu sistem atau proses guna mencapai efisiensi yang lebih tinggi. Dalam konteks pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), optimasi efisiensi mengacu pada usaha untuk memaksimalkan rasio keluaran energi yang dihasilkan oleh generator terhadap masukan energi yang diperlukan untuk mengoperasikannya.

Proses optimasi efisiensi melibatkan langkah-langkah seperti pemantauan performa, identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi, analisis data operasional, dan pengambilan tindakan korektif atau perbaikan. Tujuan utamanya adalah mengurangi pemborosan energi, meminimalkan kerugian dalam transformasi energi, dan meningkatkan produktivitas keseluruhan.

Dalam kasus PLTU, optimasi efisiensi bisa mencakup penyesuaian pengaturan beban, pemeliharaan rutin, pemakaian teknologi prediktif untuk mendeteksi masalah potensial sebelum mereka menjadi serius, dan perbaikan pada proses operasi. Semua ini bertujuan untuk mencapai

performa yang lebih baik, mengurangi konsumsi bahan bakar atau sumber daya, dan menghindari kerugian yang dapat terjadi akibat efisiensi rendah.

Proses optimasi dalam pembagian beban pada unit pembangkit dalam melayani kebutuhan beban untuk menghasilkan biaya pembangkitan yang minimum. (Murti, dkk, 2020)

Pada kegiatan untuk menunjang optimasi efisiensi selama beroperasi, telah dilakukan pemeliharaan-pemeliharaan generator yang berupa:

1. Pemeliharaan yang bersifat rutin.
2. Pemeliharaan yang bersifat periode

2.5.1 Pemeliharaan Rutin.

Pemeriksaan yang bersifat rutin ialah pemeliharaan yang dilakukan secara berulang dengan periode waktu harian, mingguan dan bulanan dengan kondisi sedang beroperasi, yaitu meliputi :

1. Pemeriksaan temperatur belitan stator, *bearing*, air pendingin, dan sebagainya dilakukan setiap hari.
2. Pemeriksaan kebocoran pendingin minyak (khusus generator dengan pendingin hidrogen) dalam sekali sebulan.
3. Pemeriksaan vibrasi sekali sebulan.
4. Pemeriksaan tekanan hidrogen, seal oil pump.
5. Pemeriksaan *fuse rotating rectifier (Brushless excitation)* atau pemeriksaan sikat arang (*Static Excitation / DC Dinamic Excitation*).

Sumber:(PLTU Mamuju 2x25 MW)

2.5.2 Pemeliharaan Periodik.

Pemeriksaan yang bersifat periodik ialah pemeriksaan yang dilakukan berdasarkan lama operasi dari generator, yang diklasifikasikan :

1. *Simple inspection* setiap 8.000 jam.
2. *Medium Inspection*, setiap 16.000 jam.
3. *Seriuos Inspection*, setiap 32. 000 jam.

Pada kegiatan pemeliharaan periodik di atas, pemeliharaan generator yang dilakukan pada tahap *simple inspection* & *medium inspection* adalah:

Simple Inspection:

Unit 1 & Unit 2:

1. Pemasangan heating generator
2. Pengujian tahanan isolasi pada rotor & stator
3. Pemeriksaan dan cleaning debu pada rotor generator

System Eksitasi Generator:

4. Pengecekan sikat arang dan tekanannya pada
5. Pengecekan baut baut terminal dari sikat arang
6. Pengecekan kotoran pada dudukan sikat arang .
7. Pengecekan slipring, apakah ada permukaan yang cacat dan chek kebersihan.
8. Pengecekan sistem penyearah (*Rectifier*).
9. Pengujian tahanan isolasi transformstor dari *Rectifier*.

Medium Inspection:

Unit 1:

1. Pemasangan heating generator

2. Pengujian tahanan isolasi pada rotor & stator
3. Pemeriksaan dan cleaning debu pada rotor generator
4. Dilakukan heating menggunakan blower heater
5. Dilakukan heating menggunakan DC welding 200A
6. Cleaning outer Labyrinth Generator bearing 4 sisi lower
7. Cleaning housing outer labyrinth generator
8. Assembly outer labyrinth sisi lower
9. Cleaning part-part generator
10. Pengecekan carbon brush

System Eksitasi Generator:

11. Pengecekan sikat arang dan tekanannya pada
12. Pengecekan baut baut terminal dari sikat arang
13. Pengecekan kotoran pada dudukan sikat arang .
14. Pengecekan slipring, apakah ada permukaan yang cacat dan chek kebersihan.
15. Pengecekan sistem penyearah (*Rectifier*).
16. Pengujian tahanan isolasi transformstor dari *Rectifier*

Unit 2:

1. Pemasangan heating generator
2. Pengujian tahanan isolasi pada rotor & stator
3. Pemeriksaan dan cleaning debu pada rotor generator
4. Pengecekan carbon brush

System Eksitasi Generator:

5. Pengecekan sikat arang dan tekanannya pada
6. Pengecekan baut baut terminal dari sikat arang
7. Pengecekan kotoran pada dudukan sikat arang .
8. Pengecekan slipring, apakah ada permukaaan yang cacat dan chek kebersihan.
9. Pengecekan sistem penyearah (*Rectifier*).
10. Pengujian tahanan isolasi transformstor dari *Rectifier*.

optimasi efisiensi juga dapat dilakukan sebagai berikut:

- a) (Riza, 2021) Hal-hal yang perlu diperiksa yang perlu diperiksa bagian

Rotor generator meliputi:

1. Periksa kebersihan dan perubahan bentuk kumparan serta kerusakan dan penggeseran dari blok isolasinya.
2. Periksa kekendoran beban penyeimbang (*balance weight*).
3. Cek ujung komponen dibawah cincin penahan.
4. Periksa kelonggaran rakitan penghantar radial.
5. Periksa komponen-komponen rotor, seperti cincin penahan, pasok blower dan poros (komponen tersebut disarankan diperiksa dengan ultra sonic test atau penetrant test untuk mengetahui keretakan material-materialtersebut).
6. Teliti kelonggaran dari tiap-tiap baut dan plat alas.
7. Kerusakan dari rotor dan kopling, diteliti, pasak-pasak rotor dan bebanpenyeimbangan diperiksa kelonggarannya.
8. Perapat penekan dan cincin perapat harus diperiksa celahnya,

kerusakan perubahan bentuk. Cincin perapat harus diperiksa kelancaran gerakannya.

9. Tiap *labyrinth* harus diperiksa kerusakannya dan keadaan celahnya.

10. Periksa kerusakan bahan bantalan.

b) (Riza, 2021) Pemeliharaan generator pada stator dilakukan setelah rotor dikeluarkan, yang meliputi :

1. Belitan stator diperiksa tentang kemungkinan terjadinya kontaminasi, kerusakan, retak, pemanasan lebih dan keausan.
2. Pasak stator diperiksa kemungkinan terjadinya pergeseran (kedudukan) dari ujung pasak dan pengganjal dibawah pasak, serta kelonggaran dari pasak-pasak kumparan stator.
3. Penyangga ujung kumparan diperiksa, khususnya kelonggaran dari baut pengikatnya.
4. Penjarak isolasi (insulation spacer) diperiksa kemungkinan merapatnya jarak isolasi, kelonggaran dan keausan dari kain polyster, segmen penyangga kumparan, tali pengikat dan panahan ujung kumparan.
5. Cincin phasa, diperiksa kerusakan / perubahan bentuknya.
6. Gulungan di dalam alur (slot) diteliti kelonggarannya dari terminal.
7. Ujung penghantar utama (main lead), diperiksa kerusakan dari porselin bushing dan permukaan sambungan serta kondisi bagian dalam kotak saluran dan netralnya.
8. Pemeriksaan keadaan inti, yang meliputi kerapatan dan laminasilaminasi, tanda-tanda kerusakan mekanis, tanda-tanda pemanasan setempat dan

keadaan susunan pengikat inti.

9. Periksa permukaan kumparan, permukaan inti besi, benda-benda asing serta kebocoran minyak dan air.
10. Cek pendeteksi temperatur inti stator (RTD), bila perlu dites.
11. Periksa klem kawat pentanahan dan bagian-bagiannya.



BAB III

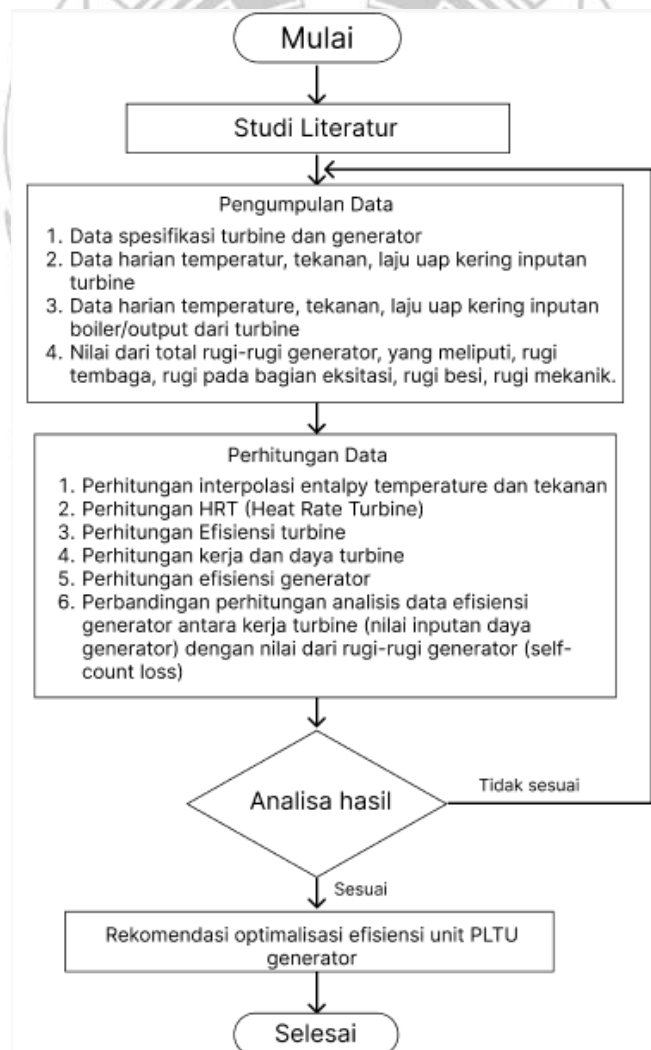
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PLTU Mamuju 2x 25 MW, Desa belang-belang, Kecamatan Kalukku, Kabupaten Mamuju. Waktu dan lama penelitian pada bulan Juni – Agustus 2023.

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 *Flowchart* penelitian

Pada gambar 3.1 dapat dijelaskan prosedur penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

- 1) Melakukan studi literatur dengan mencari referensi-referensi mengenai generator, boiler,
- 2) Melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian, yang meliputi data :
 1. Daya aktif pada generator pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Mamuju 2x25 MW.
 2. Nilai Kalor Bahan Bakar
 3. Konsumsi Bahan Bakar
 4. Nilai dari total rugi-rugi generator, yang meliputi, rugi tembaga, rugi pada bagian eksitasi, rugi besi, rugi mekanik.
 5. Data variasi load capacity
- 3) Melakukan pengolahan data setelah data yang dikumpulkan peneliti telah lengkap. Data diolah dengan mengacu pada tinjauan pustaka. Proses pengolahan data yang dilakukan sebagai berikut :
 - a) Mengolah data yang telah dikumpulkan dengan menggunakan rumus berdasarkan persamaan-persamaan yang ada pada tinjauan pustaka.
 - b) Pengambilan data, yaitu daya aktif (mw), yang di bangkitkan generator, Jumlah konsumsi bahan bakar (Liter/jam), dan nilai kalor bahan bakar (kka/jam).
 - c) Menganalisa data yang diperoleh untuk mendapatkan efisiensi kerja generator PLTU Mamuju 2x25 MW

- d) Memperhatikan hasil analisis berupa besarnya efisiensi generator PLTU Mamuju 2x25 MW . Apakah benar atau tidak jika tidak kita akan mengambil data kembali sampai mendapatkan hasil efisiensi yang benar .
- e) Dari proses pengolahan data didapatkan hasil dan pembahasan, sehingga dapat dianalisis kemudian ditarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Literatur

Metode literatur adalah metode dimana penulis mengumpulkan berbagai referensi-referensi baik berupa buku, jurnal, dan sumber lainnya yang berkaitan dengan kegiatan yang dilakukan dan dapat menunjang serta membantu proses pembuatan dan pengerjaan tugas akhir ini.

2. Metode Observasi

Metode observasi adalah metode dimana penulis mengumpulkan data dan melakukan pengamatan secara langsung di ruang CCR PLTU Mamuju 2x25 MW. Pengumpulan data juga dilakukan dengan cara melihat dan mencatat data-data dari dokumen pendukung pada bagian operasi.

3. Metode wawancara

Metode wawancara adalah metode dimana penulis melakukan tanya jawab secara langsung kepada pihak pegawai/staff di PLTU Mamuju 2x25

MW yang bertanggung jawab dan menangani generator.

3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan penulis dalam penelitian ini merujuk pada tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Berdasarkan tujuan penelitian, maka analisis data yang digunakan adalah analisis data deskriptif sebagai berikut:

- 1) Mengolah data yang telah dikumpulkan.
- 2) Menghitung daya input pada Turbin.
- 3) Menghitung efisiensi energi.
- 4) Menghitung efisiensi generator
- 5) Melakukan analisis data dari hasil perhitungan efisiensi
- 6) Membandingkan hasil efisiensi generator unit 1 dan unit 2 pada unit PLTU Mamuju 2x25 MW
- 7) Menarik kesimpulan dan saran serta rekomendasi untuk *system* optimalisasi PLTU Mamuju 2x25 MW

3.5 Data Pembebanan PLTU

Data penelitian yang dikumpulkan merupakan data pembebanan yang dihasilkan oleh generator PLTU Mamuju 2x25 MW tercatat pada tanggal 04 Agustus 2023

Tabel 3.1 Data Pembebanan unit 2

time	Beban Keluaran Generator (MW)	Beban Keluaran Generator (KW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam flow 1 (kg/h)	Main steam flow 1(kg/s)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	T1 (K)	h1 (kJ/kg)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)	T2 (K)	h2 (kJ/kg)
01:00:00	23,207	23.207	93,559	93.559,000	25,989	8,670	534,772	807,922	3.477,755	9,496	163,703	436,853	696,780
02:00:00	23,393	23.393	93,804	93.804,000	26,057	8,715	531,118	804,268	3.468,264	9,541	163,586	436,736	696,301
03:00:00	23,529	23.529	95,001	95.001,000	26,389	8,790	532,607	805,757	3.471,148	9,625	163,571	436,721	696,286
04:00:00	23,365	23.365	94,007	94.007,000	26,113	8,949	531,251	804,401	3.466,101	9,767	163,521	436,671	696,153
05:00:00	23,646	23.646	94,472	94.472,000	26,242	8,768	532,487	805,637	3.471,084	9,602	163,278	436,428	695,008
06:00:00	23,153	23.153	92,980	92.980,000	25,828	8,627	529,841	802,991	3.466,048	9,452	163,570	436,720	696,180
07:00:00	23,639	23.639	94,612	94.612,000	26,281	8,906	530,436	803,586	3.464,539	9,726	163,937	437,087	697,925
08:00:00	22,919	22.919	92,891	92.891,000	25,803	8,658	527,829	800,979	3.460,746	9,474	163,722	436,872	696,849
09:00:00	23,767	23.767	94,241	94.241,000	26,178	8,486	536,328	809,478	3.483,503	9,343	161,508	434,658	687,219
10:00:00	24,026	24.026	96,361	96.361,000	26,767	8,514	533,483	806,633	3.476,218	9,379	163,394	436,544	695,378
11:00:00	24,335	24.335	96,760	96.760,000	26,878	8,562	535,175	808,325	3.479,877	9,436	164,049	437,199	698,239
12:00:00	23,871	23.871	96,433	96.433,000	26,787	8,722	531,528	804,678	3.469,202	9,572	164,309	437,459	699,441
13:00:00	23,728	23.728	95,046	95.046,000	26,402	8,845	533,690	806,840	3.473,244	9,684	164,109	437,259	698,643
14:00:00	23,762	23.762	95,198	95.198,000	26,444	8,702	534,841	807,991	3.477,590	9,547	163,148	436,298	694,414
15:00:00	22,864	22.864	91,749	91.749,000	25,486	8,769	528,069	801,219	3.460,145	9,567	162,500	435,650	691,630
16:00:00	22,992	22.992	92,711	92.711,000	25,753	8,783	530,180	803,330	3.465,220	9,589	162,561	435,711	691,906

time	Beban Keluaran Generator (MW)	Beban Keluaran Generator (KW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam flow 1 (kg/h)	Main steam flow 1(kg/s)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	T1 (K)	h1 (kJ/kg)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)	T2 (K)	h2 (kJ/kg)
17:00:00	22,862	22.862	92,681	92.681,000	25,745	8,751	530,259	803,409	3.465,757	9,564	162,874	436,024	693,242
18:00:00	22,868	22.868	91,875	91.875,000	25,521	8,769	528,905	802,055	3.462,214	9,570	162,854	436,004	693,159
19:00:00	22,812	22.812	91,359	91.359,000	25,378	8,698	528,436	801,586	3.461,817	9,504	162,905	436,055	693,340
20:00:00	22,892	22.892	93,453	93.453,000	25,959	8,747	528,519	801,669	3.461,495	9,557	162,847	435,997	693,121
21:00:00	23,377	23.377	94,822	94.822,000	26,339	8,693	530,110	803,260	3.466,008	9,528	163,361	436,511	695,323
22:00:00	23,197	23.197	93,963	93.963,000	26,101	8,567	530,656	803,806	3.468,698	9,412	163,295	436,445	694,970
23:00:00	23,461	23.461	94,892	94.892,000	26,359	8,782	532,062	805,212	3.469,885	9,609	163,299	436,449	695,102
00:00:00	23,517	23.517	94,477	94.477,000	26,244	8,922	530,018	803,168	3.463,332	9,745	164,135	437,285	698,791

Tabel 3.2 Data Pembebanan unit 1

time	Beban Keluaran Generator (MW)	Beban Keluaran Generator (KW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam flow 1 (kg/h)	Main steam flow 1(kg/s)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	T1 (K)	h1 (kJ/kg)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)	T2 (K)	h2 (kJ/kg)
01:00:00	29,369	29.369	125,207	125.207,000	34,780	8,764	500,911	774,061	3.392,466	9,922	213,387	486,537	915,864
02:00:00	29,493	29.493	126,345	126.345,000	35,096	8,862	500,686	773,836	3.390,715	10,024	213,562	486,712	916,690
03:00:00	29,461	29.461	125,873	125.873,000	34,965	8,849	499,973	773,123	3.389,076	10,010	213,532	486,682	916,550
04:00:00	29,223	29.223	124,655	124.655,000	34,626	8,675	500,225	773,375	3.391,816	9,831	213,219	486,369	915,073
05:00:00	29,258	29.258	125,580	125.580,000	34,883	8,811	499,340	772,490	3.387,942	9,964	213,189	486,339	914,985
06:00:00	29,288	29.288	124,670	124.670,000	34,631	8,723	500,909	774,059	3.392,955	9,884	213,126	486,276	914,672
07:00:00	29,229	29.229	124,373	124.373,000	34,548	9,019	498,988	772,138	3.384,518	10,145	213,030	486,180	914,332

time	Beban Keluaran Generator (MW)	Beban Keluaran Generator (KW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam flow 1 (kg/h)	Main steam flow 1(kg/s)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	T1 (K)	h1 (kJ/kg)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)	T2 (K)	h2 (kJ/kg)
08:00:00	30,715	30.715	129,729	129.729,000	36,036	8,875	508,399	781,549	3.409,951	10,089	214,677	487,827	921,751
09:00:00	30,023	30.023	127,715	127.715,000	35,476	8,660	500,023	773,173	3.391,490	9,867	214,477	487,627	920,770
10:00:00	29,559	29.559	126,346	126.346,000	35,096	8,564	500,330	773,480	3.393,419	9,763	213,676	486,826	917,113
11:00:00	28,910	28.910	119,296	119.296,000	33,138	8,660	529,515	802,665	3.464,891	9,788	212,044	485,194	909,756
12:00:00	28,294	28.294	116,376	116.376,000	32,327	8,734	524,985	798,135	3.452,884	9,797	211,739	484,889	908,384
13:00:00	29,466	29.466	121,119	121.119,000	33,644	8,363	529,413	802,563	3.467,881	9,527	213,285	486,435	915,263
14:00:00	29,667	29.667	123,095	123.095,000	34,193	8,708	524,922	798,072	3.453,012	9,871	213,731	486,881	917,399
15:00:00	29,494	29.494	120,728	120.728,000	33,536	8,605	531,381	804,531	3.470,081	9,757	213,209	486,359	915,001
16:00:00	29,513	29.513	121,393	121.393,000	33,720	8,667	530,640	803,790	3.467,594	9,817	213,580	486,730	916,698
17:00:00	29,535	29.535	121,397	121.397,000	33,721	8,742	527,729	800,879	3.459,594	9,886	213,372	486,522	915,783
18:00:00	28,626	28.626	118,608	118.608,000	32,947	8,534	522,854	796,004	3.449,797	9,665	212,392	485,542	911,281
19:00:00	29,589	29.589	121,484	121.484,000	33,746	8,781	528,948	802,098	3.462,192	9,928	213,477	486,627	916,272
20:00:00	29,405	29.405	120,922	120.922,000	33,589	8,614	529,742	802,892	3.465,943	9,769	213,235	486,385	915,123
21:00:00	29,521	29.521	121,622	121.622,000	33,784	8,716	526,690	799,840	3.455,887	9,868	213,607	486,757	916,838
22:00:00	29,147	29.147	120,175	120.175,000	33,382	8,684	525,118	798,268	3.453,759	9,825	212,937	486,087	913,798
23:00:00	29,255	29.255	120,743	120.743,000	33,540	8,628	523,430	796,580	3.450,191	9,775	213,170	486,320	914,832
00:00:00	29,641	29.641	121,944	121.944,000	33,873	8,636	523,887	797,037	3.451,235	9,795	213,576	486,726	916,672

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

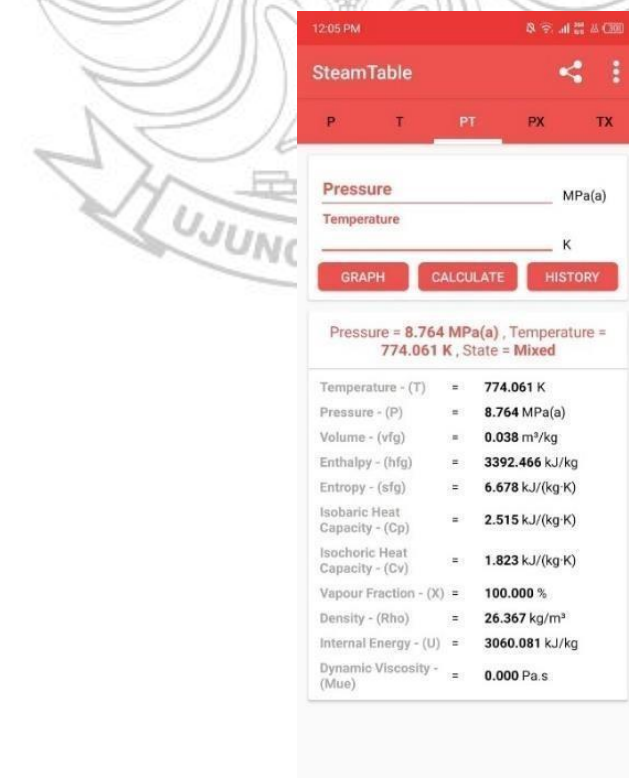
4.1 Umum

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan mengenai efisiensi generator di PLTU Mamuju pada tanggal 04 Agustus 2023, dimana setiap jamnya daya yang dikeluarkan selalu berbeda-beda tergantung dari permintaan beban oleh PLN, dimana semakin besar beban yang diminta PLN maka efisiensi generator akan semakin tinggi dan begitu pun sebaliknya hal ini dipengaruhi oleh rugi-rugi yang terdapat pada generator tersebut, perhitungan yang dilakukan ini berdasarkan beban setiap jamnya dibangkitkan oleh generator PLTU Mamuju 2x25 MW

4.2 Hasil Perhitungan

4.2.1 Perhitungan Interpolasi Entalpy antara Tekanan & Temperature

Agar memudahkan dalam perhitungan interpolasi enthalpy, maka penulis menggunakan *software steam table* sebagai berikut:



Gambar 4.1 *software* perhitungan *steam table*

4.2.2 Perhitungan Efisiensi turbine

Dari data *sheet* Turbine 30 MW, didapatkan THR dan efisiensi sebagai berikut:

$$THR = \frac{m (h_1 - h_2)}{GROSS OUTPUT} \times 100\%$$

$$THR = \frac{33,33 \text{ kg/s} (3476,64 \text{ kJ/kg} - 915,452 \text{ kJ/kg})}{30000} \times 100\%$$

$$THR = 2,84$$

Menghitung efisiensi turbine uap dengan persamaan:

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\text{Energi kalor dalam 1 kWh}}{\text{Heat Rate Turbine}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{3600 \text{ kJ}}{\text{Heat Rate Turbine}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{1 \text{ kW}}{2,84} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbine}} = 35\%$$

4.2.3 Perhitungan Kerja dan Daya Turbine

Dengan mengambil data no.1 pada tabel 3.2 yaitu pada data pembenanan unit 1 maka kerja dan daya turbine didapatkan:

$$\begin{aligned} W_T &= m \cdot (h_1 - h_2) \\ &= 34,780 \cdot (3392,466 \text{ kJ/kg} - 915,864 \text{ kJ/kg}) \\ &= 86135,53 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_T &= W_T \cdot \eta_{\text{turbine}} / 1000 \\ &= 86135,53 \text{ kW} \times 35\% / 1000 \\ &= 30,14 \text{ MW} \end{aligned}$$

4.2.4. Perhitungan rugi-rugi generator (sumber: Wildani, F., Syarifuddin, & Thaha, S. (2021))

No	Rugi Rugi Generator	Beban 50%	Beban 80%	Beban 100%
1	Rugi Tembaga	0.1173 MW	0.2002 MW	0.313 MW
2	Rugi pada bagian Eksitasi	0.039 MW	0.0624 MW	0.078 MW
3	Rugi Besi	0.0913 MW	0.1192 MW	0.1375 MW
4	Rugi Mekanik	0.1157 MW	0.15 MW	0.1735 MW
5	Rugi Total	0.363 MW	0.531 MW	0.702 MW

4.2.4 Perhitungan Efisiensi Generator

$$\eta_{\text{Generator}} = \frac{29,369}{30.14} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{Generator}} = 97,4 \%$$



Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, maka data selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan efisiensi generator pada unit 1

time	Beban Keluaran Generator (MW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam flow 1 (kg/h)	Main steam flow 1(kg/s)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	T1 (K)	h1 (kJ/kg)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)	T2 (K)	h2 (kJ/kg)	WT (MW)	THR	Daya pada Turbine uap (MW)	Efisiensi generator
01:00:00	29,369	125,207	125.207,000	34,780	8,764	500,911	774,061	3.392,466	9,922	213,387	486,537	915,864	86,13553	2,932872	30,14743537	97,4%
02:00:00	29,493	126,345	126.345,000	35,096	8,862	500,686	773,836	3.390,715	10,024	213,562	486,712	916,690	86,82797	2,94402	30,38978917	97,0%
03:00:00	29,461	125,873	125.873,000	34,965	8,849	499,973	773,123	3.389,076	10,010	213,532	486,682	916,550	86,45118	2,934428	30,25791467	97,4%
04:00:00	29,223	124,655	124.655,000	34,626	8,675	500,225	773,375	3.391,816	9,831	213,219	486,369	915,073	85,76067	2,934698	30,0162332	97,4%
05:00:00	29,258	125,580	125.580,000	34,883	8,811	499,340	772,490	3.387,942	9,964	213,189	486,339	914,985	86,26498	2,948424	30,19274417	96,9%
06:00:00	29,288	124,670	124.670,000	34,631	8,723	500,909	774,059	3.392,955	9,884	213,126	486,276	914,672	85,82432	2,930358	30,03851099	97,5%
07:00:00	29,229	124,373	124.373,000	34,548	9,019	498,988	772,138	3.384,518	10,145	213,030	486,180	914,332	85,34012	2,919707	29,86904311	97,9%
08:00:00	30,715	129,729	129.729,000	36,036	8,875	508,399	781,549	3.409,951	10,089	214,677	487,827	921,751	89,66436	2,919237	31,38252618	97,9%
09:00:00	30,023	127,715	127.715,000	35,476	8,660	500,023	773,173	3.391,490	9,867	214,477	487,627	920,770	87,65222	2,919502	30,67827824	97,9%
10:00:00	29,559	126,346	126.346,000	35,096	8,564	500,330	773,480	3.393,419	9,763	213,676	486,826	917,113	86,90871	2,940178	30,41804868	97,2%
11:00:00	28,910	119,296	119.296,000	33,138	8,660	529,515	802,665	3.464,891	9,788	212,044	485,194	909,756	84,6715	2,928796	29,63502354	97,6%
12:00:00	28,294	116,376	116.376,000	32,327	8,734	524,985	798,135	3.452,884	9,797	211,739	484,889	908,384	82,2552	2,907161	28,78932117	98,3%
13:00:00	29,466	121,119	121.119,000	33,644	8,363	529,413	802,563	3.467,881	9,527	213,285	486,435	915,263	85,88071	2,91457	30,0582469	98,0%
14:00:00	29,667	123,095	123.095,000	34,193	8,708	524,922	798,072	3.453,012	9,871	213,731	486,881	917,399	86,70036	2,922451	30,34512466	97,8%
15:00:00	29,494	120,728	120.728,000	33,536	8,605	531,381	804,531	3.470,081	9,757	213,209	486,359	915,001	85,68603	2,905202	29,99010955	98,3%
16:00:00	29,513	121,393	121.393,000	33,720	8,667	530,640	803,790	3.467,594	9,817	213,580	486,730	916,698	86,01692	2,914543	30,1059226	98,0%
17:00:00	29,535	121,397	121.397,000	33,721	8,742	527,729	800,879	3.459,594	9,886	213,372	486,522	915,783	85,78084	2,904379	30,023294	98,4%
18:00:00	28,626	118,608	118.608,000	32,947	8,534	522,854	796,004	3.449,797	9,665	212,392	485,542	911,281	83,63564	2,921667	29,27247417	97,8%
19:00:00	29,589	121,484	121.484,000	33,746	8,781	528,948	802,098	3.462,192	9,928	213,477	486,627	916,272	85,91348	2,903562	30,06971968	98,4%
20:00:00	29,405	120,922	120.922,000	33,589	8,614	529,742	802,892	3.465,943	9,769	213,235	486,385	915,123	85,68063	2,913811	29,98821934	98,1%
21:00:00	29,521	121,622	121.622,000	33,784	8,716	526,690	799,840	3.455,887	9,868	213,607	486,757	916,838	85,77895	2,905693	30,02263225	98,3%
22:00:00	29,147	120,175	120.175,000	33,382	8,684	525,118	798,268	3.453,759	9,825	212,937	486,087	913,798	84,78884	2,909007	29,67609295	98,2%
23:00:00	29,255	120,743	120.743,000	33,540	8,628	523,430	796,580	3.450,191	9,775	213,170	486,320	914,832	85,03524	2,906691	29,76233281	98,3%
00:00:00	29,641	121,944	121.944,000	33,873	8,636	523,887	797,037	3.451,235	9,795	213,576	486,726	916,672	85,8541	2,896464	30,04893407	98,6%

Tabel 4.2 Hasil perhitungan efisiensi generator dengan menggunakan perhitungan rugi-rugi pada generator unit 1

Time	Daya Input	Daya Output	Efisiensi
01:00:00	30.071	29.369	97.67%
02:00:00	30.195	29.493	97.68%
03:00:00	30.163	29.461	97.67%
04:00:00	29.925	29.223	97.65%
05:00:00	29.960	29.258	97.66%
06:00:00	29.990	29.288	97.66%
07:00:00	29.931	29.229	97.65%
08:00:00	31.417	30.715	97.77%
09:00:00	30.725	30.023	97.72%
10:00:00	30.261	29.559	97.68%
11:00:00	29.612	28.910	97.63%
12:00:00	28.996	28.294	97.58%
13:00:00	30.168	29.466	97.67%
14:00:00	30.369	29.667	97.69%
15:00:00	30.196	29.494	97.68%
16:00:00	30.215	29.513	97.68%
17:00:00	30.237	29.535	97.68%
18:00:00	29.328	28.626	97.61%
19:00:00	30.291	29.589	97.68%
20:00:00	30.107	29.405	97.67%
21:00:00	30.223	29.521	97.68%
22:00:00	29.849	29.147	97.65%
23:00:00	29.957	29.255	97.66%
00:00:00	30.343	29.641	97.69%

Tabel 4.3 Hasil perhitungan efisiensi generator pada unit 2

time	Beban Keluaran Generator (MW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam flow 1 (kg/h)	Main steam flow 1(kg/s)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	T1 (K)	h1 (kJ/kg)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)	T2 (K)	h2 (kJ/kg)	WT (MW)	THR	Daya pada Turbine uap (MW)	Efisiensi generator
01:00:00	23,207	93,559	93.559,000	25,989	8,670	534,772	807,922	3.477,755	9,496	163,703	436,853	696,780	72,27368	3,114305	23,99486102	96,7%
02:00:00	23,393	93,804	93.804,000	26,057	8,715	531,118	804,268	3.468,264	9,541	163,586	436,736	696,301	72,22812	3,087595	23,97973448	97,6%
03:00:00	23,529	95,001	95.001,000	26,389	8,790	532,607	805,757	3.471,148	9,625	163,571	436,721	696,286	73,2263	3,112172	24,3111302	96,8%
04:00:00	23,365	94,007	94.007,000	26,113	8,949	531,251	804,401	3.466,101	9,767	163,521	436,671	696,153	72,33181	3,095733	24,0141596	97,3%
05:00:00	23,646	94,472	94.472,000	26,242	8,768	532,487	805,637	3.471,084	9,602	163,278	436,428	695,008	72,8504	3,080876	24,18633389	97,8%
06:00:00	23,153	92,980	92.980,000	25,828	8,627	529,841	802,991	3.466,048	9,452	163,570	436,720	696,180	71,53954	3,08986	23,75112568	97,5%
07:00:00	23,639	94,612	94.612,000	26,281	8,906	530,436	803,586	3.464,539	9,726	163,937	437,087	697,925	72,70969	3,075836	24,13961706	97,9%
08:00:00	22,919	92,891	92.891,000	25,803	8,658	527,829	800,979	3.460,746	9,474	163,722	436,872	696,849	71,31699	3,111697	23,67723996	96,8%
09:00:00	23,767	94,241	94.241,000	26,178	8,486	536,328	809,478	3.483,503	9,343	161,508	434,658	687,219	73,20128	3,079954	24,30282426	97,8%
10:00:00	24,026	96,361	96.361,000	26,767	8,514	533,483	806,633	3.476,218	9,379	163,394	436,544	695,378	74,43459	3,098085	24,71228381	97,2%
11:00:00	24,335	96,760	96.760,000	26,878	8,562	535,175	808,325	3.479,877	9,436	164,049	437,199	698,239	74,76425	3,072293	24,82173034	98,0%
12:00:00	23,871	96,433	96.433,000	26,787	8,722	531,528	804,678	3.469,202	9,572	164,309	437,459	699,441	74,19343	3,108099	24,6322201	96,9%
13:00:00	23,728	95,046	95.046,000	26,402	8,845	533,690	806,840	3.473,244	9,684	164,109	437,259	698,643	73,25409	3,087243	24,32035812	97,6%
14:00:00	23,762	95,198	95.198,000	26,444	8,702	534,841	807,991	3.477,590	9,547	163,148	436,298	694,414	73,598	3,097298	24,43453497	97,2%
15:00:00	22,864	91,749	91.749,000	25,486	8,769	528,069	801,219	3.460,145	9,567	162,500	435,650	691,630	70,55791	3,085983	23,42522674	97,6%
16:00:00	22,992	92,711	92.711,000	25,753	8,783	530,180	803,330	3.465,220	9,589	162,561	435,711	691,906	71,42131	3,106355	23,71187476	97,0%
17:00:00	22,862	92,681	92.681,000	25,745	8,751	530,259	803,409	3.465,757	9,564	162,874	436,024	693,242	71,37763	3,122108	23,69737267	96,5%
18:00:00	22,868	91,875	91.875,000	25,521	8,769	528,905	802,055	3.462,214	9,570	162,854	436,004	693,159	70,66859	3,090283	23,46197226	97,5%
19:00:00	22,812	91,359	91.359,000	25,378	8,698	528,436	801,586	3.461,817	9,504	162,905	436,055	693,340	70,25703	3,079828	23,32533232	97,8%
20:00:00	22,892	93,453	93.453,000	25,959	8,747	528,519	801,669	3.461,495	9,557	162,847	435,997	693,121	71,86468	3,139292	23,85907444	95,9%
21:00:00	23,377	94,822	94.822,000	26,339	8,693	530,110	803,260	3.466,008	9,528	163,361	436,511	695,323	72,9783	3,121799	24,22879681	96,5%
22:00:00	23,197	93,963	93.963,000	26,101	8,567	530,656	803,806	3.468,698	9,412	163,295	436,445	694,970	72,39661	3,120947	24,03567526	96,5%
23:00:00	23,461	94,892	94.892,000	26,359	8,782	532,062	805,212	3.469,885	9,609	163,299	436,449	695,102	73,1402	3,117523	24,28254533	96,6%
00:00:00	23,517	94,477	94.477,000	26,244	8,922	530,018	803,168	3.463,332	9,745	164,135	437,285	698,791	72,55154	3,085068	24,08711092	97,6%

Tabel 4.4 Hasil perhitungan efisiensi generator dengan menggunakan perhitungan rugi-rugi pada generator unit 2

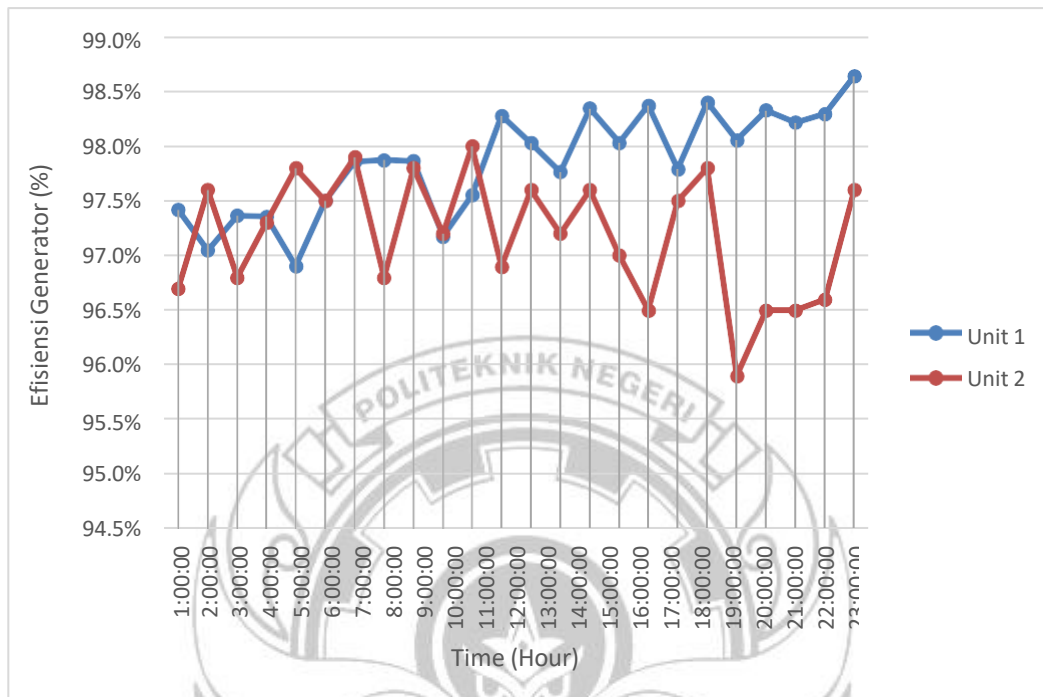
Time	Daya Input	Daya Output	Efisiensi
01:00:00	23.738	23.207	97.76%
02:00:00	23.924	23.393	97.78%
03:00:00	24.060	23.529	97.79%
04:00:00	23.896	23.365	97.78%
05:00:00	24.177	23.646	97.80%
06:00:00	23.684	23.153	97.76%
07:00:00	24.170	23.639	97.80%
08:00:00	23.450	22.919	97.74%
09:00:00	24.298	23.767	97.81%
10:00:00	24.557	24.026	97.84%
11:00:00	24.866	24.335	97.86%
12:00:00	24.402	23.871	97.82%
13:00:00	24.259	23.728	97.81%
14:00:00	24.293	23.762	97.81%
15:00:00	23.395	22.864	97.73%
16:00:00	23.523	22.992	97.74%
17:00:00	23.393	22.862	97.73%
18:00:00	23.399	22.868	97.73%
19:00:00	23.343	22.812	97.73%
20:00:00	23.423	22.892	97.73%
21:00:00	23.908	23.377	97.78%
22:00:00	23.728	23.197	97.76%
23:00:00	23.992	23.461	97.79%
00:00:00	24.048	23.517	97.79%



Tabel 4.5

Efisiensi dari hasil perhitungan rugi2 daya dari Generator (listrik)	Efisiensi dari hasil perhitungan rugi2 daya turbine (Mekanik)
Unit 1	
97.67%	97,4%
97.68%	97,0%
97.67%	97,4%
97.65%	97,4%
97.66%	96,9%
97.66%	97,5%
97.65%	97,9%
97.77%	97,9%
97.72%	97,9%
97.68%	97,2%
97.63%	97,6%
97.58%	98,3%
97.67%	98,0%
97.69%	97,8%
97.68%	98,3%
97.68%	98,0%
97.68%	98,4%
97.61%	97,8%
97.68%	98,4%
97.67%	98,1%
97.68%	98,3%
97.65%	98,2%
97.66%	98,3%
97.69%	98,6%
Unit 2	
97.76%	96,7%
97.78%	97,6%
97.79%	96,8%
97.78%	97,3%
97.80%	97,8%
97.76%	97,5%
97.80%	97,9%
97.74%	96,8%
97.81%	97,8%
97.84%	97,2%
97.86%	98,0%
97.82%	96,9%
97.81%	97,6%
97.81%	97,2%
97.73%	97,6%
97.74%	97,0%
97.73%	96,5%
97.73%	97,5%
97.73%	97,8%

Efisiensi dari hasil perhitungan rugi2 daya dari Generator (listrik)	Efisiensi dari hasil perhitungan rugi2 daya turbine (Mekanik)
97.73%	95,9%
97.78%	96,5%
97.76%	96,5%
97.79%	96,6%
97.79%	97,6%



Gambar 4.1 Grafik antara waktu dan Efisiensi generator (selama 24 jam)

Melalui gabungan data dari kedua unit generator, kita dapat mengamati tren yang menarik terkait efisiensi dan *load* generator. Analisis ini memberikan wawasan yang lebih luas terkait performa generator dalam PLTU. Berikut adalah beberapa poin yang dapat diambil:

4.2.4.1 Optimalisasi Efisiensi pada Beban Tertentu:

Pada unit 1, efisiensi tertinggi tercapai pada pukul 00:00 dengan efisiensi 98,6% pada beban keluaran sekitar 29,641 MW.

Pada unit 2, efisiensi puncak terjadi pada pukul 11:00 dengan efisiensi 98,0% pada beban keluaran sekitar 24,335 MW.

Kedua unit menunjukkan pola bahwa efisiensi tertinggi dicapai pada beban tertentu, menunjukkan pentingnya pengaturan beban untuk mencapai efisiensi optimal.

4.2.4.2 Stabilitas Efisiensi pada Beban Stabil:

Pada kedua unit, efisiensi cenderung stabil pada poin-poin beban tertentu, seperti pukul 07:00 dan 18:00.

Meskipun fluktuasi kecil terjadi, stabilitas ini menunjukkan bahwa generator dapat mempertahankan efisiensi pada beberapa tingkat beban.

4.2.4.3 Efisiensi pada Beban Tinggi:

Unit 1 menunjukkan efisiensi tinggi pada beban tinggi, seperti pada pukul 08:00 (97,9% dengan 30,715 MW).

Unit 2 juga mencapai efisiensi tinggi pada beban yang cukup besar, seperti pada pukul 09:00 (97,8% dengan 23,767 MW).

4.2.4.4 Fluktuasi Efisiensi pada Beban Variabel:

Pada kedua unit, fluktuasi efisiensi terlihat pada beberapa jam, bahkan pada perubahan beban yang kecil. Ini mengindikasikan adanya faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi selain dari perubahan beban.

4.2.4.5 Pada pukul 05:00: kondisi operasional generator di Unit 1 menunjukkan adanya fluktuasi yang menarik untuk dianalisis dalam konteks efisiensi. Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi efisiensi generator pada jam ini. Salah satu faktor yang patut diperhatikan adalah kondisi suhu lingkungan yang cenderung lebih rendah pada waktu subuh. Dalam lingkungan yang lebih dingin seperti ini, generator mungkin memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai suhu operasional yang optimal, yang pada gilirannya dapat berpengaruh terhadap efisiensi konversi energi termal. Selain itu, kondisi operasional pada pukul 05:00 juga dapat dipengaruhi oleh

4.2.4.6 adanya peralihan mode operasi atau perubahan dalam pengaturan beban.

Transisi antara mode operasi yang berbeda dapat memiliki dampak langsung terhadap efisiensi. Selain itu, perbedaan dalam komposisi bahan bakar pada waktu-waktu tertentu juga mungkin berkontribusi terhadap fluktuasi efisiensi. Variabilitas dalam kualitas bahan bakar, termasuk kadar air dan komponen kimia lainnya, dapat mempengaruhi proses pembakaran dan oleh karena itu efisiensi. Selanjutnya, penting untuk mengakui bahwa angka efisiensi yang tercantum dalam *manual book* cenderung merupakan angka rata-rata yang berlaku pada kondisi operasional yang ideal. Pada praktiknya, variasi dalam kondisi operasional yang dihadapi oleh generator dapat menyebabkan fluktuasi efisiensi dari waktu ke waktu. Pengukuran efisiensi generator juga mungkin memiliki toleransi dan ketidaksempurnaan yang perlu diperhitungkan.

4.3 Optimalisasi Efisiensi Generator

Berdasarkan data dan tren tersebut, berikut adalah beberapa rekomendasi kepada tim PLTU untuk mengoptimalkan efisiensi generator:

1. Analisis Mendalam tentang Tripping:

Lakukan analisis mendalam terkait dengan tripping yang lebih sering terjadi pada Unit 2. Dengan memahami akar penyebabnya, kita bisa mengidentifikasi solusi yang lebih tepat untuk meningkatkan efisiensi dan performa unit.

2. Pemeliharaan dan Perbaikan Rutin:

Penting untuk meningkatkan jadwal pemeliharaan dan perbaikan rutin pada Unit 2. Pengecekan dan perawatan mendalam pada komponen- komponen yang sering menyebabkan tripping. Dengan merawatnya secara baik, risiko trip yang tidak diinginkan bisa berkurang.

3. Optimisasi Sistem Kontrol:

Evaluasi sistem kontrol di Unit 2. Dengan meninjau ulang dan memperbarui sistem kontrol, itu bisa menghindari trip yang disebabkan oleh kendala operasional.

4. Penggunaan Teknologi Prediktif:

Gunakan teknologi prediktif seperti pemantauan kondisi *real-time* menggunakan sensor dan analisis data. Hal ini bisa membantu untuk mendeteksi masalah potensial sebelum menyebabkan trip.

5. Peninjauan Peralatan Kritis:

Lakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap peralatan kritis di Unit 2. Dengan memeriksa apakah ada kerusakan atau keausan, untuk meminimalkan dampak negatif terhadap efisiensi.

6. Pelatihan Personel:

Schedulekan dan lakukan pelatihan tambahan untuk personel yang bertanggung jawab atas operasi dan pemeliharaan Unit 2. Dengan meningkatkan pengetahuan mereka, diharapkan kesalahan manusia yang bisa menyebabkan trip dapat ditekan.

7. Penyempurnaan Proses Operasi:

Rumuskan perubahan dalam proses operasi Unit 2. Misalnya, dengan melakukan penyesuaian pengaturan beban atau lebih optimal dalam operasi start-stop, kita mungkin bisa mengatasi tripping pada beban rendah.

8. Konsultasi dengan Ahli:

Untuk mengatasi masalah trip yang sering terjadi lakukan konsultasi dengan ahli yang telah berpengalaman dalam menghadapi masalah trip dan efisiensi rendah pada unit generator agar dapat memberikan wawasan yang berharga.

9. Evaluasi Beban dan Pasokan Listrik:

Evaluasi interaksi antara beban dan pasokan listrik pada Unit 2. Pastikan agar fluktuasi beban tidak tiba-tiba, yang bisa menjadi pemicu terjadinya trip.

10. Pantau dan Analisis Trend Tripping:

Terus pantau serta menganalisis trend terjadinya trip pada Unit 2. Dengan pemahaman yang lebih mendalam, dapat diidentifikasi pola atau penyebab yang mungkin terlewatkan sebelumnya.

11. Dalam rangka memahami perbedaan efisiensi pada pukul 05:00, langkah selanjutnya yang direkomendasikan adalah melakukan analisis lebih mendalam terhadap faktor-faktor yang telah disebutkan pada pembahasan grafik di atas. Dengan mempertimbangkan variabel-variabel operasional seperti suhu lingkungan, perubahan mode operasi, komposisi bahan bakar,

dan faktor lainnya, dapat dilakukan strategi yang lebih baik untuk mengoptimalkan efisiensi pada jam-jam tertentu. Analisis ini akan membantu memastikan bahwa efisiensi generator di Unit 1 tetap mendekati target yang telah ditetapkan, bahkan dalam kondisi operasional yang bervariasi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dalam upaya menganalisis data efisiensi dan beban keluaran generator pada Unit 1 dan Unit 2 di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), beberapa temuan krusial telah diungkapkan. Efisiensi generator memegang peran sentral dalam menjaga kinerja operasional yang efisien dan berkelanjutan. Data yang terkumpul memberikan wawasan yang mendalam mengenai tren efisiensi di berbagai poin beban, memungkinkan kami untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi performa generator.
2. Unit 1 menunjukkan puncak efisiensi pada pukul 12:00, dengan performa efisiensi yang luar biasa pada titik ini. Di sisi lain, Unit 2 mencapai efisiensi maksimal pada pukul 11:00. Perbedaan ini menunjukkan adanya karakteristik operasional yang unik pada setiap unit. Namun, perlu ditekankan bahwa Unit 2 juga menghadapi tantangan dalam bentuk trip yang lebih sering, yang secara signifikan mempengaruhi efisiensinya.

5.2 Saran

Dari hasil analisis ini, beberapa saran dan implikasi berikut dapat disimpulkan untuk mengoptimalkan efisiensi dan mengatasi masalah trip di Unit 2:

1. Pengaturan Beban yang Optimal: Menyarankan untuk lebih mendalam mengeksplorasi pengaturan beban pada poin efisiensi tertinggi. Hal ini akan

membantu dalam memaksimalkan kinerja generator dan meminimalkan risiko penurunan efisiensi.

2. Pemeliharaan dan Monitoring yang Intensif: Meningkatkan frekuensi pemeliharaan rutin dan mengintensifkan pemantauan kondisi generator akan membantu mendeteksi potensi masalah dengan lebih cepat.
3. Penerapan Teknologi Prediktif: Mengadopsi teknologi prediktif seperti analisis getaran dan pemantauan real-time dapat memberikan gambaran lebih mendalam terhadap kesehatan operasional generator.
4. Kolaborasi dengan Ahli: Mengajak ahli yang memiliki pengalaman dalam menangani masalah trip dan efisiensi rendah dapat memberikan perspektif yang berharga dalam mengatasi tantangan yang dihadapi.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir 2010, Pembangkit Tenaga Listrik Universitas Indonesia Oloni Togu Simanjuntak Ir. Syamsul Amien, Ms Konsentrasi Teknik Energi Listrik
- Armansyah Sudaryanto, 2016 Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal, Program Studi Teknik Elektro Pembangkit tenaga listrik, Taufik 2015.
- Azharni, R. (2021). Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 & 2 di PLTA SIPHANSIPORAS. Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
- A. Nurdin, "Optimalisasi Transmisi PLTA – Pico Hydro sebagai Penunjang Konversi Energi Mekanik Menjadi Listrik," Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2016.
- Cahyadi, Dwi dan Hermawan, (2015). "analisa perhitungan efisiensi turbine generator QFSN 300-220B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Hariadi, R., Jusafwar, & Nainggolan, B. (Tahun belum disebutkan). Analisis dan Optimasi Pemakaian Make-up Water pada PLTU Menggunakan Metode DMAIC. Dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, 1138-1144. ISSN 2085-2762. Tersedia secara online di <http://semnas.mesin.pnj.ac.id>.
- Data Statistik PLN. 2017. "Rencana Pembangunan Pembangkit yang dipenuhi PLN di Indonesia tahun 2017-2026". PT. PLN (PERSERO).
- International Energy Agency (IEA), (2016) "outlook energi indonesia 2016"
- Manual Book "PLTU Mamuju 2x25 MW Power Plant Generator Operation".
- Manual Book "PLTU Mamuju 2x25 MW Power Plant Generator Maintenance Manual".
- Murti, A.S., Manuaba, I.B.G., Arjana, I.G.D. (2020). Optimasi Unit PLTU Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Metode Lagrange di PT. Indonesia Power UP Suralaya. Jurnal SPEKTRUM, 7(1), 76. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.
- Purnomo Joko, Mohamad effendi. (2016). "Analisa pengaruh load capacity pembangkit listrik tenaga uap tanjung awar-awar 350 MW terhadap efisiensi

turbin generator QFSN-350-2 unit 1". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universtias Negeri Surabaya.

Ramadhani, S., Suherman, S., Melvasari, M., & Herdianto, H. (2018). "Perancangan Teks Berjalan Online Sebagai Media Informasi Nelayan". Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology, 6(2).

Santoso, H. (2018). Optimalisasi untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW. String Journal, 3(2). p-ISSN: 2527-9661, e-ISSN: 2549-2837.

Siahaan, A. P. U., Aryza, S., Nasution, M. D. T. P., Napitupulu, D., Wijaya, R. F., & Arisandi, D. (2018). Effect of matrix size in affecting noise reduction level of filtering.

Manika, Theresia. M., Gultoma, P., & Nababana, E. (2022). "Analisis Karakteristik Fungsi Lagrange Dalam Menyelesaikan Permasalahan Optimasi Berkendala." Jurnal Matematika Terapan, 10(3), 123-145, DOI: 10.1234/jmt.2022.12345.

Wildani, F., Syarifuddin, & Thaha, S. (2021). *Analisis Efisiensi Generator pada Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2x25 MW PT. Rekind Daya Mamuju*. Skripsi, Politeknik Negeri Ujung Pandang



L

A

M

P

I

R

A

N



date	time	Milliseconds	MW	10LBA10CF101JS	10LBA10CP101	10LBA10CT601	10LAB71CP101	10LAB71CT601
04/08/2023	01:00:00	0	29.369	125.207	8.764	500.911	9.922	213.387
04/08/2023	02:00:00	0	29.493	126.345	8.862	500.686	10.024	213.562
04/08/2023	03:00:00	0	29.461	125.873	8.849	499.973	10.010	213.532
04/08/2023	04:00:00	0	29.223	124.655	8.675	500.225	9.831	213.219
04/08/2023	05:00:00	0	29.258	125.580	8.811	499.340	9.964	213.189
04/08/2023	06:00:00	0	29.288	124.670	8.723	500.909	9.884	213.126
04/08/2023	07:00:00	0	29.229	124.373	9.019	498.988	10.145	213.030
04/08/2023	08:00:00	0	30.715	129.729	8.875	508.399	10.089	214.677
04/08/2023	09:00:00	0	30.023	127.715	8.660	500.023	9.867	214.477
04/08/2023	10:00:00	0	29.559	126.346	8.564	500.330	9.763	213.676
04/08/2023	11:00:00	0	28.910	119.296	8.660	529.515	9.788	212.044
04/08/2023	12:00:00	0	28.294	116.376	8.734	524.985	9.797	211.739
04/08/2023	13:00:00	0	29.466	121.119	8.363	529.413	9.527	213.285
04/08/2023	14:00:00	0	29.667	123.095	8.708	524.922	9.871	213.731
04/08/2023	15:00:00	0	29.494	120.728	8.605	531.381	9.757	213.209
04/08/2023	16:00:00	0	29.513	121.393	8.667	530.640	9.817	213.580
04/08/2023	17:00:00	0	29.535	121.397	8.742	527.729	9.886	213.372
04/08/2023	18:00:00	0	28.626	118.608	8.534	522.854	9.665	212.392
04/08/2023	19:00:00	0	29.589	121.484	8.781	528.948	9.928	213.477
04/08/2023	20:00:00	0	29.405	120.922	8.614	529.742	9.769	213.235
04/08/2023	21:00:00	0	29.521	121.622	8.716	526.690	9.868	213.607
04/08/2023	22:00:00	0	29.147	120.175	8.684	525.118	9.825	212.937
04/08/2023	23:00:00	0	29.255	120.743	8.628	523.430	9.775	213.170
05/08/2023	00:00:00	0	29.641	122.044	8.636	523.887	9.795	213.576

date	time	Beban Keluaran Generator (MW)	Main steam flow 1 (t/h)	Main steam pressure 1 (MPa)	Main steam temperature 1 (°C)	Boiler feedwater pressure (MPa)	Boiler feedwater temperature (°C)
04/08/2023	01:00:00	23,207	93,559	8,67	534,772	9,496	163,703
04/08/2023	02:00:00	23,393	93,804	8,715	531,118	9,541	163,586
04/08/2023	03:00:00	23,529	95,001	8,79	532,607	9,625	163,571
04/08/2023	04:00:00	23,365	94,007	8,949	531,251	9,767	163,521
04/08/2023	05:00:00	23,646	94,472	8,768	532,487	9,602	163,278
04/08/2023	06:00:00	23,153	92,98	8,627	529,841	9,452	163,57
04/08/2023	07:00:00	23,639	94,612	8,906	530,436	9,726	163,937
04/08/2023	08:00:00	22,919	92,891	8,658	527,829	9,474	163,722
04/08/2023	09:00:00	23,767	94,241	8,486	536,328	9,343	161,508
04/08/2023	10:00:00	24,026	96,361	8,514	533,483	9,379	163,394
04/08/2023	11:00:00	24,335	96,76	8,562	535,175	9,436	164,049
04/08/2023	12:00:00	23,871	96,433	8,722	531,528	9,572	164,309
04/08/2023	13:00:00	23,728	95,046	8,845	533,69	9,684	164,109
04/08/2023	14:00:00	23,762	95,198	8,702	534,841	9,547	163,148
04/08/2023	15:00:00	22,864	91,749	8,769	528,069	9,567	162,5
04/08/2023	16:00:00	22,992	92,711	8,783	530,18	9,589	162,561
04/08/2023	17:00:00	22,862	92,681	8,751	530,259	9,564	162,874
04/08/2023	18:00:00	22,868	91,875	8,769	528,905	9,57	162,854
04/08/2023	19:00:00	22,812	91,359	8,698	528,436	9,504	162,905
04/08/2023	20:00:00	22,892	93,453	8,747	528,519	9,557	162,847
04/08/2023	21:00:00	23,377	94,822	8,693	530,11	9,528	163,361
04/08/2023	22:00:00	23,197	93,963	8,567	530,656	9,412	163,295
04/08/2023	23:00:00	23,461	94,892	8,782	532,062	9,609	163,299
05/08/2023	00:00:00	23,517	94,477	8,922	530,018	9,745	164,135

5.1 1#机参数 Parameters of unit 1

设备名称 Name	1#发电机 No.1 generator	安装单位 Installed by:	山东迪尔 Shandong Dier
设备型号 Model:	QF2W-30-2E	安装日期 Installation date	2017
制造厂家 · Manufactured by:	东风电机有限公司 DEC Dongfeng Electric Machinery Co.,Ltd	投产日期 Commissioning date	
生产日期 Manufacture date	2016.7	本厂编号 Serial No.	10MKA01AG001
主要设计参数 Key design parameters			
项 目 Item	单 位 Unit	参 数 Parameter	
额定电压 Rated Voltage	V	10500	
额定功率 Rated Power	KW	30000	
额定电流 Rated Current	A	1941	
转 速 Speed	r/min	3000	
额定频率 Rated Frequency	Hz	50	
额定励磁电流 Rated excitation current	A	390	
额定励磁电压 Rated excitation voltage	V	200	
绝缘等级 Insulation grade	F/F		
功率因数 Power factor	0.85 滞后 lagging		
接线方式 Mode of connection	Y		
国标 GB	GB/T7064-2008		
冷却方式 Cooling type	空冷 Air cooled		
相数 No. of phase	3		

10

效率 Efficiency	97.4%
------------------	-------



5.2 2#机参数 Parameters of unit 2

设备名称 Name	2#发电机 No.2 generator	安装单位 Installed by:	山东迪尔 Shandong Dier
设备型号 Model:	QF2W-30-2E	安装日期 Installation date	2017
制造厂家 Manufactured by:	东风电机有限公司 DEC Dongfeng Electric Machinery Co.,Ltd	投产日期 Commissioning date	
生产日期 Manufacture date	2016.7	本厂编号 Serial No.	20MKA01AG001
主要设计参数 Key design parameters			
项 目 Item	单 位 Unit	参 数 Parameter	
额定电压 Rated Voltage	V	10500	
额定功率 Rated Power	KW	30000	
额定电流 Rated Current	A	1941	
转 速 Speed	r/min	3000	
额定频率 Rated Frequency	Hz	50	
额定励磁电流 Rated excitation current	A	390	
额定励磁电压 Rated excitation voltage	V	200	
绝缘等级 Insulation grade	F/F		
功率因数 Power factor	0.85 滞后 lagging		
接线方式 Mode of connection	Y		
国标 GB	GB/T7064-2008		
冷却方式 Cooling type	空冷 Air cooled		

11

相数 No. of phase	3
效率 Efficiency	97.4%

