

LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN

**PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK DARI PEMBANGKIT MINIHIDRO
PADA MASYARAKAT KECAMATAN ENDE TIMUR**

Uji Seminar KP

**Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro
(PLTM)**



Disusun oleh :

Putri Febriany

2200014007

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI TERAPAN
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
YOGYAKARTA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN

Judul : Pemanfaatan Energi Listrik Dari Pembangkit Minihidro Pada Masyarakat Kecamatan Ende Timur

Tempat PKL : Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Alamat : Jl. Trans Ende-Maumere, Tiwutewa, Kec. Ende Timur., Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur.

Periode PKL : 05 Februari – 05 April 2025

Disusun oleh :

Nama : Putri Febriany

NIM : 2200014007

Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing



Qonitatu Hidayah, S.Si., M.Si.
NIPM. 199005202015080111212810

Pembimbing Lapangan



Muhammad Fayiz Sulthon Imadudin
NIP. 0123664ZY

Mengetahui

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Terapan



Dr. H. Yudi Ari Adi, S.Si., M.Si.

NIY. 60020389

Ketua Program Studi Fisika



Damar Yoga Kusuma, B.Eng., Ph.D

NIY. 60150785

Laporan Praktik Kerja Lapangan

Pemanfaatan Energi Listrik Dari Pembangkit Minihidro
Pada Masyarakat Kecamatan Ende Timur

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh :

Putri Febriany

2200014007

Yang Disetujui dan Disahkan Oleh :

PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkit Flores
Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) NDUNGA

Pada tanggal 19 Agustus 2025

Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat

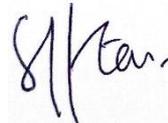
Disahkan Oleh :

Pembimbing lapangan

Manager UI/PL Mataloko



Gabriel Gella
NIP. 8002021H3



Muhammad Fayiz Sulthon Imadu
NIP. 0123664ZY

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbil 'alamin*, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena berkat Rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan dan laporan yang berjudul “Pemanfaatan Energi Listrik Dari Pembangkit Minihidro Pada Masyarakat Kecamatan Ende Timur” dengan lancar.

Laporan Praktik Kerja Lapangan ini disusun dalam rangka kegiatan Praktik Kerja Lapangan selama dua bulan di Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dengan melakukan pengambilan data debit air, data kebutuhan listrik masyarakat setempat dan menghitung daya keluaran keseluruhan PLTM. Hal yang lebih detail akan dibahas di dalam laporan ini.

Dalam penulisan laporan ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak yang telah banyak memberikan masukan, motivasi, semangat, ilmu, serta bimbingannya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada.

1. Bapak Damar Yoga Kusuma, B.Eng., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Ahmad Dahlan.
2. Bapak Drs. Margi Sasono, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik
3. Ibu Qonitatul Hidayah, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Praktik Kerja Lapangan.
4. Mas Muhammad Fayis Sulthon Imadudin, selaku Pembimbing Praktik Kerja Lapangan
5. Jajaran operator PLTM Ndungga yang sudah banyak membantu dan memberi ilmu seputar alat-alat yang ada pada PLTM Ndungga.
6. Mama, kakak, adik, beserta keluarga yang tidak pernah henti memberikan dukungan baik dukungan moril maupun materil serta kakak dan adik saya juga berbagai pihak lainnya.
7. Teman saya Fatika Adiyani Russo, kakak tingkat saya Muhammad Maulidan dan kakak tingkat lintas prodi saya Rani Swita Juliyanti Ismail, serta teman-teman kelas Fisika UAD angkatan 2022 terkhususnya Fitri Rochana atas semangat dan bantuannya.
8. Kedua sahabat saya Pankrasia Pati Adji dan Maria Yuni Trisanta Ghawa, yang sudah banyak membantu saya dan selalu memberi dukungan serta motivasi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Praktik Kerja Lapangan ini masih banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, berbagai kritik, saran, masukan dan komentar yang membangun sangat diharapkan untuk kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Praktik Kerja Lapangan ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Ende, 19 Agustus 2025

Putri Febriany

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	1
KATA PENGANTAR.....	3
DAFTAR ISI.....	4
BAB I.....	7
PENDAHULUAN	7
1. Latar Belakang	7
1.1 Rumusan Masalah.....	8
1.2 Tujuan Praktik Kerja Lapangan.....	9
1.3 Manfaat Penelitian	9
1.4 Lokasi dan Waktu Praktik Kerja Lapangan.....	9
BAB II	10
TINJAUAN INSTANSI.....	10
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM).....	10
2.1.1 Pendahuluan	10
2.1.2 Sejarah Singkat	11
2.1.3 Visi dan Misi PLTM.....	11
a. Visi	11
b. Misi	11
2.1.4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	11
2.1.5 Struktur Organisasi dan Tata Kerja PLTM Ndungga.....	12
2.1.6 DATA TEKNIS PLTM NDUNGGa.....	12
BAB III	15
LANDASAN TEORI.....	15
3.1 Konsep Energi Minihidro.....	15
3.2 Komponen utama	17
Gambar 3.2 (a) Weir, (b) intake pada PLTM Ndungga.....	18
Gambar 3.3. Waterway	18
Gambar 3.4. Headpond pada PLTM Ndungga.....	18
Gambar 3.5. Penstock PLTM Ndungga	19

Gambar 3.6. <i>Turbin Air</i> pada PLTM Ndungga.....	20
Gambar 3.7. <i>Generator</i> pada PLTM Ndungga.....	20
Gambar 3.8. <i>Panel Governor</i> pada PLTM Ndungga	21
Gambar 3.9. <i>Main Inlet Valve</i> pada PLTM Ndungga	22
Gambar 3.10. <i>Power House</i> pada PLTM Ndungga.....	23
Gambar 3.11. (a) Trafo step-up unit 1 (b) Trafo step-up unit 2 PLTM Ndungga	23
Gambar 3.12. <i>Trafo Auxiliary</i> PLTM Ndungga	24
Gambar 3.13. <i>Jaringan Distribusi</i> pada PLTM Ndungga.....	24
Gambar 3.14. <i>Saluran Pembuangan (Tailrace)</i> pada PLTM Ndungga	25
3.3 Distribusi Listrik di Wilayah Terpencil.....	25
Gambar 3.15. <i>Turbin dan Generator</i> PLTM Ndungga Ende	26
3.4 Bendungan Sebagai Infrastruktur PLTM.....	27
3.5 Saluran Pembawa dan Pipa Pesat.....	28
3.6 Turbin dan Generator	29
3.7 Sistem Distribusi dan Transformator	32
BAB IV.....	35
METODOLOGI	35
4.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	35
4.1.1 Alat dan Bahan	35
4.1.2 Metode Pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan.....	35
Gambar 4.1. Diagram alir metode Praktik Kerja Lapangan	36
4.1.3 Teknik Pengumpulan dan Pencatatan Data.....	37
Gambar 4.2. Format logsheet pencatatan data parameter pembangkit	37
4.1.4 Proses Pengambilan Data	37
Gambar 4.3. Dokumentasi Panel LCU (Local Control Unit) pada PLTM Ndungga. (a) Panel LCU Unit 1, (b) Panel LCU Unit 2	38
BAB V.....	39
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
5.1 Hasil	39
5.1.1. Rata-rata daya perhari pada Unit 1 dan Unit 2	39
5.2. Pembahasan	44
5.2.1 Pembahasan Parameter Pendukung.....	45

5.3 Pembahasan Total kWh Unit, Stand kWh Line, dan Hasil kWh \times 6000	48
5.4 Pembahasan Atas Rumusan Masalah.....	49
BAB VI.....	51
KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
6.1 Kesimpulan.....	51
6.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	54

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Kemajuan teknologi di segala bidang meningkat dengan begitu cepat, kemajuan ini membawa konsekuensi peningkatan kebutuhan akan daya listrik. Listrik merupakan salah bentuk energi yang banyak dibutuhkan, ini dimungkinkan karena energi listrik mudah dalam penyaluran dan dapat dengan mudah diubah ke bentuk energi yang lain. Listrik menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat baik dalam bidang industri maupun rumah tangga. Energi listrik yang selama ini didominasi oleh sumber fosil, mulai menghadapi tantangan dari segi energi baru terbarukan (EBT) menjadi alternatif yang sangat menjanjikan. Salah satu bentuk EBT adalah Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), yang memanfaatkan aliran air sungai untuk menghasilkan energi listrik. PLTM menjadi solusi berkelanjutan terutama di daerah yang belum terjangkau listrik utama, karena bersifat ramah lingkungan dan potensi sumber dayanya melimpah di Indonesia.. Namun, distribusi listrik ke wilayah terpencil masih menjadi tantangan. Pemanfaatan energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), menjadi solusi yang berkelanjutan untuk daerah yang belum terjangkau jaringan listrik utama.

Di Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan yang sangat melimpah, seperti, pemanfaatan panas bumi, biodiesel, pemanfaatan surya, energi angin dan *hydro power*. Oleh karena itu, kita harus dapat menganalisa dan melihat potensi pemanfaatan energi potensial yang ada disekitar kita. Dari berbagai sumber energi terbarukan yang ada, *hydro power* merupakan salah satu teknologi sumber energi terbarukan yang efisien dalam pengembangannya. *Hydro power* memproduksi listrik dari hasil konversi energi perpindahan air dari tempat tinggi ke tempat rendah, sehingga pengembangan teknologi ini secara ekonomis dapat diprediksi dan dikomersil. Dalam perkembangannya, teknologi *hydro power* dibagi menjadi dua klasifikasi, yaitu kapasitas daya dan fasilitasnya.

PLTM memanfaatkan aliran sungai atau air terjun kecil untuk menghasilkan listrik dengan biaya operasional yang relatif rendah dan dampak lingkungan yang minim. Dengan memanfaatkan energi ini, rumah tangga di wilayah terpencil dapat

menikmati akses listrik yang stabil dan berkelanjutan, sehingga mendukung peningkatan kualitas hidup, pendidikan, dan ekonomi masyarakat. PLTM Ndungga memanfaatkan air sungai Ndungga sebagai sumber energi listrik. Daerah sungai Ndungga medianya berbukit dan memiliki kapasitas aliran yang mencukupi untuk menghidupkan turbin secara maksimal. Berdasarkan debit andalan atau ketersediaan debit pada daerah pengaliran sungai lokasi bendungan PLTM Ndungga maka akan didapatkan tinggi jatuh energi yang mencukupi. Maka dari itu sungai Ndungga berpotensi untuk dibuatnya PLTM dengan kapasitas (3x2 MW).

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Ndungga memberikan kesempatan bagi mahasiswa melalui program Praktik Kerja Lapangan (PKL) untuk mengetahui, memahami, dan mempraktikkan ilmu yang di dapatkan di dunia perkuliahan secara langsung khususnya di bidang energi baru terbarukan.

Melalui program Praktik Kerja Lapangan di PLTM Ndungga, penulis melaksanakan kegiatan yang bertujuan untuk memahami proses operasional dan perawatan sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Aktivitas yang dilakukan meliputi pencatatan logsheet operasi panel unit, pengamatan proses pembersihan bendungan untuk memastikan aliran air tetap optimal, serta pengecekan *Main Inlet Valve* (MIV) yang berperan penting dalam pengaturan aliran air ke turbin. Kegiatan ini memberikan pengalaman langsung terkait pemantauan kinerja sistem dan pemeliharaan rutin yang diperlukan agar PLTM dapat beroperasi secara efisien dan berkelanjutan.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa masalah yang akan dibahas dalam laporan ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana prinsip kerja dan mekanisme pemanfaatan energi minihidro untuk distribusi listrik?
2. Sejauh mana efektivitas PLTM dalam memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga di wilayah terpencil?
3. Apa saja tantangan dalam implementasi dan pengelolaan PLTM di daerah terpencil?

1.2 Tujuan Praktik Kerja Lapangan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari Praktik Kerja Lapangan ini sebagai berikut.

1. Menganalisis prinsip kerja dan teknologi yang digunakan dalam PLTM
2. Mengevaluasi efektivitas PLTM dalam menyediakan listrik bagi rumah tangga di wilayah terpencil.
3. Mengidentifikasi kendala dan memberikan rekomendasi untuk optimalisasi pemanfaatan energi minihidro.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- **Bagi Mahasiswa**
 - a. Mahasiswa dapat menerapkan ilmu yang didapatkan selama perkuliahan pada industri atau lembaga tempat Kerja Praktik dilaksanakan.
 - b. Menyiapkan diri mahasiswa dalam menghadapi dunia kerja pada masa yang akan datang.
 - c. Meningkatkan pemahaman ilmu pengetahuan yang terkait dengan energi terbarukan.
- **Bagi Universitas Ahmad Dahlan (UAD)**
 - a. Sebagai sarana perkembangan IPTEK, khususnya di dunia Fisika sebagai bahan pertimbangan dalam penyusunan program bagi Universitas Ahmad Dahlan (UAD).
 - b. Sebagai bahan masukan dan evaluasi program pendidikan di UAD untuk menghasilkan tenaga-tenaga terampil sesuai kebutuhan industri dan bidang masing-masing.
- **Bagi PLTM NDUNGA**
 - a. Sebagai wadah untuk menjalin kerja sama dengan Perguruan Tinggi, khususnya Universitas Ahmad Dahlan.
 - b. Sebagai sarana penyebaran ilmu pengetahuan dan teknologi energi terbarukan bagi dunia pendidikan, khususnya pada kalangan mahasiswa.

1.4 Lokasi dan Waktu Praktik Kerja Lapangan

Praktik kerja lapangan dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) *Ndungga* yang beralamat di Jl. Trans Ende-Maumere. Tiwutewa, Kec. Ende Timur, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur. PKL ini dilaksanakan secara *offline* selama 2 bulan yaitu mulai tanggal 5 Februari 2025 sampai dengan tanggal 5 april 2025.

BAB II

TINJAUAN INSTANSI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

2.1.1 Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial air sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik. PLTM termasuk dalam kategori pembangkit energi terbarukan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca dan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbarui, yakni aliran air. Umumnya, PLTM dibangun di daerah-daerah yang memiliki aliran sungai dengan debit air yang cukup namun tidak terlalu besar, sehingga cocok untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di wilayah terpencil atau daerah yang belum terjangkau jaringan listrik skala besar.

Sistem kerja PLTM didasarkan pada prinsip konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Air dialirkan dari sungai atau bendungan kecil menuju bangunan sadap (intake), lalu diteruskan melalui saluran pembawa (waterway) ke bak penenang (headtank). Selanjutnya, air dialirkan ke turbin melalui pipa pesat (penstock), dan energi kinetik dari air tersebut digunakan untuk memutar turbin. Turbin yang berputar kemudian menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik. Proses ini berlangsung secara kontinu selama aliran air tersedia, sehingga PLTM dapat menjadi sumber listrik yang relatif, stabil dan andal.

Selain efisien dan ramah lingkungan, keunggulan lain dari PLTM adalah biaya operasional yang rendah serta umur operasional yang panjang dengan perawatan yang minimal. PLTM juga memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan pembangkit berbasis bahan bakar fosil, karena tidak memerlukan bahan bakar tambahan dan tidak mengubah ekosistem secara drastis. Karena skalanya kecil, PLTM tidak membutuhkan bendungan besar yang dapat menyebabkan penggenangan wilayah luas, sehingga lebih fleksibel dalam hal lokasi pembangunan.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Ndungga termasuk dalam pembangkit yang menggunakan energi terbarukan karena menggunakan air sebagai penggerak utama turbin.

Pembangkit bertipe *run off river* dimana air sungai Wolowona langsung dibelokkan ke bangunan sadap (*intake*) yang kemudian diteruskan melalui saluran terbuka (*waterway*) menuju ke headtank.

Kapasitas PLTM Ndungga sebesar 2×1000 kW dan terkoneksi ke sistem kelistrikan Flores.

PLTM Ndungga mulai beroperasi sejak tahun 2013.

Lokasi PLTM Ndungga Jl. Trans Ende-Maumere. Tiwutewa, Kec. Ende Timur, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur.

2.1.2 Sejarah Singkat

Pembangunan PLTM Ndungga dimulai tahun 1999 oleh konsorsium PT. Brantas Abipraya – PT. Indra Karya dan PT. Zhejiang China. Pembangunan memakan waktu lama, meliputi bendung sungai Ndungga, saluran air dengan mengebor dibawah jalan trans flores ,dan penstock menuju power housed lembah sungai ndungga. Pekerjaan Mekanikal, sistem Elektrikal, dimulai sejak 2012 dan maret 2013. Setelah selesai instalasi pada Desember2013, serangkaian test dilakukan hingga lengkap pada maret 2014. PLTM Ndungga secara resmi mulai beroperasi penuh, Selasa 13 Mei2014 di tandai dengan serah terima operasi PLTM Ndungga dari Albert Siregar, selaku Manejer UIP XI UPK 2 (Unit Induk Pembangunan XI-Unit Pelaksanaan Konstruksi 2) Kepada PLN Wilayah NTT.

2.1.3 Visi dan Misi PLTM

a. Visi

Diakui sebagai perusahaan kelas dunia yang bertumbuh kembang, unggul dan terpercaya dengan bertumpu pada potensi instant.

b. Misi

1. Menjalankan bisnis kelistrikan dan bidang lain yang terkait, berorientasi pada kepuasan pelanggan, anggota perusahaan dan pemegang saham.
2. Menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat.
3. Mengupayakan agar tenaga listrik menjadi pendorong kegiatan ekonomi.
4. Menjalankan kegiatan usaha yang berwawasan lingkungan.

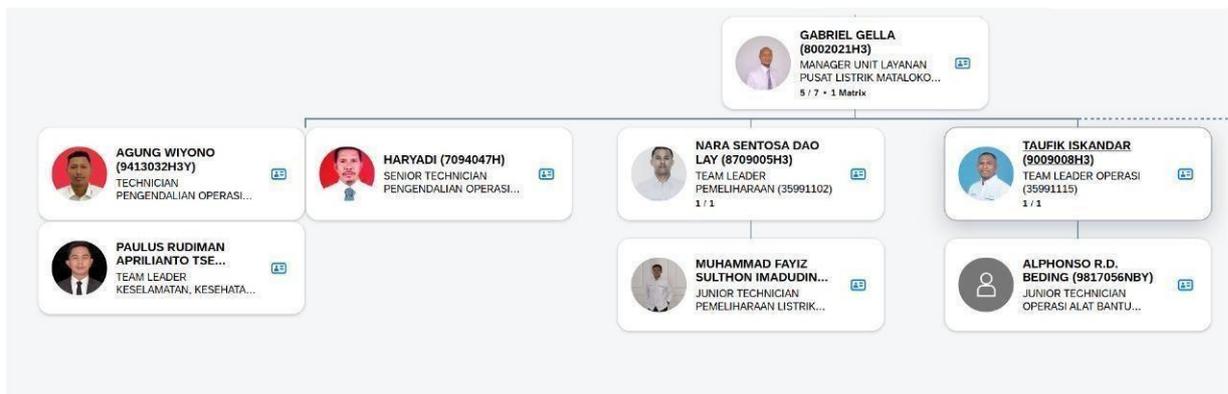
2.1.4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan upaya untuk menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman, sehingga dapat mengurangi kejadian yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Jenis Peralatan K3 yang wajib digunakan ketika berada di dalam lingkungan ataupun ketika bekerja PLTM Ndungga antara lain :

- **Helm**
Merupakan peralatan K3 yang berfungsi untuk melindungi tubuh bagian kepala agar terhindar dari benda-benda yang berjatuh, melindungi kepala dari benturan dan melindungi kepala dari teriknya panas matahari.
- **Baju Safety (Wearpack)**
Merupakan peralatan K3 yang berfungsi untuk melindungi diri dari resiko cedera ringan dan juga melindungi tubuh dari panasnya matahari.
- **Kacamata**
Merupakan peralatan K3 yang berfungsi untuk melindungi mata dari debu dan silaunya matahari.

- **Pelindung Telinga (Earplug)**
Merupakan peralatan K3 yang berfungsi untuk melindungi telinga dari kebisingan.
- **Sarung Tangan**
Merupakan peralatan K3 yang berfungsi untuk melindungi tangan dari goresan.
- **Sepatu Safety**
Merupakan peralatan K3 yang berfungsi untuk melindungi kaki dari benturan benda tajam seperti paku, agar terhindar dari tergelincir karena lantai yang licin serta menghindari diri dari bahaya tersetrum arus listrik.
- **Body Hearnes**
Merupakan perlatan K3 yang berfungsi untuk melindungi diri ketika sedang melakukan pekejaan di tempat yang tinggi agar tidak terjatuh.

2.1.5 Struktur Organisasi dan Tata Kerja PLTM Ndungga



Gambar 2.1 Struktur Tata Kerja PLTM Ndungga

2.1.6 DATA TEKNIS PLTM NDUNGGGA

Tipe Pembangkit	Run off river
Catchment Area (DAS)	164,00 km ²
Install Capacity	2 × 1 MW
Gross Head	64,50 meter
Net Head	61,12 meter
Debit Maksimum	3,69 m ³ /s
Debit minimum	0,74 m ³ /s
Debit rata-rata	2,80 m ³ /s

Bangunan DAM / INTAKE

- Penampang : Trapesium
- Kiri : 20-80 derajat
- Kanan : 20-30 derajat
- Kedalaman sungai rata-rata : 4,9 meter
- Elevasi bendungan (dpl) : EL 208,500
- Tinggi bendungan : 6,60 m
- Panjang : 24,00 m
- Lebar : 13,00 m

Saluran Penampang (Water Way)

- Letak : Lereng sebelah kiri
- Tipe : Terbuka dan tertutup
- Panjang : 1.422 m
- Lebar saluran : 2 m

Penstok

- Diameter : 1,40 m
- Panjang : 186 m
- Tebal pipa : 12 mm
- Kemiringan : 10-30 derajat

Turbine

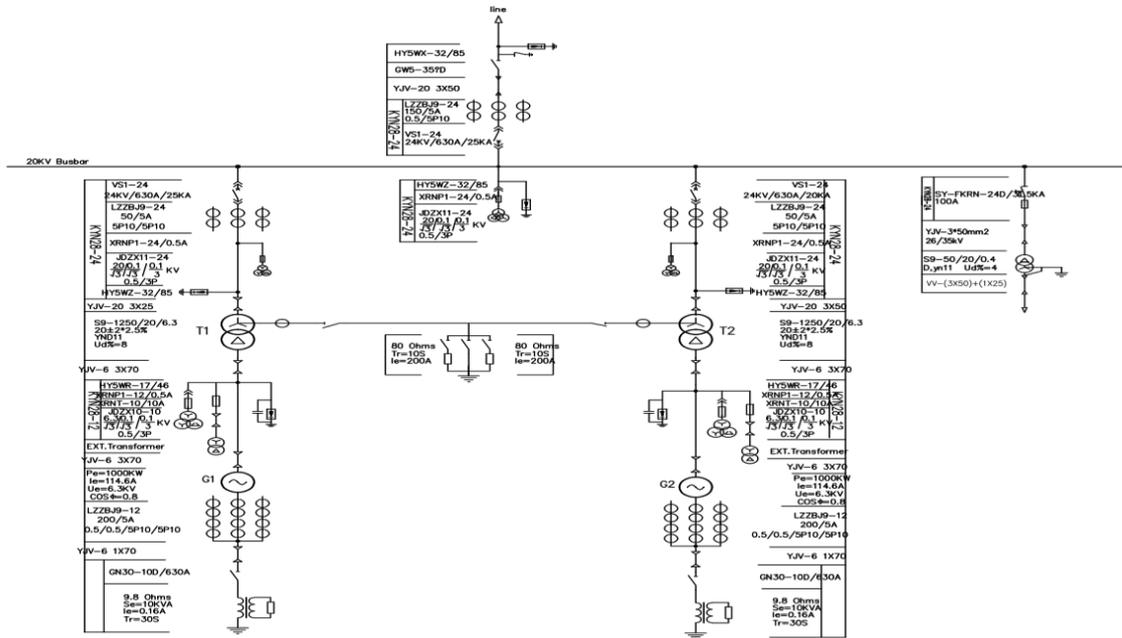
- Merk : Hunna Sunny Hydropower
- Tipe : Francis Horizontal
- Kapasitas : 2×1 MW
- Max head : 63.8 m
- Rated head : 63.52 m
- Rated discharge : 1,95 m³/s
- Rated power : 1110 kW
- Rated speed : 750 rpm
- Net weight : 8600 kg
- Date of prod : 2012

Generator

- Merk : Hunan Sunny Hydropower
- Tipe : SFW1000-8/1180
- Kapasitas : 1250 kVA
- Voltage/Current : 6300 V/114.6 A
- Exc. Volt/Current : 60 V / 166 A
- Phase 3 connection Y
 - Freq : 50 Hz
 - Power factor : 0.6

- Rated speed : 750 rpm
- Date of prod 2012

Single Line Diagram PLTM NDUNGA



Gambar 2.2 SLD PLTM Ndungga

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Energi Minihidro

Energi Terbarukan (Renewable Energy) adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat secara cepat diproses di alam. Pada dasarnya, Indonesia memiliki potensi sumber energi yang sangat besar ketersediaannya di alam. Dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan, dapat mendorong pembangunan berkelanjutan di Indonesia terutama pada wilayah yang tidak terjangkau oleh pusat.

Di Indonesia saat ini telah terdapat bentuk energi baru terbarukan (EBT) salah satunya energi angin, energi air, energi surya, energi kelautan, energi biomassa. Seluruhnya telah tersebar diseluruh wilayah Indonesia dan telah diuji baik secara besar maupun kecil, potensi sumber energi air merupakan salah satu yang lebih efisien dalam pengembangannya.

- Pembangkit Listrik Tenaga Air (Hydro Power)

Hydro power atau tenaga air merupakan energi terbarukan yang memanfaatkan potensi pada air. Produksi listrik pada *hydro power* memproses konversi energi perpindahan air dari tempat tinggi ke tempat rendah.

Dalam perkembangannya, *hydro power* memiliki klasifikasi jenis pembangkitnya yang didasarkan pada kapasitas daya dan teknologinya.

Tabel 3.1. Klasifikasi *hydro power* berdasarkan kapasitas daya

Jenis Pembangkit	Daya
Large hydro	>100 MW
Medium hydro	15-100 MW
Small hydro	1-15 MW
Mini hydro	100 kW – 1 MW
Micro hydro	5-100 Kw
Pico hydro	<5 kW

Tabel 3.1. Menunjukkan klasifikasi jenis pembangkit tenaga hydro power dengan berdasarkan kapasitas daya yang diperoleh. Dapat dilihat bahwa jenis pembangkit dengan

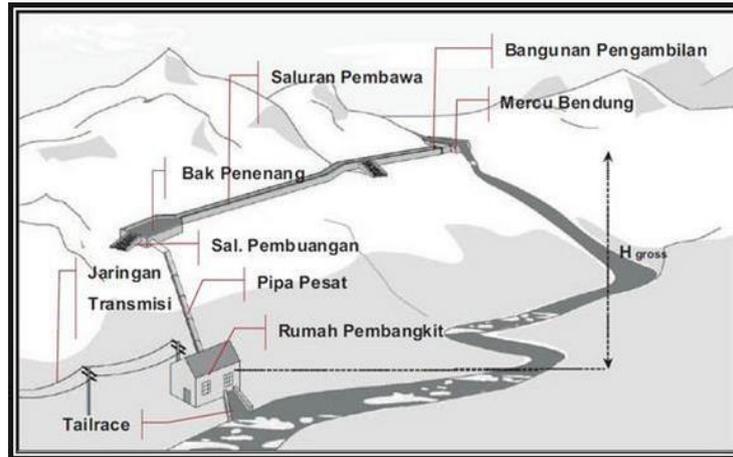
kapasitas daya tertinggi adalah large hydro dimana mampu menghasilkan listrik sebesar >100 MW dan kapasitas terendah adalah pico hydro dengan daya yang dihasilkan sebesar <5 kW.

- Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Salah satu sumber energi terbarukan (renewable energy) tersebut adalah mini hidro. Mini hidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resources) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang biasa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Penerapan teknologi pengolahan mini hidro menjadi sumber energi terbarukan (renewable energy) membutuhkan perencanaan yang matang. Perlu dilakukan kajian untuk menentukan layak atau tidaknya merealisasikan sebuah pembangkit listrik tenaga mini hidro berdasarkan potensi sungai yang tersedia.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas pembangkitan rendah. Pada prakteknya dengan kapasitas 5 sampai dengan 100 kW. Beberapa klarifikasi lainnya secara umum mendefinisikan mikro untuk daya kurang dari 100 kW dan mini untuk daya antara 100 kW sampai dengan 5000 kW. Umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis run-off di mana head diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama pada suatu tempat di mana yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan melalui pipa pesat air diterjunkan untuk memutar turbin yang berada di dalam rumah pembangkit.

Pembangkit listrik Tenaga Mini Hidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Skema prinsip kerja PLTM terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema prinsip kerja PLTM

3.2 Komponen utama

Komponen utama dalam Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) meliputi beberapa bagian penting yang bekerja secara terpadu untuk mengubah energi air menjadi energi listrik. Berikut adalah komponen-komponen utamanya :

- *Weir- Intake*

Weir adalah bagian dari PLTM. Weir adalah struktur bendungan berkepala rendah (lowhead dam), yang berfungsi untuk menaikkan muka air. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui puncak/mercu bendung (overflow).

Intake merupakan pintu masuknya air menuju waterway.



(a)



(b)

Gambar 3.2 (a) Weir, (b) intake pada PLTM Ndungga

- *Waterways*

Waterway berfungsi untuk mengeluarkan air yang masuk dari intake menuju headpond.



Gambar 3.3. *Waterway*

- *Headpond*

Headpond berfungsi untuk menampung air dalam jumlah besar sebelum masuk ke *penstock* serta untuk menciptakan *head* (tinggi jatuh air) agar energi yang dihasilkan juga besar.



Gambar 3.4. *Headpond* pada PLTM Ndungga

- *Penstock*

Penstock atau pipa pesat adalah pipa yang mengalirkan air dari headpond masuk ke spiral case (rumah turbin). Di dalam pipa penstock terjadi perubahan energi pada air yaitu, dari energi potensial menjadi energi kinetik.



Gambar 3.5. *Penstock* PLTM Ndungga

- *Turbin*

Turbin air merupakan mesin yang mengkonversikan energi air menjadi energi poros untuk memutar generator sehingga menghasilkan listrik. Jenis turbin yang digunakan pada PLTM dengan head 60 m adalah Turbin Francis.

Turbin Francis merupakan turbin yang terbanyak dipergunakan pada pembangkit listrik tenaga air. Hal ini disebabkan karakteristiknya yang mampu mengisi sektor tengah kapasitas tenaga air yang ada.



Gambar 3.6. *Turbin Air* pada PLTM Ndongga

Berikut spesifikasi turbin yang digunakan pada PLTM Ndongga untuk unit 1 dan 2

Merk	: Hunna Sunny Hydropower
Tipe	: Francis Horizontal
Kapasitas	: 2×1 MW
Max head	: 63.8 m
Rated head	: 63.52 m
Rated discharge	: 1,95 m ³ /s
Rated power	: 1110 kW
Rated speed	: 750 rpm
Net weight	: 8600 kg
Date of prod	2012

- *Generator*

Generator adalah sebuah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Secara garis besar generator terdiri dari beberapa bagian, diantaranya rotor dan stator. Untuk menghasilkan listrik sebuah generator harus memenuhi ketiga syarat, yaitu gerakan (putaran) dan belitan.



Gambar 3.7. *Generator* pada PLTM Ndongga

Spesifikasi generator pada PLTM Ndongga

Merk	: Hunan Sunny Hydropower
Tipe	: SFW1000-8/1180

Kapasitas : 1250 kVA
Voltage/Current : 6300 V/114.6 A
Exc. Volt/Current : 60 V / 166 A
Phase 3 connection Y

- Freq : 50 Hz
- Power factor : 0.6
- Rated speed : 750 rpm
- Date of prod : 2012

- *Governor*

Pada dasarnya governor merupakan suatu sistem kendali otomatis yang sangat berpengaruh dalam menjaga kecepatan putaran poros suatu pembangkit listrik tenaga air. Pada PLTM Ndungga, frekuensi yang harus dijaga yaitu sekitar 50 Hz pada beban yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan PLN. Fungsi lain dari governor yakni menghentikan operasi turbin pada saat terjadi gangguan.

Kecepatan putar yang terjadi pada poros untuk beban yang terjadi diatur oleh main governor. Pada saat beban tinggi, secara otomatis putaran akan berkurang. Dalam hal itu, kontrol governor akan menjaga agar kecepatannya konstan dengan cara membuka katup masuk air (guide vanes) sebelum masuk ke dalam turbin.



Gambar 3.8. *Panel Governor* pada PLTM Ndungga

- *Main Inlet Valve (MIV)*

MIV adalah sebuah katup masukan yang membatasi antara *penstock* dan rumah keong (spiral case) yang dapat menahan air pada saat terjadi perbaikan/kerusakan di *spiral case*. Pada MIV counter weight berwarna merah berguna untuk membantu kinerja *butterfly valve*. Diatas MIV ada katup *bypass* yang berfungsi untuk menyamakan tekanan air antara *penstock (upstream)* dan *spiral case (downstream)* ketika pada saat ingin dioperasikan.



Gambar 3.9. *Main Inlet Valve* pada PLTM Ndungga

- *Power House*
Power house atau rumah pembangkit merupakan tempat pembangkitan energi listrik. Di dalamnya terdapat perangkat diantaranya *Central Control Room*, *Main Inlet Valve*, *Turbin*, *Governor*, *Generator*, *Trafo*, dan perlengkapan lainnya.



Gambar 3.10. *Power House* pada PLTM Ndungga

- *Transformator Step-up*

Transformator adalah sebuah mesin listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang merubah besaran arus dan tegangan dari *input*, tetapi tidak merubah besaran daya *input* dan *outputnya*.



Gambar 3.11. (a) Trafo step-up unit 1 (b) Trafo step-up unit 2 PLTM Ndungga

- *Transformator Auxiliary*

Transformator Auxiliary digunakan untuk pemakaian sendiri. Fungsi dari transformator auxiliary ini adalah menyuplai kebutuhan listrik untuk operasional PLTM seperti motor-motor listrik dan penerangan di area PLTM.



Gambar 3.12. *Trafo Auxiliary* PLTM Ndungga

- *Jaringan Distribusi*

Jaringan distribusi adalah jaringan antara pemakai tenaga listrik (konsumen/langganan) dengan *Bulk Power Source* (sumber daya besar) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik (PLN)



Gambar 3.13. *Jaringan Distribusi* pada PLTM Ndungga

- *Saluran Pembuangan (Tailrace)*

Tailrace merupakan tempat mengalirnya air yang telah digunakan memutar turbin setelah melewati draft tube. Tailrace dapat dimanfaatkan untuk mengalirkan dan mengurangi tekanan air dari draft tube. Tailrace dilengkapi dengan pintu, dengan tujuan menutup aliran air dari tailrace ke draft tube pada waktu diadakan perbaikan/pemeriksaan pada turbin.



Gambar 3.14. Saluran Pembuangan (*Tailrace*) pada PLTM Ndungga

3.3 Distribusi Listrik di Wilayah Terpencil

Distribusi listrik dari pembangkit listrik minihidro di wilayah terpencil memiliki proses yang cukup unik karena bergantung pada kondisi geografis dan kebutuhan masyarakat setempat. Minihidro sendiri merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air dari sungai atau saluran irigasi dengan debit yang relatif kecil tetapi stabil.

Proses ini dimulai dengan pemilihan lokasi yang strategis. Biasanya, daerah yang memiliki sungai dengan aliran cukup deras tetapi tidak terlalu besar menjadi pilihan utama. Air dari sungai dialirkan melalui bendungan kecil atau intake menuju saluran pengarah yang mengarah ke turbin. Di sini, energi kinetik dari air yang mengalir digunakan untuk memutar turbin yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Flores dengan bentang alam khas pulau vulkanik yang bergunung dan berbukit memiliki potensi air terjun dan kemiringan sungai yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan kemiringan sungai ini adalah PLTM Ndungga. Sungai Wolowona sengaja dibendung dan memindahkan aliran sungai dengan mengoptimalkan topografi setempat untuk memperbesar head (selisih ketinggian muka air pada reservoir terhadap turbin). Rute saluran air dibuat memasuki terowongan sepanjang 598 meter menembus gunung karena curamnya rute alternatif yang juga berhimpit dengan jalan negara jurusan Ende-Maumere.

PLTM Ndungga menggunakan dua unit turbin jenis Francis Horizontal (Gambar 3.15) dengan debit rata-rata $2,80 \text{ m}^3/\text{s}$ dan head rata-rata 61,12 meter. Turbin ini memiliki putaran spesifik hingga 750 rpm (rotasi per menit) dan mampu menghasilkan daya spesifik 1.100 kW. Pada ujung pipa pesat seelum masuk ke rumah pembangkit, pipa pesat dibuat bercabang dua untuk mengalirkan air ke kedua urbin yang digunakan. PLTM Ndungga juga menggunakan dua unit generator jenis sinkron horizontal dengan tegangan spesifik 6.500 Volt dan frekuensi 50 Hz dengan faktor daya 0.8. masing-masing generator terkopel langsung (sambung langsung) pada turbin sehingga memiliki putaran spesifik yang sama dengan turbin. Selanjutnya pada travo utama tegangan listrik PLTM Ndungga

akan dinaikan menjadi 20 kV sebelum masuk ke jaringan listrik Ende.



Gambar 3.15. Turbin dan Generator PLTM Ndungga Ende

Proses pembangkitan listrik pada PLTM memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik faraday, yaitu timbulnya gaya gerak listrik (GGL) pada suatu konduktor ketika konduktor tersebut berada dalam medan magnet yang berubah. Pada PLTM, energi kinetik air yang menggerakkan turbin akan memutar poros generator. Poros ini terhubung dengan rotor yang dilengkapi kumparan atau magnet permanen. Ketika rotor berputar di dalam medan magnet stator, terjadi perubahan fluks magnet pada kumparan stator sehingga menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC). Besar tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor, jumlah lilitan kumparan dan kekuatan medan magnet.

Secara garis besar, proses konversinya adalah:

- Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik oleh turbin
- Energi mekanik dari turbin diteruskan ke rotor generator
- Perubahan fluks magnet di stator menghasilkan energi listrik.
- Tegangan listrik yang dihasilkan diatur menggunakan sistem kontrol dan transformator sebelum didistribusikan ke konsumen.

Pada PLTM Ndungga, sistem ini menggunakan generator sinkron horizontal yang mampu menjaga kestabilan frekuensi 50 Hz, sehingga listrik yang dihasilkan dapat langsung diintegrasikan ke jaringan PLN. Listrik yang dihasilkan dari generator ini kemudian melewati sistem pengatur tegangan dan kontrol agar stabil sebelum didistribusikan ke rumah-rumah atau fasilitas umum di sekitar pembangkit. Karena minihidro biasanya digunakan di wilayah yang jauh dari jaringan listrik utama, sistem distribusinya sering kali menggunakan jaringan lokal atau yang dikenal sebagai mikrogrid. Mikrogrid ini menghubungkan beberapa rumah dalam satu area dengan kabel distribusi yang lebih sederhana dibandingkan jaringan listrik konvensional.

Salah satu tantangan dalam distribusi listrik minihidro di wilayah terpencil adalah bagaimana menjaga agar listrik tetap stabil dan bisa digunakan sepanjang waktu. Karena aliran sungai bisa berubah tergantung musim, sistem ini biasanya dilengkapi dengan pengatur beban otomatis yang menyesuaikan jumlah listrik yang didistribusikan sesuai dengan kapasitas yang tersedia. Jika pasokan listrik berlebihan, sebagian bisa dialihkan ke pemanas air atau sistem penyimpanan lainnya agar tidak

terbuang sia-sia. Selain itu, infrastruktur distribusi juga harus disesuaikan dengan kondisi geografis. Di daerah berbukit atau bergunung, pemasangan tiang listrik dan kabel sering kali menjadi tantangan tersendiri karena medan yang sulit dijangkau. Oleh karena itu, banyak sistem minihidro di wilayah terpencil yang lebih memilih untuk mendistribusikan listrik dalam jarak yang tidak terlalu jauh, biasanya hanya dalam radius beberapa kilometer dari pembangkit.

Keberlanjutan sistem distribusi ini sangat bergantung pada ketertiban masyarakat setempat. Karena wilayah terpencil sering kali sulit dijangkau oleh teknisi dari luar penduduk harus diberikan pelatihan untuk mengoperasikan dan merawat sistem ini sendiri. Jika terjadi gangguan pada turbin atau jaringan distribusi, mereka harus bisa melakukan perbaikan dasar tanpa harus menunggu bantuan dalam waktu lama.

Secara keseluruhan, distribusi listrik dari pembangkit minihidro di wilayah tepencil bukan hanya soal mengalirkan listrik dari sumber ke pengguna, tetapi juga tentang bagaimana menjaga stabilitas, keberlanjutan, dan keterlibatan masyarakat agar sistem ini bisa bertahan dalam jangka panjang. Proses distribusi listrik dari PLTM sangat

bergantung pada data operasi beban, yang meliputi informasi mengenai kebutuhan daya di setiap waktu tertentu, kapasitas beban puncak, dan pola konsumsi listrik masyarakat. Data ini penting untuk memastikan distribusi listrik berjalan efisien dan mampu memenuhi kebutuhan energi di setiap rumah tangga atau fasilitas publik yang terhubung. Dengan menganalisis data operasi beban, sistem distribusi dapat dirancang untuk mengoptimalkan alokasi daya, menghindari overloading, dan memastikan pasokan listrik yang stabil sepanjang hari. Selain itu, data ini juga menjadi dasar dalam perencanaan ekspansi jaringan ke wilayah-wilayah baru, sehingga distribusi listrik dapat merata dan mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat.

3.4 Bendungan Sebagai Infrastruktur PLTM

Bendungan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah struktur buatan yang digunakan untuk mengarahkan aliran air dari sungai atau sumber air alami ke sistem pembangkit. Berbeda dengan bendungan besar pada PLTA, bendungan dalam PLTM umumnya berukuran kecil dan tidak berfungsi sebagai waduk penyimpanan utama, melainkan sebagai pengendali aliran air agar turbin dapat beroperasi dengan optimal.

Bendungan dalam PLTM memiliki beberapa fungsi utama ;

- Mengatur Debit Air : Mengontrol jumlah air yang masuk ke sistem pembangkit untuk menjaga kestabilan produk listrik.
- Meningkatkan Tekanan Air : Mengarahkan air ke saluran masuk (intake) sehingga tekanan yang cukup dapat dihasilkan sebelum menuju turbin.
- Mencegah Sedimentasi Berlebihan : Menyaring material padat seperti pasir dan lumpur agar tidak masuk ke turbin, yang dapat menyebabkan keausan atau kerusakan.
- Menjaga Stabilitas Ekosistem Sungai : Dengan desain yang tepat, bendungan dalam PLTM dapat tetap menjaga aliran sungai alami sehingga tidak merusak ekosistem.

Komponen infrastruktur bendungan dalam PLTM

- Intake (saluran masuk air) : Mengarahkan air dari sungai ke sistem pembangkit.
- Saringan (Screening System) : Menyaring material padat seperti daun, ranting, dan bau sebelum air masuk ke pipa pesat.
- Pipa Pesat (Penstock) : Mengalirkan air dari bendungan ke turbin dengan tekanan tinggi
- Saluran Pelepasan Air (Tailrace Channel) : Mengembalikan air ke sungai setelah digunakan untuk pembangkit listrik.

Tantangan dalam pembangunan bendungan PLTM

- Fluktuasi Debit Air : Musim kemarau dapat menyebabkan debit air menurun, sehingga desain bendungan harus mempertimbangkan cadangan air.
- Erosi dan Sedimentasi : Material lumpur dan pasir dapat mengurangi efisiensi sistem jika tidak dikelola dengan baik.
- Dampak Lingkungan : Meskipun lebih ramah lingkungan dibanding PLTA besar, pembangunan bendungan tetap harus memperhatikan dampaknya terhadap ekosistem lokal.

Implementasi bendungan PLTM di Ndungga, Ende : Menggunakan bendungan kecil untuk mengalirkan air ke turbin dan menyuplai listrik ke desa terpencil.

3.5 Saluran Pembawa dan Pipa Pesat

Saluran pembawa adalah jalur yang digunakan untuk mengalirkan air dari bendungan atau intake menuju pipa pesat. Saluran ini berfungsi sebagai jalur transisi yang menjaga aliran air tetap stabil sebelum masuk ke sistem pembangkit.

Fungsi saluran pembawa :

- Mengalirkan air dengan kecepatan terkendali menuju pipa pesat
- Menyaring kotoran dan sedimen agar tidak masuk ke pipa pesat dan turbin
- Menyesuaikan aliran air dari bendungan agar tidak terlalu deras atau terlalu lambat.
- Mencegah kehilangan energi air sebelum memasuki pipa pesat.

Saluran pembawa dapat dibangun dalam beberapa bentuk tergantung pada kondisi geografis dan kebutuhan teknis :

- Saluran Terbuka : Terbuat dari beton atau tanah yang diperkuat, cocok untuk daerah dengan medan datar atau landai.
- Saluran tertutup (Pipa saluran pembawa) : Menggunakan pipa besar untuk menyalurkan air di daerah dengan elevasi tinggi atau berbatu.
- Terowongan Air (Tunnel) : Digunakan jika air harus dialirkan melalui gunung atau bukit sebelum mencapai pipa pesat.

Komponen pendukung saluran pembawa terdiri dari :

- Bak pengendap (Settling Basin) : Tempat untuk mengendapkan pasir dan lumpur sebelum air masuk ke pipa pesat.
- Penyaring (Screening System) : Mencegah masuknya sampah, daun, atau ranting yang dapat merusak turbin.
- Katup Kontrol : mengatur jumlah air yang masuk ke pipa pesat untuk menjaga tekanan tetap optimal.

Pipa Pesat (Penstock) adalah pipa bertekanan tinggi yang membawa air dari saluran pembawa ke turbin dengan kecepatan dan tekanan optimal. Pipa ini dirancang agar tahan terhadap tekanan air yang tinggi dan minim kehilangan energi.

Fungsi pipa pesat :

- Meningkatkan tekanan air sebelum masuk ke turbin
- Mengarahkan aliran air dengan efisiensi tinggi untuk menghindari kehilangan energi.
- Mengurangi turbulensi dan gesekan yang dapat mengurangi daya yang dihasilkan.

Material Pipa Pesat :

- Baja : Paling umum digunakan karena tahan tekanan tinggi dan korosi
- PVC atau HDPE : digunakan untuk skala kecil dengan tekanan air yang lebih rendah.
- Beton bertulang : dipakai untuk proyek besar dengan debit air tinggi.

3.6 Turbin dan Generator

Turbin air merupakan mesin yang berputar diakibatkan oleh energi potensial dari aliran fluida. Fluida yang bergerak menjadikan blade pada turbin berputar dan menghasilkan energi mekanik untuk menggerakkan rotor.

Turbin pada PLTM berfungsi untuk mengubah energi air menjadi energi mekanik yang nantinya menggerakkan generator. Karena PLTM beroperasi pada skala yang lebih besar dibanding PLTMH, jenis turbin yang digunakan biasanya lebih efisien dan mampu menangani aliran air yang lebih besar. Perbedaan dasar antara turbin air awal dengan kincir air terletak pada komponen. Komponen pada turbin lebih optimal dan dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat serta dapat memanfaatkan head yang lebih tinggi. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Adapun bagian-bagian utama dari turbin yaitu :

- a) Sudu pengarah : berfungsi untuk mengarahkan air yang masuk sehingga aliran berubah menjadi searah (*uniform*).
- b) Casing spiral : sebagian dari mesin ini memiliki poros vertikal meskipun beberapa mesin yang lebih kecil dari jenis ini memiliki poros horizontal. Cairan masuk dari penstock (pipa yang menuju ke turbin dari reservoir pada ketinggian tinggi) ke casing spiral yang benar-benar mengelilingi runner. Casing ini dikenal sebagai gulir casing atau volute. Luas penampang casing ini menurun merata sepanjang keliling untuk menjaga kecepatan fluida konstan dalam besar disepanjang jalan yang menuju guide vane.
- c) *Guide on stay vanes* : fungsi *guide vanes* atau baling-baling tetap adalah untuk mengkonversi bagian dari energi tekanan fluida di pintu masuk ke energi kinetik dan kemudian untuk mengarahkan cairan pada pisau runner pada sudut yang tepat untuk desain.
- d) Sudu *runner* : berfungsi untuk mengubah energi hidrolis air menjadi energi mekanis.
- e) Poros turbin : berfungsi untuk meneruskan torsi dan putaran ke poros generator.
- f) Pipa hisap : berfungsi untuk mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan.

- g) *Draft-tube* : fungsi utama dari draft tube adalah untuk mengurangi kecepatan air dibuang untuk meminimalkan kehilangan energi kinetik di outlet (Dielzel, 1992).

Terdapat dua jenis turbin yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

1) Turbin Impuls

Pada turbin impuls seluruh energi air yang tersedia mula-mula dikonversi menjadi energi kinetik dengan melewati air melalui *nozzle* yang dijaga dekat dengan *runner*. Air masuk wheel dalam bentuk semburan (*jet*) yang menumbuk bucket. Semburan (*jet*) air menumbuk bucket dengan kecepatan tinggi dan sesudah mengalir melewati sudu, air keluar dengan kecepatan rendah (energi diberikan ke *runner*). Tekanan air (pada sisi masuk dan sisi keluar sudu) adalah sama, yaitu bertekanan atmosfer. Termasuk dalam jenis turbin impuls adalah turbin pelton dan turbin crossflow. Contoh yang paling umum dari turbin impuls adalah Turbin Pelton (Pratama, 2016).

2) Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner dapat berputar. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin reaksi bekerja secara langsung mengubah energi kinetik juga energi tekanan secara bersamaan menjadi energi mekanik. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi, jenis dari turbin ini adalah salah satunya turbin francis (Pratama, 2016).

a. Turbin Francis

Turbin francis pertama kali ditemukan sekitar tahun 1950 oleh orang Amerika yang bernama Howk dan Francis. Teknik mengkonversi energi potensial menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin francis juga sering disebut turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Konstruksi turbin francis terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan. Perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak yang keduanya terendam dalam air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk spiral. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin francis merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat untuk berbagai kondisi aliran air. Turbin francis merupakan jenis turbin tekanan lebih. Aliran air masuk ke sudu pengarah dengan kecepatan semakin naik dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan

tekanan turun sampai di bawah 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan harus dinaikan sampai 1 atm dengan cara pemanasan pipa hisap.

Pengaturan daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin ini digunakan untuk tinggi terjun sedang, yaitu 20-440 meter (Pratama, 2016).

➤ Efisiensi Turbin

Efisiensi adalah hasil guna atau daya guna yang dibangkitkan oleh turbin dan generator sebagai hasil pemanfaatan potensi air terjun semaksimal mungkin untuk menghasilkan tenaga listrik sebesar besarnya, efisiensi ini ditentukan dengan satuan persen (Salim, 2009).

Efisiensi turbin merupakan perbandingan daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin dengan daya hidrolik yang digunakan untuk menggerakkan turbin, dapat dihitung dengan persamaan (3.1) efisien turbin

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_h} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana :

η_t = Efisiensi Turbin (%)

P_m = Daya Mekanik (Watt)

P_h = Daya Hidrolik (Watt)

Generator adalah komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) yang berfungsi mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Pada sistem PLTM yang menggunakan Turbin Francis, terdapat dua jenis generator yang berperan dalam proses pembangkitan listrik, yaitu generator utama dan generator exciter.

1. Generator Utama

Generator Utama adalah generator yang langsung dihubungkan dengan turbin francis melalui poros penggerak. Ketika turbin berputar akibat aliran air, poros ini akan menggerakkan rotor di dalam generator utama, sehingga menghasilkan medan magnet yang memotong kumparan stator dan menghasilkan listrik bolak balik (AC – Alternating Current).

Generator utama dalam PLTM biasanya menggunakan generator sinkron, karena dapat mempertahankan frekuensi dan tegangan listrik yang stabil. Listrik yang dihasilkan oleh generator utama ini nantinya akan disalurkan ke sistem distribusi untuk digunakan oleh masyarakat atau industri.

2. Generator Exciter

Generator exciter adalah generator tambahan yang berfungsi untuk memasok arus exitasi ke generator utama. Arus exitasi ini diperlukan untuk membangkitkan medan magnet pada rotor generator utama agar proses pembangkitan listrik dapat berlangsung secara efisien.

Prinsip kerja generator exciter :

- Saat turbin berputar, porosnya menggerakkan generator utama dan generator exciter secara bersamaan.
- Generator exciter menghasilkan arus listrik searah (DC) yang disalurkan ke kumparan medan magnet pada rotor generator utama.
- Medan magnet yang terbentuk memungkinkan generator utama menghasilkan listrik bolak balik (AC) yang siap disalurkan ke jaringan listrik.
- Setelah sistem berjalan stabil, sebagian listrik yang dihasilkan oleh generator utama dapat digunakan untuk mempertahankan suplai excitasi, sehingga sistem bisa beroperasi secara mandiri tanpa sumber daya eksternal tambahan.

Dengan adanya kombinasi antara generator utama dan generator exciter, pembangkit listrik tenaga minihidro dapat beroperasi dengan efisiensi tinggi dan mampu menghasilkan listrik secara berkelanjutan.

3.7 Sistem Distribusi dan Transformator

Sistem distribusi dalam Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari generator utama ke konsumen atau jaringan listrik. Pada umumnya, sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu pembangkit tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik, dan distribusi tenaga listrik. Ketiga bagian ini tidak dapat dipisahkan karena merupakan suatu sistem yang kompleks yang bekerja untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Energi listrik yang dihasilkan pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai ke konsumen. Listrik yang dihasilkan oleh generator masih dalam tegangan menengah atau tinggi, sehingga perlu diolah lebih lanjut sebelum didistribusikan ke pengguna akhir.

- **Pusat Pembangkit Listrik (Power Plant)**
Pusat pembangkit listrik merupakan tempat pertama kali energi listrik dibangkitkan atau dihasilkan. Di sini terdapat turbin penggerak awal dan juga generator yang mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis pusat pembangkit listrik yang biasanya dibagi ke dalam dua bagian besar yaitu pembangkit hydro (PLTA) dan pembangkit thermal (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTP).
- **Transmisi Tenaga Listrik**
Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya sampai pada konsumen/pengguna listrik.
- **Sistem Distribusi**
Sistem distribusi ini merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan/konsumen dan berfungsi dalam hal

pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari pusat pengatur/gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah/jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah/jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo.

Transformator (trafo) adalah perangkat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik agar sesuai dengan kebutuhan distribusi dan penggunaan.

Jenis-jenis transformator dalam sistem PLTM :

1. Transformator Step-up : Berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik dari generator sebelum masuk ke jaringan transmisi. Ini bertujuan untuk mengurangi rugi daya saat listrik dikirim dalam jarak jauh.
2. Transformator Step-down : Berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sebelum disalurkan ke konsumen. Tegangan tinggi pada jaringan transmisi diubah menjadi tegangan rendah (220 V) agar aman digunakan oleh rumah tangga atau industri kecil.

Prinsip kerja transformator ialah transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus listrik yang mengalir pada kumparan primer akan membentuk medan magnet yang kemudian menginduksi arus listrik di kumparan sekunder dengan tegangan yang telah disesuaikan. Jika jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih banyak daripada kumparan primer → tegangan naik (step-up). Jika jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih sedikit daripada kumparan primer → tegangan turun (step-down).

Efisiensi dalam sistem kelistrikan nyata tidak bersifat ideal, sehingga akan terjadi rugi-rugi daya selama proses transformasi tegangan. Rugi-rugi ini dapat berasal dari rugi tembaga (copper loss) akibat histeresis dan arus eddy dalam inti besi, serta rugi magnetisasi. Oleh karena itu, efisiensi transformator menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan kinerja sistem.

Efisiensi transformator (η) dihitung dengan persamaan (3.2)

$$\eta = \frac{P_{keluaran}}{P_{masuk}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dimana $P_{keluaran}$ adalah daya yang disalurkan ke beban, dan P_{masuk} adalah daya yang diterima dari sumber. Transformator yang baik memiliki efisiensi tinggi, umumnya lebih dari 90%, untuk memastikan energi yang hilang seminimal mungkin. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM), pemilihan transformator harus disesuaikan dengan karakteristik sistem. Hal-hal yang perlu diperhatikan meliputi :

1. Kapasitas daya transformator harus sesuai dengan daya output dari pembangkit agar mampu mentransformasikan tegangan secara optimal tanpa overload.

2. Tegangan output generator menentukan apakah perlu digunakan transformator step-up atau step-down pada titik awal distribusi.
3. Jarak distribusi ke konsumen akan mempengaruhi pemilihan tegangan distribusi dan rating transformator agar kerugian daya dapat tekan.
4. Profil beban harian masyarakat, terutama di daerah terpencil, juga mempengaruhi kapasitas dan durasi operasional transformator.

BAB IV

METODOLOGI

4.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

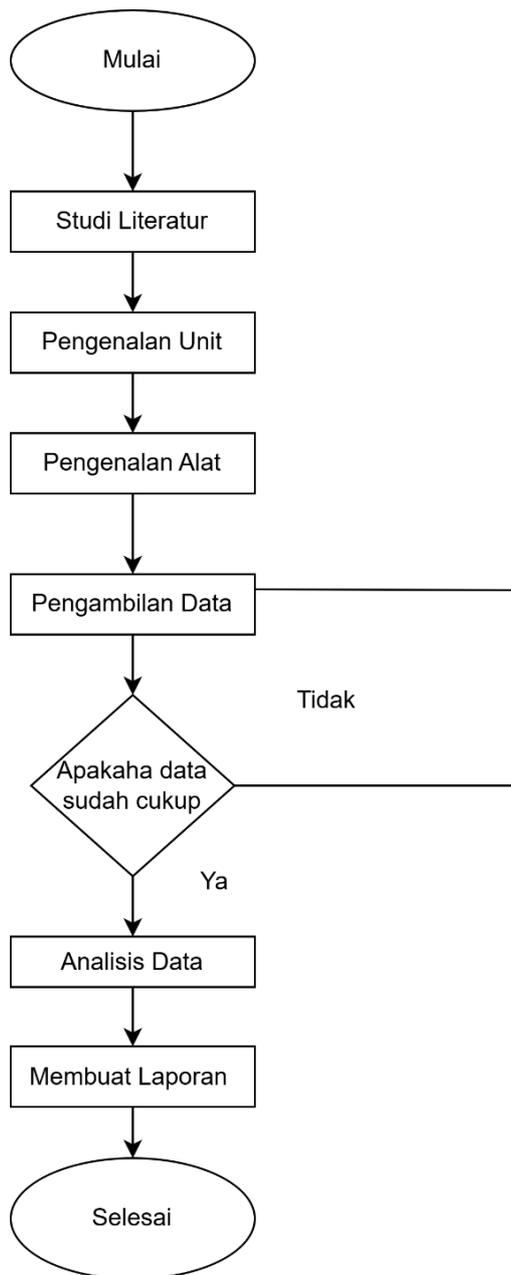
Kegiatan Praktik Kerja Lapangan ini berlangsung selama 2 bulan terhitung mulai tanggal 05 Februari – 05 April 2025, dimana satu minggu pertama digunakan untuk studi literatur dan mencari referensi tentang tema yang akan dikerjakan yaitu tentang pemanfaatan potensi energi listrik dari pembangkit minihidro. Minggu kedua digunakan untuk pengenalan unit dan perangkat yang akan digunakan di lapangan serta memahami prinsip kerja sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil (minihidro). Minggu ketiga hingga minggu keenam digunakan untuk kegiatan observasi, pengumpulan data, serta dokumentasi terhadap proses kerja sistem minihidro. Minggu ketujuh dan kedelapan difokuskan pada analisis hasil yang telah diperoleh dan penyusunan laporan akhir kegiatan. Kegiatan PKL ini dilaksanakan di lokasi Pembangkit Minihidro Ndungga yang berada dibawah pengelolaan PLN. Diagram blok pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.

4.1.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) ini tidak menggunakan perangkat keras atau sensor secara langsung. Alat utama yang digunakan berupa *logsheet* atau catatan harian kerja yang difungsikan untuk mencatat hasil observasi, pengukuran, dan informasi lapangan selama kegiatan berlangsung. *Logsheets* ini digunakan secara sistematis untuk memastikan data yang diperoleh terdokumentasi dengan baik dan dapat dianalisis secara akurat pada tahap penyusunan laporan.

4.1.2 Metode Pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan

Metode yang digunakan dalam praktik kerja lapangan ini adalah metode observasi dan pencatatan data secara langsung di lokasi pembangkit listrik tenaga minihidro. Observasi dilakukan terhadap proses kerja sistem pembangkit, aliran air, serta peralatan utama seperti turbin, generator, dan panel kontrol. Setiap aktivitas dan kondisi operasional dicatat secara sistematis menggunakan *logsheet* atau catatan harian kerja. Kegiatan ini juga mencakup wawancara informal dengan operator atau teknisi setempat untuk memperoleh informasi tambahan mengenai prosedur pengoperasian, pemeliharaan sistem, serta potensi dan tantangan dalam pemanfaatan energi dari pembangkit minihidro. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis dan dijadikan dasar dalam penyusunan laporan akhir kegiatan PKL. Adapun metode pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada diagram alir **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. Diagram alir metode Praktik Kerja Lapangan

4.1.3 Teknik Pengumpulan dan Pencatatan Data

Dalam kegiatan Praktik Kerja Lapangan ini, pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di unit kerja, terutama pada tahap pengenalan unit dan alat. Data yang diamati dan dicatat merupakan parameter teknis yang berkaitan dengan performa pembangkit listrik tenaga minihidro.

Parameter yang dikumpulkan meliputi : daya, arus, tegangan, frekuensi, faktor daya ($\cos \phi$), exitasi, governor, kecepatan turbin, temperatur bearing, temperatur winding, kWh unit, serta kWh line. Seluruh data tersebut direkam secara berkala untuk menggambarkan kondisi operasional pembangkit secara menyeluruh dan akurat.

Untuk mencatat hasil pengamatan, digunakan *logsheet* sebagai media dokumentasi. *Logsheets* ini berisi kolom-kolom penting seperti tanggal, waktu, nama parameter, hasil pengukuran, dan keterangan tambahan apabila ada kejadian tertentu selama proses pengambilan data. Dokumentasi *logsheet* dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.

Pengumpulan data dilakukan sesuai jadwal yang ditetapkan bersama pembimbing lapangan. Setelah data diperoleh, dilakukan verifikasi dan validasi untuk memastikan keakuratan hasil. Jika terdapat data yang kurang atau tidak konsisten, dilakukan pengambilan ulang hingga diperoleh hasil yang representatif. Data yang telah tervalidasi selanjutnya diolah dan dianalisis pada tahap akhir kegiatan.



Gambar 4.2. Format *logsheet* pencatatan data parameter pembangkit

4.1.4 Proses Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan secara langsung di lokasi unit Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) selama pelaksanaan kegiatan Praktik Kerja Lapangan. Kegiatan

ini dimulai dengan koordinasi bersama pembimbing lapangan guna menentukan waktu observasi dan parameter yang akan diamati.

Proses pencatatan data dilakukan secara manual menggunakan logsheet yang telah disediakan. Pengamatan difokuskan pada parameter utama yang mencerminkan performa sistem pembangkit.

Data dicatat setiap 30 menit sekali sesuai dengan jadwal monitoring yang telah ditentukan oleh unit kerja. Pengambilan dilakukan secara bergantian pada Unit 1 dan Unit 2, mencakupi parameter teknis seperti daya (*power*), arus (*current*), tegangan (*voltage*), frekuensi, faktor daya ($\cos \varphi$), excitasi, governor, governor pressure, kecepatan turbin, temperatur bearing, temperatur winding, serta energi listrik yang dihasilkan (kWh Unit dan kWh Line). Seluruh data diambil melalui instrumen pengukuran dan panel kontrol yang tersedia di ruang operasi.

Proses ini dilakukan secara konsisten, baik dalam kondisi operasi normal maupun saat terjadi fluktuasi atau anomali. Jika ditemukan data yang tidak sesuai, maka dilakukan pencatatan tambahan disertai keterangan kejadian.

Dokumentasi proses pengambilan data turut dilampirkan untuk memberikan gambaran visual aktivitas pencatatan di lapangan.



(a)

(b)

Gambar 4.3. Dokumentasi Panel LCU (Local Control Unit) pada PLTM Ndungga. (a) Panel LCU Unit 1, (b) Panel LCU Unit 2.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

5.1.1. Rata-rata daya perhari pada Unit 1 dan Unit 2

Tabel 5.1. Daya rata-rata perhari pada unit 1 di bulan Februari

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	5 Februari	924,5	aktif
2	6 Februari	1000,2	aktif
3	7 Februari	1000,7	aktif
4	8 Februari	999,7	aktif
5	9 Februari	998,9	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	10 Februari	999,4	aktif
2	11 Februari	999,2	PKL 10.55 TRIP (start 16.30-24.00)
3	12 Februari	1007,7	aktif
4	13 Februari	999,1	aktif
5	14 Februari	1000,5	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	15 Februari	998,7	aktif
2	16 Februari	922,9	aktif
3	17 Februari	999,3	aktif
4	18 Februari	998,1	aktif
5	19 Februari	997,6	PKL 18.17 TRIP (21.04 sinkron)

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	20 Februari	998,6	aktif
2	21 Februari	999,5	PKL 10.21 off (PKL 11.57 sinkron)
3	22 Februari	999,7	aktif
4	23 Februari	978,2	aktif
5	24 Februari	999,3	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	25 Februari	999.6	aktif
2	26 Februari	998.6	aktif
3	27 Februari	999.4	aktif
4	28 Februari	999.7	aktif

Tabel 5.2. Daya rata-rata perhari pada unit 2 di bulan Februari

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	5 Februari	601.0	aktif
2	6 Februari		OFF
3	7 Februari		OFF
4	8 Februari		OFF
5	9 Februari		OFF

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	10 Februari	600.8	aktif
2	11 Februari	601.0	PKL 08.57 OFF (sinkron 17.15)
3	12 Februari	578.4	aktif
4	13 Februari	600.6	aktif
5	14 Februari	600.1	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	15 Februari	600.3	aktif
2	16 Februari	600.4	PKL 22.14 OFF (Banjir)
3	17 Februari	610.5	PKL 09.46 Sinkron
4	18 Februari	600.4	aktif
5	19 Februari	601.1	PKL 18.17 Trip (sinkron 21.09)

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	20 Februari	600.5	aktif
2	21 Februari	600.3	PKL 10.21 OFF (sinkron 12.04)
3	22 Februari	600.0	PKL 18.15 OFF (Banjir)
4	23 Februari	600.4	PKL 09.10 Sinkron-15.53 off-sinkron 17.09-off 19.10
5	24 Februari	600.2	PKL 06.01 Sinkron

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	25 Februari	600.2	aktif
2	26 Februari	600.6	aktif
3	27 Februari	600.5	aktif
4	28 Februari	579.8	aktif

Tabel 5.3. Daya rata-rata perhari pada unit 1 di bulan Maret

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	1 Maret	906.8	aktif
2	2 Maret	975.5	aktif
3	3 Maret	996.3	aktif
4	4 Maret	998.2	aktif
5	5 Maret	999.0	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	6 Maret	978.5	aktif
2	7 Maret	981.7	aktif
3	8 Maret	952.5	aktif
4	9 Maret	994.7	aktif
5	10 Maret	999.1	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	11 Maret	998.9	aktif
2	12 Maret	999.3	aktif
3	13 Maret	998.4	aktif
4	14 Maret	998.8	aktif
5	15 Maret	960.8	PKL 04.48 OFF (sinkron 11.20)

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	16 Maret	999.1	aktif
2	17 Maret	966.6	03.30 dan 07.30 OFF (banjir)
3	18 Maret	999.7	aktif
4	19 Maret	999.7	07.48 TRIP
5	20 Maret	998.8	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	21 Maret	998.8	19.26 OFF (Banjir) - sinkron 20.43
2	22 Maret	998.7	aktif
3	23 Maret	998.6	03.51 OFF (banjir) - sinkron 09.46
4	24 Maret	998.1	aktif
5	25 Maret	999.8	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 1 (kW)	Keterangan
1	26 Maret	1000	aktif
2	27 Maret	999	04.45 TRIP
3	28 Maret	863.3	11.27, 18.15, 20.32 sinkron (OFF 16.45, 19.22)
4	29 Maret	843.2	aktif
5	30 Maret	909.9	aktif
6	31 Maret	998.0	4.30 TRIP COIL HANGUS (09.00 sinkron)

Tabel 5.4. Daya rata-rata perhari pada unit 2 di bulan Maret

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	1 Maret	600.8	aktif
2	2 Maret	600.2	aktif
3	3 Maret	600.4	aktif
4	4 Maret	600.5	aktif
5	5 Maret	600.6	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	6 Maret	601.1	aktif
2	7 Maret	601.0	aktif
3	8 Maret	589.7	aktif
4	9 Maret	599.7	aktif
5	10 Maret	601.0	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	11 Maret	607	aktif
2	12 Maret	600.2	aktif
3	13 Maret	589.8	aktif
4	14 Maret	600.5	aktif
5	15 Maret	600.3	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	16 Maret	600.8	aktif
2	17 Maret	601	3.30 OFF (sinkron 9.30)
3	18 Maret	600.8	aktif
4	19 Maret	600.7	07.48 TRIP (sinkron 12.10)
5	20 Maret	600.4	aktif

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	21 Maret	600.5	19.18 OFF Banjir
2	22 Maret	601.2	08.55 sinkron
3	23 Maret	600.8	3.48 OFF (sinkron 10.11)
4	24 Maret	600.5	aktif
5	25 Maret	600.4	14.05 OFF (sinkron 16.39)

No	Tanggal	Rata-rata Daya Unit 2 (kW)	Keterangan
1	26 Maret	600.3	aktif
2	27 Maret	600.1	aktif
3	28 Maret	601.1	10.10 OFF
4	29 Maret	601.5	13.21 sinkron
5	30 Maret	600.8	aktif
6	31 Maret	601.0	aktif

Tabel 5.5 Rentang Nilai Parameter Pendukung

No	Parametar	Unit 1 (Februari)	Unit 1 (Maret)	Unit 2 (Februari)	Unit 2 (Maret)
1	Daya Reaktif	106-193 kVar	75 - 128 kVar	23 - 75 kVar	75 - 125 kVar
2	Arus	75 - 91 A	75 - 90 A	49 - 50 A	49 - 51 A
3	Tegangan	6,3 - 6,4 kV	6,1 - 6,2 kV	6,4 - 6,5 kV	6,3 - 6.4 kV
4	Faktor Daya	0,99	0,99	0,99	0,99
5	Exitasi	30 V (8 - 9 A)	31 - 32 V (9 A)	25 V (6 A)	25 V (6 A)
6	Governor	76 - 87 (11 - 13 bar)	71 - 75 (11 - 13 bar)	38 - 39 (10 -13 bar)	39 - 40 (11 - 13 bar)
7	Turbin Speed	750 rpm	750 rpm	750 rpm	750 rpm
8	Suhu Bearing	51 - 54 °C	47 - 52 °C	46 - 51 °C	47 - 52 °C
9	Suhu Winding	59 - 61 °C	59 - 61 °C	51 - 59 °C	59 - 61 °C

5.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pencatatan data logsheet selama bulan Februari dan Maret 2025, diperoleh nilai rata-rata daya pada Unit 1 dan Unit 2 setiap harinya. Pada Unit 1, daya rata-rata perhari cenderung mendekati kapasitas nominal generator, yaitu sekitar 1000kW, dengan fluktuasi kecil pada hari tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa sistem PLTM Ndungga mampu menjaga kestabilan produksi daya listrik secara konsisten. Variasi daya rata-rata yang terjadi umumnya dipengaruhi oleh fluktuasi beban listrik harian yang wajar, kondisi debit air di sungai serta faktor cuaca.

Sebagai contoh, pada Unit 1 di bulan Februari, rata-rata daya per hari berkisar antara 922,9 kW hingga 1007,7 kW. Nilai yang mendekati nominal menunjukkan bahwa debit air yang digunakan relatif stabil, serta tidak terjadi gangguan teknis yang signifikan pada sistem pembangkit. Adanya sedikit penurunan pada hari-hari tertentu seperti 16 Februari (922,9 kW) disebabkan oleh faktor penurunan debit air atau potensi pemeliharaan ringan pada sistem yang berdampak pada penurunan output daya.

Untuk Unit 2 pada bulan Februari, daya rata-rata per hari berkisar sekitar 600,0 kW hingga 610,5 kW. Nilai ini sesuai dengan kapasitas nominal generator pada Unit 2. Namun, pada beberapa hari, sistem tercatat dalam kondisi OFF atau TRIP yang tercatat pada tabel logsheet. Hal ini menunjukkan bahwa ada kondisi dimana sistem generator tidak beroperasi penuh, misalnya akibat debit air yang rendah, banjir, atau pemeliharaan rutin, sehingga menyebabkan nilai rata-rata daya tidak tercatat pada hari tersebut.

Pada Unit 1 di bulan Maret, rata-rata daya harian menunjukkan nilai yang bervariasi antara 906,8 kW hingga 999,1 kW. Variasi ini menggambarkan adanya dinamika permintaan beban jaringan serta kondisi debit air yang bervariasi sepanjang hari. Secara umum, nilai rata-rata mendekati nominal menandakan bahwa generator dapat beroperasi secara stabil dan mendekati kapasitas optimal.

Sedangkan pada Unit 2 di bulan Maret, rata-rata daya per hari berkisar antara 600,0 kW hingga 604,0 kW. Nilai ini juga relatif mendekati nilai nominal, menunjukkan bahwa debit air dan beban listrik dapat dipertahankan dalam kondisi yang stabil. Namun, pada beberapa hari terjadi variasi kecil, misalnya akibat perubahan beban jaringan, fluktuasi debit air, atau kondisi cuaca tertentu yang mempengaruhi performa pembangkit.

Secara keseluruhan, data rata-rata daya harian pada kedua unit menunjukkan performa PLTM Ndungga yang baik dan sesuai dengan spesifikasi teknis. Sistem kontrol dan pengaturan beban telah bekerja dengan optimal sehingga distribusi daya listrik ke jaringan berjalan lancar. Faktor-faktor seperti debit air yang memadai, sistem

pengaturan governor yang stabil, serta sistem distribusi yang baik turut menjaga kestabilan daya rata-rata per hari.

5.2.1 Pembahasan Parameter Pendukung

- **Parameter pendukung Unit 1 bulan Februari**

Berdasarkan hasil pencatatan logsheet bulan Februari 2025 untuk Unit 1, diperoleh data parameter pendukung yang mencerminkan kondisi operasi pembangkit.

Daya reaktif tercatat pada kisaran 106 hingga 193 kVar. Nilai ini relatif stabil pada jam-jam yang tercatat, menandakan bahwa kebutuhan medan magnet pada generator sinkron tetap terjaga. Namun, pada beberapa jam terdapat selisih kecil yang wajar akibat perubahan beban jaringan dan debit air yang mempengaruhi kestabilan generator. Arus tercatat pada kisaran 75 hingga 91 A. Nilai ini cukup stabil dengan sedikit variasi pada jam-jam tertentu, yang biasanya dipengaruhi oleh perubahan beban yang wajar di jaringan distribusi. Nilai arus yang tercatat mendukung operasi generator dengan performa yang baik. Tegangan keluaran tercatat stabil pada kisaran 6,3 hingga 6,4 kV. Nilai ini menunjukkan sistem AVR berfungsi optimal dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran, yang penting untuk mendukung distribusi listrik ke jaringan. Faktor daya ($\cos \phi$) tercatat stabil pada nilai 0,99 pada setiap jam pencatatan. Nilai ini menunjukkan efisiensi pembangkit yang sangat baik dengan rasio daya aktif dan daya semu yang mendekati ideal. Excitasi tercatat stabil dengan tegangan sekitar 30 V dan arus excitasi 8 hingga 9 A pada jam-jam yang tercatat. Nilai ini mencerminkan kestabilan sistem pembentukan medan magnet pada generator sinkron. Governor menunjukkan nilai Gv.Open berkisar antara 76 hingga 87 dan tekanan governor 11 hingga 13 bar. Nilai ini stabil sepanjang hari, mendukung kestabilan debit air ke turbin agar putaran turbin tetap sesuai desain teknis. Kecepatan turbin tercatat stabil pada 750 rpm. Nilai ini menunjukkan sistem governor berfungsi dengan baik dalam menjaga frekuensi keluaran 50 Hz agar sesuai dengan standar distribusi listrik di Indonesia. Temperatur bearing (thrust bearing, bearing 1, dan bearing 2) tercatat stabil pada kisaran 51 hingga 54 °C. Nilai ini menunjukkan sistem pendinginan bearing berjalan optimal sehingga tidak terjadi overheating pada sistem mekanik. Temperatur winding (U/R, V/S, dan W/T) tercatat stabil pada kisaran 59 hingga 61 °C. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem pendinginan generator berfungsi baik dan mendukung performa generator secara keseluruhan.

- **Parameter pendukung Unit 1 bulan Maret**

Pada bulan Maret 2025, hasil pencatatan parameter pendukung untuk Unit 1 juga menunjukkan performa yang baik. Daya reaktif tercatat pada kisaran 75 hingga 128 kVar. Nilai ini menunjukkan kestabilan kebutuhan medan magnet generator sinkron agar tegangan keluaran tetap stabil, dengan sedikit variasi yang wajar akibat perubahan beban di jaringan distribusi. Arus tercatat pada kisaran 75 hingga 90 A. Nilai ini relatif stabil sepanjang jam pencatatan, menunjukkan distribusi beban yang seimbang dan mendukung operasi generator yang baik. Tegangan keluaran tercatat stabil pada kisaran 6,1 hingga 6,2 kV. Nilai ini sesuai dengan spesifikasi teknis generator dan menunjukkan kinerja sistem AVR yang optimal. Faktor daya tercatat stabil pada nilai 0,99 sepanjang hari. Nilai ini mendukung efisiensi distribusi listrik di jaringan PLN. Exitasi tercatat pada tegangan 31 hingga 32 V dan arus 9 A. Nilai ini stabil pada setiap jam pencatatan, mendukung kestabilan medan magnet generator sinkron. Governor tercatat dengan nilai Gv.Open pada kisaran 71 hingga 75 dan tekanan governor 11 hingga 13 bar. Nilai ini stabil dan mendukung kestabilan debit air ke turbin, agar putaran turbin tetap sesuai kecepatan nominal. Kecepatan turbin tercatat stabil pada 750 rpm sepanjang hari. Nilai ini menunjukkan kestabilan frekuensi keluaran listrik pada 50 Hz. Temperatur bearing (thrust bearing, bearing 1, dan bearing 2) tercatat stabil pada kisaran 47 hingga 52 °C. Nilai ini menunjukkan sistem pendinginan bearing berjalan baik. Temperatur winding (U/R, V/S, dan W/T) tercatat stabil pada kisaran 59 hingga 61 °C. Nilai ini menunjukkan ventilasi generator bekerja optimal untuk menjaga suhu tetap dalam batas aman.

- **Parameter pendukung Unit 2 bulan Februari**

Berdasarkan hasil pencatatan logsheet bulan Februari 2025 untuk Unit 2, diperoleh data parameter pendukung yang mencerminkan kondisi operasi pembangkit Daya reaktif tercatat pada kisaran 23 hingga 75 kVar. Nilai ini cenderung stabil pada jam- jam yang tercatat, yang menunjukkan kebutuhan medan magnet pada generator sinkron. Namun, banyak jam yang kosong (data tidak tercatat), yang bisa terjadi karena keterbatasan pencatatan manual atau unit tidak beroperasi penuh sepanjang hari (misalnya saat maintenance atau debit air rendah). Arus tercatat pada kisaran 49 hingga 50 A. Nilai ini stabil pada jam-jam yang tercatat, mencerminkan distribusi beban yang seimbang. Tetapi pada banyak jam lainnya data arus kosong, yang dapat diakibatkan oleh unit yang tidak beroperasi (standby/trip) atau pencatatan manual yang tidak dilakukan.

Tegangan keluaran tercatat stabil pada kisaran 6,4 hingga 6,5 kV pada jam-jam yang terisi. Nilai ini sesuai spesifikasi generator sinkron. Namun, banyak jam kosong menunjukkan keterbatasan pencatatan atau kondisi unit yang tidak beroperasi. Faktor daya tercatat stabil pada 0,99 pada jam-jam tertentu. Nilai ini mendekati nilai ideal untuk efisiensi distribusi listrik. Namun, data kosong pada banyak jam juga menunjukkan unit tidak beroperasi atau data belum tercatat secara manual. Excitasi tercatat stabil pada 25 V dan arus 6 A saat unit tercatat beroperasi. Nilai ini mendukung kestabilan medan magnet generator sinkron. Namun, banyak jam yang kosong menunjukkan kemungkinan unit tidak beroperasi atau data belum dicatat. Governor menunjukkan nilai Gv.Open sekitar 38 hingga 39 dengan tekanan 10 hingga 13 bar. Nilai ini stabil saat unit beroperasi. Tetapi banyak jam yang kosong menandakan kondisi unit yang tidak beroperasi atau keterbatasan pencatatan. Kecepatan turbin tercatat pada 750 rpm. Nilai ini stabil pada saat unit beroperasi sesuai desain teknis. Banyak jam kosong menunjukkan unit tidak aktif atau pencatatan tidak dilakukan. Temperatur bearing tercatat pada kisaran 46 hingga 51 °C pada jam-jam yang tercatat. Nilai ini mencerminkan sistem pendinginan berjalan baik. Namun, banyak jam tidak tercatat menandakan unit tidak beroperasi atau data tidak dicatat. Temperatur winding tercatat pada kisaran 51 hingga 59 °C. Nilai ini stabil saat unit beroperasi, menunjukkan sistem pendinginan generator berjalan baik. Banyak data kosong juga terjadi di jam-jam tertentu, menunjukkan kondisi unit yang tidak aktif atau keterbatasan pencatatan.

- **Parameter pendukung Unit 2 bulan Maret**

Berdasarkan hasil pencatatan harian pada bulan Maret 2025 di PLTM Ndungga untuk Unit 2, diperoleh data parameter pendukung yang mencerminkan kondisi operasi pembangkit. Daya reaktif tercatat pada kisaran 75 hingga 125 kVar. Nilai ini relatif stabil di setiap jam pencatatan, menunjukkan kebutuhan medan magnet pada generator sinkron agar tegangan keluaran tetap terjaga sesuai standar. Variasi nilai ini terjadi secara wajar, mengikuti perubahan beban listrik di jaringan distribusi dan kondisi debit air yang masuk ke turbin. Arus yang tercatat pada ketiga fasa (Ia, Ib, Ic) stabil pada kisaran 49 hingga 51 A. Nilai ini menunjukkan distribusi beban yang merata antar fasa dan kondisi operasi generator yang baik. Nilai arus yang stabil juga menandakan bahwa sistem distribusi listrik berjalan sesuai kapasitas nominal unit. Tegangan keluaran pada terminal generator tercatat stabil pada kisaran 6,3 hingga 6,4 kV. Nilai ini sesuai dengan spesifikasi generator sinkron yang digunakan. Tegangan yang stabil menunjukkan bahwa sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) bekerja dengan baik dalam menjaga kestabilan tegangan meskipun terjadi variasi beban di jaringan.

Faktor daya tercatat konstan pada nilai 0,99 di setiap jam pencatatan. Nilai ini menunjukkan bahwa pembangkit bekerja dengan efisiensi tinggi dan rasio antara daya aktif dengan daya semu mendekati nilai ideal. Hal ini mendukung distribusi listrik yang optimal ke jaringan. Exitasi tercatat stabil pada tegangan 25 V dan arus 6 A di setiap jam pencatatan. Nilai ini sesuai dengan kebutuhan pembentukan medan magnet pada generator sinkron, agar generator dapat menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai standar. Parameter governor menunjukkan nilai Gv.Open stabil pada kisaran 39 hingga 40, dengan tekanan governor (Gv.Press) berkisar antara 11 hingga 13 bar. Nilai ini menunjukkan bahwa debit air ke turbin diatur dengan baik, sehingga putaran turbin tetap stabil di kecepatan nominal. Kecepatan turbin tercatat stabil pada 750 rpm sepanjang hari. Nilai ini menunjukkan kinerja sistem governor yang optimal dalam menjaga kecepatan putaran turbin agar frekuensi keluaran tetap 50 Hz, sesuai standar jaringan distribusi listrik di Indonesia. Temperatur bearing (thrust bearing, bearing 1, dan bearing 2) tercatat stabil pada kisaran 47 hingga 52 °C. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem pendinginan dan pelumasan bearing berjalan baik, sehingga tidak terjadi overheating yang dapat mengganggu operasi turbin dan generator. Temperatur winding (U/R, V/S, dan W/T) tercatat stabil pada kisaran 59 hingga 61 °C. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem ventilasi generator berfungsi optimal untuk menjaga suhu belitan tetap dalam batas aman.

- **Analisis Kejadian Trip pada Unit 1 dan Unit 2**

Selama periode praktik, tercatat beberapa kejadian *trip* pada unit 1 dan unit 2. *Trip* merupakan kondisi berhentinya operasi pembangkit secara otomatis akibat adanya gangguan atau kondisi tidak normal yang terdeteksi oleh sistem proteksi.

- **Unit 1**

- **11 Februari 2025** : Trip pukul 10.55 disebabkan adanya ketidakseimbang beban mendadak di jaringan. Unit kembali sinkron pada pukul 16.30 setelah dilakukan pengecekan sistem kontrol dan stabilisasi beban.
- **19 Februari 2025** : Trip pukul 18.17 akibat lonjakan arus mendadak (overcurrent) yang terdeteksi oleh proteksi generator. Unit kembali sinkron pada pukul 21.04 setelah dilakukan reset proteksi.
- **21 Februari 2025** : Unit dimatikan secara terencana pukul 10.21 untuk perawatan preventif pada Main Inlet Valve (MIV) dan sistem kontrol hidrolik. Kegiatan meliputi pembersihan saringan, pengecekan tekanan hidrolik, dan pelumasan mekanisme katup. Unit kembali sinkron pada pukul 11.57.
- **15 Maret 2025** : Trip pukul 04.48 disebabkan oleh penurunan tekanan air mendadak pada penstock akibat fluktuasi debit sungai. Tekanan turun dari 8,5 bar menjadi 6,2 bar, sehingga turbin kehilangan torsi yang cukup untuk memutar rotor. Operator menutup sementara MIV, memantau debit air hingga kembali stabil, dan melakukan sinkronisasi ulang pukul 11.20.

- **17 Maret 2025** : Trip pukul 03.30 dan 07.30 terjadi akibat banjir di sekitar bendungan yang mengurangi kualitas aliran air dan membawa material sedimen ke saluran masuk. Operator menutup jalur air untuk pembersihan intake, memastikan jalur bebas hambatan, dan kembali mengoperasikan unit setelah kondisi aman.

○ **Unit 2**

- **11 Februari 2025** : Trip pukul 08.57 akibat penurunan frekuensi mendadak yang dipicu beban rendah pada jaringan PLN. Sebelum trip, beban turun dari 2,1 MW menjadi 1,3 MW, mengakibatkan frekuensi jatuh dari 50 Hz ke 48,4 Hz. Sistem proteksi memutuskan koneksi untuk mencegah kerusakan generator. Operator memeriksa sistem eksitasi, memastikan tidak ada kerusakan, dan melakukan sinkronisasi kembali pukul 17.15.
- **16 Februari 2025** : Trip pukul 22.14 akibat banjir yang mengurangi debit air ke turbin. Debit air turun dari 6,5 m³/s menjadi 4,1 m³/s sehingga daya keluaran berkurang signifikan. Operator menutup MIV, membersihkan intake dari material yang terbawa arus banjir, lalu mengoperasikan kembali unit setelah debit normal.
- **19 Februari 2025** : Trip pukul 18.17 karena gangguan beban yang menyebabkan arus melonjak hingga melewati batas aman. Sebelum trip, beban naik dari 1,9 MW menjadi 2,4 MW secara tiba-tiba. Operator mereset proteksi dan melakukan sinkronisasi ulang pukul 21.09.
- **22 Februari 2025** : Trip pukul 18.15 akibat tersumbatnya aliran air oleh material sedimen di intake. Hal ini mengurangi tekanan air dari 8,3 bar menjadi 6,5 bar. Operator menutup sementara jalur air, melakukan pembersihan manual, dan mengembalikan operasi setelah aliran normal.
- **23 Februari 2025** : Terjadi beberapa kali sinkron-off akibat fluktuasi debit air yang signifikan. Salah satu kejadian besar terjadi pukul 09.10 hingga 19.10, ketika debit air naik-turun antara 6,2 m³/s hingga 4,0 m³/s akibat hujan deras di hulu. Operator melakukan penyesuaian bukaan guide vane secara berkala untuk menjaga kestabilan beban, namun sistem tetap melakukan off otomatis demi keamanan.

5.3 Pembahasan Total kWh Unit, Stand kWh Line, dan Hasil kWh × 6000

Berdasarkan data logsheet Unit 1 dan Unit 2 bulan Februari 2025, diperoleh hasil pencatatan total kWh unit per hari yang menunjukkan tren produksi energi listrik yang stabil setiap harinya. Nilai total kWh unit yang tercatat berkisar antara 18.000 kWh hingga lebih dari 35.000 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa PLTM Ndungga mampu mempertahankan performa pembangkitan energi listrik secara konsisten sepanjang bulan Februari 2025. Selain itu, nilai Stand kWh Line yang tercatat setiap hari menunjukkan kestabilan distribusi energi ke jaringan distribusi PLN. Nilai Stand kWh Line per hari secara umum meningkat secara linear dengan kisaran antara 14.393 hingga 14.512. Stabilitas ini menunjukkan bahwa proses distribusi listrik ke jaringan berjalan baik dan sistem proteksi distribusi di PLTM Ndungga berfungsi optimal. Hasil kWh yang dikalikan dengan 6000

menunjukkan estimasi pendapatan harian yang diperoleh dari produksi listrik. Nilai hasil kWh \times 6000 ini bervariasi antara Rp18.000.000 hingga Rp35.000.000 per hari. Estimasi ini memberikan gambaran mengenai potensi pendapatan harian yang dihasilkan oleh PLTM Ndungga selama bulan Februari 2025, serta menjadi salah satu indikator performa finansial pembangkit. Secara keseluruhan, pencatatan total kWh unit, Stand kWh Line, dan hasil kWh \times 6000 menunjukkan performa teknis dan potensi finansial PLTM Ndungga yang baik sepanjang bulan Februari 2025. Data ini menjadi dasar evaluasi kinerja pembangkit, serta referensi penting dalam pengembangan unit pembangkit ke depannya.

Pada bulan Maret 2025, data logsheet Unit 1 dan Unit 2 menunjukkan hasil pencatatan total kWh unit per hari yang menggambarkan performa pembangkit yang relatif stabil dan meningkat secara perlahan setiap harinya. Nilai total kWh unit harian tercatat berada pada rentang antara 12.000 kWh hingga lebih dari 32.000 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa PLTM Ndungga tetap mampu menghasilkan energi listrik secara konsisten, meskipun terdapat variasi kecil yang dapat disebabkan oleh kondisi operasional, debit air, maupun kebutuhan pemeliharaan unit. Nilai Stand kWh Line setiap hari juga menunjukkan distribusi energi yang stabil ke jaringan distribusi PLN. Pencatatan Stand kWh Line berkisar antara 14.517 hingga 14.655 sepanjang bulan Maret 2025. Stabilitas ini menunjukkan distribusi energi ke jaringan berjalan baik dan sistem proteksi distribusi masih berfungsi dengan baik. Hasil kWh yang dikalikan dengan 6000 menunjukkan estimasi pendapatan harian yang diperoleh dari produksi listrik. Nilai hasil kWh \times 6000 ini berkisar antara Rp12.000.000 hingga Rp32.000.000 per hari. Nilai ini memperlihatkan potensi pendapatan harian yang diperoleh oleh PLTM Ndungga selama bulan Maret 2025, serta menjadi indikator penting untuk evaluasi finansial pembangkit.

Dengan demikian, pencatatan total kWh unit, Stand kWh Line, dan hasil kWh \times 6000 selama bulan Maret 2025 menunjukkan bahwa PLTM Ndungga telah menjalankan operasionalnya dengan baik. Data ini menjadi acuan penting dalam menilai kinerja teknis dan keuangan pembangkit, serta mendukung perencanaan dan pengembangan unit pembangkit di masa depan.

5.4 Pembahasan Atas Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil pengamatan, pencatatan, dan analisis data logsheet selama bulan Februari dan Maret 2025 pada Unit 1 dan Unit 2 di PLTM Ndungga, berikut jawaban atas rumusan masalah yang telah dikemukakan pada Bab I:

1. Bagaimana prinsip kerja dan mekanisme pemanfaatan energi minihidro untuk distribusi listrik?

Prinsip kerja PLTM Ndungga menggunakan energi potensial air dari aliran sungai yang diubah menjadi energi mekanik melalui turbin. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik menggunakan generator sinkron. Dari hasil pencatatan logsheet, terlihat bahwa sistem ini bekerja dengan baik, dengan kecepatan turbin stabil pada 750 rpm yang sesuai dengan desain teknis untuk menghasilkan frekuensi keluaran 50 Hz. Sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) juga bekerja optimal untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran pada kisaran 6,1–6,5 kV. Exitasi yang stabil menunjukkan bahwa pembentukan medan magnet di rotor generator berjalan baik, mendukung efisiensi dalam proses konversi energi. Mekanisme distribusi listrik di PLTM Ndungga memanfaatkan transformator step-up untuk menaikkan tegangan sebelum disalurkan ke jaringan distribusi PLN, sehingga listrik dapat menjangkau masyarakat di wilayah Ende Timur.

2. Sejauh mana efektivitas PLTM Ndungga dalam memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga?

Berdasarkan analisis daya rata-rata harian, Unit 1 mampu menghasilkan daya antara 922,9 kW hingga 1007,7 kW di bulan Februari dan 906,8 kW hingga 999,1 kW di bulan Maret. Unit 2 menghasilkan daya antara 600,0 kW hingga 610,5 kW di bulan Februari dan 600,0 kW hingga 604,0 kW di bulan Maret. Nilai daya rata-rata ini mendekati kapasitas nominal masing-masing unit, menunjukkan PLTM Ndungga mampu memenuhi permintaan listrik rumah tangga secara efektif. Stabilitas faktor daya pada 0,99 menunjukkan sistem distribusi bekerja efisien, sehingga kerugian daya dapat ditekan seminimal mungkin. Dengan demikian, PLTM Ndungga berperan penting dalam mendukung pasokan listrik bagi masyarakat di wilayah Ende Timur, terutama untuk kebutuhan rumah tangga.

3. Apa saja tantangan dalam implementasi dan pengelolaan PLTM Ndungga di daerah terpencil?

Tantangan yang dihadapi dalam implementasi dan pengelolaan PLTM Ndungga antara lain keterbatasan akses ke lokasi pembangkit, sehingga distribusi logistik, pemeliharaan, dan monitoring alat menjadi lebih sulit. Hal ini terlihat dari adanya beberapa jam pencatatan logsheet yang kosong, khususnya di Unit 2 bulan Februari, yang mengindikasikan keterbatasan pencatatan manual atau kondisi unit yang tidak beroperasi. Selain itu, suhu trafo tidak tercatat karena sensor suhu trafo belum terpasang sejak awal, sehingga mempersulit pemantauan kondisi distribusi tegangan pada transformator. Debit air sungai yang bervariasi akibat faktor cuaca juga menjadi tantangan yang mempengaruhi kestabilan daya yang dihasilkan. Meski demikian, secara umum PLTM Ndungga masih dapat beroperasi dengan performa yang stabil sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan, pencatatan dan analisis data logsheet yang dilakukan di PLTM Ndungga selama bulan Februari dan Maret 2025 untuk Unit 1 dan Unit 2, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1) Prinsip Kerja dan Teknologi PLTM

PLTM Ndungga beroperasi dengan sistem pembangkit berbasis energi air yang memanfaatkan turbin, generator sinkron, serta sistem kontrol distribusi dan pendingin. Teknologi ini bekerja secara stabil dan sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah direncanakan, mendukung transformasi energi potensial air menjadi energi listrik secara efisien.

2) Efektivitas Penyediaan Listrik

Daya rata-rata harian pada Unit 1 dan Unit 2 mendekati kapasitas nominalnya, yaitu berkisar antara 922,9 kW hingga 1007,7 kW untuk Unit 1, dan antara 600,0 kW hingga 610,5 kW untuk Unit 2. Hal ini menunjukkan bahwa PLTM Ndungga efektif dalam mendistribusikan energi listrik yang andal bagi masyarakat, terutama di wilayah Ende Timur yang belum seluruhnya terjangkau jaringan listrik utama.

3) Kendala dan Rekomendasi Optimalisasi

Selama periode pengamatan ditemukan beberapa kendala teknis, antara lain belum tersedianya data suhu trafo akibat sensor yang tidak aktif, serta adanya kekosongan data logsheet di beberapa jam pada Unit 2 bulan Februari karena keterbatasan pencatatan manual. Meskipun demikian, data yang diperoleh tetap dapat merepresentasikan performa pembangkit secara umum. Untuk optimalisasi, disarankan peningkatan sistem monitoring, pengaktifan seluruh sensor pengukuran, dan perbaikan prosedur pencatatan agar mendukung akurasi data dan efisiensi operasional pembangkit secara berkelanjutan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pengamatan, pencatatan, dan analisis yang telah dilakukan pada PLTM Ndungga selama bulan Februari dan Maret 2025 untuk Unit 1 dan Unit 2, berikut beberapa saran yang dapat diberikan agar kinerja pembangkit dapat lebih optimal di masa mendatang:

1. Peningkatan Sistem Monitoring dan Pencatatan Data

Disarankan untuk melakukan perbaikan atau pengembangan sistem monitoring agar pencatatan data logsheet lebih lengkap dan berkesinambungan. Hal ini penting agar analisis performa pembangkit dapat dilakukan secara lebih detail, terutama pada jam-jam yang kosong atau belum tercatat secara manual.

2. Pemasangan Sensor Suhu Trafo

Mengingat data suhu trafo pada logsheet saat ini belum tersedia, maka disarankan untuk segera memasang sensor suhu pada trafo step-up. Pemasangan sensor suhu ini sangat penting untuk mendukung pemantauan kondisi transformator sehingga dapat dilakukan tindakan preventif jika terjadi kenaikan suhu yang tidak normal.

3. Pemeliharaan Berkala dan Pengawasan Debit Air

Untuk menjaga kestabilan daya rata-rata dan parameter pendukung lainnya, disarankan untuk melakukan pemeliharaan berkala pada sistem turbin dan generator, serta pengawasan debit air sungai secara periodik. Hal ini penting agar unit pembangkit dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan dan mengurangi risiko gangguan operasional.

4. Pelatihan Operator

Diperlukan pelatihan berkelanjutan bagi operator PLTM agar kemampuan teknis dalam pencatatan data, pengoperasian sistem kontrol, dan pemeliharaan unit pembangkit semakin baik. Pelatihan ini diharapkan dapat meminimalisir kesalahan pencatatan atau gangguan operasional lainnya.

5. Koordinasi dengan Pihak Terkait

Disarankan untuk terus menjalin koordinasi yang baik dengan pihak PLN dan pihak terkait lainnya guna mendukung kelancaran distribusi listrik ke masyarakat. Koordinasi ini penting untuk memastikan distribusi daya berjalan optimal dan untuk menangani potensi masalah di lapangan, terutama di daerah terpencil. Dengan adanya saran-saran ini, diharapkan kinerja PLTM Ndungga dapat terus meningkat sehingga mampu mendukung penyediaan energi listrik yang andal bagi masyarakat di wilayah Ende Timur.

DAFTAR PUSTAKA

Rais, Muh., Ritnawati., P, Risky., Dahri, Irwan., Aminuddin, Rosihan., Sarman, Erdawaty., Rauf, Rosnita., Berlianti, Rahmi., & Berlianti. (2024). *Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja*. Yayasan Kita Menulis.

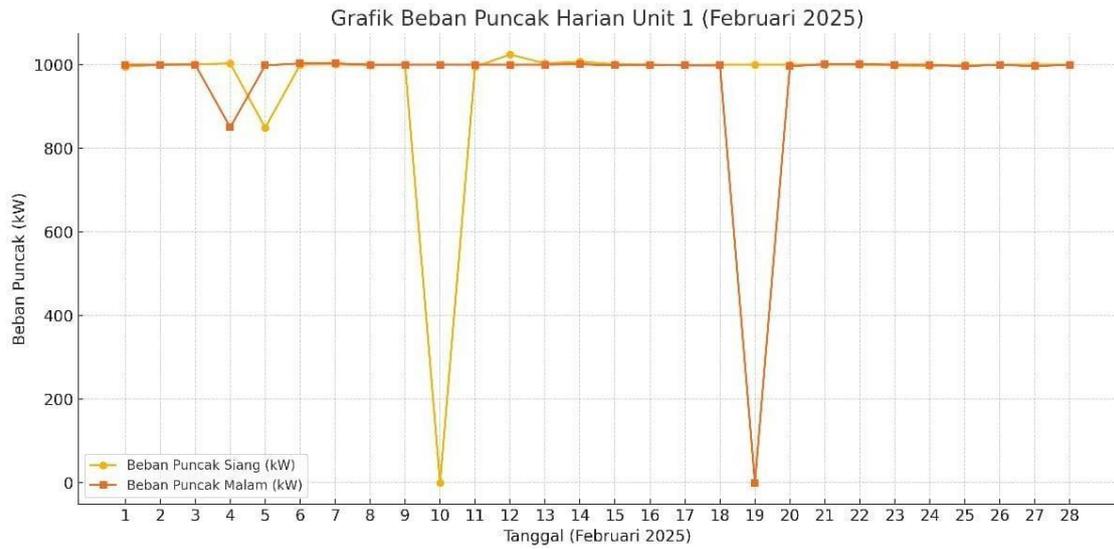
Alzavis, N. B., Wirawan, R. R., Solihah, K. I., & Nugroho, V. H. (2024). *Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia*. *Jurnal Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering*, 1(2), 119–139.

<https://doi.org/10.61511/jimese.v1i2.2024.544>

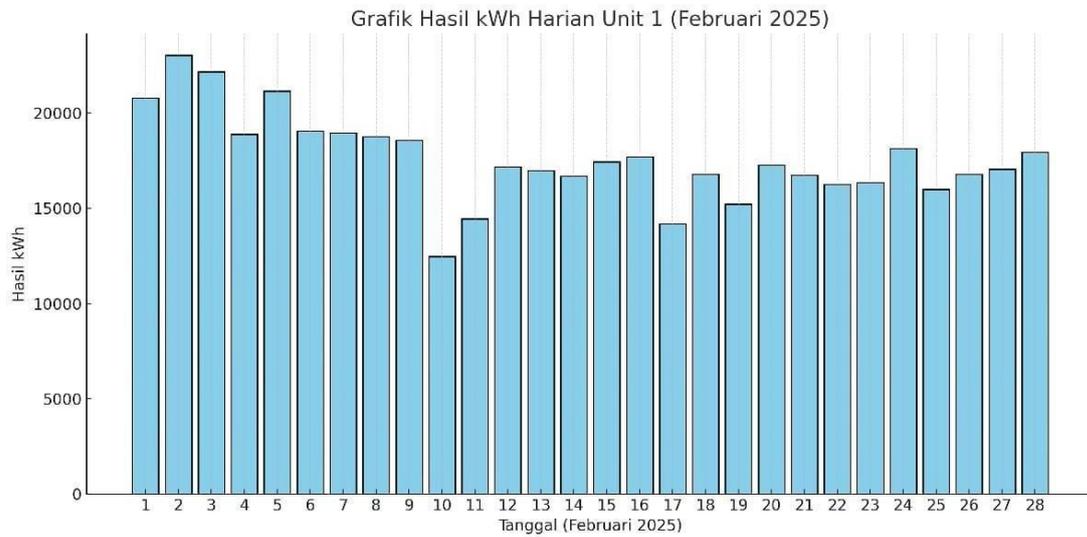
Iqball, Muhammad,. Putro, Haryono. (2021). *Analisis Studi Kelayakan Teknis dan Ekonomis Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Studi Kasus : PLTM Prukut Sambirata, Kabupaten Banyumas, Purwokerto*.
<http://jurnal.undira.ac.id/index.php/tera/>

Robby, R, Reza,. Khayrunnisa, A,. (2019). *Analisis Efisiensi Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Malea di Kabupaten Tana Toraja*.

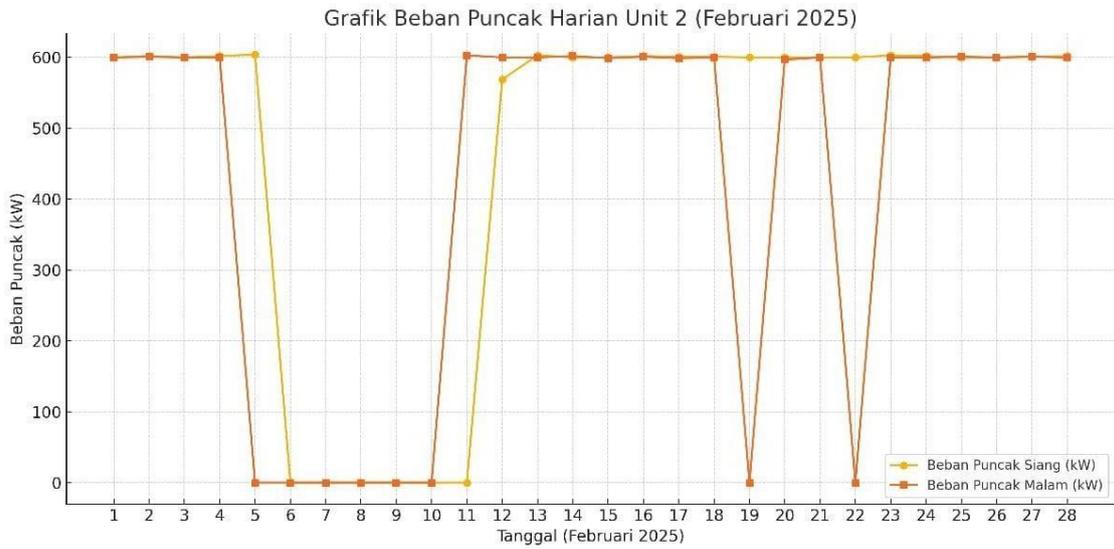
Lampiran 3. Garfik Beban Puncak Harian Unit 1 bulan Februari 2025



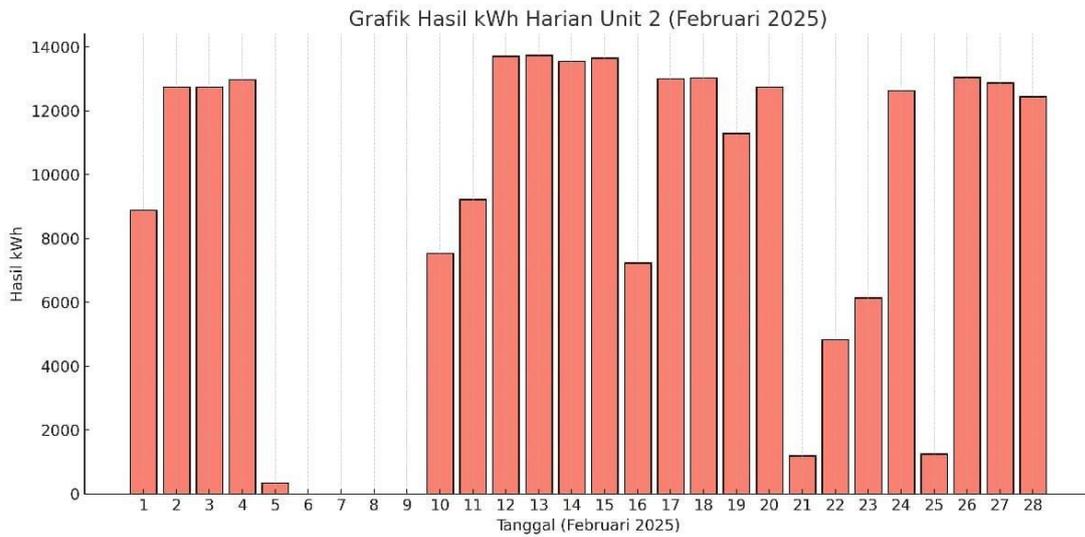
Lampiran 4. Grafik Hasil kWh Harian Unit 1 bulan Februari 2025



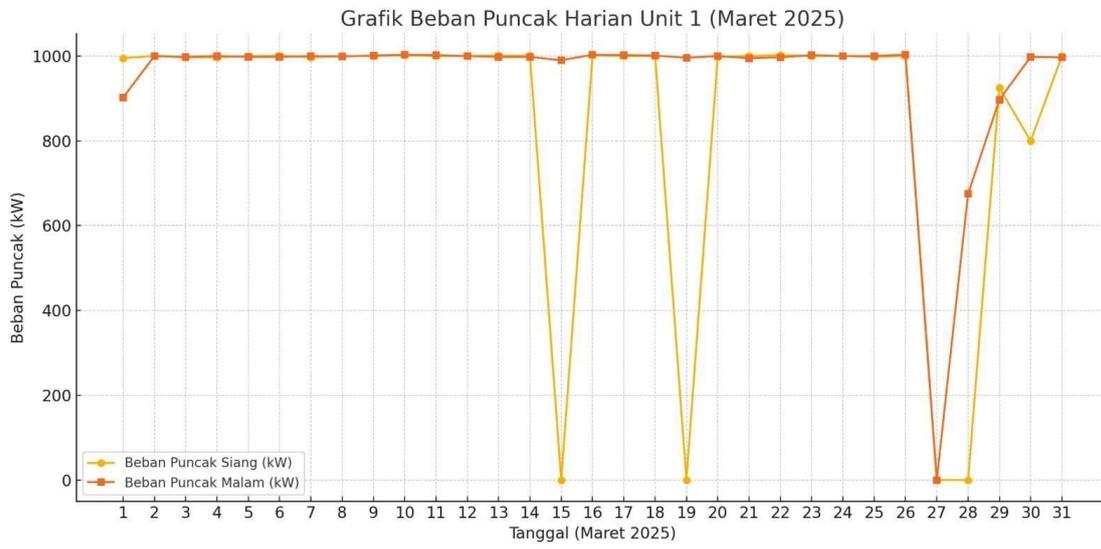
Lampiran 5. Garfik Beban Puncak Harian Unit 2 bulan Februari 2025



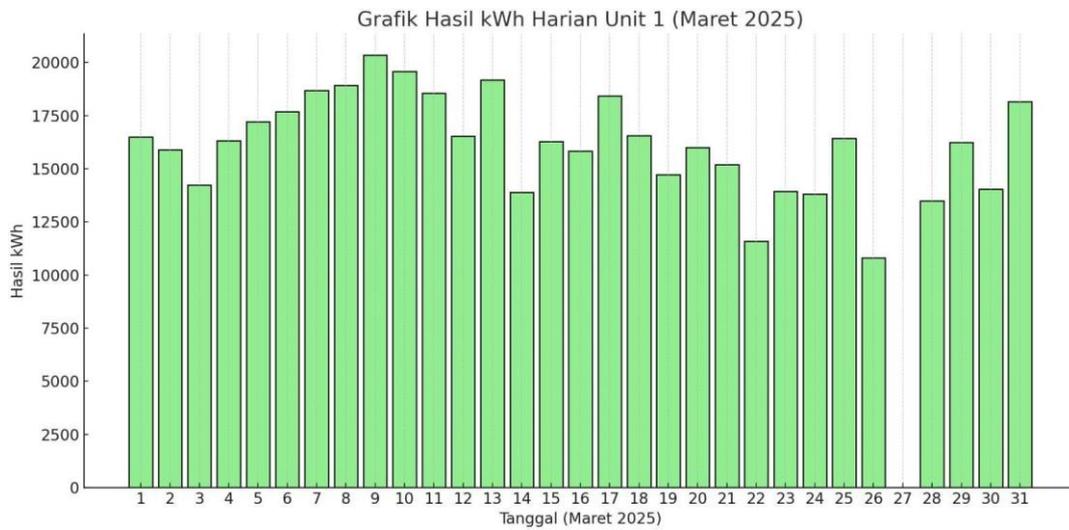
Lampiran 6. Grafik Hasil kWh Harian Unit 2 bulan Februari 2025



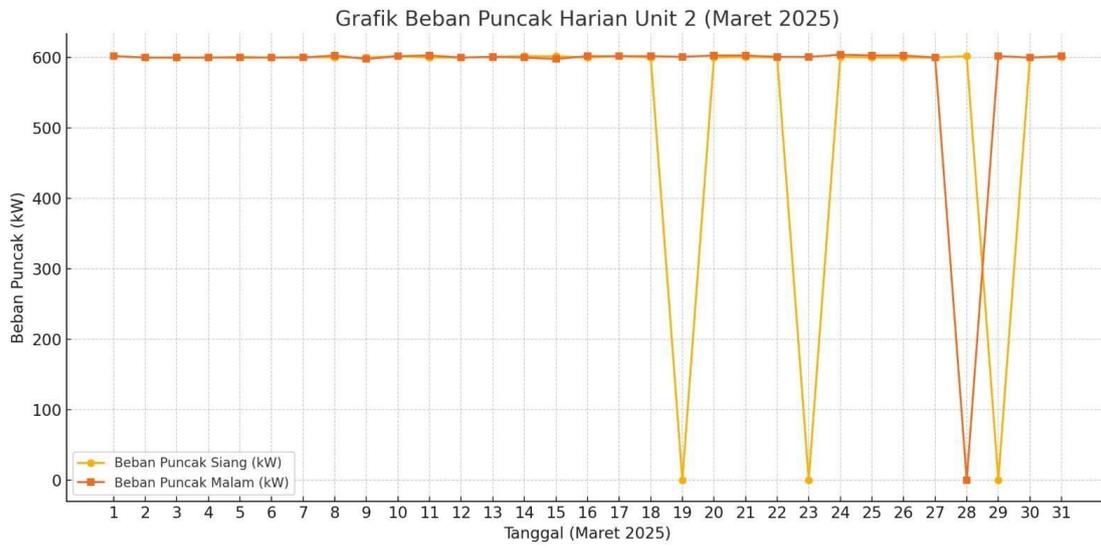
Lampiran 7. Garfik Beban Puncak Harian Unit 1 bulan Maret 2025



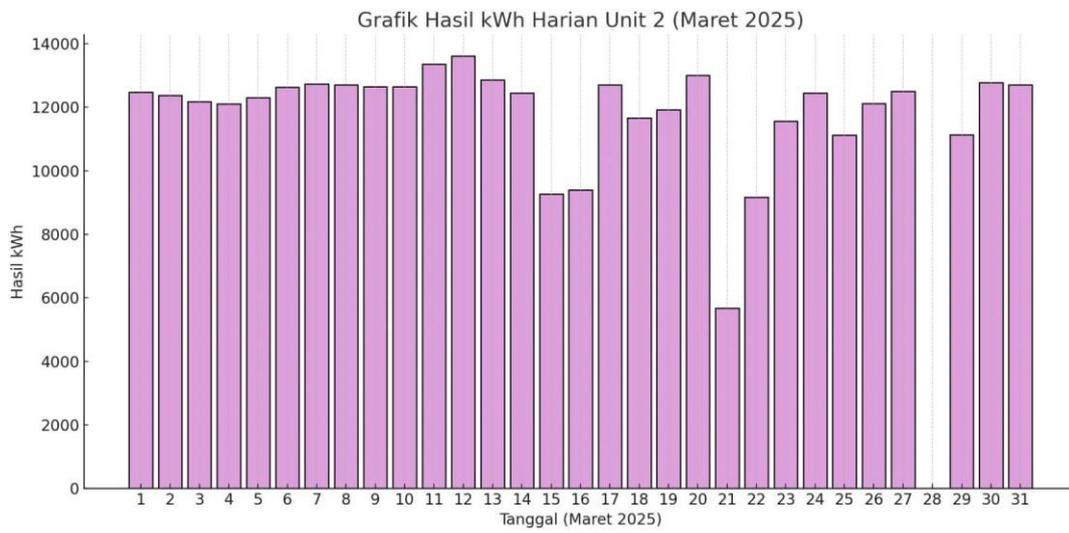
Lampiran 8. Grafik Hasil kWh Harian Unit 1 bulan Maret 2025



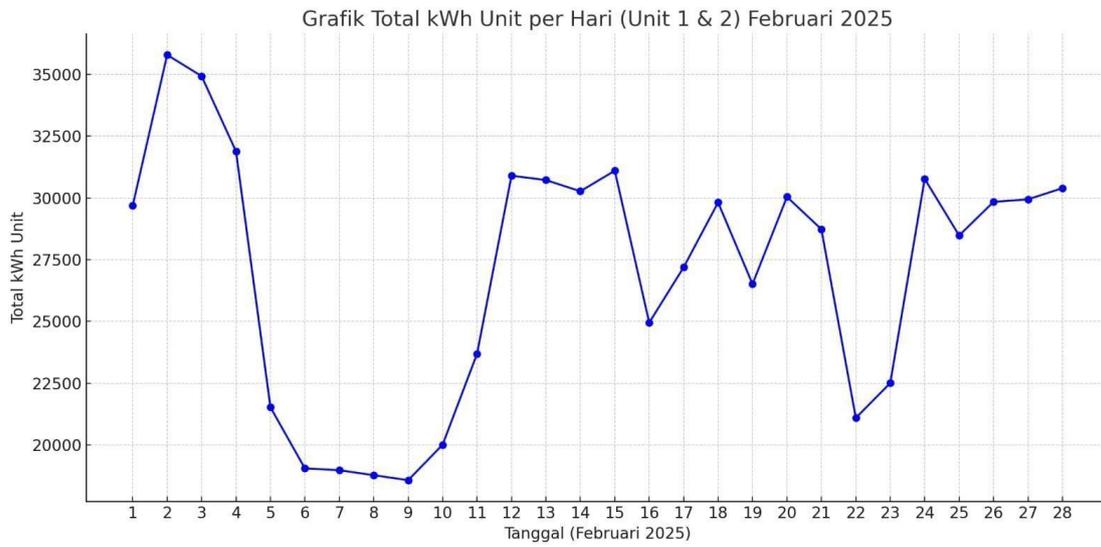
Lampiran 9. Garfik Beban Puncak Harian Unit 2 bulan Maret 2025



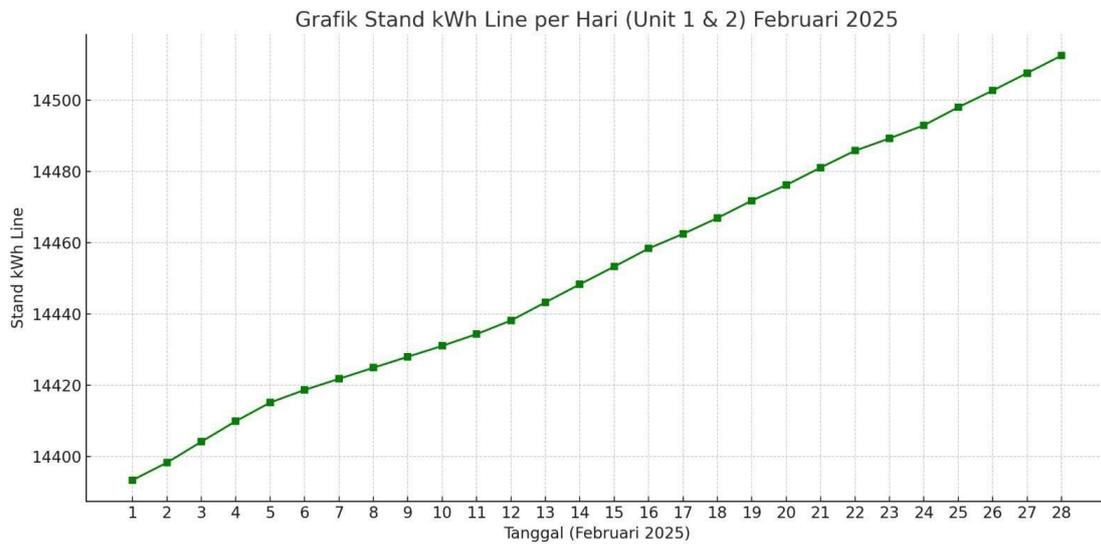
Lampiran 10. Grafik Hasil kWh Harian Unit 2 bulan Maret 2025



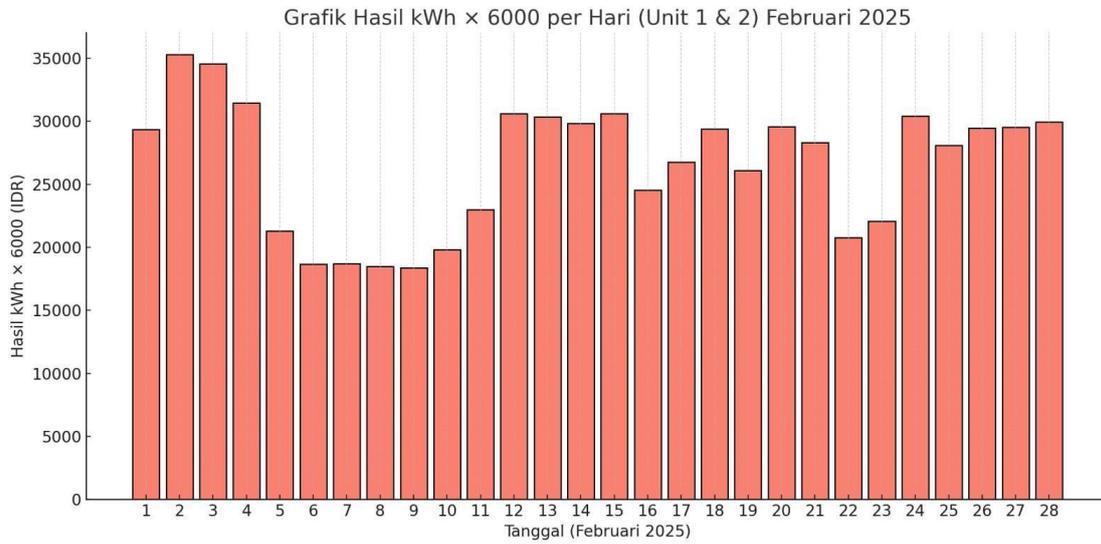
Lampiran 11. Grafik Total kWh Unit bulan Februari



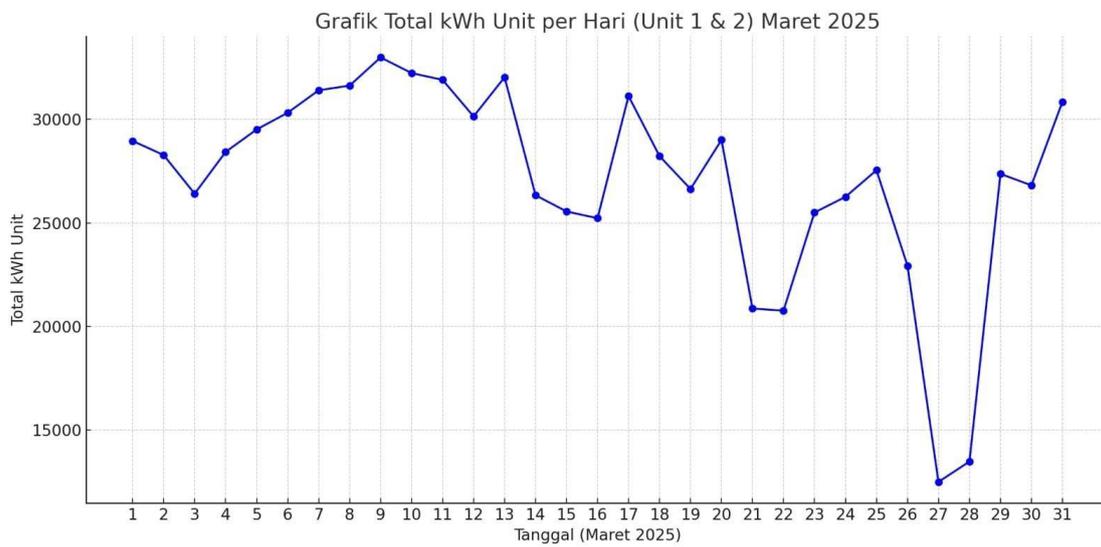
Lampiran 12. Grafik Stand kWh Line bulan Februari



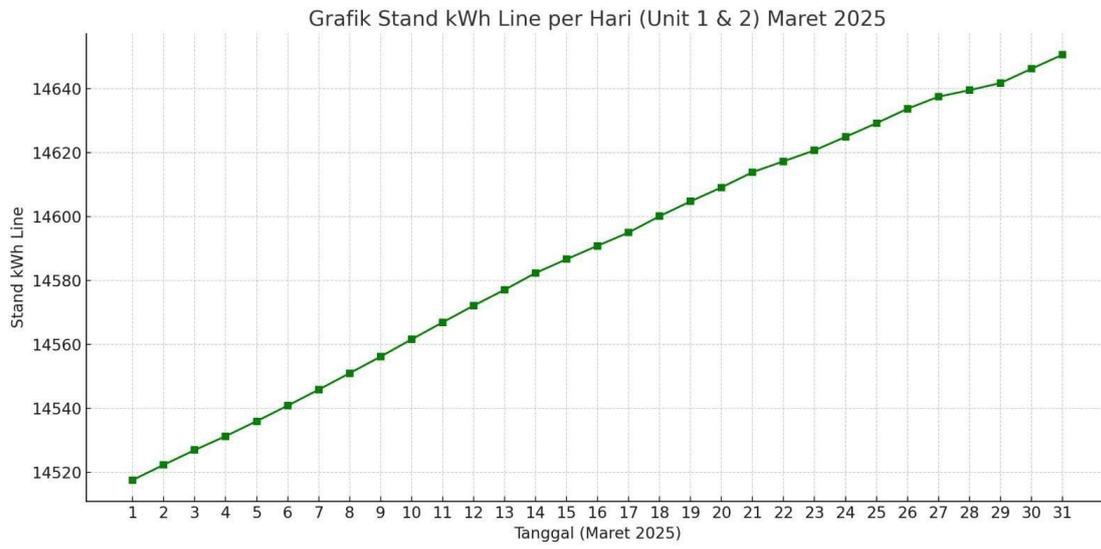
Lampiran 13. Grafik Hasil kWh × 6000 bulan Februari



Lampiran 14. Grafik Total kWh Unit bulan Maret



Lampiran 15. Grafik Stand kWh Line bulan Maret



Lampiran 16. Grafik Hasil kWh × 6000 bulan Maret

