



**ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI GENERATOR
SINKRON UNIT 1 DAN 2 DI PLTA SIPANSIHAPORAS**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH

**NAMA : RIZA AZHARNY
NPM : 1924210060
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2021**

ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 1 DAN 2 DI PLTA SIPANSIHAPORAS

Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : RIZA AZHARNY
NPM : 1924210060
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T.,M.T

Dicky Lesmana, S.T.,M.T

Diketahui oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi



Hamdani, S.T.,M.T



Siti Anisah, S.T.,M.T

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Medan, April 2021

RZA AZHARNY
RZA AZHARNY

NPM : 1924210060

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riza Azharny
NPM : 1924210060
ProgramStudi : Teknik Elektro
Fakultas : Sains dan Teknologi
JenisKarya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, meyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non exclusive Royalty-free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 dan 2 di PLTA Sipansihaporas”** Beserta prangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Medan April 2021

RIZA AZHARNY

NPM : 1924210060



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : RIZA AZHARNY
 Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 23 September 1996
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1924210060
 Program Studi : Teknik Elektro
 Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
 Jumlah Kredit yang telah dicapai : 141 SKS, IPK 3.50
 Nomor Hp : 082260689504
 Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut :

Judul

Analisa perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di pita sipansihaporas

Isian : Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Isian Yang Tidak Perlu



Medan, 13 Februari 2021

Pemohon,

(Riza Azharny)

Tanggal :

Disetujui oleh
Dekan



(Hamdani, S.T., M.T.)

Tanggal :

Disetujui oleh
Ka. Prodi Teknik Elektro

(Siti Anisah, S.T., M.T.)

Tanggal :

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing I :

(Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T.)

Tanggal :

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing II :

(Dicky Lesmana, S.T., M.T.)



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : RIZA AZHARNY
NPM : 1924210060
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Pembimbing : Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T
Judul Skripsi : Analisa perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di plta sipansihaporas

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
01 Mei 2020	revisi sudah sesuai dengan hasil diskusi, lanjut ke sempro	Revisi	
03 Agustus 2020	perhatikan latarbelakang masalah yang berkaitan dengan kata ketinggian elevasi air dengan rumusan masalah yang akan menjadi topik pembahasan per jelas dilatar belakang dan rumusan masalah yang dibahas dengan melihat judul	Revisi	
03 Agustus 2020	lanjutkan ke bab 2	Revisi	
04 Agustus 2020	untuk bab ini materi pembahasan ditambah dari jurnal minimal terbitan 3 tahun terakhir yang berkaitan dengan judul penelitian sebagai perbandingan tambahkan gambaran sepintas tentang tempat penelitian	Revisi	
08 Agustus 2020	lanjutkan ke bab 3	Revisi	
12 Agustus 2020	lengkapi dengan data harian yang digunakan dalam penelitian ini lanjutkan ke bab	Revisi	
03 Agustus 2020	lanjutkan ke bab 4	Revisi	
01 September 2020	lengkapi dan lampirkan data yang berkaitan dengan efisiensi menurut PLN atau sumber yang relevan sehingga hasil analisa yang dilakukan dapat dipertanggungjawabkan	Revisi	
03 Oktober 2020	lanjutkan ke bab 5	Revisi	
03 Oktober 2020	ACC Semhas	Disetujui	
14 Desember 2020	acc sidang meja hijau	Disetujui	
19 April 2021	acc jilid	Disetujui	

Medan, 04 Mei 2021
Dosen Pembimbing,



Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : RIZA AZHARNY
NPM : 1924210060
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Dicky Lesmana, ST., MT
Judul Skripsi : Analisa perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di plta sipansihaporas

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
04 Juni 2020	Lanjut ke Seminar proposal	Revisi	
04 Agustus 2020	- Tolong diperbaiki untuk penulisan pada covernya yang sesuai dengan buku panduan penulisan Tugas Akhir, - jika sudah selesai Seminar Proposal, tidak ada lagi kata kata di cover Proposal Penelitian. terima kasih	Revisi	
04 Agustus 2020	untuk isi batasan masalahnya tolong di koreksi kembali	Revisi	
04 Agustus 2020	Acc BAB I Lanjut Ke BAB II	Disetujui	
03 Agustus 2020	Untuk penulisan sub bab dan anak sub bab tolong di perbaiki sesuai dengan buku pedoman penulisan. terima kasih	Revisi	
03 Agustus 2020	Acc Bab II Lanjutkan ke Bab III	Disetujui	
05 Agustus 2020	Acc Bab III, lanjutkan ke Bab IV	Disetujui	
02 September 2020	untuk penulisan dan tata letak sub bab tolong di koreksi kembali untuk sumber data beban PLTA tolong di koreksi. Terima kasih	Revisi	
03 Oktober 2020	Bab 4 acc lanjutkan ke bab 5	Disetujui	
03 Oktober 2020	Acc Semhas	Disetujui	
15 Desember 2020	ACC Sidang Meja Hijau	Disetujui	
07 Januari 2021	Catatan tambahan tolong di lengkapi lembar pengesahan, abstrak , kata pengantar, daftar isi , daftar gambar dan daftar tabel.	Revisi	
28 April 2021	Acc jilid	Disetujui	

Medan, 04 Mei 2021
Dosen Pembimbing,



Dicky Lesmana, ST., MT

SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan ini saya Ka LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

NB: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.

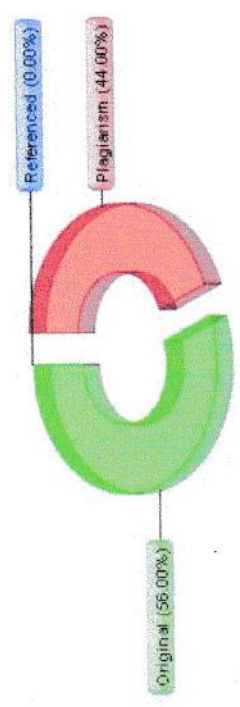


No. Dokumen : PM-UJMA-06-02	Revisi : 00	Tgl Eff : 23 Jan 2019
-----------------------------	-------------	-----------------------

Plagiarism Detector v. 1460 - Originality Report 15-Feb-21 14:16:34

Analyzed document: RIZA AZHARNY_1924210060_TEKNIK ELEKTRO.docx Licensed to: Universitas Pembangunan Panca Budi_License03
Comparison Preset: Rewrite. Detected language: Indonesian

Relation chart



Distribution graph



Top sources of plagiarism

Source	Words	Percentage
https://123dok.com/document/ry4e0zn-analisis-persentian-legangan-terminal-regua	4072	% 15
http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/48650/Chapter%2011.pdf?se	4578	% 16
http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/55233/Chapter%2011.pdf?se	1547	% 14

Processed resources details

136 - Ok / 27 - Failed
[Show other Sources]



SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 3444/PERP/BP/2020

Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan saudara/i:

: RIZA AZHARNY

: 1924210060

Semester : Akhir

: SAINS & TEKNOLOGI

Prodi : Teknik Elektro

nya terhitung sejak tanggal 22 Desember 2020, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 22 Desember 2020

Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I

KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 34/BL/LTPE/2020

anda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

Semester : RIZA AZHARNY
 : 1924210060
 : Akhir
Prodi : SAINS & TEKNOLOGI
 : Teknik Elektro

telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 22 Desember 2020
Ka. Laboratorium

[Approve By System]
 D T O
Hamdani, S.T., M.T.



men : FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 15 Februari 2021
Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
UNPAB Medan
Di -
Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : RIZA AZHARNY
Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 23 September 1996
Nama Orang Tua : SUDARSONO
N.P.M : 1924210060
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Program Studi : Teknik Elektro
No. HP : 082260689504
Alamat : JL. GURILLA GG SEDERHANA No.23

Sehingga bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **Analisa perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di plta sipasihaporas**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indek prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercap keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 examplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 examplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya uang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan rincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	0
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,500,000
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp.	100,000
4. [221] Bebas LAB	: Rp.	5,000
Total Biaya	: Rp.	1,605,000

Ukuran Toga :

M

Diketahui/Disetujui oleh :

Hormat saya



Rizadani, ST., MT.
Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI

RIZA AZHARNY
1924210060

Ditutupi :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.ybs.

ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI GENERATOR SINKRON UNIT 1 DAN 2 DI PLTA SIPANSIHAPORAS

Riza Azharny*
Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T.,M.T**
Dicky Lesmana, S.T.,M.T**
Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Permintaan sumber energi listrik semakin meningkat, namun tidak sebanding dengan jumlah sumber energi yang semakin menurun, oleh sebab itu diperlukan efisiensi sehingga energi listrik yang dihasilkan dari suatu pembangkit dapat maksimal, salah satu pembangkit energi listrik di Indonesia adalah PLTA Sipansihaporas. PLTA Sipansihaporas memiliki dua unit generator, unit 1 dengan daya keluaran 33 MW dan unit 2 dengan daya keluaran 17 MW. PLTA Sipansihaporas memanfaatkan air yang dibendung dari tiga buah anak sungai, air itu kemudian mengalir ke turbin untuk menggerakkan sudu-sudu turbin. Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga, daya keluaran dari turbin merupakan daya masukan pada generator. Untuk mengetahui kinerja generator sinkron pada PLTA, perlu diketahui efisiensi dari generator tersebut. Dari hasil analisa yang dilakukan diperoleh efisiensi generator sinkron berdasarkan data spesifikasi pada unit 1 sebesar 97,50% dan pada unit 2 sebesar 96,61%, dan berdasarkan data logsheet diperoleh rata-rata efisiensi generator sinkron pada unit 1 sebesar 93,88% dan unit 2 sebesar 82,49%.

Kata Kunci : Efisiensi, PLTA, Generator sinkron, Turbin.

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : rizaazharny09@gmail.com

**Dosen Program Studi Teknik Elektro

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF SYNCHRONOUS
GENERATOR UNIT 1 AND 2 AT THE SIPANSIHAPORAS
HYDROPOWER PLANT**

Riza Azharny*
Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T.,M.T**
Dicky Lesmana, S.T.,M.T**
University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

The demand for electrical energy sources is increasing, but it is not proportional to the decreasing number of energy sources, therefore efficiency is needed so that the electrical energy generated from plant can be maximized, one of the power plants in Indonesia is the Hydropower plant Sipansihaporas. Hydropower plant Sipansihaporas has two generator units, unit 1 with output power 33 MW and unit 2 with output power 17 MW. Hydropower plant Sipansihaporas uses dammed water from three tributaries, the water then flows into the turbine to move the turbine blades. The turbine shaft is coupled to the generator shaft so that the output power of the turbine is the input power of the generator. To determine the performance of a synchronous generator in hydropower, it is necessary to know the efficiency of the generator. From the results of the analysis, the efficiency of a synchronous generator based on specification data at unit 1 is 97,50% and at unit 2 is 96,61%, and according to logsheet data, the average efficiency of a synchronous generator at unit 1 is 93,88% and at unit 2 is 82,49%.

Keywords : *Efficiency, Hydroelectric power, Synchronous generators, Turbine.*

* Student of Electrical Engineering study program : rizaazharny09@gmail.com

** Lecturer in Electrical Engineering Study Program

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan judul **Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Sinkron Unit 1 dan 2 di PLTA Sipansihaporas**” tepat pada waktunya.

Selesainya laporan ini tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ungkapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr.H.M.Isa Indrawan, SE.,MM selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Pak Hamdani, S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah, S.T.,M.T selaku Ketua Prodi Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
5. Bapak Dicky Lesmana, S.T.,M. T selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta staff pegawai Fakultas Sains dan Teknologi khususnya Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
7. Orang tua tercinta, Ayahanda Sudarsono dan Ibunda Masamah yang telah memberikan segalanya hingga Skripsi ini dapat diselesaikan.
8. Teman – teman kelas Reg II LA J/S.
9. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan pada laporan Skripsi ini, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, khususnya pembaca.

Medan, April 2021

Riza Azharny
NIP : 1924210060

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALISASI	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan penulisan.....	2
1.5 Manfaat penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air Sipansihaporas	4
2.2 Pengertian dan Konstruksi Generator Sinkron	7
2.3 Prinsip Kerja Penggerak Mula dan Generator Sinkron 3 Phasa	13
2.4 Karakteristik Generator Sinkron	18
2.5 Regulasi Tegangan	23
2.6 Rugi-Rugi Generator Sinkron	23
2.7 Sistem Eksitasi Generator Sinkron	25

2.8	Paralel Generator Sinkron	27
2.9	Sinkronisasi Generator	28
2.10	Daya dan Faktor Daya	31
2.11	Efisiensi Generator	33
2.12	Pemeliharaan Generator	34

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu penelitian	37
3.2	Data Spesifikasi Peralatan	37
3.3	Data Harian (<i>logsheet</i>) PLTA Spansihaporas	40
3.4	Diagram Alir (flow Chart) Penelitian	52

BAB IV ANALISA DATA

4.1	Analisa Data Berdasarkan Data Spesifikasi	53
4.2	Analisa Data Berdasarkan Data Harian (<i>Daily Logsheet</i>).....	55

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap aktivitas baik itu rumah tangga, pendidikan, produksi di industri dan bidang lainnya tidak terlepas dari penggunaan energi listrik. Kenaikan harga energi yang terus terjadi akan berdampak langsung pada biaya produksi, terlebih di banyak industri biaya energi rutin mengambil porsi yang terbilang besar dibandingkan biaya-biaya lainnya. Selain itu adanya biaya tambahan pada beban puncak jika melebihi maksimum daya yang dibutuhkan, memerlukan perhatian khusus dan manajemen penggunaan energi agar penggunaannya efisien, perhitungan yang tepat serta pengaruh dari faktor-faktor yang tidak terduga merupakan salah satu faktor penting juga dalam menjaga agar nilai efisiensi tetap baik dalam produksi tenaga listrik.

Dalam usaha untuk meningkatkan efektifitas kerja PLTA perlu adanya perencanaan yang tepat pada operasionalnya, salah satu peralatan utama PLTA yaitu generator, dengan mengetahui nilai efisiensi generator, maka diketahui kemampuan generator dalam menerima beban yang berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan, serta dapat juga terlihat langsung apakah sebuah pembangkit dapat dikatakan layak atau tidak untuk beroperasi. Semakin tinggi nilai efisiensi dari sebuah generator maka unjuk kerjanya di lapangan juga semakin baik. Dalam metode perhitungan nantinya nilai dari efisiensi generator tersebut akan dihitung dengan membandingkan daya keluaran dan daya masukan generator.

Salah satu PLTA yang ada di Indonesia adalah PLTA Sipansihaporas, berlokasi didesa HUSOR, Sibuluan dan Sihaporas Kecamatan Sibolga, Kabupaten Tapanuli Tengah Propinsi Sumatera Utara. Dibangun untuk menunjang kebutuhan akan tenaga listrik didaerah Propinsi Sumatera Utara dan Aceh. Mempunyai kapasitas ± 50 MW (33 MW + 17 MW) dan diharapkan mampu memproduksi energi sebesar 203,6 GWh per tahun. Produk Listrik yang dihasilkan masuk kedalam sistim jaringan 150 kV

double sirkit sepanjang 8,9 km ke Gardu Induk Sibolga.

Karna uraian diatas, maka penelitian ini akan menganalisa tentang efisiensi generator yang membandingkan antara unit 1 dan unit 2 dengan menggunakan data spesifikasi dan juga data harian di PLTA Sipansihaporas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari pembahasan penelitian ini adalah :

- 1.2.1 Melakukan analisa perhitungan daya
- 1.2.2 Melakukan analisa efisiensi generator berdasarkan data spesifikasi dan data harian
- 1.2.3 Melakukan analisa perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di PLTA sipansihaporas

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari pembahasan penelitian ini adalah :

- 1.3.1 Melakukan analisa perhitungan daya, perhitungan efisiensi serta melakukan analisa perbandingan efisiensi antara unit 1 dan 2 di PLTA Sipansihaporas
- 1.3.2 Tidak membahas rugi-rugi generator

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1.4.1 Untuk mengetahui daya generator
- 1.4.2 Untuk mengetahui efisiensi generator berdasarkan data spesifikasi dan data harian
- 1.4.3 Untuk mengetahui bagaimana perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di PLTA sipansihaporas.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1.5.1 Bagi Penulis

Penerapan ilmu yang telah didapat selama perkuliahan dan menambah wawasan dan pengetahuan tentang generator sinkron.

1.5.2 Bagi Institusi Pendidikan

Diharapkan dapat memperluas pengetahuan dan dapat dijadikan salah satu referensi untuk penelitian berikutnya.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Diharapkan dapat dijadikan sebagai buku tambahan referensi untuk menambah wawasan tentang generator.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, dimana sistematika dari masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB II: DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang generator sinkron yang bersifat teoritis sebagai teori yang mendukung penulisan ini.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, data spesifikasi peralatan, data harian, serta diagram alir penelitian.

BAB IV: ANALISA DATA

Bab ini menjelaskan tentang analisa daya input generator, efisiensi generator, serta melakukan perbandingan efisiensi generator sinkron unit 1 dan 2 di PLTA Sipansihaporas.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

BAB 2

GENERATOR SINKRON

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air Sipansihaporas

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu sistem pembangkit energi listrik dengan cara memanfaatkan aliran dari air yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui putaran turbin dan generator. Sistem yang sangat mudah, dan yang penting adalah ramah terhadap lingkungan.

Adapun Pusat listrik yang ada di Sipansihaporas, terdiri dari dua power station dan satu Dam site. Terletak tidak pada satu elevasi, tapi bertingkat yaitu :

- PS 2 terletak di downstream, pada elevasi 36,8 meter dari atas laut. Operation Komersial pada September tahun 2002 dengan daya terpasang 17 MW, merupakan Pembangkit listrik tenaga air tipe Run of River, yaitu memanfaatkan air keluaran (TailRase) dari PS1
- PS 1 terletak di upstream, pada elevasi 107 meter dari atas laut. Operation komersial pada September tahun 2004 dengan daya terpasang 33 MW, merupakan Pembangkit listrik tenaga air tipe kolam (pondage) dengan konstruksi Regulating Dam dari pertemuan tiga aliran sungai yaitu , Aek Paramaan, Aek Natolbak, Aek Bargot.
- Dam Site terletak pada elevasi 239 mtr dari atas laut, yang berfungsi sebagai regulator untuk pasokan air ke PLTA PS1. Luas genangan untuk regulating dam sekitar 18,4 ha dengan kapasitas tampung air sebesar 2,288 juta m³.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan cara mengubah energi potensial (dari dam atau atair terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). PLTA adalah pemnbangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik (hidroelekrik).

Pembangkit tenaga listrik menggunakan generator sinkron, sehingga didapatkan tenaga listrik arus bola-balik (AC) tiga phasa, tenaga mekanik yang dipakai memutar generator listrik didapat dari mesin penggerak generator listrik atau biasanya disebut penggerak pemula (*primeover*). PLTA Sipansihaporas pada unit 1 mempunyai daya terpasang sebesar 39 MVA dengan daya mampu pasok sebesar 34 MW, dan pada unit 2 mempunyai daya terpasang sebesar 20 MVA dengan daya mampu pasok sebesar 17,6 MW. Daya terpasang adalah jumlah daya yang bisa dihasilkan oleh suatu generator sesuai dengan *name plate*. Sedangkan daya mampu pasok adalah jumlah daya yang mampu dihasilkan oleh generator yang kemudian disalurkan ke Gardu Induk (GI).



Gambar 2.1 Pandangan Perspektif PLTA Sipansihaporas
Sumber: PLTA Sipansihaporas

2.1.1 Proses Pengoperasian PLTA Sipansihaporas

Adapun pola pengoperasian PLTA Sipansihaporas adalah sebagai berikut:

- a. Aliran sungai dengan jumlah debit air sedemikian besar ditampung dalam dam (bendungan) yang berasal dari tiga anak sungai yaitu Aek Natolbak, Paramaan dan Aek Bargot. Air tersebut dialirkan melalui saringan power intake kemudian dialirkan ke *head race tunnel* untuk dialirkan ke dalam *penstock* (pipa pesat). Diantara *head race tunnel*

dan *penstock* terdapat *surge tank/head tank* untuk meredam tekanan tiba-tiba saat *guide vane* tertutup. Kemudian air mengalir ke *penstock*, untuk mengubah energi potensial menjadi energi kinetik pada ujung pipa dipasang katup utama

- b. Untuk mengalirkan air ke turbin, katup utama akan ditutup secara otomatis apabila terjadi gangguan atau dilakukan perbaikan /pemeliharaan turbin. Air yang telah mempunyai tekanan dan kecepatan tinggi (energi kinetik) dirubah menjadi energi mekanik dengan dialirkan melalui sudu tetap dan akan mendorong sudu jalan/*runner* yang terpasang pada turbin.
- c. Pada turbin, gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar dan selanjutnya merubah energi kinetik yang disebabkan gaya jatuh air menjadi energi mekanik.
- d. Shaft turbin dikopling dengan shaft generator sehingga ketika turbin berputar maka generator ikut berputar. Generator selanjutnya merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik.
- e. Listrik pada generator terjadi sesuai hukum faraday yang menyatakan bahwa suatu kumparan tembaga yang diberi inti besi digerakkan (diputar) didalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung- ujung kumparan tembaga tersebut akan timbul ggl (gaya gerak listrik).
- f. Air keluar melalui tail race dan selanjutnya kembali ke sungai.
- g. Tenaga listrik yang dihasilkan generator masih rendah, maka dari itu tegangan tersebut terlebih dahulu dinaikkan dengan trafo utama.
- h. Untuk efisiensi penyaluran energi dari pembangkit ke pusat beban, tegangan tinggi tersebut kemudian diatur/dibagi di *switch yard*. Dan selanjutnya disalurkan/interkoneksi ke sistem tenaga listrik melalui kawat saluran tegangan tinggi, dan kemudian listrik dapat disalurkan.

2.2 Pengertian dan Konstruksi Generator Sinkron

Generator merupakan salah satu peralatan utama dalam suatu pembangkit tenaga listrik, baik pada pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga gas, dan pembangkit listrik tenaga uap (Weed, 1988).

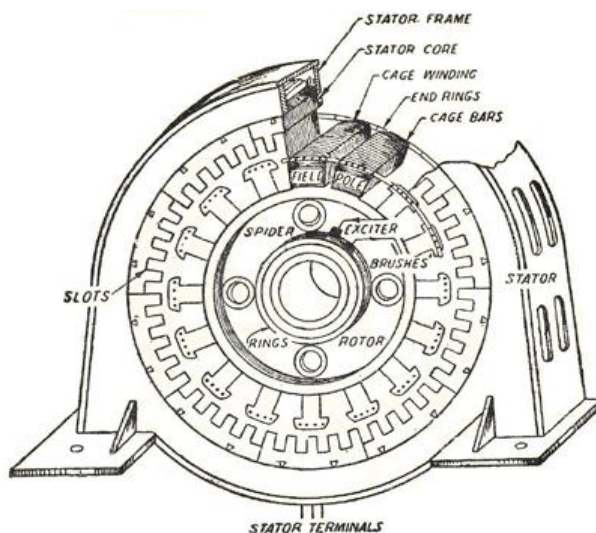
Generator sinkron adalah mesin pembangkit listrik yang mengubah energi input berupa energi mekanik menjadi energi output berupa energi listrik. Generator sinkron disebut juga alternator atau generator bolak-balik (AC) karena tegangan output dari generator sinkron adalah tegangan bolak-balik.

Menurut Anderson P.M (1982), generator sinkron dapat menghasilkan sumber energi, yaitu : tegangan bolak-balik, oleh karena itu generator sinkron disebut juga generator AC. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator.

Definisi generator sinkron, mempunyai makna bahwa rotor generator sinkron yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Mesin sinkron tidak dapat start sendiri karena kutub-kutub yang berat dan tidak dapat dengan tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu saklar terhubung dengan jala-jala, oleh sebab itu diperlukan suatu alat bantu start (*prime mover*).

Kumparan jangkar disebut juga dengan kumparan stator karena berada pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor dengan kutub magnet diputar bersama-sama oleh tenaga mekanik.

Secara umum konstruksi generator sinkron terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris yang berkaitan. Selain itu generator sinkron memiliki celah udara ruang antara stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat berputarnya rotor dan tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke stator.

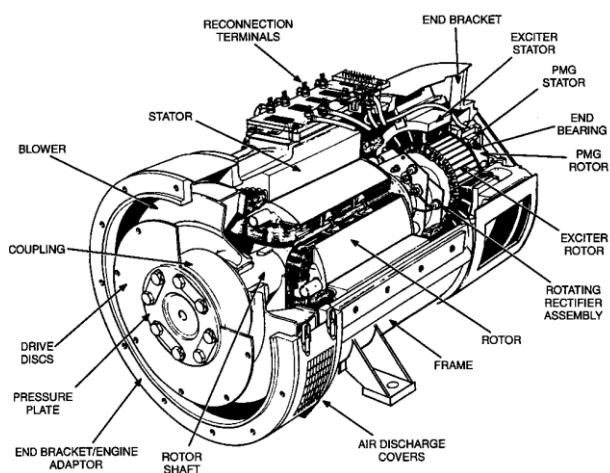


Gambar 2.2 Konstruksi Generator Sinkron

Sumber: Armansyah dan Sudaryanto, 2016

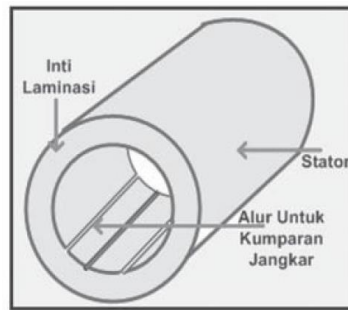
2.2.1 Stator

Stator adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang akan menuju ke beban disalurkan melalui stator. Stator berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Stator terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk dan di laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar.



Gambar 2.3 Kerangka dan Inti Stator

Sumber: Juhari, 2013

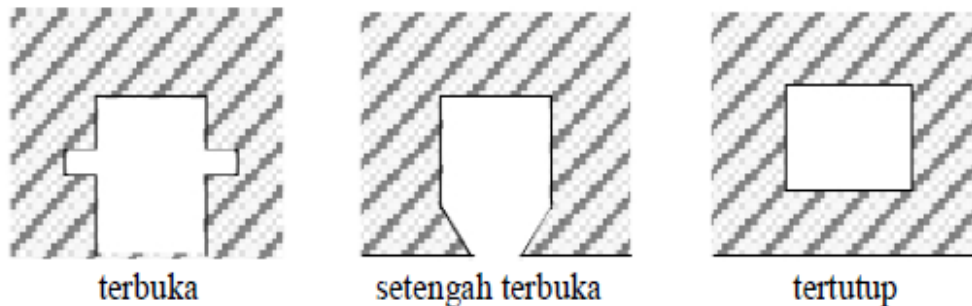


Gambar 2.4 Inti Stator dan Alur Pada Stator

Sumber: Wahyu sunarlik, 2014

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- Kerangka Stator, terbuat dari besi tuang yang berfungsi untuk menyangga inti jangkar.
- Inti stator, terbuat dari besi lunak (baja silikon).
- Alur (slot) berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan belitan (kumputan) stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator, yaitu : terbuka, setengah terbuka, dan tertutup seperti pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Bentuk-bentuk alur

Sumber: Perawati, 2017

- Kumputan Stator (Kumputan jangkar)

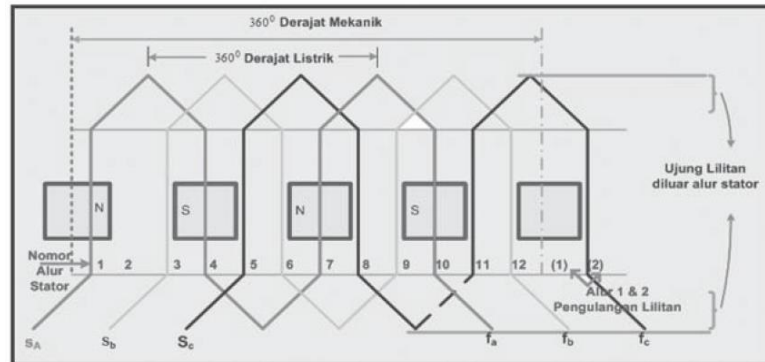
Kumputan stator (jangkar) biasanya terbuat dari tembaga. Kumputan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi. Belitan stator (jangkar) yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa ada dua tipe, yaitu:

- 1) Belitan Satu Lapis (*Single Layer Winding*)

Pada belitan satu lapis, antar kumputan fasa dipisahkan sebesar 120

derajat listrik atau 60 derajat mekanik, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputa 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh menunjukkan 360 derajat listrik, adapun hubungan antara sudut rotor mekanis α_{mek} dan sudut listrik α_{lis} , adalah:

$$\alpha_{lis} = \frac{P}{2} \alpha_{mek} \quad (2.1)$$

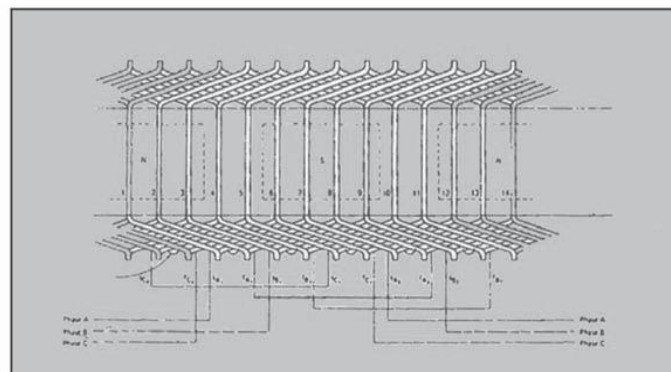


Gambar 2.6 Belitan Satu Lapis Generator Sinkron Tiga Fasa

Sumber: Wahyu sunarlik, 2014

2) Belitan Berlapis Ganda (*Double Layer Winding*)

Bentuk belitan berlapis ganda yang secara umum banyak digunakan seperti pada gambar gambar 2.7 Pada tiap masing-masing alur terdapat dua sisi liitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke dalam alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.



Gambar 2.7 Belitan Berlapis Ganda Generator Sinkron Tiga Fasa

Sumber: Wahyu sunarlik, 2014

2.2.2 Rotor

Rotor merupakan bagian berputar yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang menghasilkan tegangan dan akan di induksikan ke stator. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat.

Rotor terdiri dari empat komponen utama, yaitu:

a. Slip Ring atau Cincin Geser

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu, terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada slip ring. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah slip ring ada dua buah, yang masing-masing slip ring dapat menggeser sikat arang, yang merupakan sikat positif dan negatif, yang berguna untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor.

b. Sikat

Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu, berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke-kumparan medan pada rotor generator sikron.

c. Kumparan rotor (kumparan medan)

Kumparan rotor merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

d. Poros Rotor

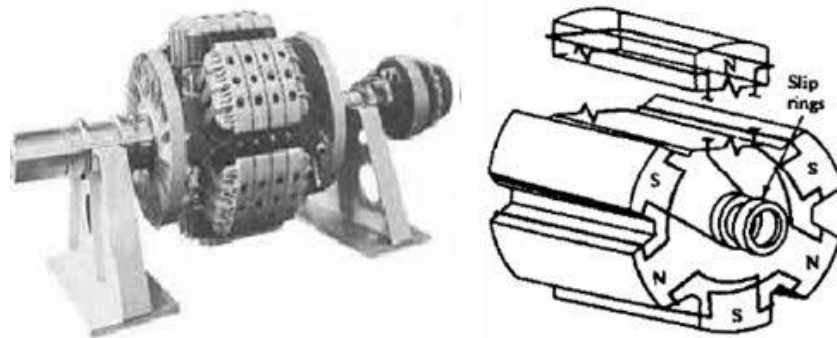
Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Kutup medan magnet rotor dapat berupa kutub menonjol (*salient pole*) dan kutub silinder (*non salient pole*).

1) Jenis kutub menonjol (*salient pole*)

Pada jenis *salient pole*, kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medannya dihubungkan seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Rotor dengan kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah dan sedang (200–400) rpm. Generator seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang, karena:

- Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.
- Konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.



Gambar 2.8 Rotor kutub menonjol

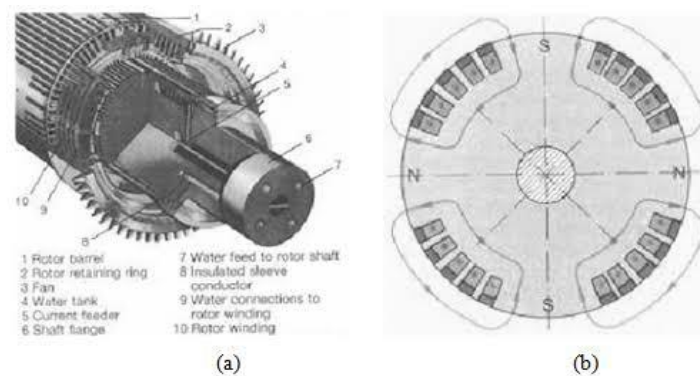
Sumber: Zuriman Anthony, 2018

2) Jenis kutub silindris (*non salient pole*)

Pada jenis *non salient pole*, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri. Rotor jenis kutub silinder umumnya digunakan pada

generator sinkron dengan kecepatan putar tinggi (1500 – 3000) rpm seperti yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar yang tinggi karena:

- Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi.
- Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.



Gambar 2.9 (a) Rotor Non-Salient (b) Penampang Rotor

Sumber: Zuriman Anthony, 2018

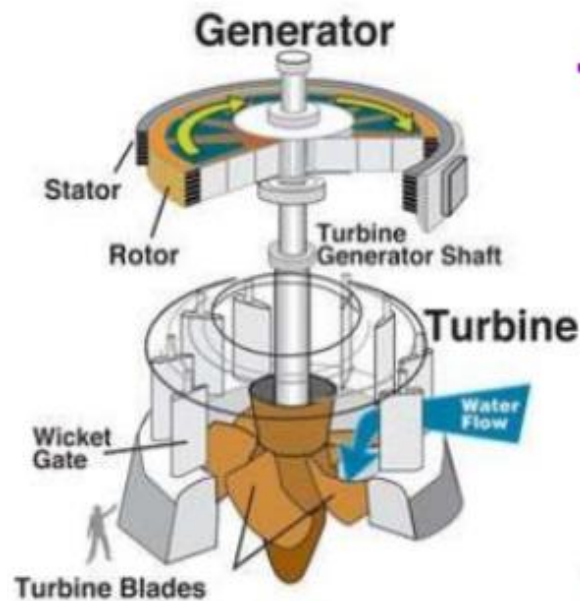
2.3 Prinsip Kerja Penggerak Mula dan Generator Sinkron

2.3.1 Prinsip Kerja Penggerak Mula (Turbin Air)

Penggerak mula generator pada PLTA Sipansihaporas adalah turbin air, baik pada unit 1 maupun unit 2 turbin air yang digunakan pada penggerak mula generator adalah turbin reaksi jenis turbin Francis Vertical Sharf. Turbin air adalah mesin konversi yang merubah energi potensi air menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dapat secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi yang dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Untuk menghasilkan energi listrik, mekanisme yang digerakkan adalah poros generator.

Pada roda turbin terdapat sudu, yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruangan diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi

karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudu-sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Wiranto, 1997).



Gambar 2.10 Turbin Air

Sumber: Zuriman Anthony, 2018

Daya Turbin Daya turbin air ditentukan oleh besarnya debit air dan tinggi jatuh air (head) serta efisiensi dari turbin air tersebut. Adapun rumus daya turbin air adalah:

$$P = \eta_{\text{turbin}} \times \rho \times Q \times g \times H \quad (2.2)$$

Dimana :

P = Daya turbin/Daya input generator (Watt)

η_{turbin} = Effisiensi turbin (%)

ρ = Massa jenis air $\left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right)$

Q = Kapasitas aliran air $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

g = Percepatan gravitasi $\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$

H = Head (m)

Berdasarkan Hukum Bernauli

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan tetapi energi dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Energi yang dimiliki fluida yang mengalir terdiri dari energi-energi akibat tekanan, kecepatan dan kedudukan.

Dengan menggunakan persamaan total energi persatuan berat fluida untuk titik 1 dan titik 2, maka persamaanya dapat ditulis:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.3)$$

Dimana :

P_1 dan P_2 = Tekanan pada titik 1 dan 2 (Pa)

V_1 dan V_2 = Kecepatan aliran pada titik 1 dan 2 $\left(\frac{m}{s}\right)$

Z_1 dan Z_2 = Ketinggian pada titik 1 dan 2 dari bidang datum (m)

γ = Berat jenis fluida $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

Persamaan diatas adalah persamaan dimana kerugian head (head losses) diabaikan. Jika kerugian head diperhitungkan pada aliran fluida, maka persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_L \quad (2.4)$$

Maka untuk mencari head atau ketinggian air jatuh berdasarkan persamaan Bernauli adalah sebagai berikut:

$$H_T = Z_1 - Z_2 - \frac{V^2}{2g} - H_L \quad (2.5)$$

$$Q = A.V \quad (2.6)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D_p^2 \quad (2.7)$$

Dimana :

H_T = Head total (Ketinggian air jatuh) (m)

H_L = Head Losses (kehilangan ketinggian) (m)

A = Luas Penampang (m^2)

D_p = Diameter Penstok (m)

Dari persamaan Hazen William diperoleh nilai H_L (Head Losses) sebagai berikut:

$$Q = \frac{\pi}{4} Dp^2 \cdot 0,8492 C \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2.8)$$

$$S = \frac{H_L}{L} \quad (2.9)$$

Tabel 2.1 Koefisien Kekerasan Pipa Hazen - Williams

Extremely smooth and straight pipes	140
New stell or Cast iron	130
Wood, Concrete	120
New riveted stell; vitrified	110

Sumber: Jack. B. Cheng liu, 1987

Dimana:

C = Koefisien Kekerasan Pipa Hazen William, dengan jenis pipa
Besi baja, nilai $C = 130$

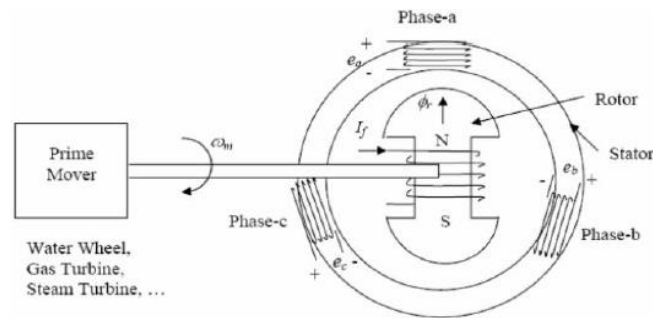
R = Jari-jari Hidrolik, $R = \frac{D}{4}$ untuk pipa bundar

S = Slope dari gradien energi

L = Panjang Penstok

2.3.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni “apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbul ggl (gaya gerak listrik) yang mempunyai satuan volt”. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi.



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Sumber: Muhammad Noer, 2017

Prinsip kerja dari generator sinkron dapat dinyatakan sebagai berikut:

- Rotor disuplai dengan arus DC I_f yang kemudian akan menghasilkan fluks magnet.
- Rotor digerakkan oleh turbin dengan kecepatan konstan
- Garis gaya magnet bergerak menginduksi kumpaan pada stator.
- Frekuensi dari tegangan tergantung dari kecepatan putaran rotor yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$F = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{p \cdot n}{120} \quad (2.10)$$

Dimana:

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

n = kecepatan putaran rotor (rpm)

Adapun besar ggl induksi kumpran stator atau ggl induksi armatur per phasa:

$$E_a / \text{ph} = 4,44 \cdot f \cdot M \cdot \phi \cdot k_d \quad (2.11)$$

Dimana:

E_a = Gaya gerak listrik armatur per phase (volt)

f = Frekuensi output generator (Hz)

M = Jumlah kumparan per phasa = $Z/2$

Z = Jumlah konduktor seluruh slot per phasa

K_d = Faktor distribusi. Hal ini diperlukan karena kumparan armatur terdistribusi dalam beberapa slot per phasa

ϕ = Flux magnet per kutub per phasa

sehingga rumus 2.11 dapat ditulis:

$$E_a / ph = 4,44 \cdot f \cdot \frac{Z}{2} \cdot \phi \cdot kd \quad (2.12)$$

Untuk generator tiga fasa digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan ketiga kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

2.4 Karakteristik Generator Sinkron

2.4.1 Generator Sinkron Tanpa Beban

Jika poros generator diputar dengan kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan I_f , maka tegangan E_o akan terinduksi pada kumparan jangkar stator sebesar:

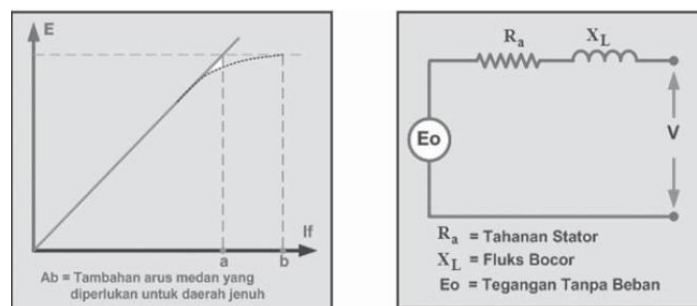
$$E_o = cn\phi \quad (2.13)$$

Dimana:

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh I_f



(a)

(b)

Gambar 2.12 Kurva dan Rangkaian Ekuivalen Generator Tanpa Beban

Sumber: Wahyu Sunarlik, 2014

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Apabila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12 (a) Kondisi Generator tanpa beban bisa digambarkan rangkaian ekuivalennya seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12 (b).

2.4.2 Generator Sinkron Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi pemagnet (X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan berubah-ubah pula, hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada:

a. Resistansi Jangkar (R_a)

Resistansi jangkar per fasa (R_a) yang dialiri oleh arus jangkar (I_a) menyebabkan terjadinya tegangan jatuh per fasa $I_a R_a$ yang sefasa dengan arus jangkar (I_a). Akan tetapi, pada praktiknya jatuh tegangan ini diabaikan karena sangat kecil.

b. Reaktansi Bocor Jangkar (X)

Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak memotong *air-gap*, melainkan mengambil jalur yang lain dan menghubungkan sisi – sisi kumparan. Fluks – fluks tersebut dinamakan fluks bocor. Fluks bocor tersebut bergerak dengan arus jangkar dan memberikan induktansi diri (*self-inductance*) belitan yang disebut dengan reaktansi bocor jangkar (X_L).

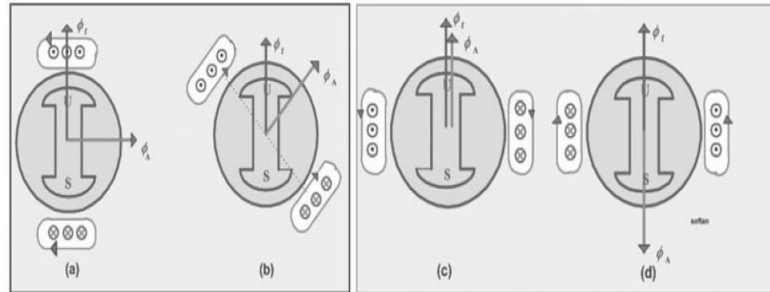
c. Reaksi Jangkar (X_a)

Adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator dibebani akan menimbulkan fluksi jangkar (Φ_A) yang berintegrasi

dengan fluksi yang dihasilkan pada kumparan medan rotor (Φ_F), sehingga akan dihasilkan suatu fluksi resultan sebesar :

$$\phi_R = \phi_F + \phi_A \quad (2.14)$$

Interaksi antara kedua fluksi ini disebut sebagai reaksi jangkar, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12 yang mengilustrasikan kondisi reaksi jangkar untuk jenis beban yang berbeda-beda



Gambar 2.13 Kondisi Reaksi Jangkar

Sumber: Wahyu Sunarlik, 2014

Gambar 2.13 (a), memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani tahanan (resistif) sehingga arus jangkar I_a sefasa dengan ggl E_b dan ϕ_A akan tegak lurus terhadap ϕ_F .

Gambar 2.13 (b), memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani kapasitif, sehingga arus jangkar I_a mendahului ggl E_b sebesar θ dan ϕ_A terbelakang terhadap ϕ_F dengan sudut $(90 - \theta)$.

Gambar 2.13 (c), memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat dibebani kapasitif murni yang mengakibatkan arus jangkar I_a mendahului ggl E_b sebesar 90° dan ϕ_A akan memperkuat ϕ_F yang berpengaruh terhadap pemagnetan.

Gambar 2.13 (d), memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat arus diberi beban induktif murni sehingga mengakibatkan arus jangkar I_a terbelakang dari ggl E_b sebesar 90° dan ϕ_A akan memperlemah ϕ_F yang berpengaruh terhadap pemagnetan.

Reaksi jangkar disebabkan oleh arus beban I yang mengalir pada kumparan jangkar, arus tersebut akan menimbulkan medan yang melawan medan utama sehingga seolah-olah jangkar mempunyai reaktansi sebesar X_a .

Reaktansi bocor X_L dan reaktansi karena reaksi jangkar X_a akan menimbulkan reaktansi sinkron sebesar X_S yang mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$X_S = X_L + X_a \quad (2.15)$$

Tegangan pada waktu generator berbeban akan mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$E = V + I(R_a + j X_a) \quad (2.16)$$

Dimana:

E = ggl jangkar

V = tegangan terminal

I = arus beban

R_a = reaktansi jangkar

X_s = reaktansi sinkron

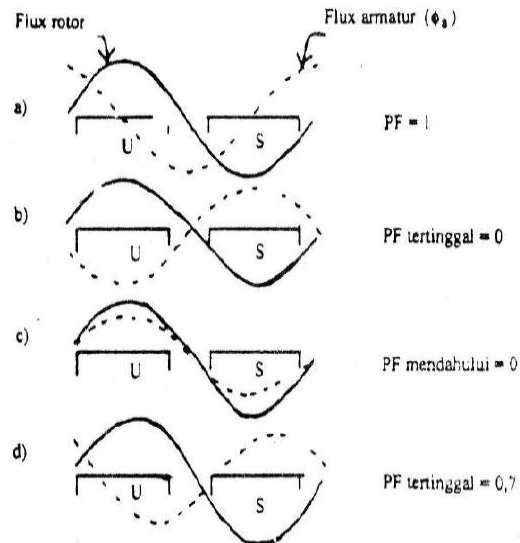
Saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun jika generator sinkron pada keadaan berbeban terdapat adanya beban yang terpasang pada output generator sinkron, maka akan mengalir arus armatur atau disebut juga arus jangkar (I_a); dengan adanya arus armatur ini, pada kumparan armatur atau kumparan jangkar timbul fluks putar jangkar. Fluks putar jangkar ini bersifat mengurangi atau menambah fluks putar yang dihasilkan oleh kumparan rotor. Hal ini tergantung pada faktor daya beban. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 2.14.

Dari gambar 2.14 (a) dengan faktor daya beban (PF) = 1, berarti arus armatur sephasa dengan tegangan beban. Interaksi antara fluks putar rotor dan fluks putar jangkar akan menghasilkan fluk putar baru yang cacat (fuks putar baru tidak sinus murni). Akibatnya tegangan keluaran generator juga tidak sinus murni. Kejadian ini harus dihindarkan

Dari gambar 2.14 (b) dengan PF tertinggal = 0, Interaksi antara fluks putar rotor dan fluks putar jangkar menyebabkan terjadinya pengurangan besar flux rotor, disebut "Demagnetisasi".

Dari gambar 2.14 (c) dengan PF mendahului = 0 mendahului, Interaksi antara fluks putar rotor dan fluks putar jangkar ini dihasilkan fluks baru yang bertambah besar terhadap flux rotor, disebut “Magnetisasi”.

Dari gambar 2.14 (d) dengan PF beban menengah. Maksud dari menengah yaitu beda fasa antara arus-armatur dan tegangan beban 0 sampai dengan 90 (mendahului) atau 0 sampai dengan 90 (tertinggal).



Gambar 2.14 Pengaruh Faktor Daya Beban Terhadap Fluks Rotor

Sumber: Aprianti Wulandari, 2014

Untuk beda fasa 0 sampai dengan 90 (mendahului), disebut faktor daya beban menengah mendahului. Sedangkan untuk beda fasa 0 sampai dengan 90 (tertinggal), disebut faktor daya beban tertinggal. Proses kejadian ini dinamakan kejadian reaksi jangkar atau reaksi armatur.

Pengaruh adanya fluksi jangkar ini dinyatakan dengan A , yang merupakan besaran vektor, karenanya besar dan arahnya sesuai dengan beban yang dilayaninya.

$$A = 0,9 m \cdot f_p \cdot f_d \cdot N \cdot I \quad (2.17)$$

Dimana :

A = Besarnya reaksi jangkar dengan satuan Ampere Lilitan

m = Jumlah fasa

f_d = Faktor langkah

f_p = Faktor distribusi

N = Banyaknya lilitan per fasa

I = Arus fasa dengan satuan ampere

2.5 Regulasi Tegangan

Jika pada sebuah generator dilakukan pengukuran tegangan dalam keadaan tanpa beban dan berbeban, ternyata terdapat perbedaan dari hasil pengukuran tersebut. Dimana terlihat bahwa dengan berubahnya beban maka tegangan terminal dari generator juga akan berubah. Perubahan besarnya (magnitude) tegangan tidak hanya tergantung dari besarnya beban, tetapi juga dipengaruhi $\cos \phi$ beban.

Pengaturan tegangan (*voltage regulation*) dari suatu generator sinkron dapat didefinisikan sebagai perubahan tegangan terminal dari beban nol (*no-load*) ke beban penuh (*full-load*) dengan menjaga eksitasi medan dan putaran tetap, dibagi dengan tegangan beban penuh (*full-load*). Dimana tegangan pada terminal dari generator sinkron tergantung dari beban yang terpasang dan juga faktor daya (*power factor*) beban tersebut. Pengaturan tegangan ini dinyatakan dalam persen (%) dari tegangan nominal dan perbedaan tegangan bukan secara vektor, tetapi besaran yang dinyatakan dalam rumus 2.18

$$VR = \frac{E_f - V_t}{V_t} \times 100 \% \quad (2.18)$$

Dimana :

VR = Regulasi Tegangan

E_f = Tegangan Induksi

V_t = Tegangan Terminal [volt]

2.6 Rugi-Rugi Generator Sinkron

Rugi-rugi yang terdapat pada generator sinkron dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya:

- a Rugi-rugi tembaga rotor dan stator (*copper losses*)
- b Rugi-rugi inti (*core losses*)

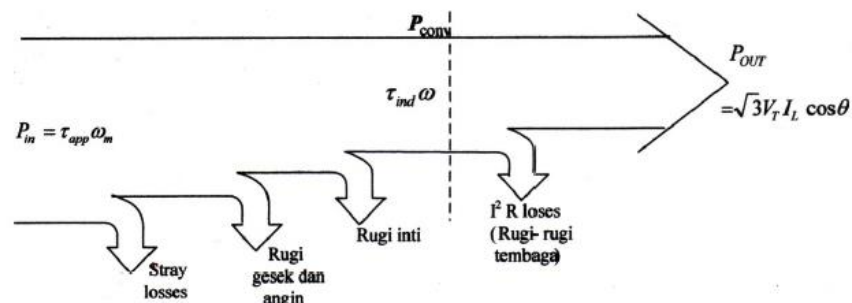
- c Rugi-rugi mekanik (*mechanical losses*)
- d Rugi-rugi nyasar (*stray losses*)

Rugi-rugi angin dan gesekan dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk dari bagian yang berputar, rancangan sudu kipas rotor, desain bantalan (*bearing*) dan susunan rumah (*housing*) mesin. Rugi yang hilang tersebut berupa daya yang diperlukan untuk memutar kipas guna mensirkulasi udara pendingin dan gesekan bantalan dan sikat.

Rugi-rugi inti dan besi disebabkan oleh fluksi utama mesin dan terjadi terutama pada gigi-gigi stator (jangkar), pada bagian inti jangkar dekat gigi-gigi stator dan pada permukaan kutub rotor. Inti stator umumnya dibentuk dari laminasi tipis baja silikon yang terisolasi satu sama lain untuk membatasi rugi-rugi *hysteresis* dan arus *eddy* pada baja.

Rugi-rugi mekanik dan inti sering digabung bersama yang disebut dengan rugi-rugi beban nol pada mesin. Pada keadaan beban nol, daya input mesin digunakan untuk mengatasi rugi-rugi ini.

Rugi-rugi tembaga rotor ($I_r^2.R_r$) dihitung dari arus medan dan tahanan arus searah dari kumparan penguat pada suhu 75^0 C. Jatuh tegangan pada cincin kolektor sikat umumnya diabaikan, tapi bisa juga disertakan dalam rugi-rugi penguat. Rugi-rugi tembaga kumparan jangkar ($3I_A^2.R_A$) pada umumnya dihitung dari tahanan arus searah kumparan jangkar pada suhu 75^0 C.



Gambar 2.15 Diagram Aliran Daya Generator sinkron

Sumber: Aprianti Wulandari, 2014

Dari gambar 2.15 dapat dilihat bahwa rumus 2.19 di bawah ini:

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V_t \times I_L \times \cos \varphi \quad (2.19)$$

Maka semakin baik faktor daya yang dihasilkan maka daya output juga semakin besar, dengan kata lain rugi – rugi yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Maka dapat disimpulkan semakin baik faktor daya, maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin baik.

2.7 Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron

Eksitasi atau disebut sistem penguatan adalah suatu perangkat yang memberikan arus penguat (I_f) kepada kumparan medan generator arus bolak-balik (AC) yang dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan bantuan arus searah. Arus eksitasi adalah pemberian arus listrik pada kutub magnetik. Dengan mengatur besar kecilnya arus listrik tersebut kita dapat mengatur besar tegangan output generator atau dapat juga mengatur besar daya reaktif yang diinginkan pada generator yang sedang paralel dengan sistem jaringan besar (*Infinite Bus*).

Sistem eksitasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

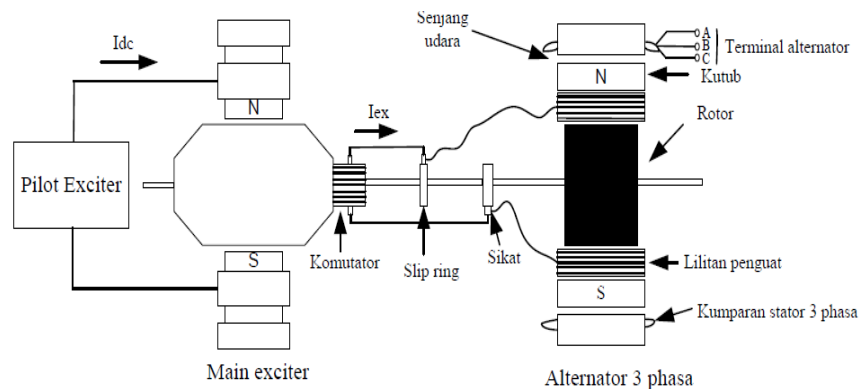
2.7.1 Sistem Eksitasi menggunakan Sikat

Sistem eksitasi menggunakan sikat terdiri dari :

2.7.1.1 Sistem eksitasi statis

Sistem eksitasi statis adalah sistem eksitasi generator dengan menggunakan peralatan eksitasi yang tidak bergerak, yang berarti bahwa peralatan eksitasi tidak ikut berputar bersama rotor generator sinkron. Sistem eksitasi ini disebut juga dengan *self excitation* yang merupakan sistem eksitasi yang eksitasinya berasal dari keluaran generator sinkron itu sendiri yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan *rectifier*. Awalnya pada rotor ada sedikit magnet yang tersisa, magnet yang sisa ini akan menimbulkan tegangan pada stator, tegangan ini kemudian masuk dalam penyearah dan dimasukkan kembali pada rotor, akibatnya medan magnet yang dihasilkan makin besar dan tegangan AC naik demikian seterusnya sampai dicapai tegangan nominal dari generator AC tersebut. Biasanya penyearah itu mempunyai pengatur sehingga tegangan generator dapat diatur konstan menggunakan AVR.

2.7.1.2 Sistem eksitasi dinamis

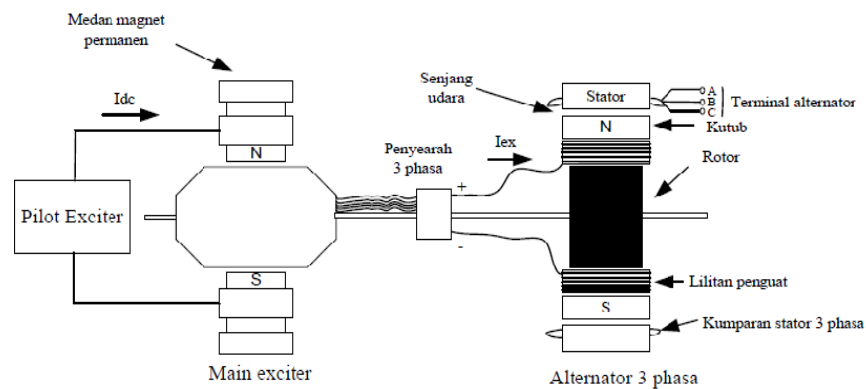


Gambar 2.16 Sistem Eksitasi Dinamis

Sumber: Nucholis Najib Sanubari Matondang, 2018

Sistem eksitasi dinamis adalah sistem eksitasi generator yang disuplai dari eksiter yang merupakan mesin bergerak. Sebagai eksiternya menggunakan generator DC atau dapat juga menggunakan generator AC yang kemudian disearahkan menggunakan *rectifier*. *Slip ring* digunakan untuk menyalurkan arus dari generator penguat pertama ke medan penguat generator penguat kedua.

2.7.2 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (Brushless Excitation)



Gambar 2.17 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (Brushless Excitation)

Sumber: Wahyu Sunarlik, 2014

Sistem eksitasi tanpa menggunakan *pilot exciter* dan sistem penyaluran arus eksitasi ke rotor generator utama. *Pilot exciter* terdiri dari sebuah generator

arusbolak-bali bolak-balik dengan magnet permanen yang terpasang pada poros rotor dan kumparan tiga fasa pada stator.

2.8 Paralel Generator Sinkron

Pemasokan listrik ke beban dimulai dengan menghidupkan satu generator, kemudian secara perlahan beban dimasukkan sampai dengan kemampuan generator tersebut, selanjutnya menghidupkan lagi generator berikutnya dan memparalelkan dengan generator pertama untuk memikul beban yang lebih besar lagi.

Bila suatu generator bekerja dan mendapatkan pembebanan yang melebihi dari kapasitasnya, maka dapat mengakibatkan generator tersebut tidak dapat bekerja atau bahkan akan mengalami kerusakan. Sehingga dalam hal ini dapat diatasi dengan menjalankan generator lain yang kemudian dioperasikan secara paralel dengan generator utama yang telah bekerja sebelumnya pada suatu jaringan listrik yang sama.

Paralel generator dapat diartikan menggabungkan dua buah generator atau lebih dan kemudian dioperasikan secara bersama – sama dengan tujuan :

- a. Mendapatkan daya yang lebih besar.
- b. Untuk efisiensi (Menghemat biaya pemakaian operasional dan menghemat biaya pembelian)
- c. Untuk memudahkan penentuan kapasitas generator.
- d. Untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.

Prosedur Praktis Paralel Generator

Karena adanya penambahan beban dalam sistem kelistrikan, maka diperlukan penambahan daya dari generator lain untuk mengcover beban sistem kelistrikan, yaitu dengan memparalelkan generator, adapun prosedurnya sebagai berikut:

- a. Pastikan bahwa breaker dari generator yang akan diparalel (incoming generator) dalam keadaan terbuka, atau dengan kata lain incoming generator terisolasi dengan sistem.
- b. Pastikan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) dalam keadaan “otomatis”, bukan manual.

- c. Start *prime mover* sampai pada spesifikasi putaran tanpa beban.
- d. Gunakan *governor control* untuk mengeset frekuensi incoming generator lebih tinggi 1/10 dari frekuensi sistem.
- e. Gunakan AVR untuk mengeset tegangan incoming generator sama atau lebih tinggi dari sistem.
- f. Gunakan *synchroscope* pada incoming generator dan set frekuensi incoming generator berputar perlahan-lahan di daerah “Fast” mendekati 0.
- g. Tutup breaker incoming generator saat 1° sampai 2° pada *synchroscope* sebelum posisi 0. Dengan asumsi breaker mempunyai massa lembam dengan demikian penutupan breaker tepat pada angka 0 pada *synchroscope*.
- h. Matikan *synchroscope*.
- i. Dengan *governor control*, buat perpindahan beban ke incoming generator secara perlahan-lahan.
- j. Jika *power factor* yang terbaca antara 2 generator atau lebih yang diparalelkan tidak sama maka, set AVR masing-masing generator sampai *power factor* setiap generator mendekati sama.

2.9 Sinkronisasi Generator

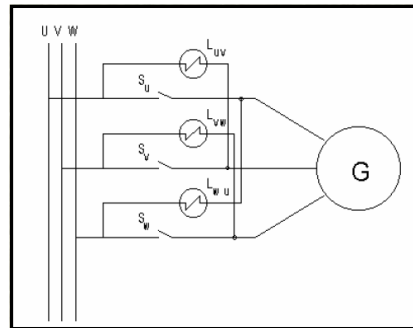
Untuk melakukan operasi paralel generator, dimana beberapa generator pada suatu unit pembangkit akan dioperasikan secara bersamaan untuk memikul beban diperlukan sinkronisasi terlebih dahulu. Generator yang akan diparalelkan bisa disinkronisasi secara manual maupun otomatis yaitu pada *synchronizing panel*.

Adapun syarat yang harus dipenuhi dalam melakukan sinkronisasi generator, yaitu:

- a. Tegangan

Tegangan generator (yang akan diparalel) dengan tegangan sistem jaringan harus sama besarnya (nilainya). Pengaturan tegangan generator dapat diatur dengan mengatur arus eksitasinya. Jika nilai tegangan pada generator yang diparalelkan (G2) lebih besar dari tegangan pada generator yang beroperasi (G1) maka Generator (G2) akan berubah fungsi menjadi motor sinkron.

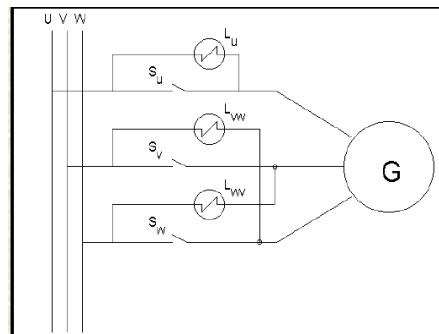
2.9.2 Sinkronoskop Lampu Terang



Gambar 2.19 Skema Sinkronoskop Lampu Terang
Sumber: Nucholis Najib Sanubari Matondang. 2018

Jenis sinkronoskop lampu terang pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan V, V dengan W dan W dengan U. Sinkronoskop jenis ini merupakan kebalikan dari sinkronoskop lampu gelap. Jika antara fasa terdapat beda tegangan maka ketiga lampu akan menyala sama terang dan generator siap untuk diparalel. Kelemahan dari sinkronoskop ini adalah kita tidak mengetahui seberapa terang lampu tersebut sampai generator siap diparalel.

2.9.3 Sinkronoskop Lampu Terang Gelap



Gambar 2.20 Skema Sinkronoskop Lampu Terang Gelap
Sumber: Nucholis Najib Sanubari Matondang. 2018

Sinkronoskop jenis ini dapat dikatakan merupakan perpaduan antara sinkronoskop lampu gelap dan terang. Prinsip dari sinkronoskop ini adalah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa

U dengan fasa U, fasa V dengan fasa W dan fasa W dengan fasa V. Pada sinkronoskop ini generator siap diparalel, jika satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang.

2.10 Daya dan Faktor Daya

Daya adalah suatu energi yang digunakan untuk melakukan suatu usaha. Dalam suatu sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan suatu kerja atau usaha. Daya dinyatakan dengan simbol “P” dan dengan satuan Watt. Daya pada listrik arus bolak-balik ada tiga jenis yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

2.10.1 Daya aktif (P)

Daya aktif (*active power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya, daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam suatu bentuk kerja. Disimbolkan dengan “P” dan satuannya adalah Watt.

Dimana dalam perhitungan phasa :

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (1 \text{ phasa}) \quad (2.20)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (3 \text{ phasa}) \quad (2.21)$$

2.10.2 Daya reaktif (Q)

Daya reaktif (*reactive power*) adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan suatu medan magnet, dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Disimbolkan dengan “Q” dan satuannya adalah Var.

Dimana dalam perhitungan phasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (1 \text{ phasa}) \quad (2.22)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (3 \text{ phasa}) \quad (2.23)$$

2.10.3 Daya Nyata (S)

Daya Nyata (Apparent Power) adalah sebuah daya yang diperoleh dari perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil dari perjumlahan trigonometri daya aktif dan reaktif. Disimbolkan dengan “S” dan satuan nya adalah Volt-Ampere (VA). Daya nyata biasa menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang tertera pada peralatan generator dan transformator.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad [\text{VA}] \quad (2.24)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.25)$$

Dimana :

V = Tegangan (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Cos ϕ = Faktor daya

Sin ϕ = Faktor reaktif

2.10.4 Faktor Daya

Faktor daya (Cos ϕ) adalah suatu rasio perbandingan antara daya aktif (watt) dan daya nyata (VA) yang dipergunakan dalam rangkaian AC atau beda sudut fasa antara V dan I biasanya dinyatakan dalam cos ϕ . Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu yaitu range 0 – 1 tetapi dapat juga dinyatakan dalam bentuk persen. Faktor daya yang bagus nilainya mendekati satu. Faktor daya menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah itu merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya nyata}} \quad (2.26)$$

$$\text{Faktor daya} = \frac{V.I \cos\phi}{V.I} \quad (2.27)$$

$$\text{Faktor daya} = \text{Cos } \phi \quad (2.28)$$

2.11 Efisiensi Generator

Efisiensi adalah suatu cara atau usaha dalam menjalankan sesuatu untuk menghasilkan suatu hal dengan maksimal. Suatu peralatan atau mesin yang mengubah energi tidak mungkin dapat mengubah seluruh energi yang diterimanya (daya masukan / P_{in}) menjadi energi yang diharapkan (daya keluaran / P_{out}). Sebagian energi akan diubah menjadi energi yang tidak diharapkan. Proses tersebut merupakan sifat alami sehingga ditemukan konsep efisiensi (daya guna). Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output generator dengan daya input generator. Daya masukan genertaor merupakan daya keluaran turbin karena turbin dengan generator dan dikoperl dan bekerja bersama. Maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti rumus:

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.29)$$

$$\eta_{generator} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi}{\eta_t \times \rho \times Q \times g \times H} \times 100 \% \quad (2.30)$$

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiennya suatu mesin adalah

- a. Umur pemakaian peralatan/mesin
Semakin lama umur suatu mesin, maka semakin bekurang efisiensi suatu mesin
- b. Tingkat pemakaian mesin (beban)
Semakin tinggi beban (beban puncak) yang sering di terima mesin, maka semakin menurun efeisiensi suatu mesin.
- c. Perawatan atau pemeliharaan mesin
Pemeliharaan yang rutin (preventive maintenance) dilakukan untuk memastikan keandalan suatu mesin, dan dapat membantu suatu mesin dapat berkerja secara lebih efisien, serta dapat meminimalisir ataupun menghilangkan kemungkinan terjadinya gangguan ataupun suatu kerusakan.

2.12 Pemeliharaan Generator

Pada umumnya pemeliharaan generator di unit pembangkit terdiri dari Pemeliharaan yang bersifat Rutin dan pemeliharaan yang bersifat Periodik. Pemeliharaan yang bersifat rutin ialah pemeliharaan yang dilakukan secara berulang dengan periode waktu harian, mingguan dan bulanan dengan kondisi sedang beroperasi, yaitu meliputi :

- a. Pemeriksaan temperatur belitan stator, bearing, air pendingin, dan sebagainya dilakukan setiap hari.
- b. Pemeriksaan kebocoran pendingin minyak (khusus generator dengan pendingin hidrogen) dalam sekali sebulan.
- c. Pemeriksaan vibrasi sekali sebulan.
- d. Pemeriksaan tekanan hidrogen, seal oil pump.
- e. Pemeriksaan fuse rotating rectifier (Brushless excitation) atau pemeriksaan sikat arang (Static Excitation / DC Dinamic Excitation).

Pemeliharaan generator yang bersifat periodik ialah pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan lama operasi dari generator, kegiatan yang dilakukan meliputi pembongkaran (disassembly), pemeriksaan (inspection) dan pengujian (testing). Kegiatan pemeriksaan tersebut tidak harus semua komponen dilakukan sama, melainkan tergantung dari klasifikasi pemeriksaan periodiknya. Diklasifikasikan dalam :

- a. Pemeriksaan sederhana, setiap 8.000 jam.
- b. Pemeriksaan sedang, setiap 16.000 jam.
- c. Pemeriksaan serius, setiap 32. 000 jam.

Pemeriksaan sederhana dan sedang, komponen yang diperiksa tidak seluruhnya melainkan sebagian saja. Tetapi pemeriksaan serius, kegiatan-kegiatan seperti tersebut diatas dilakukan secara menyeluruh terhadap generator dan alat bantu.

2.12.1 Pemeliharaan Generator Pada Rotor

Hal-hal yang perlu diperiksa bagian Rotor Generator, meliputi:

- a. Periksa kebersihan dan perubahan bentuk kumparan serta kerusakan dan penggeseran dari blok isolasinya.
- b. Periksa kekendoran beban penyeimbang (balance weight).
- c. Cek ujung komponen dibawah cincin penahan.
- d. Periksa kelonggaran rakitan penghantar radial.
- e. Periksa komponen-komponen rotor, seperti cincin penahan, pasok blower, dan journal poros (komponen tersebut disarankan diperiksa dengan ultra sonic test atau dye penetrant test untuk mengetahui keretakan material-material tersebut).
- f. Teliti kelonggaran dari tiap-tiap baut dan plat alas.
- g. Kerusakan dan keausan dari journal rotor dan kopling, diteliti, pasak-pasak rotor dan beban penyeimbangan diperiksa kelonggarannya.
- h. Perapat penekan dan cincin perapat harus diperiksa celahnya, kerusakan perubahan bentuk. Cincin perapat harus diperiksa kelancaran gerakanya.
- i. Tiap labyrinth harus diperiksa kerusakannya dan keadaan celahnya.
- j. Periksa keausan bahan bantalan.
- k. Ukur tahanan isolasi kumparan.

2.12.2 Pemeliharaan Generator Pada Stator

Pemeliharaan generator pada stator dilakukan setelah rotor dikeluarkan , yang meliputi :

- a. Belitan stator diperiksa tentang kemungkinan terjadinya kontaminasi, kerusakan, retak, pemanasan lebih dan keausan.

- b. Pasak stator diperiksa kemungkinan terjadinya pergeseran (kedudukan) dari ujung pasak dan penganjal dibawah pasak, serta kelonggaran dari pasak-pasak kumparan stator.
- c. Penyangga ujung kumparan diperiksa, khususnya kelonggaran dari baut pengikatnya.
- d. Penjarak isolasi (insulation spacer) diperiksa kemungkinan merapatnya jarak isolasi, kelonggaran dan keausan dari kain polyster, segmen penyangga kumparan, tali pengikat dan panahan ujung kumparan.
- e. Cincin phasa, diperiksa kerusakan / perubahan bentuknya.
- f. Gulungan di dalam alur (slot) diteliti kelonggarannya dari terminal.
- g. Ujung penghantar utama (main lead), diperiksa kerusakan dari porselin bushing dan permukaan sambungan serta kondisi bagian dalam kotak saluran dan netralnya.
- h. Pemeriksaan keadaan inti, yang meliputi kerapatan dan laminasi-laminasi, tanda-tanda kerusakan mekanis, tanda-tanda pemanasan setempat dan keadaan susunan pengikat inti.
- i. Periksa permukaan kumparan, permukaan inti besi, benda-benda asing serta kebocoran minyak dan air.
- j. Cek pendeteksi temperatur inti stator (RTD), bila perlu ditest.
- k. Periksa klem kawat pentanahan dan bagian-bagiannya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTA Sipansihaporas unit 1 dan Unit 2 berlokasi didesa HUSOR, Sibuluan dan Sihaporas Kecamatan Sibolga, Kabupaten Tapanuli Tengah Propinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 7 hari (seminggu) pada tanggal 7 s/d 13 Februari 2020.

3.2 Data Spesifikasi Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data spesifikasi dari turbin, generator serta penstock dan data harian (daily logsheet).

3.2.1 Data Spesifikasi Generator dan Turbin Air Unit 1 Di PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator Unit 1 PLTA Sipansihaporas

Manufacture	Maidensha Corp Japan
Daya	39000 kVA
Tegangan	11000 v
Arus	2047 A
Frekuensi	50 Hz
Putaran	429 min ⁻¹
Standard	IEC 34
Rating	Continuous

Jumlah Phasa	3
Faktor Daya	0,85
Jumlah Kutub	14
Kelas Isolasi	F
No seri	F8N5554RI
Teg exitasi	160 V
Arus Medan	807 A
Proteksi	IP44
Pendingin	IC7A1W7
Pendingin	IC7A1W7

Sumber : PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Turbin Unit 1 PLTA Sipansihaporas

Manufacture	Toshiba Corporation
Type	Turbine Francis Vertical Sharf
Serial No.	M2117071 CR 1101
Arah Putaran	Counterclockwise
Daya	34 MW
Tinggi Jatuh Normal	131,6
Debit	27,9
Putaran Normal	429 rpm
Jumlah Sudu	13

Sumber : PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Penstock Unit 1 PLTA Sipansihaporas

Manufacture	IMPSA – BATARA CONSORTIUM
Type	Atas tanah
Diameter	2,2 – 3,7 m
Panjang	278,21 m

Tinggi Jatuh	128,4
Tebal Dinding	10 – 12- 14 mm

Sumber : PLTA Sipansihaporas

3.2.2 Data Generator dan Turbin Air Unit 2 Di PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.4 Data Spesifikasi Generator Unit 2 PLTA Sipansihaporas

Manufacture	Maidensha Corp Japan
Daya	20000 kVA
Tegangan	11000 v
Arus	1050 A
Frekuensi	50 Hz
Putaran	375 min ⁻¹
Standard	IEC 34
Rating	Continuous
Jumlah Phasa	3
Faktor Daya	0,85
Jumlah Kutub	16
Kelas Isolasi	F
No seri	8N5555RI
Teg exitasi	90 V
Arus Medan	685 A
Proteksi	IP44
Pendingin	IC7A1W7

Sumber : PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.5 Data Spesifikasi Turbin Unit 2 PLTA Sipansihaporas

Manufacture	Toshiba Corporation
Type	Turbine Francis Vertical Sharf
Serial No.	M2117071 CR 2101

Arah Putaran	Counterclockwise
Daya	17,6 MW
Tinggi Jatuh Normal	67
Debit	28,5
Putaran Normal	375 rpm
Jumlah Sudu	13

Sumber : PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.6 Data Spesifikasi Penstock Unit 2 PLTA Sipansihaporas

Manufacture	IMPSA – BATARA CONSORTIUM
Type	Atas tanah
Diameter	2,6 – 3,4 m
Panjang	115 m
Tinggi Jatuh	128,4 m
Tebal Dinding	10 mm

Sumber : PLTA Sipansihapora

3.3 Data Harian (*logsheet*) PLTA Spansihaporas

3.3.1 Data Harian (*logsheet*) Generator dan Turbin Air Unit 1 Di PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.7 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal 7 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	-	-	-	-
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-

9	17:00	-	-	-	-
10	18:00	-	-	-	-
11	19:00	-	-	-	-
12	20:00	-	-	-	-
13	21:00	-	-	-	-
14	22:00	-	-	-	-
15	23:00	33,10	237,60	95,50	27,40
16	24:00	33,20	237,50	95,20	27,50
17	01:00	33,10	237,40	95,20	27,50
18	02:00	33,30	237,50	95,00	28,20
19	03:00	33,00	237,80	95,00	27,50
20	04:00	26,40	237,60	94,90	22,40
21	05:00	26,60	237,50	94,60	22,60
22	06:00	33,00	237,70	95,00	27,30
23	07:00	33,00	237,70	95,20	27,20
24	08:00	32,90	237,70	95,10	27,20

Sumber: Daily Logsheet PLTA Sipansihaporas Unit 1, 7 Februari 2020

**Tabel 3.8 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal
8 Februari 2020**

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	32,9	237,30	95,1	27,2
2	10:00	33,0	237,40	94,8	27,2
3	11:00	33,0	237,43	94,8	27,3
4	12:00	33,0	237,60	94,8	27,3
5	13:00	33,0	237,61	94,8	27,4
6	14:00	33,0	237,61	94,8	27,4
7	15:00	33,0	237,50	94,8	27,5
8	16:00	33,0	237,60	95,0	27,4
9	17:00	33,0	237,60	95,0	27,4
10	18:00	32,9	237,70	95,0	27,4
11	19:00	33,1	237,60	95,0	27,4
12	20:00	33,1	237,50	94,9	27,3
13	21:00	33,2	237,50	94,8	27,5
14	22:00	33,1	237,50	95,0	27,3
15	23:00	33,0	237,40	94,9	27,4
16	24:00	33,0	237,30	94,9	27,3
17	01:00	33,1	237,20	94,9	27,4
18	02:00	32,9	237,10	94,9	27,4

19	03:00	26,8	237,00	94,5	22,6
20	04:00	26,1	236,60	94,3	22,0
21	05:00	26,1	236,60	94,3	22,2
22	06:00	26,4	236,80	94,3	22,3
23	07:00	26,0	236,70	94,3	22,2
24	08:00	25,9	236,70	94,3	22,1

Sumber: Daily Logsheets PLTA Sipansihaporas Unit 1, 8 Februari 2020

Tabel 3.9 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal 9 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	26,0	236,50	94,3	22,2
2	10:00	26,0	236,30	94,3	22,1
3	11:00	25,8	236,20	94,3	22,1
4	12:00	26,0	236,10	94,3	22,1
5	13:00	26,0	235,90	94,3	22,1
6	14:00	26,0	235,70	94,3	22,0
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-
9	17:00	-	-	-	-
10	18:00	-	-	-	-
11	19:00	32,9	236,50	94,8	27,4
12	20:00	32,7	236,20	94,9	27,3
13	21:00	32,9	235,90	94,9	27,6
14	22:00	32,8	235,58	94,5	27,8
15	23:00	33,0	235,20	94,5	27,7
16	24:00	32,9	234,80	94,9	27,8
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	25,0	235,60	94,3	21,6
22	06:00	33,0	235,30	94,8	27,7
23	07:00	-	-	-	-
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Logsheets PLTA Sipansihaporas Unit 1, 9 Februari 2020

**Tabel 3.10 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal
10 Februari 2020**

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	33,0	236,4	94,8	27,6
7	15:00	33,0	236,1	94,9	27,5
8	16:00	25,8	235,8	94,9	27,5
9	17:00	25,5	235,5	94,6	21,7
10	18:00	25,1	235,3	94,7	21,6
11	19:00	32,9	235,2	95,3	27,6
12	20:00	33,0	234,9	95,3	27,7
13	21:00	32,8	234,5	95,4	27,8
14	22:00	-	-	-	-
15	23:00	-	-	-	-
16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	33,0	236,4	95,0	27,5
23	07:00	33,0	236,0	95,2	27,5
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Logsheet PLTA Sipansihaporas Unit 1, 10 Februari 2020

**Tabel 3.11 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal
11 Februari 2020**

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-

6	14:00	32,9	236,9	95,0	27,4
7	15:00	33,0	236,5	95,2	27,5
8	16:00	32,8	236,2	95,2	27,5
9	17:00	32,8	235,9	95,2	27,9
10	18:00	32,8	235,5	95,3	27,9
11	19:00	32,9	235,2	95,3	27,9
12	20:00	32,9	234,7	95,1	27,8
13	21:00	25,9	234,4	95,1	22,5
14	22:00	-	-	-	-
15	23:00	-	-	-	-
16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	25,9	236,2	94,7	22,2
23	07:00	25,6	235,8	94,7	22,2
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Logsheet PLTA Sipansihaporas Unit 1, 11 Februari 2020

**Tabel 3.12 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal
12 Februari 2020**

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	-	-	-	-
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	26,5	237,0	94,7	22,5
9	17:00	26,4	237,0	94,7	22,5
10	18:00	26,5	236,5	94,9	22,6
11	19:00	26,0	236,2	94,9	22,2
12	20:00	26,2	236,0	94,9	22,2
13	21:00	26,2	235,7	94,9	22,4
14	22:00	26,2	235,4	94,9	22,3
15	23:00	26,2	235,1	94,9	22,3

16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	32,7	235,810	95,3	27,5
23	07:00	-	-	-	-
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Logsheets PLTA Sipansihaporas Unit 1, 12 Februari 2020

Tabel 3.13 Data Harian Unit 1 PLTA Sipansihaporas pada Tanggal 13 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Elevasi Dam (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	33,0	236,4	95,1	27,4
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-
9	17:00	-	-	-	-
10	18:00	25,8	236,7	94,9	22,1
11	19:00	32,8	236,3	95,6	27,6
12	20:00	32,9	236,0	95,7	27,6
13	21:00	32,9	235,5	95,7	27,7
14	22:00	32,9	235,1	95,7	27,7
15	23:00	33,0	234,7	95,7	27,7
16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	32,9	235,5	95,5	27,7
23	07:00	25,0	235,1	95,5	27,7
24	08:00	-	-	-	-

Sumber : Daily Logsheets PLTA Sipansihaporas Unit 1, 13 Februari 2020

3.3.2 Data Harian (*logsheet*) Generator dan Turbin Air Unit 2 Di PLTA Sipansihaporas

Tabel 3.14 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal 7 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	-	-	-	-
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-
9	17:00	-	-	-	-
10	18:00	-	-	-	-
11	19:00	-	-	-	-
12	20:00	-	-	-	-
13	21:00	17,1	97,5	23,3	30,8
14	22:00	17,1	97,1	22,9	30,3
15	23:00	15,7	97,1	23,3	28,5
16	24:00	14,9	97,1	22,9	26,9
17	01:00	14,7	97,1	22,6	26,5
18	02:00	17,1	97,1	22,6	30,6
19	03:00	14,8	97,1	22,1	27
20	04:00	17,2	97,2	22,2	31
21	05:00	17,2	97,4	22,5	31
22	06:00	16,8	97,2	22,5	28,5
23	07:00	17,3	97,3	22,5	30,9
24	08:00	17,1	97,3	22,5	31,1

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 7 Februari 2020

Tabel 3.15 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal 8 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	17,0	97,1	22,4	30,4
2	10:00	16,8	97,0	22,3	30,0
3	11:00	17,2	97,3	22,2	31,3

4	12:00	17,2	97,2	22,1	31,5
5	13:00	17,2	97,2	22,1	30,7
6	14:00	17,2	97,2	22,1	30,9
7	15:00	17,2	97,3	22,1	31,6
8	16:00	17,2	97,3	22,1	30,9
9	17:00	17,2	97,3	22,3	30,6
10	18:00	17,2	97,3	22,5	31,4
11	19:00	17,2	97,3	22,4	30,7
12	20:00	17,2	97,3	22,2	30,9
13	21:00	17,2	97,3	22,2	31,0
14	22:00	17,2	97,3	22,2	31,7
15	23:00	17,2	97,3	22,2	31,6
16	24:00	17,3	97,3	22,2	30,7
17	01:00	17,2	97,3	22,2	31,6
18	02:00	17,2	97,3	22,2	31,4
19	03:00	16,5	97,3	22,2	29,5
20	04:00	14,8	97,0	21,9	27,1
21	05:00	14,3	97,1	22,0	26,1
22	06:00	14,3	97,1	22,0	26,7
23	07:00	14,6	97,1	22,0	26,9
24	08:00	14,2	97,0	21,9	26,5

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 8 Februari 2020

Tabel 3.16 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal 9 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	14,4	97,1	21,9	27,1
2	10:00	14,3	97,1	22,0	26,2
3	11:00	14,3	97,1	22,0	26,4
4	12:00	14,2	97,1	21,9	25,6
5	13:00	13,9	97,1	21,9	26,4
6	14:00	14,4	97,1	21,9	27,0
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-
9	17:00	-	-	-	-
10	18:00	-	-	-	-
11	19:00	15,0	97,1	22,0	27,3

12	20:00	17,0	97,2	22,1	30,7
13	21:00	17,1	97,4	22,1	30,4
14	22:00	17,1	97,4	22,1	30,6
15	23:00	17,1	97,4	22,1	30,4
16	24:00	17,1	97,4	22,1	30,4
17	01:00	9,0	96,4	21,9	18,0
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	12,7	97,1	21,9	23,9
23	07:00	16,5	97,1	22,1	29,3
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 9 Februari 2020

Tabel 3.17 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal 10 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	15,4	97,1	22,0	27,60
7	15:00	17,0	97,3	22,2	30,70
8	16:00	17,1	97,3	22,1	30,20
9	17:00	14,2	97,1	21,9	26,00
10	18:00	14,3	97,1	22,0	26,50
11	19:00	17,1	97,2	22,1	30,70
12	20:00	17,2	97,5	22,2	30,80
13	21:00	17,3	97,5	22,2	30,60
14	22:00	-	-	-	-
15	23:00	-	-	-	-
16	24:00	-	-	-	-

17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	16,3	97,1	22,2	28,6
23	07:00	17,2	97,4	22,1	30,6
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 10 Februari 2020

Tabel 3.18 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal 11 Februari 2020

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	15,8	97,1	22,1	28,2
7	15:00	17,3	97,2	22,2	30,9
8	16:00	17,2	97,4	22,2	30,7
9	17:00	17,2	97,4	22,2	30,7
10	18:00	17,2	97,5	22,2	30,6
11	19:00	17,2	97,5	22,2	30,7
12	20:00	17,2	97,5	22,2	30,7
13	21:00	17,1	97,2	22,2	30,7
14	22:00	-	-	-	-
15	23:00	-	-	-	-
16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	13,2	97,0	21,8	24,4

23	07:00	14,2	97,1	21,9	24,9
24	08:00	10,9	96,5	21,9	18,5

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 11 Februari 2020

**Tabel 3.19 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal
12 Februari 2020**

No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	-	-	-	-
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-
9	17:00	13,7	97,1	22,1	24,9
10	18:00	14,4	97,1	22,0	26,1
11	19:00	14,2	97,1	21,9	26,1
12	20:00	14,0	97,1	21,9	25,3
13	21:00	13,5	97,1	21,8	25,0
14	22:00	14,1	97,1	21,8	25,3
15	23:00	13,8	97,1	21,9	24,9
16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	15,1	97,1	22,0	27,2
23	07:00	12,5	96,7	22,0	23,0
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 12 Februari 2020

Tabel 3.20 Data Harian Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Tanggal 13 Februari 2020

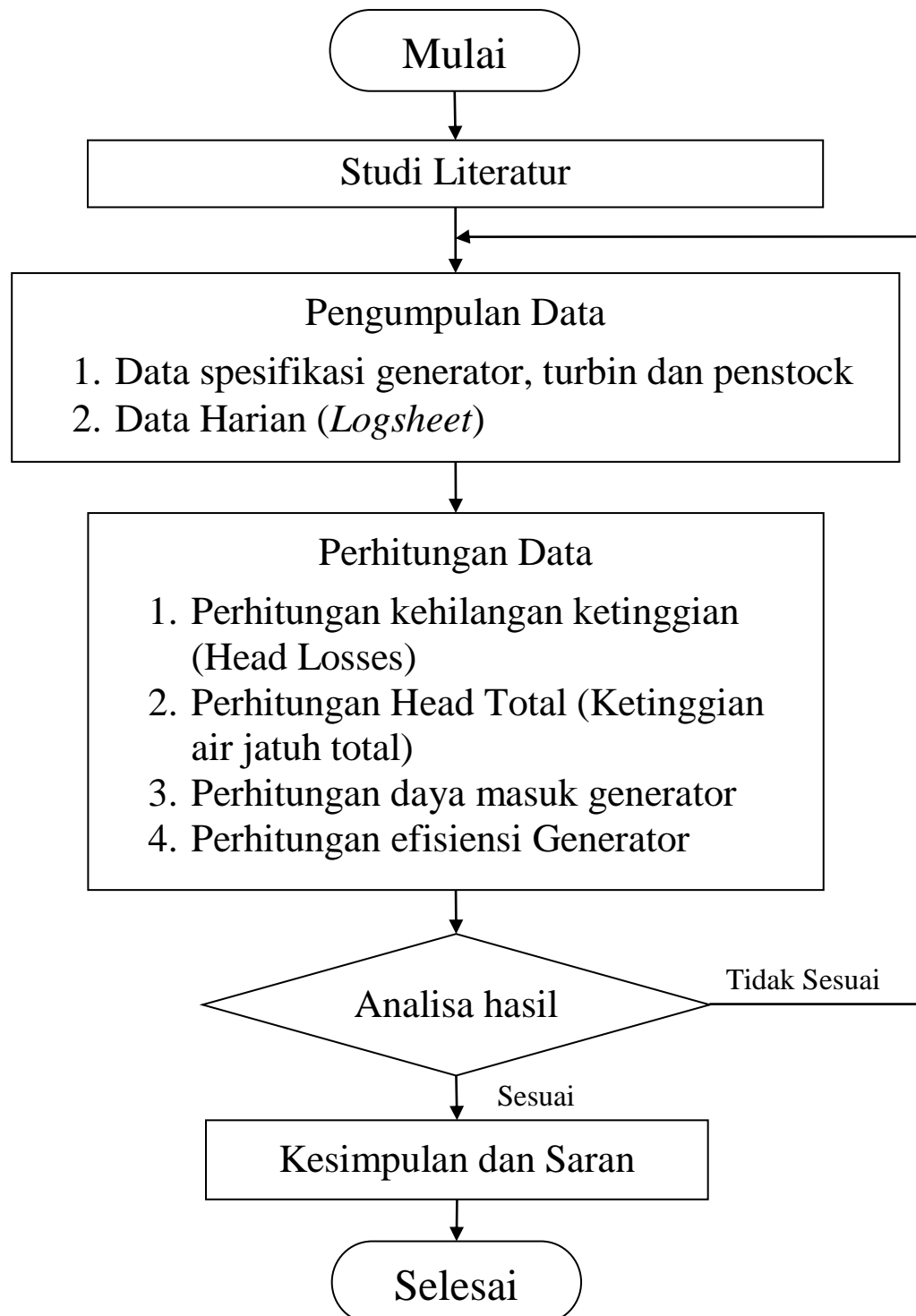
No.	Waktu	Daya Output (MW)	Head Tank (M)	Tailrace (M)	Debit (M ³ /S)
1	09:00	-	-	-	-
2	10:00	-	-	-	-
3	11:00	-	-	-	-
4	12:00	-	-	-	-
5	13:00	-	-	-	-
6	14:00	-	-	-	-
7	15:00	-	-	-	-
8	16:00	-	-	-	-
9	17:00	-	-	-	-
10	18:00	-	-	-	-
11	19:00	16,7	97,1	22,2	29,7
12	20:00	17,2	97,3	22,1	30,5
13	21:00	17,2	97,4	22,1	30,6
14	22:00	17,2	97,4	22,2	30,8
15	23:00	17,2	97,4	22,1	30,2
16	24:00	-	-	-	-
17	01:00	-	-	-	-
18	02:00	-	-	-	-
19	03:00	-	-	-	-
20	04:00	-	-	-	-
21	05:00	-	-	-	-
22	06:00	15,7	97,1	22	28,0
23	07:00	17,2	97,2	22,1	30,7
24	08:00	-	-	-	-

Sumber: Daily Log Sheet PLTA Sipansihaporas Unit 2, 13 Februari 2020

Keterangan:

Data yang kosong “-“ mengartikan bahwa pembangkit tidak beroperasi dikarenakan tidak adanya permintaan beban dari UPB (Unit pengatur Beban) atau jumlah air yang tidak memadai untuk pembangkit beroperasi.

3.4 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian

Sumber: Penulis, 2020

BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Analisa Data Berdasarkan Data Spesifikasi

4.1.1 Pada Unit 1 PLTA Sipansihaporas

Pada PLTA Sipansihaporas, penggerak mula generator sinkron adalah turbin air yang dihubungkan seporos dengan generator. Sehingga daya keluaran dari turbin merupakan daya masuk generator. Dari tabel 3.2 maka diperoleh data:

$$P_{\text{out turbin}} = P_{\text{in generator}} = 34 \text{ MW}$$

Berdasarkan tabel 3.1 dan dengan rumus 2.25 maka diperoleh perhitungan daya keluaran generator sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{out generator}} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ &= \sqrt{3} \times 11000 \text{ V} \times 2047 \text{ A} \times 0.85 \\ &= 33150500 \text{ Watt} \\ &= 33,15 \text{ Mw} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh besar nilai efisiensi generator dengan rumus 2.32 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{generator}} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{33,15}{34} \times 100\% \\ &= 97,5 \% \end{aligned}$$

Jadi besar nilai efisiensi generator sinkron pada unit 1 PLTA Sipansihaporas berdasarkan data spesifikasi adalah sebesar **97,5 %**.

4.1.2 Pada Unit 2 PLTA Sipansihaporas

Pada PLTA Sipansihaporas, penggerak mula generator sinkron adalah turbin air yang dihubungkan seporos dengan generator. Sehingga daya keluaran dari turbin merupakan daya masuk generator. Dari tabel 3.5 maka diperoleh data:

$$P_{\text{out turbin}} = P_{\text{in generator}} = 17,6 \text{ MW}$$

Berdasarkan tabel 3.4 dan dengan rumus 2.25 maka diperoleh perhitungan daya keluaran generator sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{out generator}} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ &= \sqrt{3} \times 11000 \text{ V} \times 1050 \text{ A} \times 0.85 \\ &= 17004409 \text{ Watt} \\ &= 17,004 \text{ Mw} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh besar nilai efisiensi generator dengan rumus 2.32 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{generator}} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{17,004}{17,6} \times 100\% \\ &= 96,61 \% \end{aligned}$$

Jadi besar nilai efisiensi generator sinkron pada unit 2 PLTA Sipansihaporas berdasarkan data spesifikasi adalah sebesar **96,61 %**.

4.2 Analisa Data Berdasarkan Data Harian (*Daily Logsheet*)

4.2.1 Pada Unit 1 PLTA Sipansihaporas

a. Analisa perhitungan Efisiensi Generator Berdsarkan Data Harian (*Daily logsheet*)

Untuk mencari daya masuk generator (P_{in}), perlu diketahui nilai efisiensi turbin. Efisiensi turbin dapat dicari dengan data pada tabel 3.2.

$$P_{\text{out Turbin}} = \eta_{\text{turbin}} \times \rho \times Q \times g \times H$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{P_{\text{out Turbin}}}{\rho \times Q \times g \times H}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{34 \text{ MW}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 27.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 131.6 \text{ m}}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 94,39 \%$$

Berdasarkan pada data pada tabel 3.8 pada pukul 21:00

- Daya Keluaran (P_{out}) = 33,2 MW
- Elevasi Dam (Z_1) = 237,5 Meter
- Ketinggian Tail Race (Z_2) = 94,8 Meter
- Debit (Q) = 27,5 m³/s
- Diameter Penstok (D_p) = 2,2 meter
- Panjang Penstok (L) = 278,21 meter

Dari persamaan Hazen William diperoleh H_L (Head Losses) dengan pipa besi baja ($C = 130$) sebagai berikut:

$$Q = \frac{\pi}{4} D_p^2 \cdot 0,8492 C \cdot \frac{D_p^{0,63}}{4} S^{0,54}$$

$$27,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\pi}{4} 2,2^2 \cdot 0,8492 \cdot 130 \cdot \frac{2,2^{0,63}}{4} S^{0,54}$$

$$S^{0,54} = \frac{27,5}{287,8}$$

$$S^{0,54} = 0,09555$$

$$S = 0,0129$$

$$H_L = S \cdot L$$

$$= 0,0129 \cdot 278,21$$

$$= 3,589 \text{ meter}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_p^2}$$

$$V = \frac{27,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} 2,2^2} = 7,234 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berdasarkan Hukum Bernauli, maka diperoleh Head Total:

$$H_T = Z_1 - Z_2 - \frac{V^2}{2g} - H_L$$

$$H_T = 237,5 \text{ m} - 94,8 \text{ m} - \frac{\left(7,234 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 3,589$$

$$H_T = 136,44 \text{ m}$$

Maka daya input generator yaitu:

$$\begin{aligned} P_{\text{in Generator}} &= P_{\text{out Turbin}} = \eta_{\text{turbin}} \times \rho \times g \times Q \times H \\ &= 94.39 \% \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 27.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 136,44 \text{ m} \\ &= 34,74 \text{ MW} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai efisiensi generator adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{generator}} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{33.2}{34.74} \times 100\% \\ &= 95,56 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan data log sheet Pada tanggal 8 Februari 2020 Pukul 21:00 besar nilai efisiensi generator sinkron Unit 1 PLTA Sipansihaporas adalah sebesar 95,56 %.

4.2.2 Pada Unit 2 PLTA Sipansihaporas

a. Analisa perhidungan Efisiensi Generator Berdsarkan Data Logsheet

Untuk mencari daya masuk generator (P_{in}), perlu diketahui nilai efisiensi turbin. Efisiensi turbin dapat dicari dengan data pada tabel 3.5

$$P_{\text{out Turbin}} = \eta_{\text{turbin}} \times \rho \times Q \times g \times H$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{P_{\text{out Turbin}}}{\rho \times Q \times g \times H}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{17.6 \text{ MW}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 27,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 67 \text{ m}}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 93.97 \%$$

Berdasarkan pada data pada tabel 3.15 pada pukul 24:00

- Daya Keluaran (P_{out}) = 17,3 MW
- Head Tank (Z_1) = 97,3 Meter
- Ketinggian Tail Race (Z_2) = 22,2 Meter
- Debit (Q) = 30,7 m^3/s
- Diameter Penstok (D_p) = 2,6 meter
- Panjang Penstok (L) = 115 meter

Dari persamaan Hazen William diperoleh H_L (Head Losses) dengan pipa besi baja ($C = 130$) sebagai berikut:

$$Q = \frac{\pi}{4} D_p^2 \cdot 0,8492 C \cdot \frac{D_p^{0,63}}{4} S^{0,54}$$

$$30,7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\pi}{4} 2,6^2 \cdot 0,8492 \cdot 130 \cdot \frac{2,6^{0,63}}{4} S^{0,54}$$

$$S^{0,54} = \frac{30,7}{446.81251}$$

$$S^{0,54} = 0,06871$$

$$S = 0,00702$$

$$H_L = S \cdot L$$

$$= 0,00702 \cdot 115$$

$$= 0,807 \text{ Meter}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} Dp^2}$$

$$V = \frac{30,7 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} 2,6 m^2} = 5,785 \frac{m}{s}$$

Berdasarkan Hukum Bernauli, maka diperoleh Head Total:

$$H_T = Z_1 - Z_2 - \frac{V^2}{2g} - H_L$$

$$H_T = 97,3 m - 22,2 m - \frac{\left(5,785 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} - 0,807 m$$

$$H_T = 72,587 \text{ Meter}$$

Maka daya input generator yaitu:

$$P_{in} \text{ Generator} = P_{out} \text{ Turbin} = \eta_{\text{turbin}} \times \rho \times g \times Q \times H$$

$$= 93,97 \% \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 30,7 \frac{m^3}{s} \times 72,587 m$$

$$= 20,54 \text{ MW}$$

Sehingga nilai efisiensi generator adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{17,3}{20,54} \times 100\%$$

$$= 84,22 \%$$

Berdasarkan data log sheet Pada tanggal 8 Februari 2020 Pukul 21:00 besar nilai efisiensi generator sinkron Unit 2 PLTA Sipansihaporas adalah sebesar 84,22%.

b. Perbandingan Hasil Analisa Data dan Grafik Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas

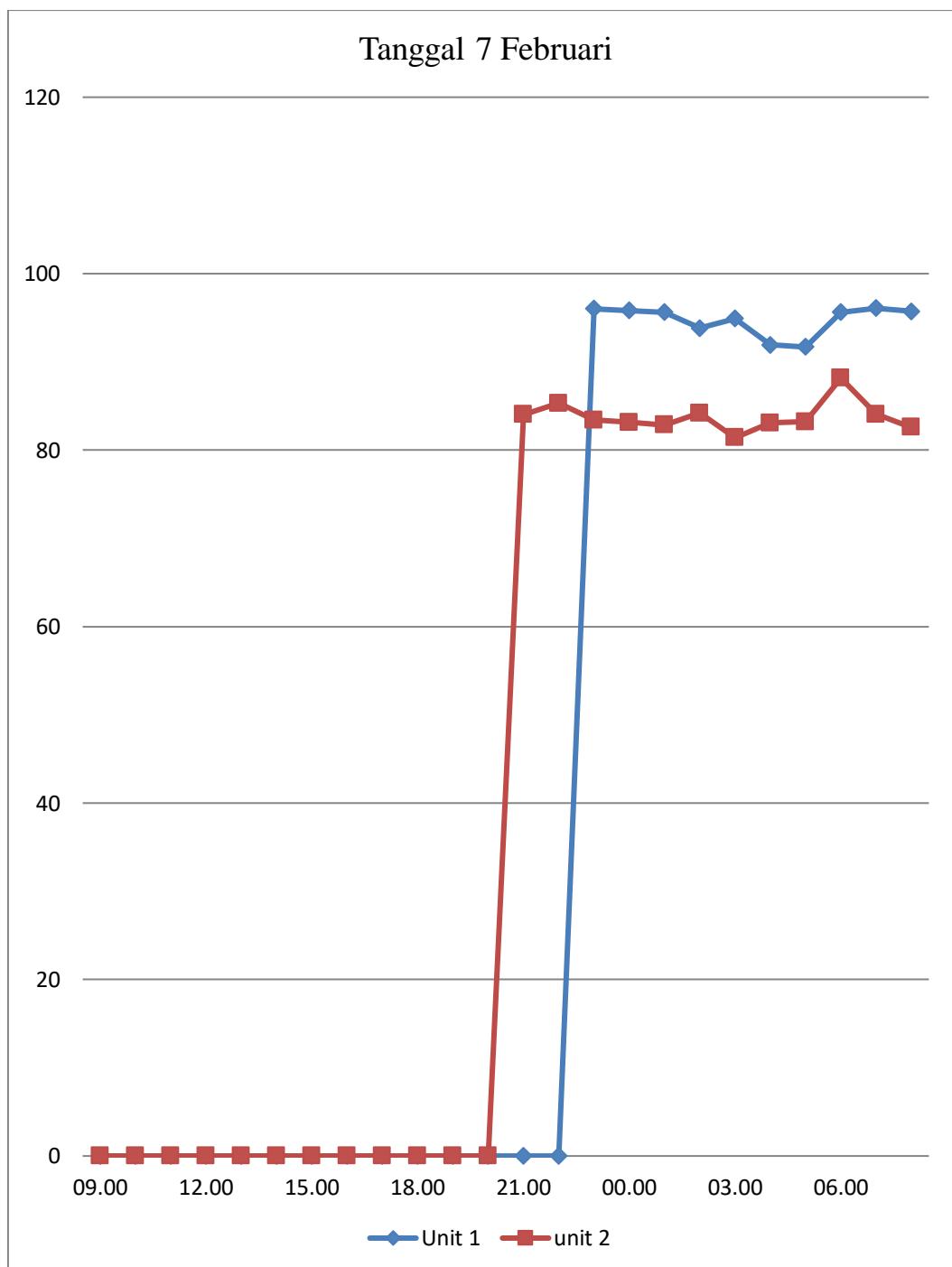
Tabel 4.1 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Jumat, 7 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	-	-	-	-	-	-
2	10.00	-	-	-	-	-	-
3	11.00	-	-	-	-	-	-
4	12.00	-	-	-	-	-	-
5	13.00	-	-	-	-	-	-
6	14.00	-	-	-	-	-	-
7	15.00	-	-	-	-	-	-
8	16.00	-	-	-	-	-	-
9	17.00	-	-	-	-	-	-
10	18.00	-	-	-	-	-	-
11	19.00	-	-	-	-	-	-
12	20.00	-	-	-	-	-	-
13	21.00	-	-	-	17,1	20,350	84,03
14	22.00	-	-	-	17,1	20,042	85,32
15	23.00	33,1	34,475	96,01	15,7	18,819	83,43
16	24.00	33,2	34,641	95,84	14,9	17,919	83,15
17	01.00	33,1	34,616	95,62	14,7	17,739	82,87
18	02.00	33,3	35,495	93,82	17,1	20,311	84,19
19	03.00	33,0	34,768	94,91	14,8	18,181	81,40
20	04.00	26,4	28,721	91,92	17,2	20,701	83,09
21	05.00	26,6	29,005	91,71	17,2	20,673	83,20
22	06.00	33,0	34,512	95,62	16,8	19,055	88,17
23	07.00	33,0	34,346	96,08	17,3	20,582	84,05

24	08.00	32,9	34,372	95,72	17,1	20,706	82,58
----	-------	------	--------	-------	------	--------	-------

Sumber : Penulis, 2020

Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 7 Februari 2020

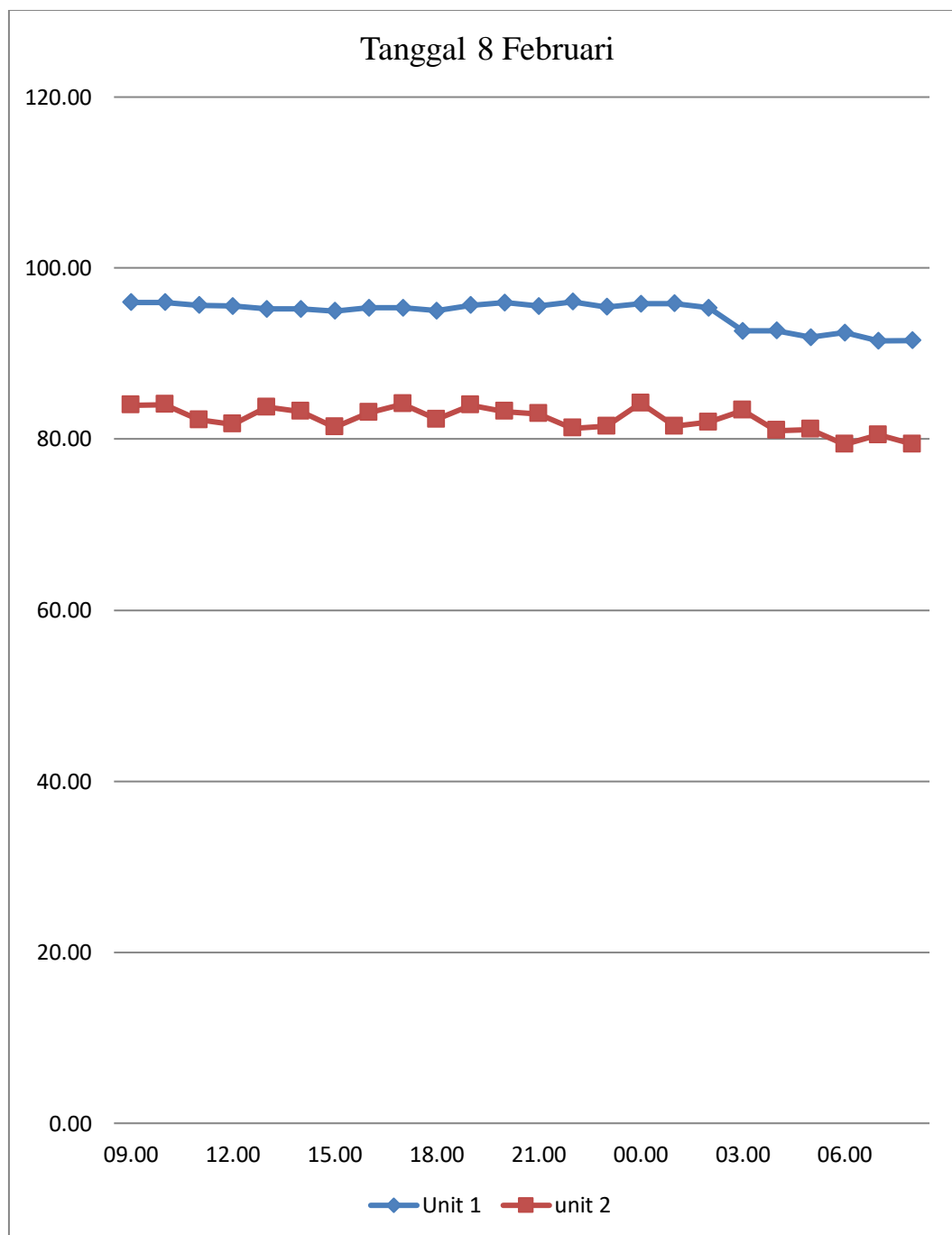


Sumber : Penulis, 2020

Tabel 4.2 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Sabtu, 8 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	32,9	34,271	96,00	17,0	20,244	83,98
2	10.00	33,0	34,372	96,01	16,8	19,995	84,02
3	11.00	33,0	34,494	95,67	17,2	20,917	82,23
4	12.00	33,0	34,537	95,55	17,2	21,041	81,75
5	13.00	33,0	34,654	95,23	17,2	20,543	83,73
6	14.00	33,0	34,654	95,23	17,2	20,668	83,22
7	15.00	33,0	34,743	94,98	17,2	21,132	81,39
8	16.00	33,0	34,602	95,37	17,2	20,696	83,11
9	17.00	33,0	34,602	95,37	17,2	20,452	84,10
10	18.00	32,9	34,628	95,01	17,2	20,892	82,33
11	19.00	33,1	34,602	95,66	17,2	20,486	83,96
12	20.00	33,1	34,487	95,98	17,2	20,668	83,22
13	21.00	33,2	34,743	95,56	17,2	20,730	82,97
14	22.00	33,1	34,462	96,05	17,2	21,165	81,27
15	23.00	33,0	34,577	95,44	17,2	21,103	81,51
16	24.00	33,0	34,436	95,83	17,3	20,543	84,21
17	01.00	33,1	34,526	95,87	17,2	21,103	81,51
18	02.00	32,9	34,501	95,36	17,2	20,979	81,99
19	03.00	26,8	28,921	92,67	16,5	19,791	83,37
20	04.00	26,1	28,156	92,70	14,8	18,270	81,01
21	05.00	26,1	28,398	91,91	14,3	17,629	81,12
22	06.00	26,4	28,559	92,44	14,3	18,014	79,38
23	07.00	26,0	28,418	91,49	14,6	18,142	80,48
24	08.00	25,9	28,297	91,53	14,2	17,886	79,39

Sumber: Penulis, 2020

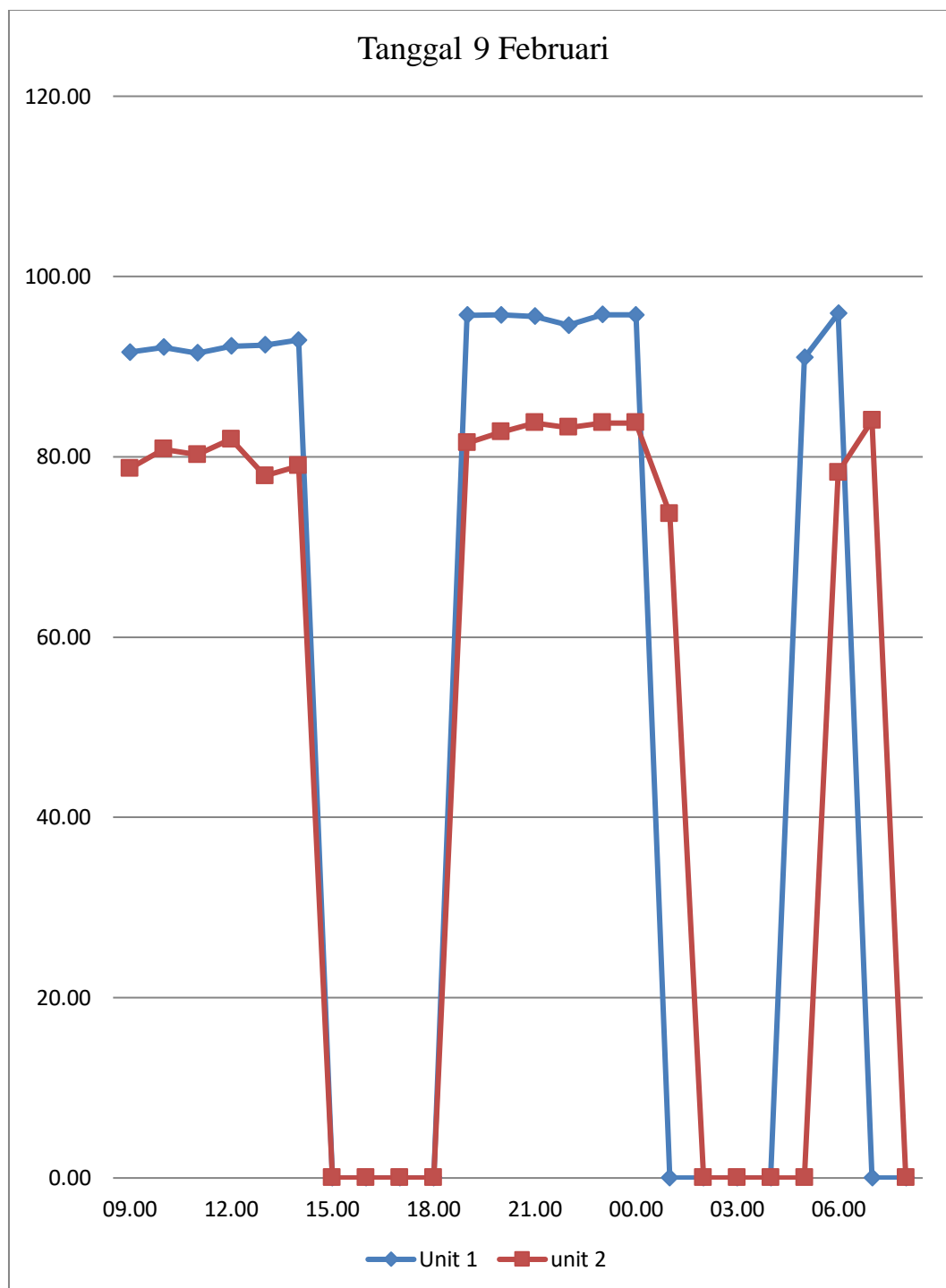
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 8 Februari 2020

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.3 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Minggu, 9 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	26,0	28,377	91,62	14,4	18,295	78,71
2	10.00	26,0	28,216	92,15	14,3	17,693	80,82
3	11.00	25,8	28,195	91,51	14,3	17,822	80,24
4	12.00	26,0	28,175	92,28	14,2	17,331	81,93
5	13.00	26,0	28,134	92,42	13,9	17,846	77,89
6	14.00	26,0	27,973	92,95	14,4	18,231	78,99
7	15.00	-	-	-	-	-	-
8	16.00	-	-	-	-	-	-
9	17.00	-	-	-	-	-	-
10	18.00	-	-	-	-	-	-
11	19.00	32,9	34,374	95,71	15,0	18,397	81,53
12	20.00	32,7	34,159	95,73	17,0	20,543	82,75
13	21.00	32,9	34,424	95,57	17,1	20,412	83,78
14	22.00	32,8	34,671	94,60	17,1	20,537	83,26
15	23.00	33,0	34,460	95,76	17,1	20,412	83,78
16	24.00	32,9	34,367	95,73	17,1	20,412	83,78
17	01.00	-	-	-	9,0	12,215	73,68
18	02.00	-	-	-	-	-	-
19	03.00	-	-	-	-	-	-
20	04.00	-	-	-	-	-	-
21	05.00	25,0	27,473	91,00	-	-	-
22	06.00	33,0	34,409	95,91	12,7	16,229	78,26
23	07.00	26,0	28,377	91,62	16,5	19,638	84,02
24	08.00	26,0	28,216	92,15	-	-	-

Sumber: Penulis, 2020

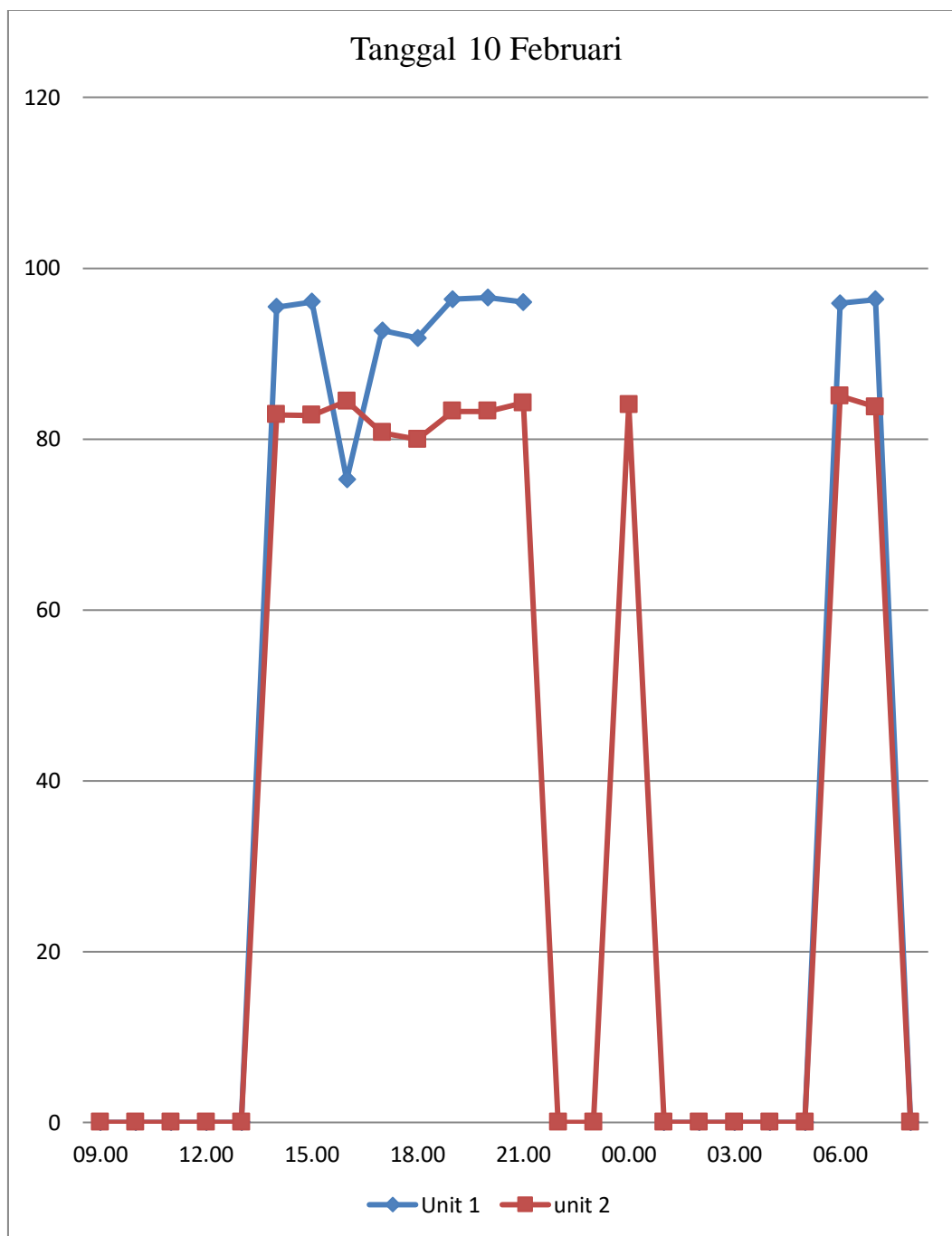
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 9 Februari 2020

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.4 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Senin, 10 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	-	-	-	-	-	-
2	10.00	-	-	-	-	-	-
3	11.00	-	-	-	-	-	-
4	12.00	-	-	-	-	-	-
5	13.00	-	-	-	-	-	-
6	14.00	33,0	34,577	95,44	15,4	18,589	82,85
7	15.00	33,0	34,361	96,04	17,0	20,543	82,75
8	16.00	25,8	34,284	75,25	17,1	20,258	84,41
9	17.00	25,5	27,512	92,69	14,2	17,589	80,73
10	18.00	25,1	27,333	91,83	14,3	17,886	79,95
11	19.00	32,9	34,143	96,36	17,1	20,543	83,24
12	20.00	33,0	34,178	96,55	17,2	20,662	83,24
13	21.00	32,8	34,162	96,01	17,3	20,537	84,24
14	22.00	-	-	-	-	-	-
15	23.00	-	-	-	-	-	-
16	24.00	-	-	-	17,1	20,350	84,03
17	01.00	-	-	-	-	-	-
18	02.00	-	-	-	-	-	-
19	03.00	-	-	-	-	-	-
20	04.00	-	-	-	-	-	-
21	05.00	-	-	-	-	-	-
22	06.00	33,0	34,412	95,90	16,3	19,171	85,03
23	07.00	33,0	34,259	96,33	17,2	20,537	83,75
24	08.00	-	-	-	-	-	-

Sumber : Penulis, 2020

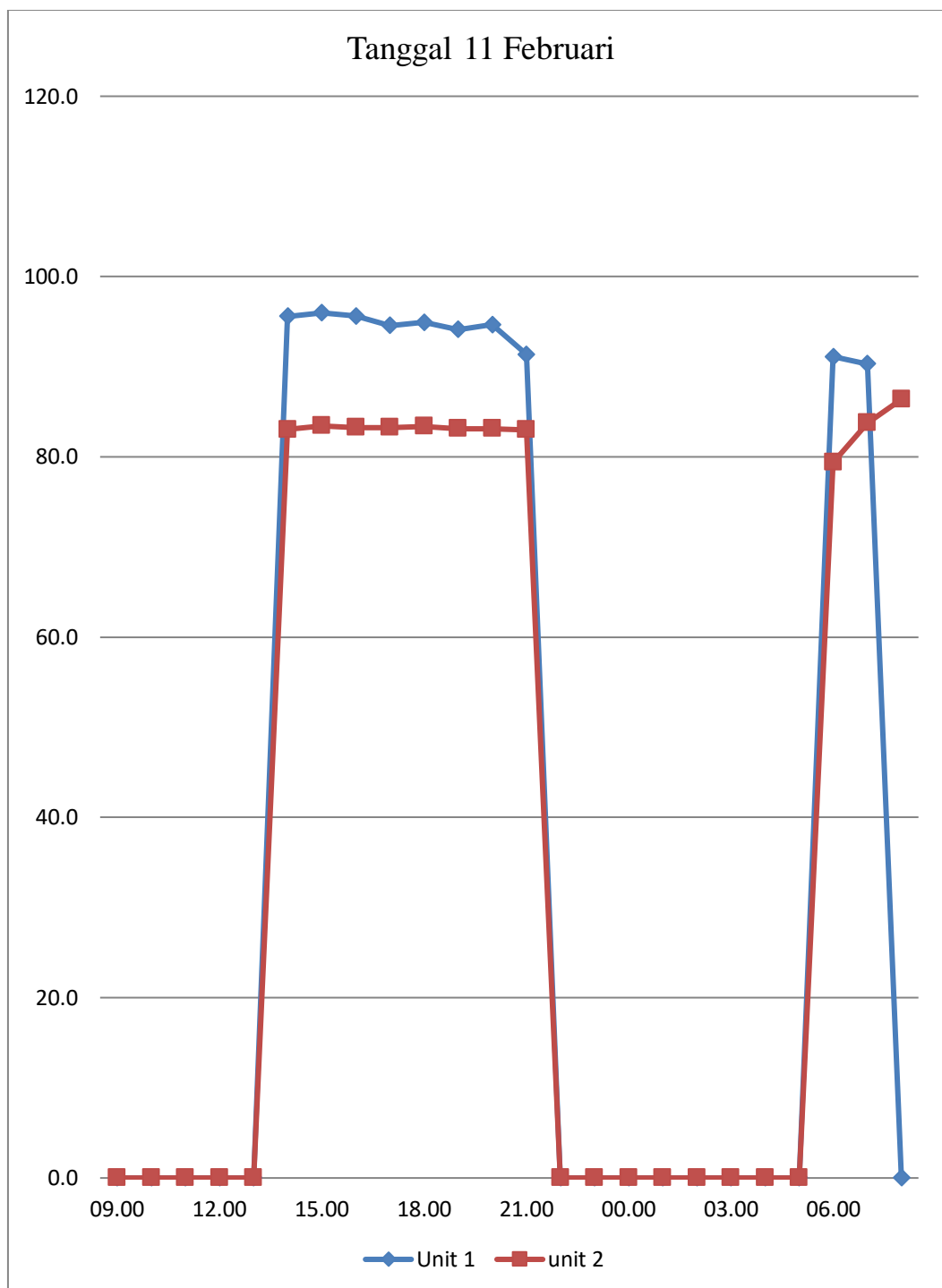
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 10 Februari 2020

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.5 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Selasa, 11 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	-	-	-	-	-	-
2	10.00	-	-	-	-	-	-
3	11.00	-	-	-	-	-	-
4	12.00	-	-	-	-	-	-
5	13.00	-	-	-	-	-	-
6	14.00	32,9	34,42	95,57	15,8	19,03	83,03
7	15.00	33,0	34,39	95,97	17,3	20,73	83,45
8	16.00	32,8	34,31	95,60	17,2	20,66	83,24
9	17.00	32,8	34,69	94,56	17,2	20,66	83,24
10	18.00	32,8	34,56	94,91	17,2	20,63	83,38
11	19.00	32,9	34,95	94,13	17,2	20,69	83,13
12	20.00	32,9	34,76	94,66	17,2	20,69	83,13
13	21.00	25,9	28,35	91,37	17,1	20,61	82,98
14	22.00	-	-	-	-	-	-
15	23.00	-	-	-	-	-	-
16	24.00	-	-	-	-	-	-
17	01.00	-	-	-	-	-	-
18	02.00	-	-	-	-	-	-
19	03.00	-	-	-	-	-	-
20	04.00	-	-	-	-	-	-
21	05.00	-	-	-	-	-	-
22	06.00	25,9	28,43	91,09	13,2	16,63	79,38
23	07.00	25,6	28,35	90,29	14,2	16,95	83,76
24	08.00	-	-	-	10,9	12,62	86,38

Sumber: Riza Azharny, 2020

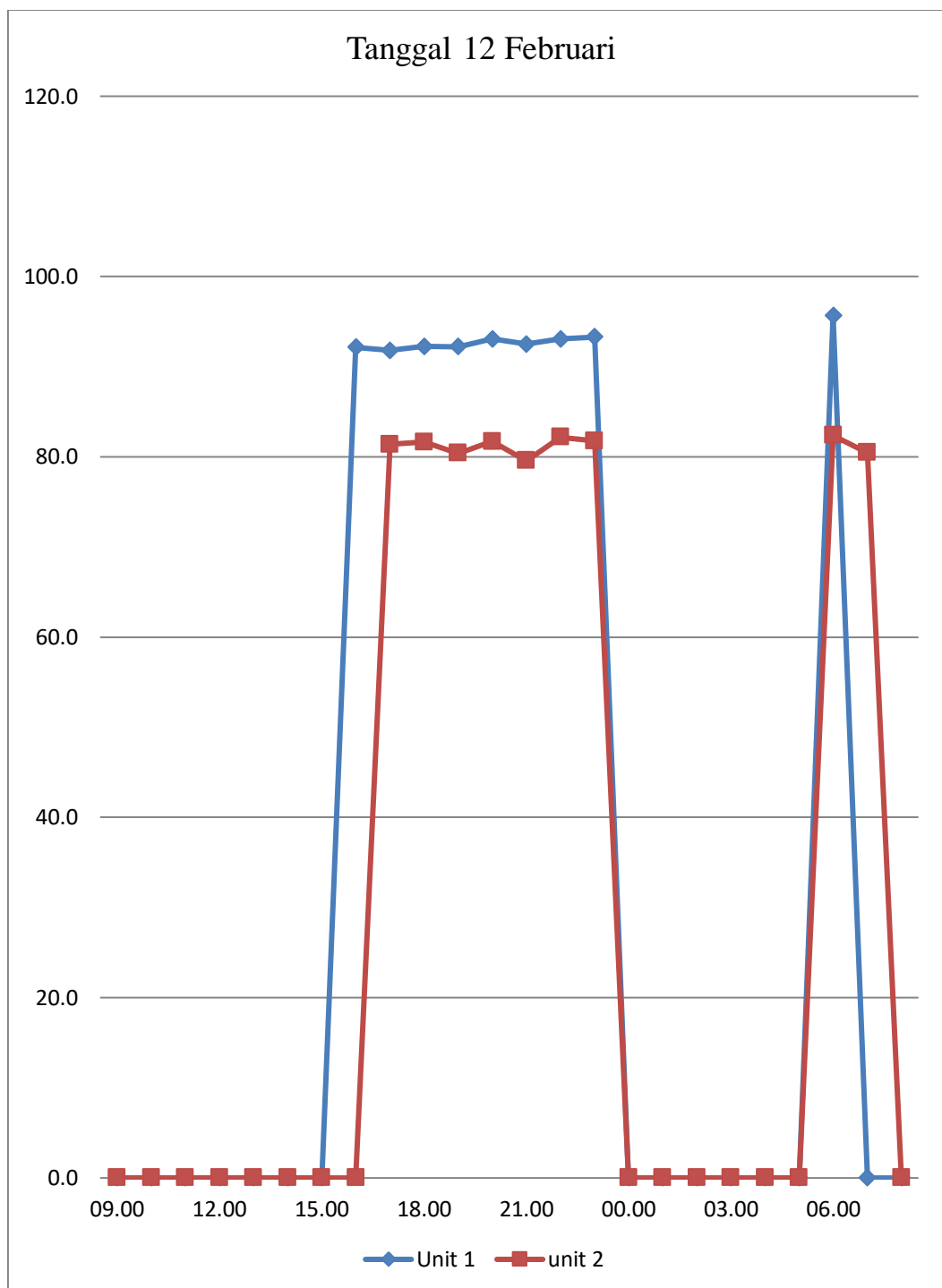
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 11 Februari 2020

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.6 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Rabu, 12 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	-	-	-	-	-	-
2	10.00	-	-	-	-	-	-
3	11.00	-	-	-	-	-	-
4	12.00	-	-	-	-	-	-
5	13.00	-	-	-	-	-	-
6	14.00	-	-	-	-	-	-
7	15.00	-	-	-	-	-	-
8	16.00	26,5	28,759	92,15	-	-	-
9	17.00	26,4	28,759	91,80	13,7	16,832	81,39
10	18.00	26,5	28,733	92,23	14,4	17,641	81,63
11	19.00	26,0	28,192	92,22	14,2	17,665	80,39
12	20.00	26,2	28,151	93,07	14,0	17,137	81,69
13	21.00	26,2	28,328	92,49	13,5	16,966	79,57
14	22.00	26,2	28,146	93,08	14,1	17,160	82,17
15	23.00	26,2	28,085	93,29	13,8	16,878	81,76
16	24.00	-	-	-	-	-	-
17	01.00	-	-	-	-	-	-
18	02.00	-	-	-	-	-	-
19	03.00	-	-	-	-	-	-
20	04.00	-	-	-	-	-	-
21	05.00	-	-	-	-	-	-
22	06.00	32,7	34,186	95,65	15,1	18,334	82,36
23	07.00	-	-	-	12,5	15,535	80,46
24	08.00	-	-	-	-	-	-

Sumber: Penulis, 2020

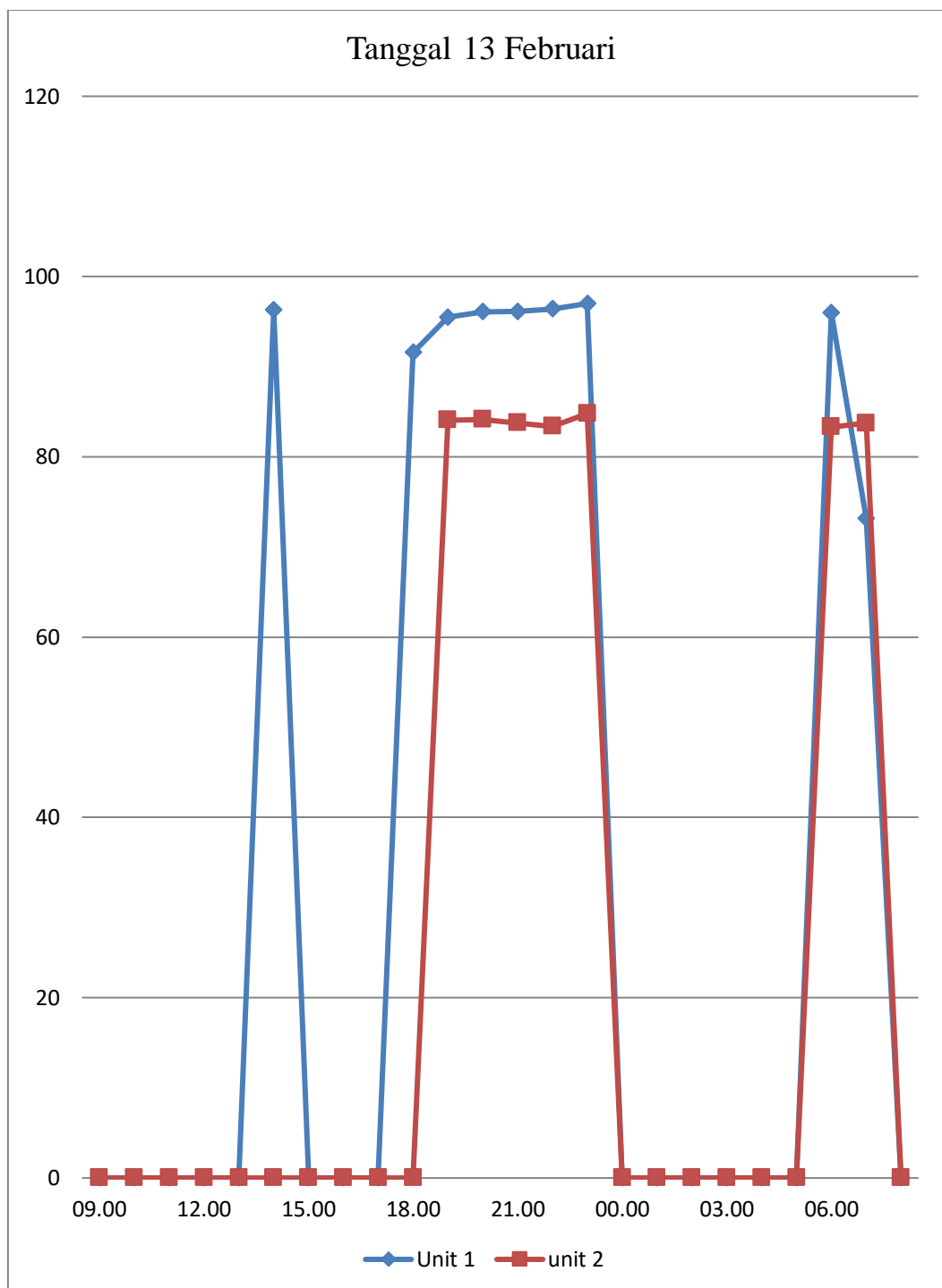
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 12 Februari 2020

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.7 Hasil Analisa Daya Input dan Perbandingan Efisiensi Unit 1 dan Unit 2 PLTA Sipansihaporas Pada Hari Kamis, 13 Februari 2020

No.	Waktu	Unit 1			Unit 2		
		P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)	P _{out} (MW)	P _{in} (MW)	Efisiensi (%)
1	09.00	-	-	-	-	-	-
2	10.00	-	-	-	-	-	-
3	11.00	-	-	-	-	-	-
4	12.00	-	-	-	-	-	-
5	13.00	-	-	-	-	-	-
6	14.00	33,0	34,27	96,29	-	-	-
7	15.00	-	-	-	-	-	-
8	16.00	-	-	-	-	-	-
9	17.00	-	-	-	-	-	-
10	18.00	25,8	28,53	90,44	-	-	-
11	19.00	32,8	34,60	94,79	16,7	19,862	84,08
12	20.00	32,9	34,24	96,08	17,2	20,446	84,12
13	21.00	32,9	34,23	96,11	17,2	20,537	83,75
14	22.00	32,9	34,12	96,42	17,2	20,634	83,36
15	23.00	33,0	34,02	97,00	17,2	20,286	84,79
16	24.00	-	-	-	-	-	-
17	01.00	-	-	-	-	-	-
18	02.00	-	-	-	-	-	-
19	03.00	-	-	-	-	-	-
20	04.00	-	-	-	-	-	-
21	05.00	-	-	-	-	-	-
22	06.00	32,9	34,97	94,08	15,7	18,843	83,32
23	07.00	25,0	34,17	73,15	17,2	20,543	83,73
24	08.00	-	-	-	-	-	-

Sumber : Penulis, 2020

Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Efisiensi Pada 13 Februari 2020

Sumber : Penulis, 2020

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penulis, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan data spesifikasi, diperoleh efisiensi unit 1 sebesar 97,50% dan efisiensi unit 2 sebesar 96,61%.
- b. Berdasarkan data harian diperoleh rata-rata efisiensi unit 1 sebesar 93,88 %, dengan efisiensi tertinggi dan terendah yaitu 97,00% dan 73,15%. Dan diperoleh rata-rata efisiensi unit 2 sebesar 82,49 % dengan efisiensi tertinggi dan terendah yaitu 88,17% dan 73,68 %.
- c. Terdapat perbedaan efisiensi antara data spesifikasi dengan data harian, pada unit 1 sebesar 3,62% dan untuk unit 2 sebesar 14,12 %.
- d. Baik berdasarkan data spesifikasi ataupun data harian, efisiensi generator di PLTA Sipansihaporas pada unit 1 lebih baik dari pada unit 2.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa penulis, adapun saran penulis yaitu:

- a. Sebaiknya lebih banyak data yang akan dianalisa.
- b. Sebaiknya dilakukan lebih rutin untuk pemeriksaan/pemeliharaan/perawatan pada generator, terutama untuk unit 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Hendini, 2016. "*Pemodelan UML Sistem Informasi Monitoring Penjualan Dan Stok Barang (Studi Kasus: Distro Zhezha Pontianak)*". Jurnal Mahasiswa Program Studi Manajemen Informatika AMIK BSI Pontianak
- Ambrina, Kundyani. 2015. "*Sistem Informasi Geografis Pariwisata Kota Semarang*". Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Diponegoro.
- Andi Juansyah, 2015. "*Pembangunan Aplikasi Child Tracker Berbasis Assisted-Global Positioning System (A-GPS) Dengan Platform Android*". Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika – Universitas Komputer Indonesia.
- Batubara, S. (2017). Analisis perbandingan metode fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno untuk penentuan kualitas cor beton instan. *IT Journal Research and Development*, 2(1), 1-11.
- Desiani, Anita dan Muhammad Arhami. 2015. *Konsep Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Eka Putri, Tiara, Dkk, 2015. "*Implementasi Metode CBR (Case Based Reasoning) Dalam Pemilihan Pestisida Terhadap Hama Padi Sawah Menggunakan Algoritma Knearest Neighbor (KNN) (Studi Kasus Kabupaten Seluma)*". Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika Universitas Bengkulu.
- Fachri, B., & Surbakti, R. W. (2021). Perancangan Sistem Dan Desain Undangan Digital Menggunakan Metode Waterfall Berbasis Website (Studi Kasus: Asco Jaya). *JOURNAL OF SCIENCE AND SOCIAL RESEARCH*, 4(3), 263-267.
- Jogiyanto, Hartono. 2013. "*Analisis & desain sistem informasi : pendekatan terstruktur teori dan praktek aplikasi bisnis*". Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Madcoms Team. 2017. *Seri Panduan Lengkap : Macromedia Dreamweaver 8*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- Maulani, J., Amin, M., & Mahalisa, G. (2021). IMPLEMENTASI PENERAPAN METODE WATERFALL PADA APLIKASI SISTEM INFORMASI TV KABEL ONLINE DAN MOBILE. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 12(4), 272-277.
- Nasution, D., Nasution, D., & Lubis, S. A. (2019, November). Enhance A Methode Power System Policies Based On SCS (Solar Cell System). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1361, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- Purwanto, B., & Yulianto, A. N. Wave Making Resistance Investigation Of Submarine 22 M In Surface Condition.
- Romindo, 2017. "*Perancangan Aplikasi E-Learning Berbasis Web Pada SMA Padamu Negeri Medan*". Jurnal Mahasiswa Politeknik Ganesha Medan.