

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP
BESAR NILAI EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 3
PLTU PANGKALAN SUSU PGU**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas- Tugas
Dan Syarat-Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

JODHY ARIYADI
1907220067



FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Jodhy Ariyadi
NPM : 1907220067
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Besar Nilai Efisiensi Generator Sinkron Unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU
Bidang Ilmu : Sistem Kendali

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 23 September 2023

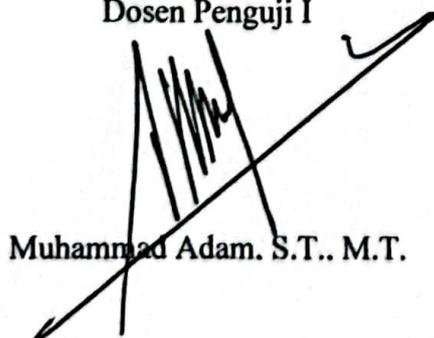
Mengetahu dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



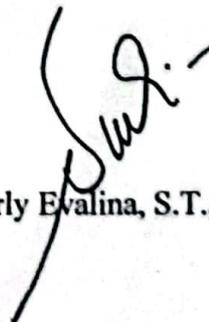
Partaonan Harahap, S.T., M.T.

Dosen Penguji I



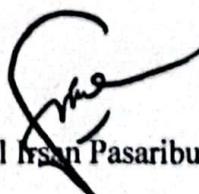
Muhammad Adam, S.T., M.T.

Dosen Penguji II



Noorly Evalina, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Jodhy Ariyadi
Tempat /Tanggal Lahir : Pangkalan Susu /2 Juni 2001
NPM : 1907220067
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP BESAR
NILAI EFISIENSNI GENERATOR SINKRON UNIT 3 PLTU
PANGKALAN SUSU PGU”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan,23 September 2023

Saya yang menyatakan,


Jodhy Ariyadi

ABSTRAK

PLTU merupakan jenis pembangkit listrik tenaga termal yang efisien dan bahan bakarnya yang mudah didapat sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. Salah satu PLTU yang terdapat di Sumatera Utara yaitu PLTU Pangkalan Susu PGU. PLTU ini memiliki 4 unit yang telah beroperasi lebih kurang 4 tahun dan telah mengalami permasalahan-permasalahan yang tentunya dapat menurunkan efisiensi dari generator tersebut. Selama lebih kurang 4 tahun beroperasi, unit 3 lebih sering mengalami gangguan atau *trip*. Hal tersebut sangat memungkinkan terjadinya penurunan nilai efisiensi generator tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap besar nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terdapat pengaruh perubahan beban terhadap besar nilai efisiensi pada generator sinkron tersebut. Semakin besar beban yang ditanggung generator sinkron, maka semakin besar/tinggi pula besar nilai efisiensi generator sinkron tersebut. Untuk besar nilai efisiensi rata-rata generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU ialah sebesar 94,71%. Ternyata nilai tersebut terjadi perbedaan besar nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU secara desain dan secara aktual. Perbedaan tersebut menunjukkan terjadinya penurunan besar nilai efisiensi sebesar 3,944% dari besar nilai efisiensi secara desain yakni 98,654%.

Kata Kunci: PLTU, Efisiensi, Generator Sinkron,

ABSTRACT

PLTU is a type of thermal power plant that is efficient and the fuel is easily available so it produces economical electrical energy. One of the PLTUs in North Sumatra is PLTU Pangkalan Susu PGU. This PLTU has 4 units which have been operating for approximately 4 years and have experienced problems which of course can reduce the efficiency of the generator. During approximately 4 years of operation, unit 3 experienced more frequent interruptions or trips. This is very likely to cause a decrease in the generator's efficiency value. This research aims to determine the effect of load changes on the efficiency value of the synchronous generator unit 3 of PLTU Pangkalan Susu PGU. Based on the results of the analysis that has been carried out, there is an influence of load changes on the efficiency value of the synchronous generator. The greater the load borne by the synchronous generator, the greater/higher the efficiency value of the synchronous generator. The average efficiency value for the synchronous generator unit 3 of PLTU Pangkalan Susu PGU is 94.71%. It turns out that in this value there is a big difference in the efficiency value of the synchronous generator unit 3 of PLTU Pangkalan Susu PGU in design and actually. This difference shows a large decrease in the efficiency value of 3.944% from the design efficiency value of 98.654%.

Keywords: PLTU, Efficiency, Synchronous Generator,

KATA PENGANTAR

Assalamu'alikum warahmatullah wabarakatu

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP BESAR NILAI EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 3 PLTU PANGKALAN SUSU PGU”**. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, maka pada kesempatan kali ini peneliti ingin menyampaikan terima kasih teristimewa kepada kedua orang tua Ayahanda tercinta **JUNAIDI**, Ibunda tercinta **KARMINI**, serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk peneliti demi menyelesaikan tugas akhir ini.

Selain itu peneliti juga ingin mengucapkan terim kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.A.P selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Bapak Partaonan Harahap, S.T., M.T., selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Bapak Muhammad Adam, S.T., M.T., selaku penguji pertama dalam tugas akhir ini yang telah memberikan masukan dan saran sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
9. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T., selaku penguji kedua dalam tugas akhir ini yang telah memberikan masukan dan saran sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
10. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas B1 Pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
12. Seluruh staff Tata Usaha di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin. Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 10 September 2023

Penulis

Jodhy Ariyadi

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Surat Pernyataan Keaslian Tugas akhir.....	ii
Abstrak	iii
Abstract	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Table	xi
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	6
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2. Siklus Rankine	8
2.2.1. Siklus Rankine Dengan Pemanasan Ulang	9
2.2.2. Siklus Rankine Regeneratif.....	10
2.3. Proses Konversi Energi Listrik Pada PLTU	10
2.3.1. One Line Diagram Pltu Pangkalan Susu Pgu.....	11
2.3.2. Siklus Air PLTU	12
2.3.3. Sistem Uap	13
2.4. Boiler.....	13
2.4.1. Prinsip Kerja Boiler	14
2.5. Turbin Uap (Steam Tuebine)	14
2.5.1. Prinsip Kerja Turbine Uap	16
2.5.2. Condenser	17
2.5.3. Jenis – Jenis Turbin Uap (Steam Turbine).....	19

2.5.4. Efisiensi Turbin Uap (Steam Turbine).....	19
2.6. Generator Sinkron.....	21
2.6.1. Generator Berbeban.....	21
2.6.2. Konstruksi Generator Sinkron.....	22
2.6.3. Prinsip Kerja Generator Sinkron.....	23
2.6.4. Efisiensi Generator.....	24
2.7. Daya Beban Listrik.....	24
2.8. Program Steam Tab.....	26
2.9. Entalpi.....	27
Bab 3 Metode Penelitian.....	28
3.1. Tempat Dan Waktu.....	28
3.2. Metode Pengumpulan Data.....	28
3.3. Bahan Dan Alat.....	29
3.3.1 Bahan.....	29
3.3.2. Alat.....	29
3.4. Data Penelitian.....	30
3.4.1. Data Spesifikasi Generator Sinkron.....	30
3.4.2. Data Spesifikasi Turbin Uap (Steam Turbine).....	31
3.4.3. Data Beban Generator Sinkron.....	32
3.4.4. Data Aliran Massa Uap Pada Turbin.....	33
3.4.5. Data Suhu Uap Pada Turbine.....	35
3.4.6. Data Tekanan Uap Pada Turbin.....	36
3.5. Diagram Alir Perhitungan Efisiensi Generator.....	38
Bab 4 Hasil Dan Pembahasan.....	40
4.1. Nilai Efisiensi Generator Berbeban.....	40
4.2. Penentuan Nilai Entalpi.....	40
4.3. Penentuan Nilai Daya Input Generator Sinkron.....	46
4.4. Penentuan Nilai Efisiensi Generator Sinkron.....	49
4.5. Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Nilai Efisiensi Generator.....	52
4.6. Efisiensi Aktual Generator Sinkron.....	54
Bab 5 Kesimpulan.....	59

5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	59
Daftar Pustaka	61
Lampiran	64
Daftar Riwayat Hidup	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2. Siklus Rankine.....	8
Gambar 2.3. Proses Konversi Energi Pada Pltu	10
Gambar 2.3.1. Gambar One Line Diagram Pltu Pangkalan Susu Pgu.....	11
Gambar 2.3.2. Siklus Air Pltu	12
Gambar 2.4.1. Prinsip Kerja Turbin.....	14
Gambar 2.5 Turbine Uap.....	15
Gambar 2.5.1. Prinsip Kerja Turbin.....	16
Gambar 2.5.2. Condenser.....	18
Gambar 2.5.4. Skema Perhitungan Daya Aktual Turbin	20
Gambar 2.6.2. Konstruksi Generator Sinkron.....	22
Gambar 2.8. Tampilan Chemicalogic Steam Tab Corporation.....	27
Gambar 3.5. Flowchart Diagram Alir Perhitungan Efisiensi Generator	39
Gambar 4.4.Grafik Perbedaan Daya Input Dan Daya Output.....	51
Gambar 4.5.Grafik Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi	53
Gambar 4.6 Grafik Perbedaan Efisiensi Aktual Dengan Efisiensi Desain	55
Gambar 4.6. Perhitungan Efisiensi Rata-Rata Menggunakan <i>Ms. Excel</i>	56

DAFTAR TABLE

Tabel 4.2. Nilai Entalpi Pada Inlet Dan Exhaust High Pressure Turbin	41
Tabel 4.2.1. Nilai Entalpi Pada Inlet Dan Exhaust Intermediet Pressure Turbin	43
Tabel 4.2.2. Nilai Entalpi Pada Inlet Dan Exhaust Low Pressure Turbin.....	45
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Daya Input Generator Sinkron	48
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Efisiensi Generator Sinkron	50
Tabel 4.6.1. Hasil Perhitungan Rata – Rata Efisiensi Aktual Generator	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PLTU pangkalan susu unit 3 dan 4 dibangun sejak 7 Mei 2015 merupakan ekspansi dari unit 1 dan 2 yang telah beroperasi lebih dahulu merupakan pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dan uap untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) pangkalan susu unit 3 dan 4 menggunakan bahan bakar yaitu batubara berjenis low range dengan kalor sekitar 4.200 kcal/kg sebagai bahan bakar utama. kebutuhan batubara selama setahun rata-rata untuk setiap unitnya sebesar 2,16 juta metrik ton, Akan tetapi PLTU tidak bisa berdiri sendiri tanpa adanya PT. Indonesia Power merupakan anak perusahaan PT. PLN yang berfokus sebagai penyediaan tenaga listrik melalui pembangkitan dan pemeliharaan tenaga listrik dan sebagai penyedia jasa operasi. termasuk penggunaan batubara yang akan digunakan sebagai bahan bakar yang menghasilkan uap sebagai energi listriknya. [1]

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan salah satu upaya pemerintah dalam memenuhi pasokan energi listrik. Sistem pembangkit tenaga uap ini juga banyak digunakan industri-industri besar. Secara umum, pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu: pompa, boiler, turbin uap, generator, kondensor. Adapun keunggulan sistem pembangkit tenaga uap adalah usia kerja atau *life time* yang relatif panjang dan mampu dioperasikan dengan berbagai bahan bakar. PLTU juga mempunyai nilai efisiensi yang sangat baik, karena *flue gas* dari sisa pembakaran juga masih bisa dimanfaatkan kembali. Panas dari gas buang bisa dimanfaatkan kembali untuk memanaskan udara, air, dan juga bisa memproduksi uap yang menjadi fluida kerja pada PLTU. [2]

PLTU Pangkalan Susu unit 3 dan 4 menggunakan sistem eksitasi dengan tipe eksitasi statis, yaitu pada tipe eksitasi ini menggunakan media carbon brush untuk menghantarkan arus eksitasi, sistem eksitasi ini memanfaatkan keluaran dari generator sinkron yang ada. Dalam prakteknya arus eksitasi yang ada pada PLTU Pangkalan Susu unit 3 dan 4 harus selalu diperhatikan agar sistem berjalan dengan

baik dan gangguan berupa under excitation dan over excitation dapat dicegah. Langkah yang dilakukan dalam menghindari kerusakan generator sinkron yang disebabkan oleh arus eksitasi tersebut yaitu dengan cara memahami karakteristik pengaturan sistem eksitasi meliputi arus eksitasi, arus jangkar, tegangan generator, dan pembebanan. Nilai pembebanan yang ada sangat mempengaruhi nilai dari arus eksitasi yang diinjeksikan, penginjeksian arus eksitasi ini berfungsi untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal generator sinkron agar tetap pada kondisi nominalnya. [3]

Salah satu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batu bara yang terdapat di provinsi Sumatera Utara adalah PLTU Pangkalan Susu PGU (Power Generation Unit). Pembangkitan yang dikelola oleh PT Indonesia Power ini memiliki 4 unit yang berdasarkan manual book masing-masing unit memiliki kapasitas daya netto 200 MW. Pada proses pembangkitan listrik di PLTU Pangkalan Susu, secara desain daya yang dibangkitkan oleh generator sebesar 220 MW, dimana 20 MW nya didistribusikan ke wilayah sektor pembangkitan tersebut. Secara aktual daya yang akan dibangkitkan tidak selalu statis pada nilai rating. Hal ini disebabkan oleh keadaan beban yang selalu berubah- ubah tiap saat. [4]

Keuntungan utama penggunaan pembangkit listrik berbahan batu bara adalah dapat beroperasi sepanjang waktu selama masih tersedianya bahan bakar. kehandalan pembangkit ini tinggi karena dalam operasinya tidak bergantung pada alam seperti halnya PLTA. mengingat waktu startnya yang cepat tetapi ongkos bahan bakarnya tergolong mahal, namun investasi awal pembangunan relatif murah sehingga dapat memenuhi kebutuhan energi listrik daerah yang mendesak. [5]

Efisiensi generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU itu sendiri. Semakin besar nilai efisiensi dari generator maka keandalan sistem pembangkitan listrik juga akan semakin baik. Selama lebih kurang 4 tahun beroperasi diperkirakan efisiensi akan mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti kenaikan rugi-rugi daya generator, generator trip (Unit Shutdown), perubahan beban listrik yang signifikan, faktor lamanya maintenance, atau kesalahan dalam pengoperasian. [6]

Berdasarkan uraian diatas maka penulis sangat tertarik untuk mengambil judul mengenai “ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP

BESAR NILAI EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 3 PLTU PANGKALAN SUSU PGU” yang akan membahas tentang perubahan beban dan nilai efisiensi generator unit 3 yang telah beroperasi selama 4 tahun lamanya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perubahan beban listrik terhadap besar nilai efisiensi generator unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU?
2. Berapa nilai efisiensi rata-rata generator unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU berdasarkan kemampuan daya masukan dan keluaran?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap besar nilai efisiensi generator unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU.
2. Untuk mengetahui nilai efisiensi rata-rata generator unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU berdasarkan kemampuan daya masukan dan keluaran.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan pokok – pokok permasalahan diatas,manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui besar nilai efisiensi generator sinkron yang telah beroperasi selama lebih kurang 4 tahun lamanya.
2. Hasil analisis tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk tetap meningkatkan dan mempertahankan tingkat efisiensi dalam sistem pembangkitan listrik tersebut, khususnya pada peralatan generatornya.

1.5. Batasan Masalah

Untuk mendapat hasil pembahasan yang maksimal,maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas.adapun batas permasalahan adalah:

1. Penganalisaan beberapa beban dari generator terhadap perhitungan besar nilai efisiensi digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan besar nilai efisiensi pada generator tersebut.
2. Perhitungan besar nilai efisiensi generator dengan penentuan perbandingan beberapa daya keluaran generator terhadap beberapa daya masukan generator.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang permasalahan yang menjadi topik pembahasan, rumusan masalah yang diangkat berdasarkan latar belakang yang didapatkan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

2. BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori-teori dasar yang menunjang pembahasan permasalahan dan teori pendukung lainnya yang relevan berdasarkan referensi yang berkaitan dengan pembahasan ini. Contohnya seperti teori mengenai siklus *rankine*, sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), turbin uap, generator sinkron, efisiensi generator sinkron, daya listrik, dan lain sebagainya. Diharapkan teori-teori tersebut dapat menjadi landasan untuk dapat menjawab permasalahan-permasalahan yang terdapat pada penelitian tugas akhir ini.

3. BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini berisi metode-metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah yang terdapat pada penelitian tugas akhir ini. Mulai dari tahapan pelaksanaan penelitian (diagram alir penelitian), waktu dan lokasi penelitian, metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian, alat dan bahan penelitian, data yang digunakan dalam penelitian, hingga diagram alir yang digunakan dalam proses perhitungan nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU yang telah beroperasi 4 tahun lamanya menggunakan metode penurunan entalpi.

4. BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi mengenai analisis tingkat nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU yang telah beroperasi lebih kurang 4 tahun lamanya. Selain itu, penulis juga akan menganalisis pengaruh perubahan beban terhadap waktu dan menganalisis pengaruh perubahan beban generator sinkron terhadap nilai efisiensi generator tersebut. Kemudian, penulis juga membandingkan nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU saat ini (*real*) dengan nilai efisiensi yang terdapat pada peralatan nameplate generator.

5. BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi mengenai kesimpulan akhir yang dapat diambil setelah melakukan penelitian tugas akhir ini berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada. Sehingga terjawab rumusan-rumusan masalah yang telah timbul berdasarkan latar belakang dalam penelitian tugas akhir ini. Selain itu, bab ini juga berisi saran-saran yang diberikan peneliti kepada pihak perusahaan untuk dapat meningkatkan dan mempertahankan tingkat efisiensi generator sinkron pada unit tersebut, serta pihak pembaca untuk dapat menyempurnakan pembahasan mengenai penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron (Apalikasi Pltg Pauh Limo Padang)” Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan melihat kinerja generator sinkron tiga fasa terhadap perubahan beban daya aktif. Dari hasil analisa diperoleh bahwa semakin bertambahnya beban maka GGL induksi juga akan naik dan arus medan juga naik dimana GGL induksi yang di dapat pada saat beban puncak dari factor daya lagging adalah 6397.211 V dan arus medan 304.629 A, GGL induksi pada factor daya leading adalah 6043.474 V dan arus medan 287.784 A.[7]

Penelitian yang berjudul “Analisis fluktuasi beban terhadap efisiensi generator sinkron di pt pembangkit listrik palembang raya” penelitian ini dilakukan untuk kinerja Kinerja sebuah generator sinkron dapat diukur dengan perhitungan efisiensi perbandingan antara daya input pada generator dan daya output generator.PT. Pembangkit Listrik Palembang Jaya memiliki generator sinkron yang tersambung secara sinkronisasi paralel yang dihidupkan secara nonstop atau terus menerus. Suatu efisiensi generator sinkron dapat dipengaruhi oleh jumlah pembebanan dan faktor daya berupa naik turunnya nilai $\cos \phi$ pembebanan. Menurunnya faktor daya ($\cos \phi$) akan mengakibatkan turunnya sebuah efisiensi.PT. PLPJ menggunakan nilai $\cos \phi$ 0.85 dan untuk nilai $\cos \phi$ optimal pada generator PT. PLPJ sebesar 0.90. Semakin besarnya pembebanan maka akan semakin turunnya sebuah efisiensi. begitu pula sebaliknya, semakin kecilnya pembebanan maka akan naiknya efisiensi.[8]

Penelitian yang berjudul “Analisa Efisiensi Turbin Generator Pada STG PLTGU Block 1 Di PT Indonesia Power Up Semarang” Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui energi thermal yang dihasilkan melalui proses di HRSG, mengetahui energi listrik yang dihasilkan oleh generator Steam Turbin Generator (STG) PLTGU blok 1 di PT. Indonesia Power UP Semarang, mengetahui

efisiensi turbin generator berdasarkan daya masukan dan keluarannya. Parameter dalam penelitian ini adalah kondisi beban puncak pada tanggal 2, 5, 6 Agustus 2019. Variabel bebas adalah pola kerja mesin pembangkit listrik, yakni 3-3-1 (3GTG-3HRSG-1STG). variabel terikat adalah flow uap, tekanan, dan temperature pada pembangkit listrik PLTGU, GTG, HRSG, STG. Analisa data dilakukan dengan cara membandingkan efisiensi menggunakan perhitungan software steam tab dan perhitungan interpolasi. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi PLTGU blok 1 dengan perhitungan software steam tab rata-ratanya adalah 71,89%, sedangkan dengan perhitungan interpolasi rata-ratanya adalah 71,89%. Dan hasil perhitungan efisiensi turbin generator dengan menggunakan software Steam Tab sebesar 63,83% yang dibandingkan dengan hasil perhitungan efisiensi turbin generator dengan metode interpolasi sebesar 63,85% menghasilkan selisih yang sangat kecil yaitu sebesar 0,02%. Perhitungan efisiensi dari ketiga HRSG, baik itu HRSG 1.1, 1.2 dan HRSG 1.3 didapat nilai dengan efisiensi yang lebih baik yaitu pada HRSG 1.3 sebesar 85,38%, yang mana hasil itu didapat karena telah dilakukan overhaul pada bulan Juli 2019.[9]

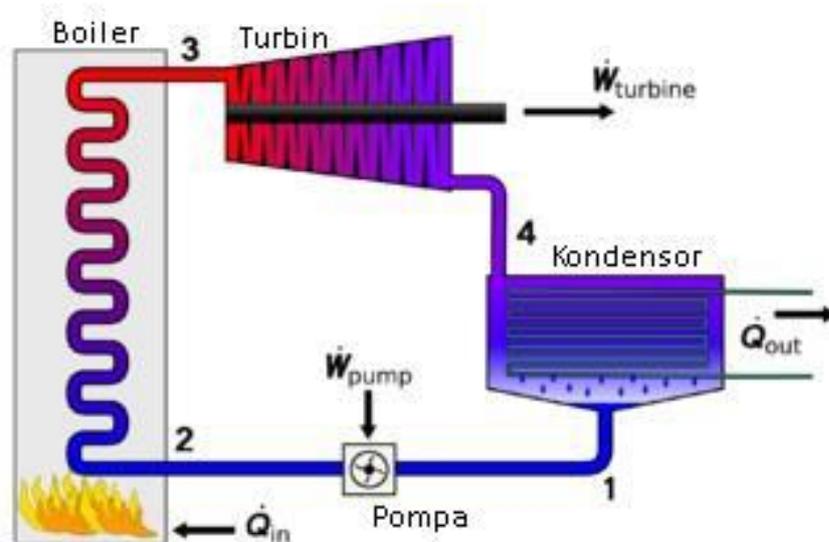
Penelitian yang berjudul “Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)”. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa efisiensi HRSG dalam sebuah PLTGU, sehingga diperoleh penyebab didapatkannya nilai efisiensi, serta membandingkan kondisinya ketika dalam keadaan setelah overhaul dan sebelum overhaul. Efisiensi HRSG didapat dari perbandingan manfaat kalor keluar HRSG dan kalor gas buang masuk HRSG, sehingga didapat bahwa efisiensi HRSG setelah overhaul adalah 79,76% sedangkan efisiensi sebelum overhaul adalah 78,36%, hal ini dapat terjadi karena meningkatnya kualitas dari parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu meliputi: suhu air umpan, aliran massa gas buang, kemampuan menerima beban dan aliran massa uap yang dihasilkan.[10]

Penelitian yang berjudul “Perhitungan Dan Pengujian Beban Pada Generator Di Kapal Tagboat Hangtuh V”. Tujuan penelitian menghitung kapasitas peralatan yaitu dengan menghitung nilai faktor beban peralatan. Kedua, mencari jumlah beban dalam setiap kondisi operasional kapal pada saat sandar,

operasi, berlayar dan fire fighting. Ketiga, mencari nilai faktor beban dari variasi generator yang digunakan. Setelah didapatkan faktor beban, peneliti juga turut menguji generator dengan pengujian beban yang bervariasi dengan standar waktu tertentu. Hasil perhitungan jumlah beban dalam setiap kondisi menunjukkan faktor beban yang tidak melebihi dari 86% dengan kapasitas generator yang ada. Pengujian beban pada *generator* menunjukkan hasil yang baik dan tidak memiliki masalah pada generator yang diujikan.[11]

2.2. Siklus Rankine

Siklus *Rankine* adalah siklus daya uap yang digunakan untuk menghitung atau memodelkan proses kerja mesin uap atau turbin uap yang mengubah energi panas menjadi kerja. Panas disuplai dari luar siklus (*external combustion*) dan kalor tersebut ditransfer menuju siklus tertutup. Fluida kerja biasanya menggunakan air (fluida yang dipanaskan /didinginkan). Siklus ini menghasilkan 80 % dari seluruh energi listrik yang dihasilkan di seluruh dunia. Siklus *Rankine* pertama kali dimodelkan oleh William Jhon Macquorn Rankine, seorang ilmuwan Scotlandia dari Universitas Glasglow. Siklus Rankine adalah model operasi mesin uap yang secara umum digunakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sumber panas untuk siklus *Rankine* dapat berasal dari batubara, gas alam, minyak bumi, nuklir, biomassa dan panas matahari.[12]



Gambar 2.2. siklus Rankine PLTU [12]

Proses Dalam Siklus Rankine

Proses 1 – 2 :

Fluida kerja (air) dipompa dari tekanan rendah menjadi tekanan tinggi. Pada tahap ini fluida kerja berfase cair sehingga membutuhkan energi yang relatif kecil untuk proses pemompaan.

Proses 2 – 3 :

Air bertekanan tinggi memasuki boiler untuk dipanaskan terjadi transfer panas. Pada proses ini fluida berubah fase menjadi uap jenuh dan berlangsung pada tekanan konstan.

Proses 3 – 4 :

Fluida yang telah berubah fase menjadi uap mengalami penurunan temperature dan tekanan dikarenakan uap melewati turbin, proses ini disebut *Ekspansi*. Merubah energi kinetik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasional. Pada tahap ini untuk siklus PLTU dari putaran poros turbin akan diteruskan oleh generator yang akan membangkitkan energi listrik dari energi mekanik menjadi energi listrik.

Proses 4 – 5 :

Uap yang telah melewati turbin menuju kondensor terjadi proses kondensasi perubahan fase fluida dari uap menjadi air. Kemudian air dipompakan kembali pada proses 1 – 2.

2.2.1. Siklus Rankine dengan Pemanasan Ulang

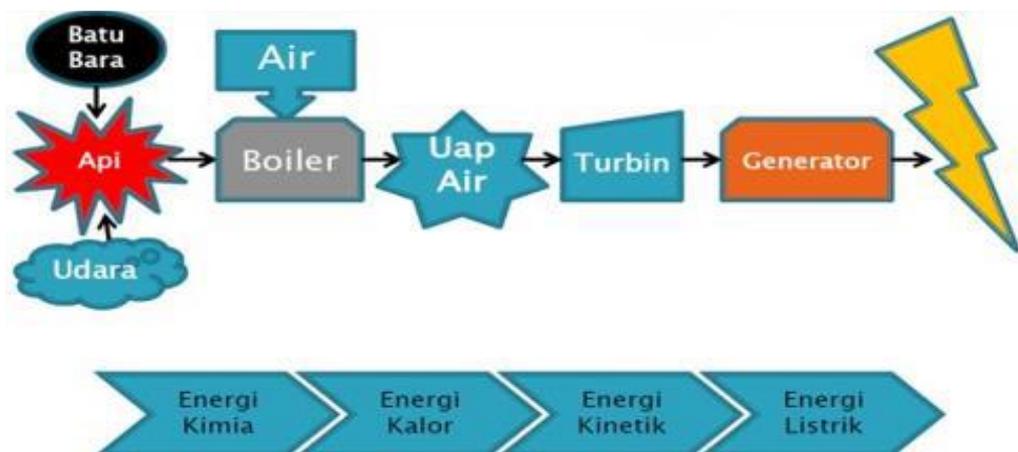
Pada siklus ini dua buah turbin bekerja secara bergantian, yang pertama menerima uap dari boiler pada tekanan tinggi. Selanjutnya uap dari turbin pertama, uap akan masuk ke boiler kembali untuk dipanaskan ulang sebelum digunakan untuk memutar turbin yang kedua dengan tekanan yang lebih rendah daripada tekanan uap yang digunakan untuk memutar turbin yang pertama. Manfaat yang didapatkan diantaranya ialah mencegah uap berkondensasi selama ekspansi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sudu-sudu turbin dan meningkatkan efisiensi turbin. Dengan demikian dapat meningkatkan pula keandalan suatu pembangkitan listrik.

2.2.2. Siklus Rankine Regeneratif

Siklus *rankine* regeneratif memiliki konsep hampir sama dengan konsep siklus *rankine* dengan pemanasan ulang. Yang membedakan ialah uap yang telah melewati turbin kedua dan kondensor akan bercampur dengan sebagian uap yang belum melewati turbin yang kedua. Pencampuran ini terjadi di dalam tekanan yang sama dan mengakibatkan pencampuran suhu. Hal ini akan meningkatkan efisiensi pemanasan primer yang tentunya akan meningkatkan keandalan dari sistem pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

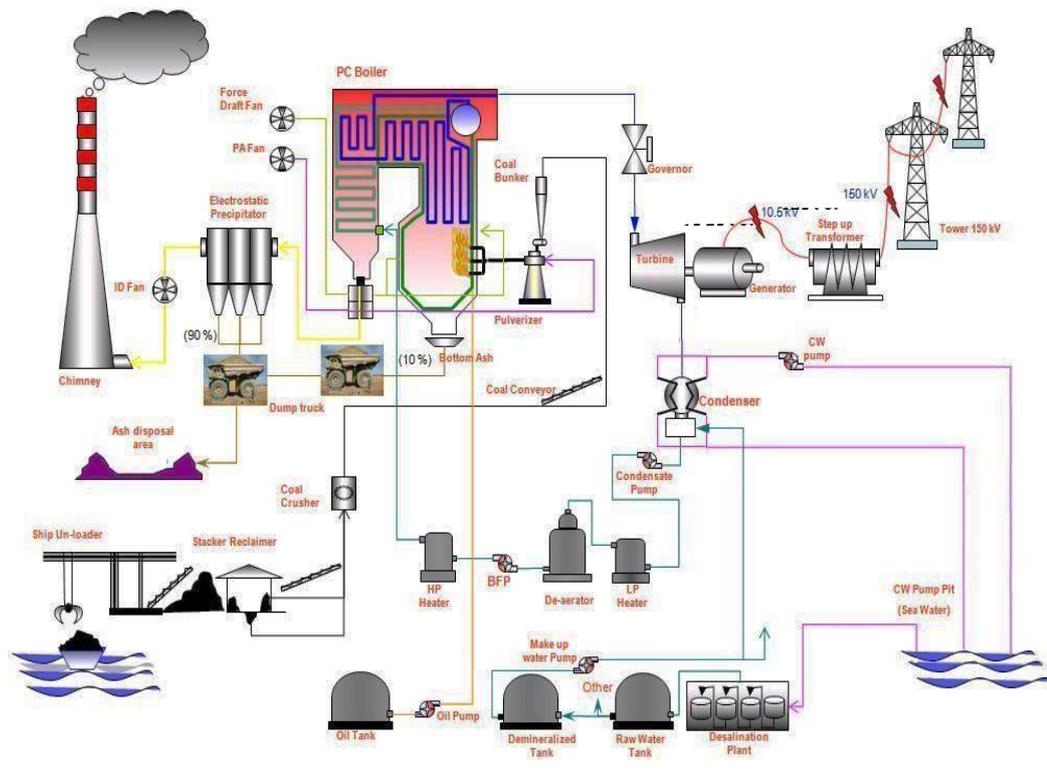
2.3. Proses Konversi Energi Listrik Pada PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan *fluida* kerja berupa uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang kemudian turbin akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik. Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam batubara yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap (*steam*), selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada gambar dibawah. [13]



Gambar 2.3 Proses Konversi Energi pada PLTU[13]

2.3.1. One Line Diagram PLTU Pangkalan Susu PGU



Gambar 2.3.1 One Line Diagram PLTU Pangkalan Susu PGU

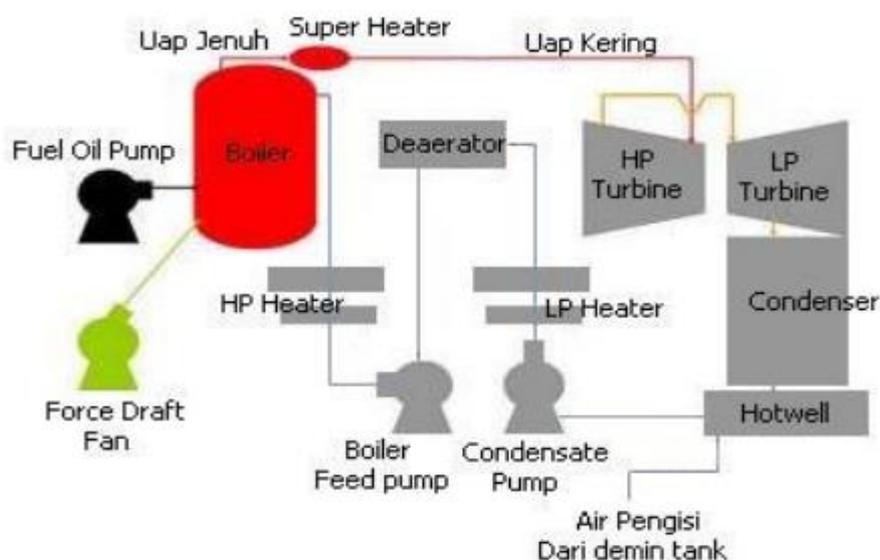
PLTU Pangkalan Susu PGU merupakan salah satu pembangkit listrik yang terdapat di Provinsi Sumatera Utara dengan kapasitas 4 x 220 MW. Pembangkit ini menggunakan turbin uap (*steam turbine*) sebagai *prime mover* untuk memutar rotor generator agar menghasilkan listrik. Pembangkit ini mulai beroperasi pada tanggal 15 April 2014 untuk unit 1 dan pada tanggal 15 Februari 2014 untuk unit 2 sedangkan unit 3 beroperasi pada tanggal 26 Juni 2019 dan untuk unit 4 beroperasi pada tanggal 5 September 2019. Peralatan utama PLTU Pangkalan Susu PGU khususnya turbin dan generator berasal dari pabrik Tiongkok, *Beijing Beizhong* dengan kontraktor *Guangdong Power Engineering Corporation* (GPEC), spesifikasi boiler untuk suplai batu baranya 4200 kcal/kg, temperatur uap 540°C, dan tekanannya 13.43 Mpa, sedangkan turbin bekerja pada temperatur uap 535°C dan tekanannya 12.75 Mpa beroperasi pada *netto* 200 MW.

Dalam pengoperasian pembangkitan listrik pada PLTU Pangkalan Susu PGU terdapat 3 sistem penting yang dapat menunjang faktor efisien pada PLTU yaitu sistem air dan uap. Sistem air dan uap dalam boiler merupakan satu mata rantai

rangkaian siklus fluida kerja. Boiler mendapat pasokan fluida kerja air dan menghasilkan uap untuk dialirkan ke turbin.

2.3.2. Siklus Air PLTU

Siklus air dalam sebuah PLTU umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu: sistem air kondensat (condensate water System), sistem air penambah (make up water), dan sistem air pendingin bantu (Close Circulation Cooling Water). Sistem air kondensat adalah sumber pasokan utama untuk sistem air pengisi. Ruang lingkup sistem air kondensat adalah mulai dari hotwell sampai ke Deaerator, sedangkan system air penambah dapat diartikan secara teoritis, air di dalam siklus PLTU akan terus bersirkulasi tanpa terjadi pengurangan massa air sehingga tidak memerlukan penambah dari luar siklus, sedangkan system air pendingin bantu adalah berfungsi untuk mendinginkan semua peralatan yang ada pada sistem PLTU. Dalam sistem air kondensat ini terdapat beberapa proses yaitu: pemanasan dalam proses ini pada saat melintasi sistem air kondensat, air mengalami pemanasan pada berbagai komponen antara lain di gland steam condensor dan di beberapa pemanas awal air pengisi tekanan rendah/ LPH (Low Pressure Heater). Tujuannya untuk meningkatkan efisiensi siklus serta menghemat pemakaian bahan bakar.[14]



Gambar 2.3.2 siklus air pltu[14]

2.3.3. Sistem Uap

Sistem uap dalam boiler adalah uap dari drum boiler dalam kondisi jenuh dialirkan ke *superheater* untuk selanjutnya disalurkan ke turbin *High Pressure* (HP). Kemudian uap dari turbin HP masuk kembali ke dalam boiler tepatnya di *reheater* untuk dipanaskan kembali. Kemudian uap yang telah dipanaskan tersebut digunakan untuk memutar turbin *Intermediet Pressure* (IP). Selanjutnya uap tersebut langsung digunakan untuk memutar turbin *Low Pressure* (LP), sampai akhirnya uap tersebut langsung masuk ke kondensor untuk proses kondensasi uap menjadi air kembali.

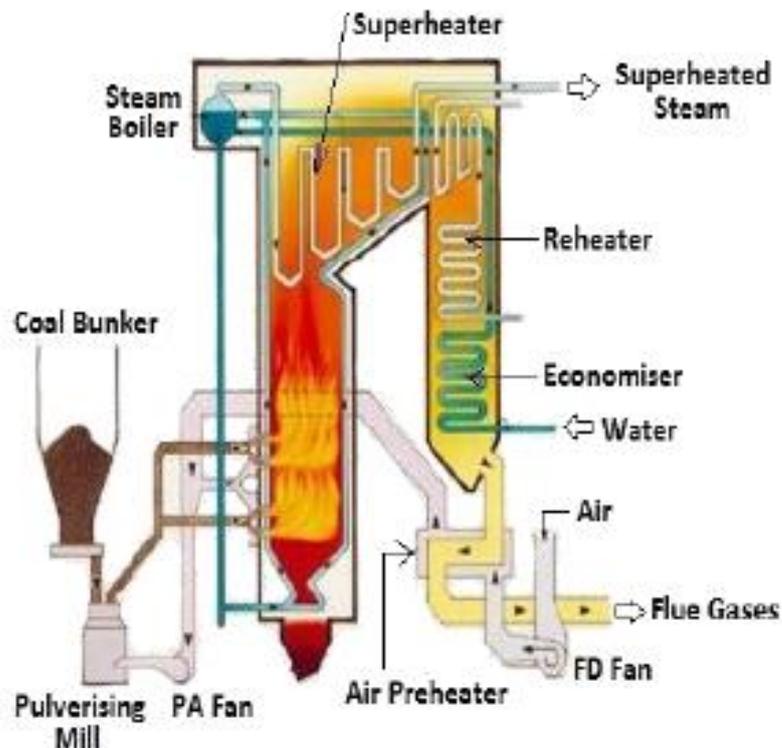
2.4. Boiler

Boiler atau ketel uap ialah bejana tertutup yang didalamnya berisikan air yang akan dipanaskan. Hasil energi panas dari uap air dari *boiler* tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, penghangat ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Dalam proses konversi energinya, *boiler* memiliki cara kerja mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (*thermal*) yang diterima oleh fluida kerja. Panas yang diberikan kepada fluida yang ada pada *boiler* di mulai dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti cangkang/serabut sawit, batubara, minyak bumi, dan gas. Sebuah *boiler* harus dilengkapi peralatan yang dapat mempermudah atau membantu kinerjanya sehingga pengoperasiannya berjalan dengan baik dan aman. *Boiler* harus mempunyai kriteria atau persyaratan sebagai berikut : [15]

1. Dapat memproduksi uap *superheat* dengan berat tertentu dalam waktu yang ditentukan, serta tekanannya lebih besar dari satu atmosfer.
2. Apabila menggunakan alat super heater, maka suhu uap pada pemakaian terakhir tidak berubah terlalu banyak dan dapat diatur dengan mudah.
3. Jika penggunaan uap yang tidak stabil, maka tekanan uap tidak berubah banyak.
4. Kadar air yang dihasilkan pada uap panas harus efisien.
5. Uap harus dibentuk dengan jumlah bahan bakar sehemat mungkin.

2.4.1. Prinsip Kerja Boiler

Prinsip kerja *boiler* adalah mesin konversi yang dimana fungsinya mengubah air menjadi uap. Siklus perubahan air terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara terus menerus yang ada di ruang bakar dengan menyuplai sumber bahan bakar dan udara luar. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap panas lanjut (*superheat*) dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Hasil produksi uap tergantung pada luas permukaan pipa, kecepatan aliran, dan hasil pembakaran yang diberikan. Pada pembangkit umumnya boiler disebut juga sebagai pembangkit uap (*steam generator*) dikarenakan arti kata *boiler* hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap *superheat* dan bertekanan tinggi. [15]

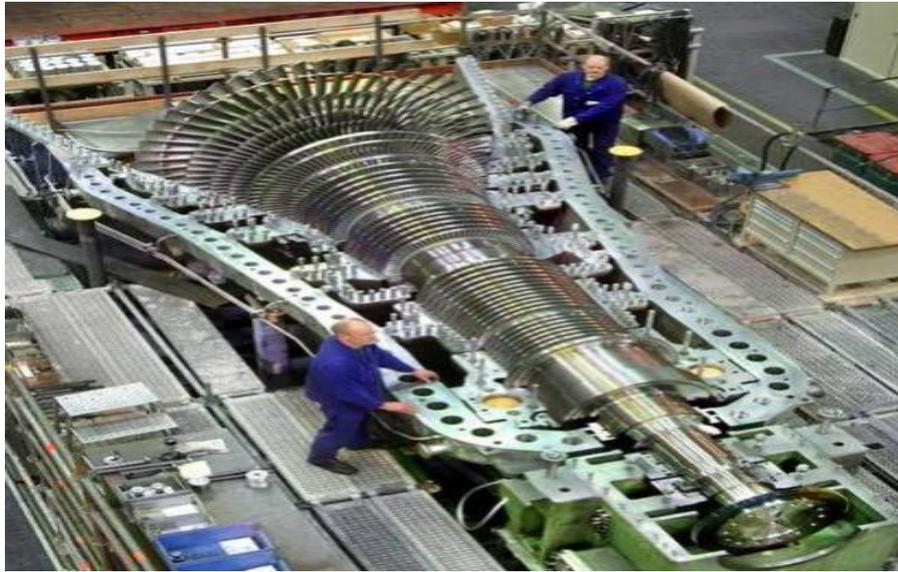


Gambar 2.4.1 Prinsip kerja turbin[15]

2.5. Turbin Uap (Steam Turbine)

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. Salah satu turbin uap yang digunakan di PLTU.



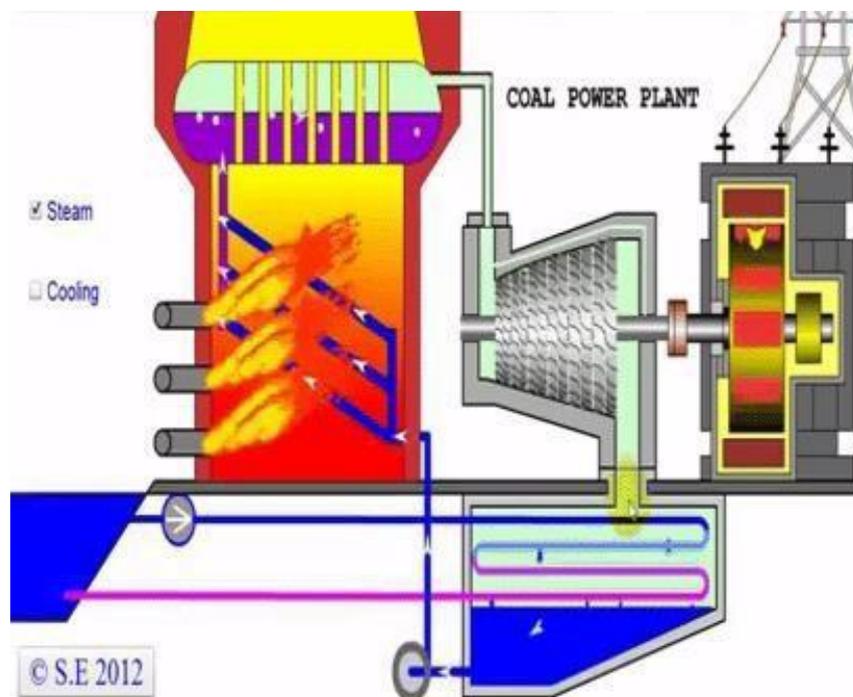
Gambar 2.5 Turbin Uap[13]

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau denganbantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakanpada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau denganbantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakanpada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik. Umumnya PLTU menggunakan turbin uap tipe multistage, yakni turbinuap yang terdiri atas lebih dari 1 stage turbin (Turbin High Pressure, IntermediatePressure, dan Low Pressure). Uap air superheater yang dihasilkan oleh boiler masuk ke turbin High Pressure (HP), dan keluar pada sisi exhaust

menujukeboiler lagi untuk proses reheater. Uap air yang dipanaskan kembali ini dimasukkan kembali ke turbin uap sisi Intermediate Pressure (IP), dan uap yang keluar dari turbin IP akan langsung masuk ke Turbin Low Pressure(LP). Selanjutnya uap air yang keluar dari turbin LP masuk ke dalam kondenser untuk mengalami proses kondensasi[13]

2.5.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

- a) Tekanan uap yang masuk ke nosel lebih besar dibandingkan tekanan uap yang keluar dari nosel.
- b) Turbin dipasang beberapa sudu gerak, sudu tetap disetiap baris kedua sudu gerakan, agar energi kinetik yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dapat dimanfaatkan kembali. Sudu tetap berfungsi mengubah arah kecepatan uap, agar uap dapat masuk kembali ke garis sudu gerak dengan tepat
- c) Untuk mendapatkan efisiensi turbin yang lebih tinggi, maka harus dibuat sekecil mungkin kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak turbin terakhir, agar energi kinetik yang ada dapat lebih dimanfaatkan untuk meminimalkan kehilangan energi



Gambar 2.5.1 prinsip kerja turbin[3]

adapun beberapa bagian-bagian penting pada turbin uap yaitu adalah

a) Shaft seal adalah bagian dari turbin antara poros dengan casing yang berfungsi untuk mencegah uap air keluar dari dalam turbin melewati sela - sela antara poros dengan casing akibat perbedaan tekanan dan juga untuk mencegah udara masuk ke dalam selama turbin uap beroperasi. Turbin uap menggunakan sistem labyrinth seal untuk shaft seals. Sistem ini berupa bagian yang berliku - liku pada poros dan casing yang dimana kedua sisinya saling bertemu secara berselang - seling. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi tekanan uap air di dalam turbin yang masuk di sela - sela labyrinth sehingga tekanan antara uap air dengan udara luar akan mencapai nilai yang sama pada titik tertentu. Selain adanya sistem labyrinth seal, ada satu sistem tambahan bernama sistem seal & gland steam. Sistem ini bertugas untuk menjaga tekanan di labyrinth seal pada nilai tertentu terutama pada saat start up awal atau shut down turbin dimana pada saat tersebut tidak ada uap air yang masuk ke dalam turbin uap.

b) Turbine bearing pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut :

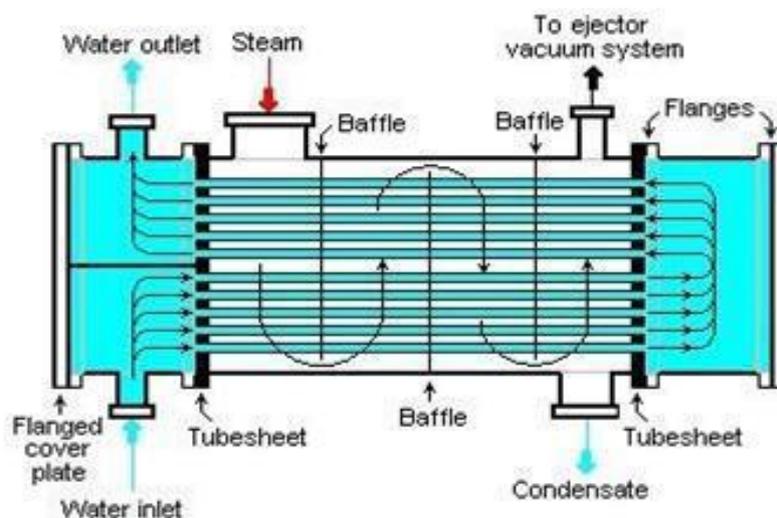
1. Menahan diam komponen rotor secara aksial.
2. Menahan berbagai macam gaya tidak stabil dari uap air.
3. Menahan gaya kinetik akibat ketidakseimbangan karena kerusakan sudu.
4. Menahan gaya aksial pada beban listrik yang bervariasi.

Jenis bearing yang digunakan dalam desain turbin uap yaitu thrust bearing, journal bearing, dan kombinasi antara keduanya. Dibutuhkan juga sebuah sistem pelumasan menggunakan oli, yang secara terus-menerus disirkulasi dan didinginkan untuk melumasi bearing yang terus mengalami gesekan saat turbin uap beroperasi.[3]

2.5.2. Condenser

Condenser merupakan salah satu komponen utama PLTU yang terdiri dari beberapa pipa-pipa kecil berisi cooling water. Dapat dikatakan fungsi condenser adalah sebagai heat exchanger atau alat penukar kalor (APK), kerja condenser sendiri adalah mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air. Air hasil kondensasi ini dipompa oleh CEP (Condensate Extraction Pump) menuju

boiler dan akan digunakan kembali. Dalam perpindahan panas ini prinsip yang digunakan adalah prinsip pindah panas secara konduksi dan konveksi. Proses perpindahan panas secara konduksi ini terjadi saat cooling water mengalir dalam pipa-pipa kecil dan perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika steam melewati sisi luar pipa kecil tersebut. Condenser yang ada pada PLTU ini termasuk jenis heat exchanger pipa cangkang. Dimana heat exchanger ini memiliki 2 sisi, yaitu sisi shell dan sisi tube. Sisi shell disini merupakan wadah steam yang akan dikondensasikan. Berdasarkan media pendinginnya, condenser ini tergolong water cooled condenser dengan tipe horizontal. *Condenser* di sebuah PLTU berfungsi untuk mengkondensasikan uap sisa ekspansi dari turbin utama maupun uap hasil ekstraksi yang digunakan untuk pemanasan awal *feed water*. Uap tadi akan diubah menjadi air akibat perpindahan panas (*Heat Exchange*) dari air laut sebagai media pendingin dan uap panas yang akan didinginkan. Selain itu condenser juga berfungsi untuk membuang gas-gas yang tidak terkondensasi ke atmosfer dengan bantuan pompa vakum condenser. Cara kerja condenser sederhananya adalah dengan melewati uap panas melewati pipa-pipa (*tubes*) yang berisi air pendingin, uap yang telah turun suhunya akan merubah menjadi air dan akan terkumpul di resevoir untuk disirkulasikan kembali ke pemanas awal (*heater*) sedangkan air pendingin yang sudah naik suhunya akan disirkulasikan ke *Cooling Tower* untuk didinginkan oleh pompa sirkulasi air laut. [16]



Gambar 2.5.2 condenser[12]

2.5.3 Jenis-Jenis Turbin Uap (*Steam Turbine*)

Terdapat jenis-jenis turbin uap sesuai dengan kegunaannya, apabila digunakan untuk penggerak daya kecil maka lebih dipilih tingkat tunggal sampai tingkat tiga. Akan tetapi bila untuk menggerakkan daya yang besar lebih dipilih turbin *multi stage* sampai *Tandem Compound*. Jenis-jenis turbin uap berdasarkan tekanan uap berdasarkan tekanan uap (steam) masuk turbin dapat digolongkan atas dasar sebagai berikut:

- a. Turbin tekanan super kritis (*super critical pressure turbine/SCP*) yaitu jenis turbin dengan tekanan uap yang mengalir diatas 22,5 Mpa.
- b. Turbin tekanan tinggi (*high pressure turbine/HP*) yaitu jenis turbin dengan tekanan uap yang mengalir diantara 8,8 Mpa – 22,5 Mpa.
- c. Turbin tekanan menengah (*intermediate pressure turbine/IP*) yaitu jenis turbin dengan tekanan uap yang mengalir diantara 1 Mpa – 8,8 Mpa.
- d. Turbin tekanan rendah (*low pressure turbine/LP*) yaitu jenis turbin dengan tekanan uap yang mengalir dibawah 1 Mpa.

2.5.4 Efisiensi Turbin Uap (*Steam Turbine*)

Efisiensi turbin uap (*steam turbine*) merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau dapat dikatakan proses ideal dengan satuan (%). Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut :[17]

$$\eta_{\text{Turbin}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

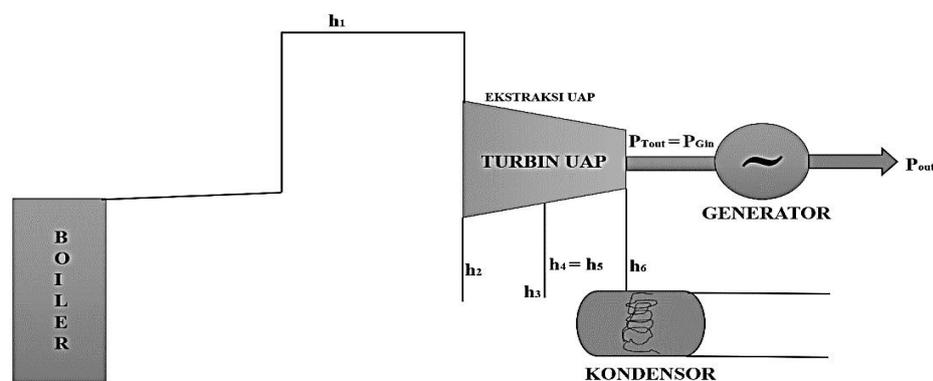
η_{Turbin} = Efisiensi Turbin Uap (%)

h_1 = Entalpi Uap Masuk Turbin (kJ/kg)

h_2 = Entalpi Uap Keluar Turbin Teoritis (kJ/kg)

h_2' = Entalpi Uap Keluar Turbin Aktual (kJ/kg)

Pada proses pembangkitan listrik di PLTU Pangkalan Susu PGU dilengkapi turbin HP (*High Pressure Turbine*), turbin IP (*Intermediet Pressure Turbine*), turbin LP (*Low Pressure Turbine*), dan pemanasan dari *superheater* serta pemanasan ulang dari *reheater*. Dalam proses ini, uap air di dalam turbin dikeluarkan sebagai uap bocor turbin (*extraction steam*) untuk memanasi air pengisi ketel dalam *feedwater heater*. Dengan m adalah laju aliran uap (t/h) dan h adalah entalpi pada titik tertentu. Maka persamaan untuk menghitung kerja aktual turbin dalam kJ/kg adalah sebagai berikut: [17]



Gambar 2.5.4 Skema Perhitungan Daya Aktual Turbin.[4]

$$W_T = W_{\text{Turbin HP}} + W_{\text{Turbin IP}} + W_{\text{Turbin LP}} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$W_T = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + \dot{m}_2(h_3 - h_4) + \dot{m}_3(h_5 - h_6) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$W_{\text{Actual}} = W_T \times \eta_{\text{Turbin}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

η_{Turbin} = Efisiensi Turbin (%)

P_{Actual} = Daya Aktual Keluaran Turbin (MW)

W_T = Kerja Turbin (kJ/h)

\dot{m}_1 = *Mainsteam Flow* (t/h)

\dot{m}_2 = *Cold Reheat Steam Flow at Reheater Inlet* (t/h)

\dot{m}_3 = *Hot Reheat Steam Flow* (t/h)

h_1 = *Entalpi Steam Inlet HP Turbine* (kJ/kg)

h_2 = *Entalpi Steam Exhaust HP Turbine* (kJ/kg)

h_3 = *Entalpi Steam Inlet IP Turbine* (kJ/kg)

h_4 = *Entalpi Steam Exhaust IP Turbine* (kJ/kg)

h_5 = *Inlet LP Turbine* (kJ/kg)

h_6 = *Entalpi Steam Exhaust LP Turbine* (kJ/kg)

2.6. Generator Sinkron

Generator sinkron adalah alat konversi energi yang mengubah energi gerak atau energi mekanik dalam bentuk putaran yang diperoleh dari putaran rotor yang dikopel bersama penggerak mula (*prime mover*) menjadi energi listrik yang kemudian dapat menghasilkan tegangan dengan arus bolak balik (AC). Energi listrik tersebut diperoleh dengan proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan jangkar pada stator. Proses konversi energi di dalam generator terjadi dengan cara memutar medan magnet di dalam kumparan. Rotor generator sebagai medan magnet menginduksi kumparan yang di pasang pada stator, sehingga muncul tegangan listrik diantara kedua ujung kumparan generator. Untuk membuat rotor agar menjadi atau menghasilkan medan magnet, maka diinjeksikan arus searah ke kumparan rotor pada generator. Sistem penginjeksian ini disebut dengan sistem eksitasi. [18]

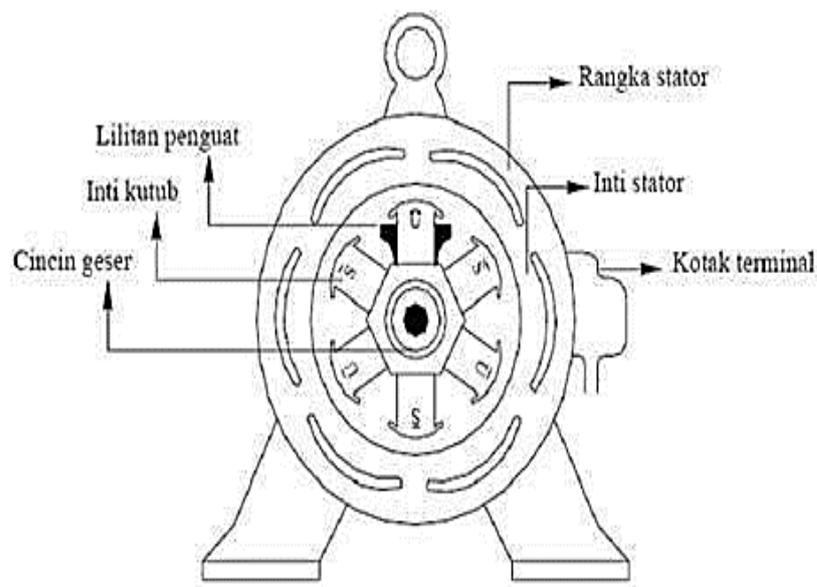
2.6.1 Generator Berbeban

Generator sinkron umumnya mempunyai beban yang konstan, tetapi ada saatnya, generator tersebut memikul beban yang tidak konstan atau berubah – ubah, misalnya ketika mengelas. Besar beban generator akan tergantung pada kontak antara elektroda las dan beban. Ketika generator berbeban (beban

pengelasan) tegangan yang diukur lebih kecil daripada tegangan yang dibangkitkan, hal itu terjadi karena adanya jatuh tegangan di saluran, elektroda dan beban. Pada saat itu kecepatan Rotor pun akan berkurang, karena arus beban akan memberikan gaya yang arahnya berlawanan dengan arah putaran prime mover.[19]

2.6.2. Konstruksi Generator Sinkron

Secara umum konstruksi generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian yang diam sedangkan rotor merupakan bagian yang berputar serta celah udara merupakan ruang antara stator dan rotor. [20]



Gambar 2.6.2. Konstruksi Generator Sinkron.[20]

1. Stator

Stator terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu

a. Rangka stator

Rangka stator merupakan inti jangkar generator.

b. Inti stator

Inti stator terdiri atas laminasi-laminasi yang terpasang pada rangka stator.

c. Alur (slot) dan gigi

Slot dan gigi merupakan tempat diletakkannya lilitan stator.

d. Kumparan stator (kumparan jangkar)

Kumparan stator merupakan tempat terjadinya gaya gerak listrik (GGL) induksi.

2. Rotor

Rotor terdiri atas 3 komponen utama, yaitu sebagai berikut:

a. Slip ring

Slip ring adalah cincin atau ring yang terbuat dari logam melingkari poros rotor yang saling terpisah (terisolasi). Pada slip ring ini terpasang terminal-terminal kumparan rotor yang kemudian melalui sikat dihubungkan ke sumber arus DC (*Direct Current*)

b. Kumparan rotor

Kumparan medan rotor merupakan kumparan yang berperan dalam menghasilkan medan magnet.

c. Poros rotor

Poros rotor merupakan tempat diletakkannya kumparan medan yang berbentuk slot-slot.

2.6.3. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator sinkron memiliki kumparan medan pada rotor dan kumparan jangkar pada stator. Generator sinkron disebut sinkron karena frekuensi listrik yang dihasilkan akan tetap tetap jika kecepatan putaran rotornya pun tetap, sehingga frekuensi listriknya sinkron terhadap kecepatan putar rotor. Generator sinkron bekerja dengan prinsip yaitu sebagai berikut[21]

1. Rotor disuplai atau diberikan arus searah (DC) yang kemudian menghasilkan fluks magnet.
2. Rotor digerakkan dengan cara diputar oleh turbin dengan kecepatan konstan sebesar n .
3. Garis gaya magnet bergerak menginduksi kumparan yang terdapat di stator.
4. Besar frekuensi dari tegangan generator tergantung dari besar kecepatan putaran rotor yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{n.p}{120} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

f = Frekuensi (Hz)

n = Kecepatan putaran rotor (rpm)

p = Jumlah kutub

5. Putaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar, sehingga pada kumparan jangkar terjadi fluks magnetik yang berubah-ubah.
6. Perubahan fluks magnetik yang melingkupi kumparan akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) induksi pada ujung-ujung kumparan.

2.6.4. Efisiensi Generator

Efisiensi generator merupakan perbandingan 2 buah daya yaitu antara daya keluaran generator atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan oleh turbin karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja bersama. Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dihitung dengan dengan perhitungan penurunan entalpi. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi yang terjadi. Daya masukan untuk generator berupa daya mekanik atau sama dengan daya yang dihasilkan oleh turbin. Karena turbin dan generator dikopel dan bekerja bersama yang menghasilkan daya keluaran berupa daya listrik. Untuk menghitung efisiensi dari generator menggunakan persamaan berikut ini, yaitu: [22]

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{\text{Beban}}{\text{Turbin}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

η_{gen} = Efisiensi Generator (%)

Beban = Daya Beban Generator (MW)

P_{Turbin} = Daya Aktual Keluaran Turbin (MW)

2.7. Daya Beban Listrik

Daya dapat diartikan sebagai energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha seperti panas, cahaya, mekanis/gerak, dan suara. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt (W) atau *Horsepower* (Hp). Dalam teori kelistrikan mengenai daya listrik terdapat 3 jenis daya listrik, yaitu: [23]

1. Daya Aktif

Daya aktif sering disebut daya nyata yang memiliki satuan watt dan merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Daya ini sering digunakan secara umum oleh konsumen dan sebagai satuan yang digunakan untuk daya listrik dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Dimana dalam perhitungan phasa yaitu :

$$P = V \times I \times \cos\phi \text{ (satu fasa)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \text{ (tiga fasa)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos\phi$ = Faktor daya

2. Daya reaktif

Daya Reaktif dalam satuan VAR yang terdiri dari sifat induktif yang digunakan untuk membangkitkan medan magnet dan sifat kapasitif yang digunakan untuk membangkitkan medan listrik. Daya ini merupakan dayang yang tidak berguna sehingga tidak dapat diubah menjadi tenaga. Namun daya ini dibutuhkan untuk proses transmisi pada beban. Daya reaktif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = V \times I \times \sin\phi \text{ (satu fasa)} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \text{ (tiga fasa)} \dots\dots\dots(3.0)$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

3. Daya Semu

Daya semu dalam satuan VA yang merupakan daya kompleks gabungan dari daya aktif dan reaktif. Daya kompleks ini merupakan daya listrik yang dijual oleh PLN kepada pelanggannya. Daya semu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S = V \times I \text{ (VA) (satu fasa)} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (VA) (tiga fasa)} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

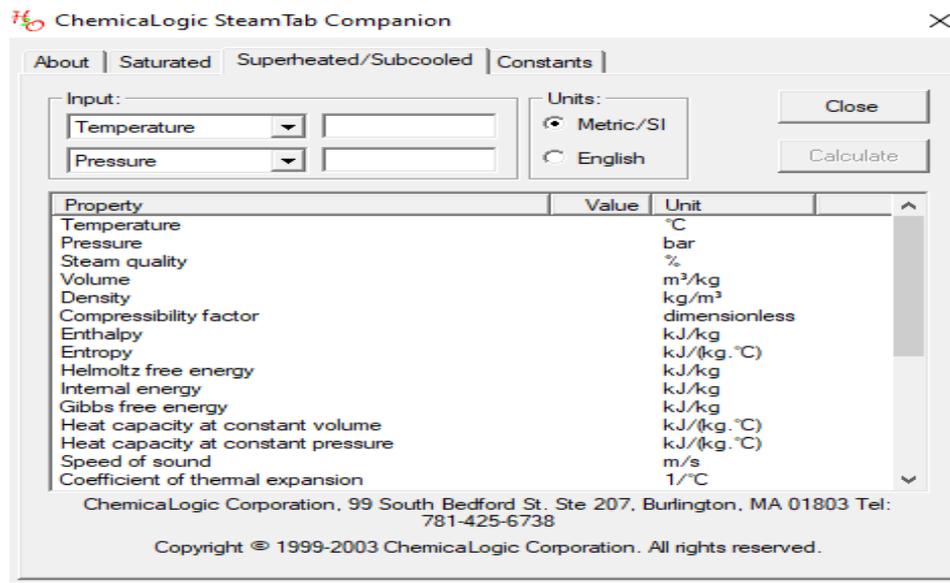
I = Arus (A)

Sedangkan klasifikasi beban berdasarkan sifat beban listriknya, terdapat 3 macam sifat-sifat beban listrik yaitu:

1. Beban resistif, beban yang akan menyerap daya listrik berupa daya listrik nyata (P) dalam satuan Watt. Contohnya lampu pijar, pemanas listrik, kompor listrik, dan lain sebagainya.
2. Beban induktif, beban yang membutuhkan daya reaktif untuk membangkitkan medan magnet. Contohnya transformator, motor listrik, lampu TL, dan lain sebagainya.
3. Beban kapasitif, beban yang mengeluarkan daya reaktif. Contohnya kapasitor, kondensor sinkron, dan lain sebagainya.

2.8. Program *Steam Tab*

Program *steam tab* adalah perangkat lunak *spreadsheet* tambahan yang menyediakan data akurat daftar lengkap sifat termodinamika dan fisik untuk air dan uap (*steam*). Program *steam tab* ini digunakan untuk pengolahan data pencarian nilai entalpi pada proses termodinamika. Berikut merupakan tampilan awal dari program *steam tab* yang merupakan produk dari *ChemicaLogic Corporation*.



Gambar 2.8 Tampilan *ChemicalLogic Steam Tab Corporation*.

Dalam program steamtab untuk mencari nilai entalpi pada siklus termodinamika, diperlukan data *temperature* (suhu) dalam °C dan *pressure* (tekanan) dalam bar. Tekanan uap (*steam*) 1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa.

2.9. Entalpi

Entalpi adalah energi dalam usaha yang dilakukan oleh sistem. Entalpi juga merupakan perubahan panas atau perubahan energi internal sistem selama reaksi kimia dibawah tekanan konstan. Entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = U + PV \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana, H = Entalpi (kJ/kg)

U = Energi Internal (J)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan yang dimulai dari sejak 16 Maret 2023 s/d 1 September 2023 yang meliputi studi pustaka, pengambilan data dan analisa data, sedangkan tempat penelitian dilakukan di unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU yang dikelola oleh PT Indonesia power (anak perusahaan PT PLN Persero) yang beralamat di Desa Tanjung Pasir, Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara

3.2. Metode Pengumpulan Data

Adapun metode penulis pengumpulan data yang penulis gunakan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Metode observasi/survey lapangan

Metode ini merupakan metode yang dilakukan penulis dengan cara mencari dan mengumpulkan data-data penelitian secara langsung ke objek penelitian, yaitu pada unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU.

2. Metode diskusi dan konsultasi

Pada metode ini, penulis melakukan diskusi dan konsultasi kepada pembimbing tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Besar Nilai Efisiensi Generator Sinkron Unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU, guna untuk mengarahkan penelitian tugas akhir ini. Selain itu penulis juga berdiskusi dan berkonsultasi dengan staf *engineering* pada PLTU Pangkalan Susu PGU dalam pengambilan data penelitian tugas akhir ini.

3. Metode studi literatur dan pustaka

Pada metode ini penulis mencari berbagai sumber informasi dan teori yang relevan terhadap penyelesaian tugas akhir ini. Seperti jurnal, buku, artikel, dan lain sebagainya. Sehingga sumber-sumber informasi yang relevan tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian permasalahan yang terdapat dalam penelitian tugas akhir ini.

3.3. Bahan dan Alat

Dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Besar Nilai Efisiensi Generator Sinkron Unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU”, membutuhkan alat dan bahan penelitian. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut, yaitu:

1. *Laptop Asus AMD A8*
2. Program *ChemicaLogic Steam Tab Corporation*
3. *Softwere Microsoft Office 2016*
4. *Softwere Microsoft Excel 2016*

3.3.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Data beban generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.
2. Data aliran massa uap pada turbin *high pressure* (HP), turbin *intermediet pressure* (IP), dan turbin *low pressure* (LP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.
3. Suhu uap *inlet* dan *exhaust* pada turbin *high pressure* (HP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.
4. Suhu uap *inlet* dan *exhaust* pada turbin *intermediet pressure* (IP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.
5. Suhu uap *inlet* dan *exhaust* pada turbin *low pressure* (LP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.
6. Tekanan uap *inlet* dan *exhaust* pada turbin *high pressure* (HP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.

7. Tekanan uap *inlet* dan *exhaust* pada turbin *intermediet pressure* (IP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.
8. Tekanan uap *inlet* dan *exhaust* pada turbin *low pressure* (LP) unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU selama 24 jam.

3.4. Data Penelitian

Adapun data penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan – permasalahan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

3.4.1. Data Spesifikasi Generator Sinkron

Generator sinkron yang digunakan sebagai objek penelitian ini ialah generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU, Sumatera Utara. Berikut merupakan data spesifikasi generator sinkron yang disajikan pada tabel berikut ini, yaitu:

Tabel 3.4.1. Data Spesifikasi Generator

NO	Poin	Keterangan
1	<i>Merk</i>	Dongfang Electric
2	Type	QFSN – 210 – 2
3	Capacity	247 MVA
4	Output	210 MW
5	Stator Voltage	15750 V
6	Stator Current	9056 A
7	Power Factor	0.85
8	Frequency	50 Hz
9	Speed	3000 r/min
10	Code	IEC 60031
11	Insulation Class	F

12	Hydrogen Pressure	0.2 Mpa
13	Max Hydrogen Pressure	0.3 Mpa
14	Winding Connection	2-Y
15	Cooling Water Flow Of Stator Winding	30 M ³ /h
16	Cooling Water Pressure Of Stator Winding	0.1 – 0.15 Mpa
17	Field Current	1817 A
18	Mfg. Date	2018. 01

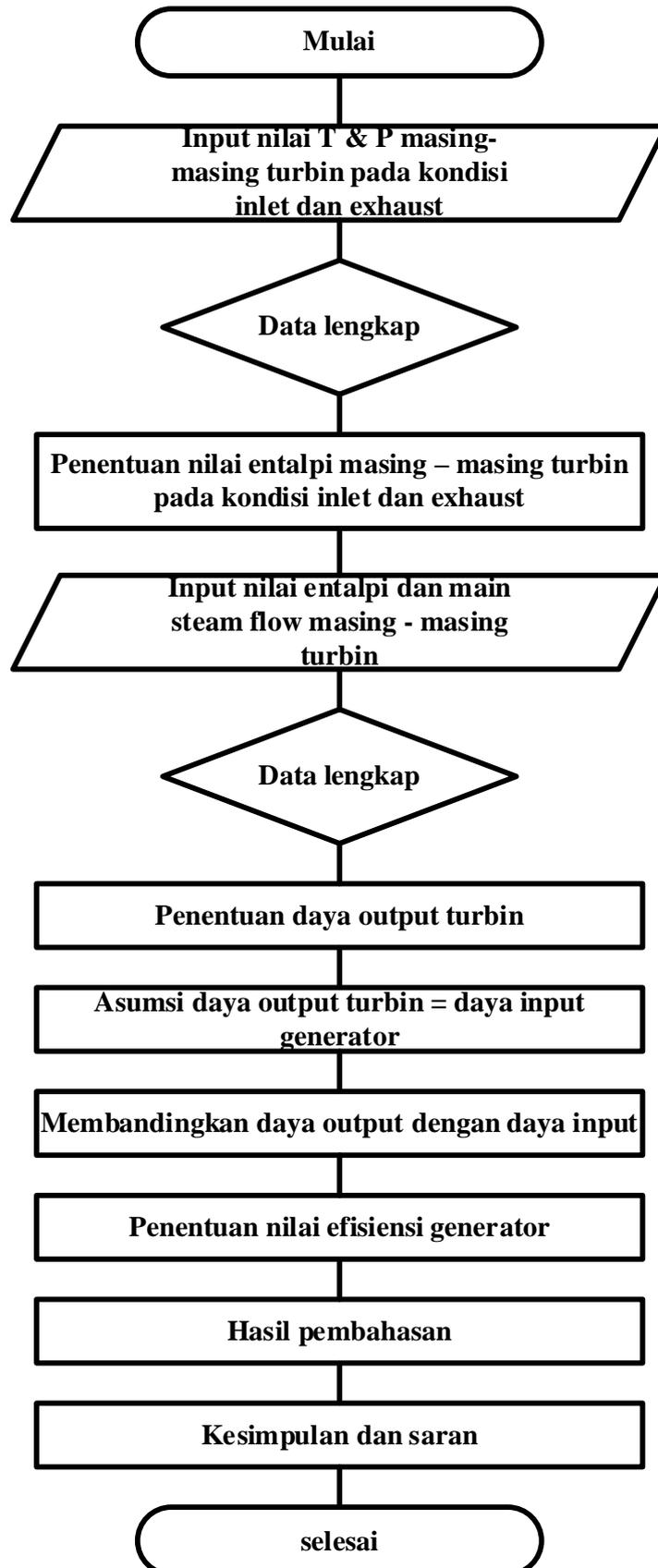
3.4.2 Data Spesifikasi Turbin Uap (*Steam Turbine*)

Daya masukan yang digunakan untuk memutar rotor generator bersumber dari putaran poros turbin uap yang kopel bersama-sama. Adapun spesifikasi turbin uap (*steam turbine*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, yaitu:

Tabel 3.4.2. Data Spesifikasi Turbine Uap Unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU

NO	Poin	Keterangan
1	Merk	Dongfang Turbine
2	Type	N-210-12.75/538/538
3	Rated Output	210 MW
4	Max Output	220 MW
5	Fresh Pressure	12.75 Mpa
6	Fresh Temperatur	538 Celcius
7	Exhaust Pressure	8.5 kPa
8	Rated Speed	3000 r/min

9	Delivery Number	No.2
10	Date	2017/7/10



Gambar 3.5. Diagram Alir perhitungan efisiensi generator.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dibahas pada bab sebelumnya, adapun kesimpulan yang dapat diambil untuk dapat menjawab permasalahan-permasalahan yang terdapat dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh perubahan beban terhadap besar nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU. Semakin besar beban yang ditanggung generator sinkron, maka semakin besar/tinggi pula besar nilai efisiensi generator sinkron tersebut.
2. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan metode penurunan entalpi, besar nilai efisiensi rata-rata generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU ialah sebesar 94,71%.
3. Terjadinya perbedaan nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU secara desain dan secara aktual. Perbedaan tersebut menunjukkan terjadinya penurunan besar nilai efisiensi sebesar 3,944% dari besar nilai efisiensi secara desain yakni 98,654%.

5.2. Saran

Setelah melakukan analisis pengaruh perubahan bebant terhadap besar nilai efisiensi generator sinkron unit 3 PLTU Pangkalan Susu PGU menggunakan metode penurunan entalpi, adapun saran-saran yang dapat penulis bagikan kepada peneliti selanjutnya yang akan mengembangkan tugas akhir ini dan kepada pihak

PLTU Pangkalan Susu PGU adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Diharapkan kepada peneliti yang ingin mengembangkan penelitian tugas akhir ini untuk dapat mengambil variasi sampel data lebih banyak lagi, agar hasil analisis yang dilakukan semakin baik.
2. Diharapkan kepada peneliti yang ingin mengembangkan tugas akhir ini untuk dapat melakukan analisis efisiensi generator sinkron menggunakan metode lainnya.

3. Diharapkan kepada pihak PLTU Pangkalan Susu untuk tetap mempertahankan nilai efisiensi generator sinkron setiap unitnya. Mengingat nilai efisiensi merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam peralatan konversi energi seperti generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Yetri, “Estimasi SFC (Spesific Fuel Consumption) pada penggunaan Batubara di PT. Indonesia Power Pangkalan Susu Menggunakan Metode Regresi Linear Berganda,” *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, vol. 16, no. 2, p. 1, 2017, doi: 10.53513/jis.v16i2.731.
- [2] G. M. R. Hulu and Rahmawaty, “Analisis Perpindahan Panas Dan Efektivitas Economizer Pada Boiler Unit 4 Pltu Pangkalan Susu,” *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 10–15, 2021, doi: 10.51510/sinergipolmed.v2i1.293.
- [3] P. Dan, P. Pada, T. Uap, and D. I. Pltu, “Ilham Akbar Islami 1),” vol. 15, no. 2, 2023.
- [4] “Lb4= Muhammad Syukrillah, Kho Hie Khwee, Ayong Hiendro. ‘Analisis Perhitungan Efisiensi Energi Disistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa (PLTBM) Pt.Harjohn Timber Kubu Raya’. J.Tek. Elektro Untan, Vol. 5, No.1,Pp.pdf.”
- [5] H. Abbas, J. Jamaluddin, M. Arif, and A. Amiruddin, “Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap Di Pltu,” *ILTEK : Jurnal Teknologi*, vol. 15, no. 2, pp. 103–106, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i2.528.
- [6] D. Cahyadi and Hermawan, “ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG,” *Laporan Kerja Praktek Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro*, vol. 2015, no. October, pp. 1–8, 2015.
- [7] “Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Genertor Sinkron”.
- [8] I. Refaldi, Y. Basir, D. Utari, and Y. Wardhani, “PALEMBANG JAYA,” vol. 6, no. 2, 2021, doi: 10.31851/ampere.

- [9] R. Jannah Al-Ihsany *et al.*, “Prosiding KONFERENSI ILMIAH MAHASISWA UNISSULA (KIMU) 4 Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 28 Oktober 2020 Analisa Efisiensi Turbin Generator pada STG PLTGU Blok 1 di PT. Indonesia Power UP Semarang”.
- [10] Y. D. Herlambang, S. Supriyo, and T. A. Wibowo, “Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator (Hrsg) Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (Pltgu),” *Eksergi*, vol. 16, no. 3, p. 148, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v16i3.2218.
- [11] M. Ricesno and R. Nandika, “Perhitungan Dan Pengujian Beban Pada Generator Di Kapal Tugboat Hangtuh V,” *Sigma Teknika*, vol. 3, no. 1, pp. 10–21, 2020, doi: 10.33373/sigma.v3i1.2443.
- [12] H. Junial and W. Djoko, “Analisa Kerja Boiler Feed Pump PLTU Cirebon 1X660 Mw,” *Ist Mechanical Engineering Conference*, vol. 2, pp. 25–34, 2019.
- [13] R. Apriandi and A. Mursadin, “Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun,” *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, 2016, doi: 10.20527/sjmekinematika.v1i1.26.
- [14] Suwarti, Budhi Prasetyo, and Ahmad Nugroho Sah Utomo, “Analisa Perbandingan Penambahan Kalordan Laju Aliran Massa Pada Condensate Water Systempltu Unit 1 Dan 2,” *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, vol. 13, no. 3, pp. 78–83, 2017.
- [15] P. S.-T. Karang and P. D. H. Nainggolan, “1,2,3,4),” vol. 4, no. 1, pp. 199–205, 2023.
- [16] J. I. Rotary *et al.*, “Penentuan Nilai Efektivitas Condenser Di Pltu Paiton,” *PENENTUAN NILAI EFEKTIVITAS CONDENSER DI PLTU PAITON UNIT 5 PT. YTL JAWA TIMUR Asrorin*, vol. 1, no. 1, p. 2, 2016.
- [17] J. Permana and I. Kurniawan, “Analisis Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan Dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 Dan Unit 2 Di Pt.

- Indonesia Power Uboh Ujp Banten 3 Lontar,” *Motor Bakar : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017, doi: 10.31000/mbjtm.v1i2.731.
- [18] A. Perbaikan *et al.*, “76-copyright @ DTE FT USU,” pp. 76–81.
- [19] P. Dosen *et al.*, “Karakteristik Generator Sinkron Yang,” vol. 2, pp. 115–120, 2017.
- [20] A. Nurdin, A. Azis, and R. A. Rozal, “Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron,” *Jurnal Ampere*, vol. 3, no. 1, p. 163, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i1.2144.
- [21] M. Noer, “Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di Pltg Borang Dengan Menggunakan Software Matlab,” *Jurnal Ampere*, vol. 2, no. 2, p. 103, 2017, doi: 10.31851/ampere.v2i2.1774.
- [22] “View of ANALISA EFISIENSI TURBIN GENERATOR BERDASARKAN KUALITAS DAYA PADA PLTU PABRIK GULA MADUKISMO.pdf.”
- [23] P. Harahap and K. U. Putra, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu),” no. 1, 2019.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jalan Kapten Mochtar Basri No.3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : JODHY ARIYADI
 Npm : 1907220067
 Judul Tugas Akhir : "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP
 BESAR NILAI EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 3
 PLTU PANGKALAN SUSU PGU "

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	9/3/2023	Perbaiki judul	<i>[Signature]</i>
2.	15/3/2023	BAB 1 kata beluker	<i>[Signature]</i>
3.		Mohon diperbaiki	<i>[Signature]</i>
4.	20/4-2023	Lengkap Bab 2 Tinjauan pustaka Ukuran gambar sesuai	<i>[Signature]</i>
5.	25/4-2023	Buat flow chart	<i>[Signature]</i>
6.	1/5-2023	Lengkap bab 3 juga gambar jadwal kuliah	<i>[Signature]</i>
7.	28/5/2023	Ace seminar proposal	<i>[Signature]</i>

Dosen Pembimbing

[Signature]

Partaman Harahap, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : JODHY ARIYADI
 Npm : 1907220067
 Judul Tugas Akhir : "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP
 BESAR NILAI EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 3
 PLTU PANGKALAN SUSU PGU "

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	15/7/2023	Lampiran Riset ditupuk PLTU Pangkalan susu	<i>[Signature]</i>
2.	8/8/2023	Ambari dibe puyulwa perbuis	<i>[Signature]</i>
3.	16/8/2023	Bandoloy perbuis Kasat puyulwa	<i>[Signature]</i>
4.	20/	Ambari dibe 2 disposisi	<i>[Signature]</i>
5.	8-2023	Buat Bab 4 layout	<i>[Signature]</i>
6.	1/9-2023	Kapron dibe dibe puyulwa dan dibe	<i>[Signature]</i>
7.	9/9-2023	Dec enteh seru	<i>[Signature]</i>

Dosen Pembimbing

[Signature]
 Partaopon Harahap, S.T., M.T.



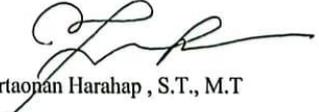
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
 Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : JODHY ARIYADI
 Npm : 1907220067
 Judul Tugas Akhir : "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP
 BESAR NILAI EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 3
 PLTU PANGKALAN SUSU PGU"

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	14/9/2023	Perbaiki apa itu	P.
2.		Perbaiki	P.
3.	17/9/2023.	Abstrak dan lagi per catagori. GPR ini	P.
4.		perbaiki quoter.	P.
5.	18/9/2023.	Ace layout vidy.	P.
6.			
7.			

Dosen Pembimbing


 Partaonan Harahap, S.T., M.T