

**ANALISA TEKNIS DAN KOMERSIAL
PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MICRO HIDRO DI GUNUNG HALU**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh

**RIDWAN ARDIANSYAH
NPM. 2115227007**



**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP
BANDUNG
2024**

ANALISA TEKNIS DAN KOMERSIAL
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MICRO HIDRO
DI GUNUNG HALU

Nama : Ridwan Ardiansyah
NPM : 2115227007
Dosen Pembimbing : Dr. Winardi Sani, Dipl - Ing.

ABSTRAK

Abstrak ini menyajikan analisis potensi teknis, karakteristik turbin, serta implikasi komersial dan manfaat sosial-ekonomi dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Gunung Halu. Metodologi penelitian menggabungkan pendekatan kuantitatif dan kualitatif, dengan pengumpulan data melalui observasi, pengukuran, wawancara, dan analisis dokumen keuangan. Hasil analisis teknis menunjukkan bahwa PLTMH Gunung Halu memiliki potensi besar dengan debit air 400 m³/s dan tinggi jatuh 8 meter, menghasilkan estimasi daya air sebesar 26683,2 kW. Karakteristik turbin cross flow menunjukkan efisiensi yang sesuai dengan lingkungan operasional. Dari segi komersial, distribusi energi listrik direncanakan untuk 80 KK, termasuk 20 KK miskin, dengan kontribusi iuran per bulan. Analisis keuangan menunjukkan potensi nilai bersih sekarang (NPV) yang signifikan. Kesimpulannya, PLTMH Gunung Halu menawarkan potensi besar sebagai sumber energi listrik yang bersih dan berkelanjutan, serta memberikan manfaat sosial-ekonomi bagi masyarakat setempat. Pentingnya pemeliharaan, pengembangan, dan optimalisasi operasional ditekankan untuk mewujudkan potensi ini dalam jangka panjang. Studi ini memberikan kontribusi pada pemahaman tentang peran energi terbarukan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan inklusif di wilayah tersebut.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Turbin Cross Flow, sumber energi

ABSTRACT

This abstract presents an analysis of the technical potential, and turbine characteristics, as well as the commercial implications and socio-economic benefits of the Halu Mountain Micro Hydro Power Plant (PLTMH). The research methodology combines quantitative and qualitative approaches, with data collection through observation, measurement, interviews, and analysis of financial documents. The results of the technical analysis show that the mountain Halu PLTMH has great potential with a water discharge of 400 m³ / s and a fall height of 8 meters, resulting in an estimated water power of 26683.2 kW. The characteristics of cross-flow turbines indicate the efficiency corresponding to the operational environment. From a commercial point of view, the distribution of electrical energy is planned for 80 households, including 20 poor households, with monthly contribution contributions. Financial analysis shows a significant potential net present value (NPV). In conclusion, Halu Mountain PLTMH offers great potential as a source of clean and sustainable electrical energy and provides socio-economic benefits for local communities. The importance of maintenance, development, and operational optimization is emphasized to realize this potential in the long run. The study contributes to an understanding of the role of renewable energy in supporting sustainable and inclusive development in the region.

Keywords : Renewable Energy, Cross Flow Turbine, energy source

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR PERNYATAAN ORISINALITAS	
	Jl. PH.H. Mustofa No.68, Cikutra, Cibeunying Kidul, Bandung 40124	No. Revisi	01
		Berlaku Efektif Februari 2024

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

NAMA : Ridwan Ardiansyah
NIM : 2115227007
ALAMAT : Kompl Bumi Orange Blok G-7 No.23 Desa Cimekar
Kecamatan Cileunyi Kabupaten Bandung
NO Telepon/HP : +6287719859583
EMAIL : ardiansyahridwan18@gmail.com

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini menyatakan orisinal saya sendiri, dengan
Judul :

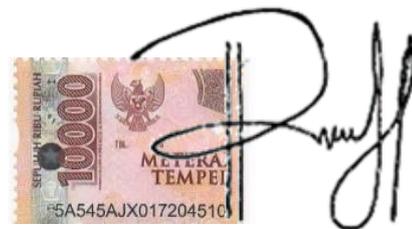
ANALISA TEKNIS DAN KOMERSIAL PLTMH DI GUNUNG

HALU

*Technical and Commercial Analysis of Micro Hydro Power Plant
in Gunung Halu*

Atas pernyataan ini, Peneliti siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan
kepada peneliti apabila di kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap
kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang
menunjukkan ketidak aslian karya ini.

Bandung, Maret 2024



Ridwan Ardiansyah

NIM: 2115227007

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN	
	Jl. PH.H. Mustofa No.68, Cikutra, Cibeunying Kidul, Bandung 40124	No. Revisi	01
		Berlaku Efektif	,,, Februari 2024

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR ANALISA TEKNIS DAN KOMERSIAL PLTMH DI GUNUNG HALU

*Technical and Commercial Analysis of Micro Hydro Power Plant
in Gunung Halu*

Disusun oleh :

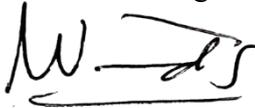
Ridwan Ardiansyah
2115227007

Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir Program S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP

Bandung, 1 Maret 2024

Disahkan oleh :

Pembimbing I



Dr. Winardi Sani, Dipl-Ing
NIDN. 0018026802

Dosen Penguji I



Drs. Ir. Agus Sholehudin, M.Pd., M.T., IPM.
NIP. 19620203 198503 1 003

Dosen Penguji II



Cecep Deni Mulyadi, S.T., M.T.
NIDN. 0412058804

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin



Wisnu Wijaya, S.T., M.T.
NIDN. 0420117101

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISA TEKNIS DAN KOMERSIAL PADA PLTMH DI GUNUNG HALU”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan seluruh umatnya.

Selama proses penyusunan hingga terselesaikannya skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan do'a, motivasi, semangat, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih yang tulus kepada:

1. Bapak Dr. Didin Saepudin SE. M.Si selaku Rektor USBYPKP.
2. Bapak Wistu. ST., MT selaku Ketua Progam Studi Teknik Mesin.
3. Bapak Dr. Winardi Sani, Dipl-Ing selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini dan.
4. Seluruh Staf dan Dosen di Fakultas Teknik Mesin Universitas sangga Buana YPKP Bandung dan tidak lupa Rekan Teknik Mesin Angkatan 2022.

Terlepas dari semua itu, Pengkaji menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan baik dari segi sususan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu dengan sangat terbuka kami menerima segala kirtik dan saran yang membangun agar pedoman ini dapat disempurnakan.

Akhir kata Peneliti berharap semoga pedoman penulisan Tugas akhir/Kerja praktek ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi kepada mahasiswa/i Program Studi Sarjana Teknik Mesin Universitas Sangga Buana YPKP.

Bandung , 1 Maret 2024



Ridwan Ardiansyah

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DIAGRAM TABEL.....	viii
DIAGRAM LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Metodologi Penelitian	4
1.3.1 Metodologi Penelitian Langsung	4
1.3.2 Metodologi Pengolahan Data	4
1.3.3 Study Literature.....	4
1.4 Tujuan	4
1.4.1 Tujuan Umum	4
1.4.2 Tujuan Khusus	5
1.4 Manfaat	5
1.4.1 Bagi Masyarakat	5
1.4.2 Bagi Program S1 Jurusan Teknik Mesin	6
1.4.2 Bagi Mahasiswa	6
BAB II TINJAUAN TEORI	7
2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hidro (PLTMH).....	7
2.2 Turbin Air	8
2.3 Jenis – Jenis Turbin.....	9

2.4 Berdasarkan Aliran.....	15
2.5 Komponen – Komponen Turbin Air	16
2.6 Karakteristik Turbin <i>Cross Flow</i>	21
2.7 Karakteristik Turbin <i>Whirpool</i>	23
2.8 Transmisi Daya Mekanik	23
2.8.1 Sistem transmisi daya dengan sabuk (Belt)	23
2.8.2 <i>Pulley</i>	26
2.8.3 Kopling.....	29
2.9 Karakteristik turbin air	39
2.10 Klasifikasi turbin.....	43
2.11 Komponen PLTMH	44
2.12 Komersial pada PLTMH	51
2.12.1 Nilai Bersih Sekarang (NPV).....	51
2.12.2 Tingkat Pengendalian Internal (IRR)	52
2.12.3 Periode Pengendalian Investasi (Payback Period)	53
2.12.4 Profitability Index (PI)	53
2.12.5 Risiko dan Analisis Sensitivitas	54
2.12.6 Penghitungan Pendapatan	56
2.13 Pabrik Kopi di Gunung Halu	57
BAB III METODOLOGI PELAKSANAAN TUGAS AKHIR	60
3.1 Pendahuluan	60
3.2 Desain Penelitian.....	61
3.3 Populasi dan Sampel	61
3.4 Pengumpulan Data	62
3.4.1 Data Teknis	62
3.4.2 Data Komersial.....	64
3.5 Diagram Alir	70
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	71
4.1 Analisis Potensi PLTMH Gunung Halu	71
4.2 Analisis Lokasi dan Aksesibilitas	71
4.3 Analisis Teknis Bangunan Air dan <i>Penstock</i>	71

4.4 Analisis Sistem Mekanikal dan Elektrikal	71
4.5 Rencana Distribusi Listrik dan Penggunaan	72
4.6 Potensi Pengembangan Lebih Lanjut.....	72
4.7 Analisis Perhitungan Teknis	72
4.8 Analisis Perhitungan Nilai Bersih Sekaran (NVP)	78
4.9 Analisis Periode Pengendalian Investasi (Payback Period).....	80
4.10 Analisis Profitability Index (PI).....	81
4.11 Risiko dalam pengelolaan PLTMH.....	81
4.12 Perhitungan Pendapatan.....	82
BAB V PENUTUP.....	84
5.1 Potensi Energi dan Analisis Teknis.....	84
5.2 Karakteristik Teknis Turbin	84
5.3 Potensi Manfaat Sosial dan Ekonomi	84
5.4 Kesimpulan	86

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Wilayah Desa Gunung Halu.....	2
Gambar 1.2 Sistem PLTMH Tangsi Jaya	3
Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTMH	8
Gambar 2.2 Tubin Impuls	9
Gambar 2.3 Turbin Pelton.....	10
Gambar 2.4 Penampang <i>Nozel</i> dan <i>Runner Pelton</i>	10
Gambar 2.5 Turbin Turgo	12
Gambar 2.6 Penampang aliran masuk.....	12
Gambar 2.7 Turbin <i>Cross-flow</i>	13
Gambar 2.8 <i>Turbin Francis</i>	14
Gambar 2.9 Turbin <i>Kaplan</i>	15
Gambar 2.10 Turbin Alira Aksial	15
Gambar 2.11 Turbin Aliran radial.....	16
Gambar 2.12 <i>Inlet</i>	16
Gambar 2.13 <i>Guide-vane</i>	17
Gambar 2.14 <i>Guid-vane</i>	17
Gambar 2.15 <i>Runner</i>	18
Gambar 2.16 <i>Runner</i>	18
Gambar 2.17 <i>Casing Turbin</i>	18
Gambar 2.18 Bantalan (<i>Bearing</i>)	19
Gambar 2.19 Bantalan (<i>Bearing</i>)	19

Gambar 2.20 <i>Generator DC</i>	20
Gambar 2.21 <i>Pompa Air</i>	21
Gambar 2.22 Grafik Efisiensi <i>Turbin Crossflow</i> terhadap debit air.....	21
Gambar 2.23 <i>Turbin Whirpool</i>	23
Gambar 2.24 Mekanika penghantar daya.....	24
Gambar 2.25 <i>Meknika penghantar daya</i>	24
Gambar 2.26 Penampang V Belt.....	26
Gambar 2.27 <i>Pulley Crowning</i>	27
Gambar 2.28 Dimensi utama V belt.....	28
Gambar 2.29 <i>kopling Rantai</i>	30
Gambar 2.30 Inklinasi dengan sudut α	30
Gambar 2.31 <i>Ketidak sejajaran sumbu poros (misalignment)</i>	31
Gambar 2.32 <i>Ketidak rapatan kopling, celah kopling sebesar S</i>	31
Gambar 2.33 <i>Daerah Kesalahan yang Diperbolehkan</i>	32
Gambar 2.34 <i>Kopling Fenaflex</i>	33
Gambar 2.35 Susunan Kopling Flens Fleksibel NBK	35
Gambar 2.36 Penampang baut kopling flens fleksible NBK.....	35
Gambar 2.37 Konstruksi Kopling Flens NBK.....	35
Gambar 2.38 Konstruksi Kopling Fleksibel N-UEFEX	36
Gambar 2.39 <i>Cone Clamp</i>	39
Gambar 2.40 Penampang Tolok Cone Clamp	39
Gambar 2.41 Intake.....	44
Gambar 2.42 <i>Headrace</i>	45

Gambar 2.43 <i>Forebay</i>	46
Gambar 2.44 <i>Penstock</i>	46
Gambar 2.45 Turbin	47
Gambar 2.46 Generator	48
Gambar 2.47 <i>Trashrack</i>	48
Gambar 2.48 <i>Power House</i>	49
Gambar 2.49 <i>Switchgear</i>	50
Gambar 2.50 <i>Trailrace</i>	50
Gambar 2.51 Jaringan Transmisi	51
Gambar 2.52 Pabrik Kopi Desa Tangsi.....	57
Gambar 2.53 MESIN PENGUPAS KULIT KOPI ADR MPKK 200	58
Gambar 2.54 MESIN PENGUPAS KULIT KOPI BASAH MPKK 100	59
Gambar 2.55 MESIN PENGUPAS KULIT KOPI KERING ADR MPKK 150 ..	59

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Lebar Belt.....	27
Tabel 2.2 Diameter Pulley.....	27
Tabel 2.3 Penampang V belt, Diameter Minimum Pulley 7 panjang.....	28
Tabel 2.4 Dimensi Kopling Karet Ban Fenaflex.....	33
Tabel 2.5 Data Teknis Kopling Flens Fleksibel NBK.....	34
Tabel 2.6 Dimensi Kopling Flens Fleksibel NBK.....	36
Tabel 2.7 Dimensi Baut Kopling Flens Fleksibel NBK.....	36
Tabel 2.8 Dimensi Kopling Fleksibel N-EUFEX.....	37
Tabel 2.9 Klasifikasi Turbin.....	44
Tabel 3.1 Daftar Konsumen PLTMH.....	62
Tabel 3.2 <i>Data Teknis</i>	63
Tabel 3.3 <i>Data Beban Anggaran PLTMH</i>	64
Tabel 3.3 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Januari 2023</i>	65
Tabel 3.4 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Febuari 2023</i>	65
Tabel 3.5 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Maret 2023</i>	66
Tabel 3.6 <i>Data Buku Besar Pada Bulan April 2023</i>	66
Tabel 3.7 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Mei 2023</i>	66
Tabel 3.8 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Juni 2023</i>	67
Tabel 3.9 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Juli 2023</i>	67
Tabel 3.10 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Agustus 2023</i>	67
Tabel 3.11 <i>Data Buku Besar Pada Bulan September 2023</i>	68

Tabel 3.12 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Oktober 2023</i>	68
Tabel 3.13 <i>Data Buku Besar Pada Bulan November 2023</i>	68
Tabel 3.14 <i>Data Buku Besar Pada Bulan Desember 2023</i>	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *THREE PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR MJB 160 MB4*

Lampiran 2 *TYPICAL EFFICIENCY CURVE*

Lampiran 3 *LOCKED ROTOR MOTOR STARTING CURVE*

DAFTAR SINGKATAN

PLTMH	: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
kW	: Kilowatt
m ³ /s	: Meter Kubik per Detik
Mdpl	: Meter di Atas Permukaan Air Laut
Rpm	: Rotasi per Menit
KVA	: Kilovolt Ampere
KK	: Keluarga (Kepala Keluarga)
Rp	: Rupiah (Mata Uang Indonesia)
CF	: Cash Flow
NPV	: Net Present Value
T	: Tahun
G	: Gravitasi
η	: Efisiensi Turbin
V	: Kecepatan
C	: Kecepatan Spesifik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik energi terbarukan skala kecil yang memanfaatkan aliran sungai dan selisih ketinggiannya dengan daya tidak lebih dari 200 kW. Umumnya, PLTMH digunakan untuk menyuplai energi ke wilayah pedesaan yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.

Dusun Tangsi Jaya terletak di Desa Gunung Halu, Kecamatan Gunung Halu, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Desa ini merupakan salah satu desa yang memanfaatkan energi listrik dari PLTMH sejak tahun 2007. Wilayah Desa Gunung Halu berada pada ketinggian 1.100 meter di atas permukaan laut (DPL), dengan lanskap desa di sekitar hutan dan topografi perbukitan.

Luas wilayah Desa Gunung Halu adalah 3.869,63 hektar. Terdiri dari 3 (tiga) dusun, dengan total 24 Rukun Tetangga (RW) dan 80 Rukun Tetangga (RT). Desa Gunung Halu memiliki jumlah penduduk sekitar 10.437 jiwa dengan komposisi 5.062 laki-laki dan 5.375 perempuan, sedangkan jumlah Kepala Keluarga sebanyak 2.748 KK. Perekonomian masyarakat Desa Gunung Halu masih terfokus pada sektor pertanian dengan komposisi petani pemilik sebesar 57,87%, buruh tani 24,64% dan buruh swasta sebesar 12,06%.

Orbitasi Desa Gunung Halu cukup baik meskipun jalan yang menghubungkan desa Gunung Halu dengan pusat aktivitas belum sepenuhnya diaspal aspal dan jembatan yang memadai, sehingga jalan yang menghubungkan desa Gunung Halu tidak dapat dengan mudah dilalui oleh kendaraan roda empat biasa. Jarak dari pusat desa Gunung Halu ke ibukota nasional Jakarta adalah 220 km, sedangkan jarak ke ibukota provinsi Bandung adalah 80 km, sedangkan jarak ke ibukota kabupaten adalah 60 km dan jarak ke ibukota kabupaten adalah 3 km.

Pembangunan PLTMH diawali dengan kegiatan survei pada tahun 2006, dan dibangun pada tahun 2007 yang dibiayai oleh APBD Provinsi Jawa Barat dengan masa konstruksi 3 bulan menghasilkan listrik sebesar 18 KW. Pada akhir tahun 2007 PLTMH selesai dibangun dan dioperasikan untuk melayani kebutuhan listrik 65 rumah dengan masing-masing memperoleh listrik 220 watt. Selain itu, PLTMH ini juga menyediakan 3 musala, 1 sekolah dan 2 RPH rumah dinas.

Pada awal operasi, MHPP dioperasikan oleh beberapa operator yang menerima pelatihan dari MHPP-GTZ. Seiring berjalannya waktu, ada perubahan operator dari yang senior ke junior. Namun, operator Junior belum mendapatkan pelatihan sebaik operator sebelumnya, sehingga mereka merasa memiliki masalah dalam mengoperasikan PLTMH.

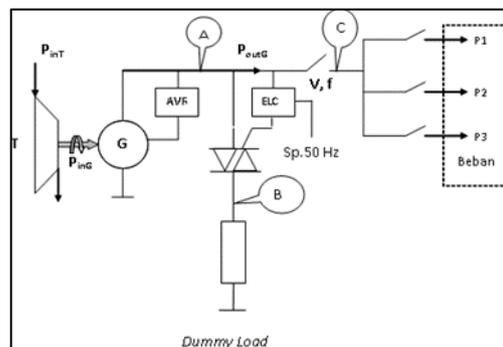
Untuk menjamin keberlanjutannya, dibentuk lembaga pengelola PLTMH yang difasilitasi oleh MHPP-GTZ sehingga saat ini telah memiliki lembaga pengelola PLTMH yang bernama KP-PLTMH RIMBA LESTARI. Lembaga ini bertanggung jawab atas operasi dan pemeliharaan PLTMH. Pembangkit ini merupakan andalan penyediaan energi listrik kepada masyarakat sehingga diperlukan keberlanjutan dan oleh karena itu dibutuhkan operator yang memiliki kompetensi untuk mengoperasikan dan memeliharanya. Gambar 1 menunjukkan wilayah dusun Tangsi Jaya, Desa Gunung Halu.



Gambar 1.1. Wilayah Desa Gunung Halu

Agar PLTMH tetap beroperasi dengan baik, salah satunya membutuhkan operator yang memiliki kemampuan untuk mengoperasikan PLTMH secara memadai. Oleh karena itu, agar hal ini terus berlanjut, selain sistem peralatan menjadi sehat, operator juga dalam keadaan siap.

PLTMH ini dibangun dan dioperasikan pada tahun 2007. Awalnya pabrik dioperasikan oleh beberapa operator yang menerima pelatihan dari MHPP-GTZ. Kondisi ini menyebabkan mereka merasa bahwa mereka memiliki masalah mengoperasikannya. Atas dasar itu, kegiatan pelatihan PLTMH berbasis komunitas mandiri.



Gambar 1.2. Sistem PLTMH Tangsi Jaya

1.2 Rumusan Masalah

PLTMH Rimba Lestari menggunakan SWER yang diaplikasikan pada penerangan saluran air dan bendungan PLTMM. Pabrik menghasilkan 22 kW tenaga listrik. Namun, daya yang dihasilkan masih belum memadai untuk penerangan jalan, bendungan, konsumsi listrik oleh masyarakat dan terutama oleh pabrik kopi. Oleh karena itu, perlu untuk memodifikasi desain data yang ada dengan mengoptimalkan parameter desain berdasarkan standar untuk transmisi kabel tunggal. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas aliran daya dan keamanan.

1.3 Metodologi Penelitian

1.3.1 Metode Pengukuran Langsung

Melibatkan pengukuran langsung daya terpasang dan produksi listrik dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Gunung Halu.

Menggunakan pengukur daya dan pengukur produksi listrik untuk mendapatkan data yang akurat.

1.3.2 Metode Pengolahan Data

Data yang diperlukan untuk analisis teknis dan komersial pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Gunung Halu adalah perhitungan daya listrik yang dihasilkan dengan menghitung *power output*, biaya produksi energi, pengukuran *head* dan perhitungan komersial dalam pengembangan dan perbaikan PLTMH.

1.3.3 Study Literature

Merupakan data yang diperoleh dari buku sebagai bahan tambahan dalam penyusunan laporan terkait tema yang diambil. Meningkatkan wawasan dan pengetahuan bagi mahasiswa dengan mengumpulkan data berupa teori-teori yang sesuai dengan tema yang diambil dalam tugas akhir ini. Sehingga dapat menambah referensi dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai sehubungan dengan pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1.4.1 Tujuan Umum

1. Mengetahui informasi tentang deskripsi pelaksanaan pekerjaan di perusahaan atau di lembaga tempat kerja praktek berlangsung.
2. Menerapkan ilmu yang diperoleh dari perkuliahan.
3. Meningkatkan kreativitas dan keahlian mahasiswa.
4. Melatih kepekaan mahasiswa untuk mencari solusi atas permasalahan yang dihadapi di dunia industri atau dunia kerja.
5. Mengetahui, mengenali dan memahami analisis teknis dan komersial pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Gunung Halu.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Analisis teknis dan komersial pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Gunung Halu.
2. Menganalisis karakteristik teknis sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro, termasuk potensi kapasitas, efisiensi, dan keberlanjutan operasional.
3. Menganalisis karakteristik teknis sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro, termasuk potensi kapasitas, efisiensi, dan keberlanjutan operasional. Menyusun analisis biaya investasi awal dan biaya operasional yang diperlukan untuk implementasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro di gunung halu.
4. Membandingkan manfaat ekonomi dan lingkungan dari penggunaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan sumber energi konvensional yang telah digunakan sebelumnya.

1.5 Manfaat

1.5.1 Bagi Masyarakat

1. Implementasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi di Gunung Halu, mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi konvensional.
2. Memperkenalkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro memberikan diversifikasi sumber energi, mengurangi risiko fluktuasi harga bahan bakar dan meningkatkan ketahanan energi perusahaan.
3. Mengadopsi sumber energi terbarukan dapat meningkatkan citra masyarakat sebagai entitas yang sadar lingkungan dan berkelanjutan.

1.5.2 Bagi Program S1 Jurusan Teknik Mesin

1. Proyek ini dapat menjadi dasar untuk penelitian dan inovasi di bidang teknik mesin, khususnya dalam pengembangan teknologi terbarukan dan efisien.
2. Proyek ini dapat menjadi dasar untuk penelitian dan inovasi di bidang teknik mesin, terutama dalam pengembangan teknologi terbarukan dan efisien.
3. Hasil proyek ini dapat digunakan sebagai publikasi ilmiah, meningkatkan reputasi departemen teknik mesin dalam berkontribusi pada pengembangan teknologi terkini.

1.5.3 Bagi Mahasiswa

1. Mahasiswa dapat menggali pengalaman praktis melalui keterlibatan langsung dalam proyek analisis teknis dan komersial, memperkaya pemahaman mereka tentang aplikasi ilmu teknik mesin di dunia nyata.
2. Mahasiswa dapat mengaplikasikan teori dan konsep yang dipelajari dalam perkuliahan teknik mesin ke dalam konteks analisis proyek energi terbarukan.
3. Mahasiswa dapat mengaplikasikan teori dan konsep yang dipelajari dalam perkuliahan teknik mesin ke dalam konteks analisis proyek energi terbarukan.

BAB II

TINJAUAN TEORI

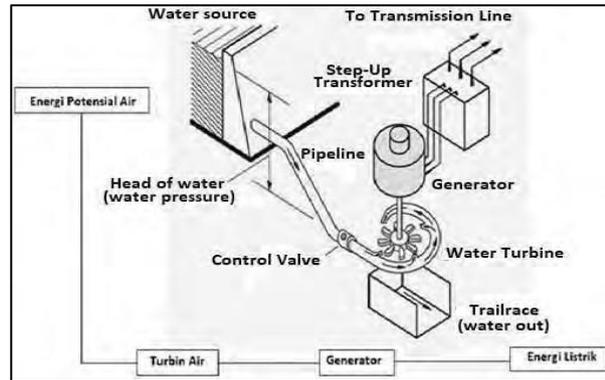
2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan suatu sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan ketinggian dan debit air. PLTMH secara teknis terdiri dari tiga komponen utama yaitu : Air sebagai sumber energi, Turbin sebagai pengubah energi potensial menjadi energi gerak / mekanis dan Generator sebagai pengubah energi mekanis menjadi energi listrik.

Mikro didasarkan sesuai dengan kapasitas daya keluarannya, dengan klasifikasi sebagai berikut:

- a) Pico hidro : 500 Watt – 10 kW
- b) Micro hidro : 10 – 100 kW
- c) Mini hidro : 100 – 1.000 kW

Prinsip dasar Mikro Hidro adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik. Sebuah skema mikro hidro membutuhkan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh air (head) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) ke dalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. Prinsip kerjanya ialah air mengalir masuk ke turbin air memutar sudu sudu, sudu yang berputar menghantarkan energi ke generator dan generator merubah energi gerak menjadi energi listrik. Skema prinsip kerja mikro hidro dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip Kerja PLTMH

Maka untuk menghitung Daya dibangkitkan PLTMH dapat dituliskan dengan rumus persamaan sebagai berikut :

$$P = \rho \times g \times Q \times H \times \eta \dots \dots \dots \text{(Pers 2.1)}$$

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

ρ = Massa jenis air (Kg/m³)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

Q = Debit Aliran Air (m³/s)

H = Ketinggian (m)

η = Efisiensi Sistem PLTMH, Efisiensi Sistem PLTMH Umumnya 0,85

2.2 Turbin Air

Turbin air adalah peralatan yang berfungsi mengubah energi kinetik yang dimiliki aliran air menjadi energi kinetik rotasi. Turbin berfungsi mengubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik pada generator. Turbin air digerakkan karena adanya dorongan aliran air yang tinggi sehingga dapat memutar sudu-sudu turbin. Adapun turbin air yang digunakan pada PLTMH ini adalah tipe Turbin Whirlpool. Maka untuk menghitung energi listrik dapat dituliskan persamaan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{listrik}} = V \times I \dots \dots \dots \text{(Pers 2.2)}$$

Dimana :

P_{listrik} = Energi Listrik (W)

V = Tegangan (V)

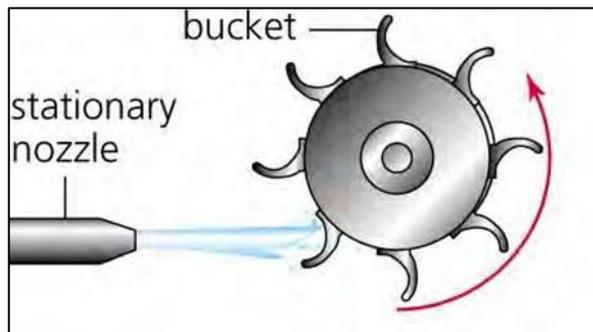
I = Arus (A)

2.3 Jenis – Jenis Turbin

Turbin air memiliki bermacam macam jenis untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air dibedakan/dikelompokkan berdasarkan head (tinggi jatuh air) dan kapasitas aliran air yang ada. Berdasarkan prinsip kerja turbin dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Turbin Impuls

Turbin Impuls adalah turbin air yang memiliki tekanan sama pada setiap sudut gerakannya. Aliran air yang masuk dengan aliran air yang keluar dari sudut memiliki besar aliran yang sama. cara kerjanya yaitu merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial, tekanan, dan kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik.

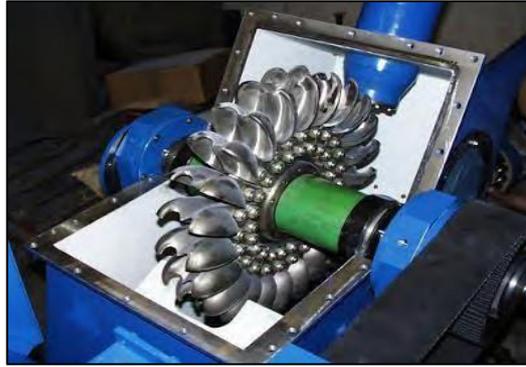


Gambar 2.2 Turbin Impuls

Contoh dari beberapa jenis turbin Impuls :

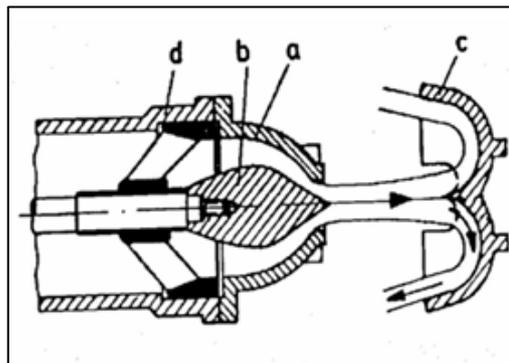
a) Turbin Pelton

Turbin Pelton adalah turbin yang memiliki satu set sudu, digunakan pada head tinggi. pancaran air yang keluar dari nozel menembak ke arah sudu suduroda jalan sehingga memutar roda jalan. Cara kerjanya Mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik. Turbin Pelton dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.3. Turbin Pelton

Turbin pelton dipakai pada daerah dengan head yang tinggi. Runner turbin pelton dilengkapi dengan mangkok (buckets) pada sekeliling piringannya (disc), yang bekerja karena pancaran air (jet discharge) dari nosel. Penampang konstruksi nosel dan runnernya.



Gambar 2.4. Penampang Nosel dan Runner Pelton

Terdapat beberapa bagian pada gambar 2.4 diatas;

- Nosel
- Jarum Nosel
- Sudu
- Pipa Saluran

Pancaran air akan mengenai sudu ditengah-tengahnya yang kemudian oleh mangkok mangkok sudu, pancaran tersebut akan dibelokkan dengan sudut sekitar 165° . Mangkok- mangkok ini mengalihkan tenaga impuls yang didapatnya pada piringan. Pada pusat mulut pancaran dipasang sebuah jarum untuk mengatur jumlah aliran air, yaitu dengan menggerakkannya maju

dan mundur. Dengan demikian efisiensi turbin pelton dapat dipertahankan. Diantara mulut pancaran dan rotor dapat juga dipasang sebuah deflektor untuk membelokkan pancaran air. Bila beban tiba-tiba dibuang (rejected), deflektor secara darurat menghalangi pancaran air. Kemudian tempat keluar mulut pancaran dengan perlahan-lahan disumbat oleh jarum sehingga tidak mengakibatkan kenaikan tekanan pada pipa pesat yang dikenal dengan istilah water hammer.

Untuk turbin dengan debit yang kecil, sistem penyemprotan airnya dapat menggunakan satu buah nosel dan untuk debit lebih besar dapat digunakan nosel lebih dari satu. Dengan menggunakan lebih dari satu nosel, daya terbangkit turbin dapat ditingkatkan.

Turbin pelton pada umumnya digunakan untuk head yang tinggi, diatas 25 m. Efisiensi turbin pelton dapat mencapai 80%.

b) Turbin Turgo

Turbin turgo dapat beroperasi pada head (ketinggian) 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, perbedaan turbinturgo dengan turbin pelton terletak pada bentuk sudunya. Turbin Turgo dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.5 Turbin Turgo

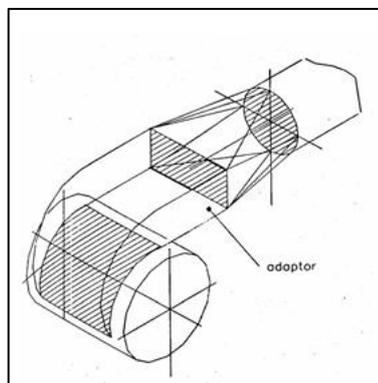
c) Turbin *cross-flow*

Turbin cruss-flow merupakan turbin yang dapat digunakan pada aliran air yang kecil dengan daya kurang lebih 75 KW. Tinggi jatuhnya air yang biasa digunakan 1 m sampai dengan 200 m. Turbin Cross-Flow dapat dilihat pada gambar 2.6.

Turbin crossflow SKAT – T12, T13 dan T14 didisain untuk kondisi operasi yang berat dengan daya tahan dan umur yang panjang. Konstruksinya sederhana dan dapat dibuat di bengkel-bengkel dengan peralatan standar.

Turbin crossflow terdiri atas empat bagian utama: nosel, runner, guide vane dan casing (rumah turbin). Air dialirkan masuk turbin melalui pipa pesat berpenampang bulat. Pada ujung pipa pesat, yaitu sebelum masuk ke turbin, dipasang adaptor, tempat perubahan penampang lingkaran menjadi persegi, menjelang masuk rumah turbin. Dari adaptor air masuk ke nosel. Nosel berpenampang persegi dan mengeluarkan pancaran air ke selebar runner.

Bentuk pancaran adalah persegi, lebar dan tidak terlalu tebal. Sebelum mencapai runner, aliran disesuaikan kecepatan masuk dan sudut masuknya. Konstruksi runner terdiri dari dua buah pinggiran sejajar yang disatukan pada lingkaran luarnya oleh sejumlah sudu. Sudu-sudu diperkuat oleh piringan tambahan yang dilas setiap 10-15 cm sepanjang runner.



Gambar 2.6 Penampang Aliran di Sisi Masuk Turbin

Pada gambar 2.5 terlihat penampang aliran yang berbeda-beda disepanjang lintasannya dari pipa pesat sampai rumah turbin. Sisi pemasukan turbin melayani penyesuaian aliran diakhir adaptor persegi menjadi pola aliran yang optimal diluasan masuk runner.



Gambar 2.7 Turbin *Cross-flow*

2. Turbin Reaksi

Turbin Reaksi adalah turbin dengan prinsip kerja aliran fluida yang masuk ke roda turbin memiliki tekanan lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Aliran air yang masuk ke roda turbin menggerakkan sudu sudu turbin dan merubah energi air menjadi energi kinetik. Sudu sudu turbin reaksi mempunyai profil yang khusus yang mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu sudu turbin. Beberapa contoh dari turbin reaksi yaitu:

a) Turbin *Francis*

Turbin *francis* merupakan salah satu jenis turbin reaksi. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah dan sudu penggerak yang semua sudunya terendam air. Untuk menggerakkan sudu turbin Francis membutuhkan tekanan lebih. Aliran air yang masuk kedalam turbin memiliki tekanan yang tinggi dan air yang keluar betekanan rendah. Turbin Francis dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.8 Turbin *Francis*

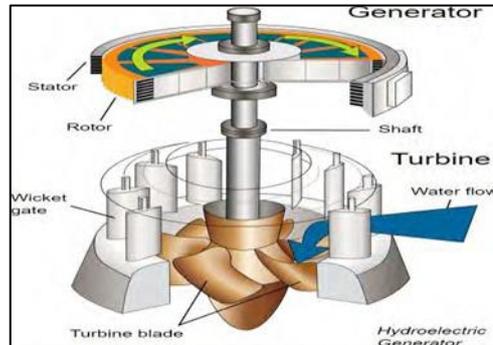
Turbin francis merupakan turbin reaksi. Pada turbin francis, air mengalir ke runner dengan arah radial dan keluar dengan arah aksial. Turbin francis dipakai untuk berbagai keperluan (wide range) dengan tinggi air jatuh menengah (medium head). Dibandingkan dengan turbin crossflow dan pelton, turbin francis kurang populer untuk pembangkit listrik tenaga air dengan daya kecil (PLTMH) karena konstruksinya yang kompleks serta tingkat kesulitan dalam pembuatan yang relatif lebih tinggi.

Selain penggunaan pompa sebagai turbin (PAT) pada PLTMH untuk head menengah, 10 sampai 50 m, merupakan alternatif yang dapat dipertimbangkan. Hanya saja karena pompa tidak didisain untuk aliran yang terbalik mengakibatkan efisiensi PAT tidak sebaik turbin pada umumnya. Sebuah pompa didisain untuk bekerja pada kecepatan, head dan debit yang konstan, sehingga untuk digunakan sebagai turbin menuntut laju aliran yang konstan sepanjang tahun. Perubahan laju aliran air akan mengakibatkan efisiensi PAT menurun.

b) Turbin Kaplan

Turbin kaplan bekerja pada head rendah dengan debit air yang besar. Turbin kaplan banyak digunakan pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai karena turbin kaplan memiliki kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah-ubah. Turbin kaplan mempunyai roda jalan yang miring dengan baling-baling pesawat terbang, roda jalan berfungsi

untuk menghasilkan gaya yaitu gaya putar yang mendapatkan torsi pada poros turbin. Gambar Turbin Kaplan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



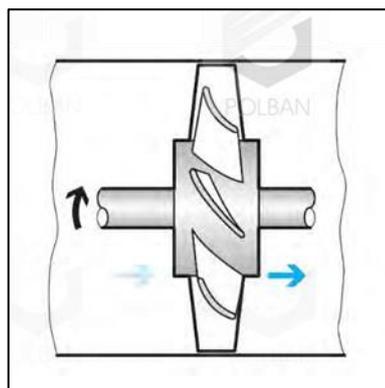
Gambar 2.9 Turbin Kaplan

2.4 Berdasarkan Aliran

Jenis turbin juga dapat dibedakan berdasarkan arah aliran fluida yang digunakan. Berikut adalah beberapa jenis turbin berdasarkan arah aliran :

1. Aliran aksial

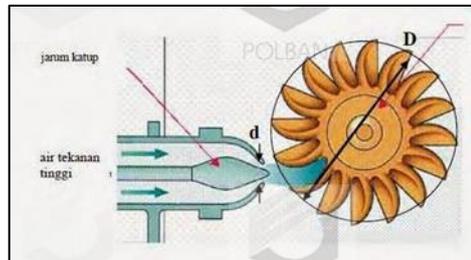
Turbin dengan arah aliran aksial adalah ketika aliran air masuk dan keluar sejajar dengan poros dan *runner*. Salah satu tipe turbin air yang termasuk turbin dengan aliran aksial adalah turbin Kaplan yang menggunakan sudu berjenis *propeller*.



Gambar 2.10 Turbin aliran aksial

2. Aliran radial

Turbin arah aliran radial adalah turbin yang ketika aliran masuk dan keluar berposisi tegak lurus dengan sumbu poros dan runner . Salah satu jenis turbin radial adalah turbin Pelton.



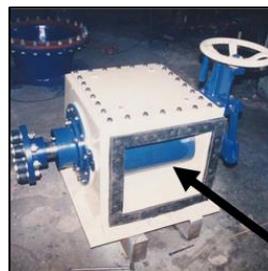
Gambar 2.11 Turbin aliran radial

2.5 Komponen – Komponen Turbin Air

Turbin air memiliki beberapa komponen komponen utama diantara nya sebagai berikut :

1. Inlet

Aliran air memasuki turbin melalui bagian inlet. Pada bagian inlet terdapat guide-vane. Inlet pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merujuk pada bagian di mana air masuk ke turbin. Ini adalah titik di mana air dialirkan ke dalam turbin untuk menggerakkan roda air atau turbin. Inlet ini biasanya merupakan bagian penting dari desain PLTMH karena mempengaruhi efisiensi dan kinerja keseluruhan dari pembangkit listrik tersebut. Semakin baik desain inlet, semakin efisien pembangkit listrik mikro hidro tersebut dalam mengubah energi air menjadi energi listrik.



Gambar 2.12 Inlet

2. Guide-vane

Guide-vane adalah sebuah katup untuk mengatur membuka dan menutup turbin sekaligus mengatur jumlah air yang masuk ke runner.



Gambar 2.13 Guide-vane



Gambar 2.14 Guide-vane

3. Runner

Bagian utama dari sebuah turbin adalah runner. Bilah runner (blade) terbuat dari baja dengan kekuatan tarik yang tinggi (high tensile steel) yang dilas pada lingkaran luar dua buah piringan sejajar. Aliran air yang terpancar dari nosel membentur runner sehingga berputar. Disini terjadi perubahan energi kinetic air menjadi daya poros turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Runner dan poros yang merupakanudukan blade, kita kenal sebagai rotor, harus balance pada saat dirakit.



Gambar 2.15 runner



Gambar 2.16 runner

4. Casing turbin

Casing turbin berfungsi untuk mengarahkan air ke runner. Pada bagian bawah casing turbin terdapat baut untuk mengunci turbin dengan chassis yang ditanam pada pondasi. Konstruksi rumah turbin harus memperhatikan kemudahan untuk melakukan inspeksi dan perawatan pada turbin air.



Gambar 2.17 Casing turbin

5. Bantalan (Bearing)

Kiri-kanan poros turbin duduk pada bantalan (bearing). Bantalan berfungsi untuk menyangga poros dan agar poros dapat berputar dengan lancar. Bantalan yang digunakan adalah jenis spherical roller

bearing dengan adaptor sleeve. Adaptor sleeve berfungsi untuk mengunci bantalan dengan poros.

Pelumasan bantalan memakai gemuk (grease) yang relative bebas perawatan dan tahan lama.



Gambar 2.18 bantalan (bearing)



Gambar 2.19 bantalan (bearing)

6. Stator

Stator merupakan komponen diam yang terdiri dari 2 bagian yaitu:

a. Casing

Casing adalah rumah atau tempat dari komponen turbin yang terbentuk tabung dan tempat diletakkannya rotor.

b. Sudu

Sudu merupakan lempengan dengan bentukan penampang yang dirangkai menjadi sebuah piringan yang terdiri dari akar sudu, badan sudu dan ujung sudu.

7. Rotor

Rotor merupakan bagian komponen turbin yang berputar, terdiri dari beberapa bagian yaitu :

a. Poros

Poros merupakan bagian dari yang berputar bulat yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga yang dihasilkan dari putaran ke generator.

b. Sudu gerak

Sudu gerak merupakan sudu yang di pasang mengelilingi rotor berbentuk sebuah piringan.

c. Bantalan

Bantalan merupakan komponen yang berfungsi menumpu poros, memiliki beban dan dapat merendam getaran. Sehingga rotor yang berputar dapat merendam sebuah getaran. Sehingga rotor dapat stabil pada posisinya didalam casing.

8. Generator DC

Generator DC adalah sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang dapat merubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC yang searah. Generator DC dapat dilihat dari pada gambar 2.7.



Gambar 2.20 Generator DC

9. Pompa Air

Pompa air adalah mesin yang digunakan untuk menggerakkan atau memindahkan fluida. Pompa memindahkan fluida dari tempat bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi melalui

pipa, sebagai energi penggerak menggunakan energi listrik. Pompa air dapat dilihat pada gambar 2.8.

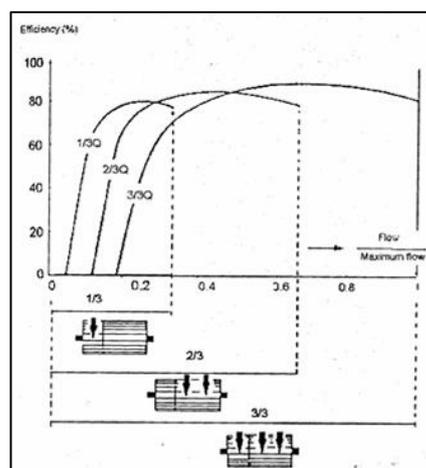


Gambar 2.21 Pompa air

2.6. Karakteristik *Turbin Crossflow*

Dibandingkan jenis turbin lainnya, turbin crossflow memiliki desain dan konstruksi yang sederhana, instalasi dan perawatan yang mudah, serta investasi dan biaya perawatan yang rendah. Tinggi air jatuh (head) yang digunakan diatas 3 m sampai dengan 50 m. Kapasitas debit air yang digunakan antara 25 – 1500 liter/s, dan daya yang dapat dihasilkan antara 2 – 200 kW.

Efisiensi turbin crossflow rata-rata berkisar 65% - 75% dan bisa mencapai 80%, namun pada posisi guide vane < 40% posisi max, efisiensinya akan turun sampai 30%. Disamping itu umur turbin crossflow panjang, karena komponen-komponennya yang relatif tahan aus dan kecil kemungkinan untuk terjadi kavitasi yang dapat merusak kinerja turbin.



Gambar 2.22. Grafik Efisiensi *Turbin Crossflow* Terhadap Debit Air

Keterangan singkat tentang desain turbin crossflow T-13 dan T-14, dimana didesain dan dibuat di Indonesia menurut kepada data kelayakan

disain, adalah diperlihatkan dibawah. Disain detail akan diacukan pada lembar disain dari yang membuat. Disain akan dilakukan dalam prosedur berikut :

Data dasar dari T-13 dan 14 yang diperoleh dari hasil tes model. Diameter turbin: 300mm, Jumlah bilah runner: 28nos., Satuan kecepatan: 133 rpm.

1. Untuk mendapatkan data dasar untuk nilai debit air (m^3/det), head (m) dari level air pada bak penenang dan pusat turbin (atau saluran pembuangan air jika didisain sebagai kasus khusus) dari disain sipil.
2. Untuk menghitung head efektif dari head kotor dengan mengurangi *head loss* dari *penstock* (gesekan dan turbulen).
3. Untuk menghitung tenaga hidrolik efektif dan output batang turbin dari debit air, head efektif dan efisiensi turbin.
4. Untuk menghitung lebar runner turbin menurut kepada rekomendasi yang membuat.
5. Untuk menghitung tenaga mekanik ke generator dari efisiensi transmitter tenaga (*speed increaser*).
6. Untuk menghitung nilai *output* listrik dari generator (kW). Output listrik maksimum.
7. Untuk menghitung kecepatan putaran turbin dari kecepatan spesifik, output batang turbin (pokok 3) dan head efektif.
8. Untuk memilih generator yang sesuai yang ada di pasar dan outputnya (kVA), frekuensi, voltase, faktor tenaga dan kecepatan putaran (frekuensi), mengacu pada katalog fabrikasi generator.
9. Untuk menghitung perbandingan nilai kecepatan putaran dari turbin dan generator.
10. Untuk memilih lebar dan panjang dari belt mengacu pada rekomendasi fabrikasi belt.
11. Untuk menghitung kapasitas dummy load dan kecocokan ELC (*Electronic Load Controller*) atau IGC (*Induction Generator Control*) dalam kasus generator induksi.
12. Untuk menghitung diameter dari *pulley turbin* dan generator.

2.7. Turbin *Whirlpool*

Turbin *whirlpool* adalah suatu rotor sederhana dimana hanya memiliki satu komponen yang bergerak, sehingga memiliki perawatan yang mudah dan umur yang panjang. Turbin ini memanfaatkan pusaran air untuk menggerakkan turbin dengan bantuan rumah keong. Menurut Turbulent, seiring dengan berjalannya waktu pembangkit listrik dengan kapasitas yang besar semakin berkurang keberlanjutannya dan turbin ini bisa mengatasi keberlanjutan energi air. Turbin *Whirlpool* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.23. Turbin *Whirlpool*

2.8. Transmisi Daya Mekanik

Transmisi daya berperan untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator. Elemen-elemen transmisi daya yang digunakan terdiri dari: sabuk (belt), pulley, kopling dan bantalan (bearing). Belt berfungsi untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator. Belt harus cukup tegang sesuai dengan jenis dan ukurannya. Pulley berfungsi untuk menaikkan putaran sehingga putaran generator sesuai dengan putaran daerah kerjanya. Sedangkan kopling, bantalan dan cone clamp merupakan komponen/elemen pendukung.

Secara umum sistem transmisi daya dapat dikelompokkan menjadi:

- Sistem transmisi daya langsung (direct drives)
- Sistem transmisi daya tidak langsung (indirect drives); dalam hal ini menggunakan belt.

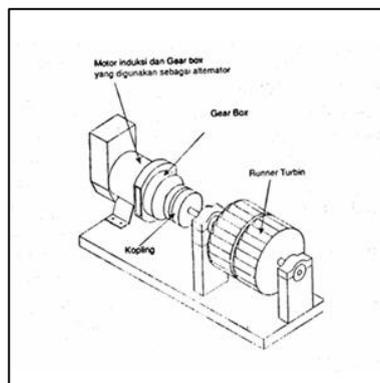
2.8.1 Sistem transmisi daya dengan sabuk (Belt)

Sabuk dipakai untuk memindahkan daya antara dua poros yang sejajar. Pemilihan jenis sabuk bergantung pada besar kecilnya daya yang akan ditransmisikan. Sabuk memainkan peranan yang penting dalam

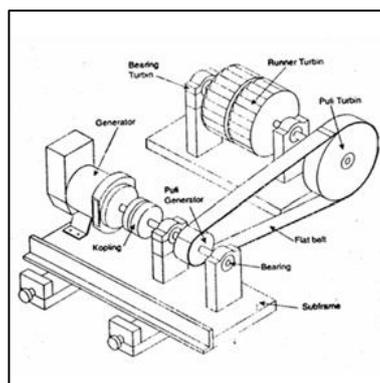
menyerap beban kejut dan meredam pengaruh getaran. Sabuk yang digunakan umumnya jenis flat belt dan V-belt.

Flat belt banyak digunakan pada sistem transmisi daya mekanik untuk mikrohidro dengan daya yang besar. V-belt digunakan pada instalasi PLTMH dengan daya dibawah 20 kW. Penggunaan sistem transmisi sabuk ini memerlukan komponen pendukung seperti pulley, bantalan beserta asesorisnya, dan kopling.

Pada sistem transmisi daya dengan sabuk, putaran turbin dan generator yang dihubungkan dapat berbeda; dengan kata lain ada rasio putaran. Dengan demikian range generator yang akan digunakan lebih luas dan bervariasi.



Gambar 2.24. Mekanisme Penghantar Daya



Gambar 2.25. Mekanisme Penghantar Daya

1. Flat Belt

Flat belt (sabuk Datar) umumnya terbuat dari kulit samak atau kain yang diresapi karet. Sabuk datar yang modern terdiri dari inti elastis yang kuat, seperti benang baja atau nylon, untuk menerima

beban tarik dan memindahkan gaya, dengan selubung karet untuk memberikan efek gesekan antara pulley dan sabuk.

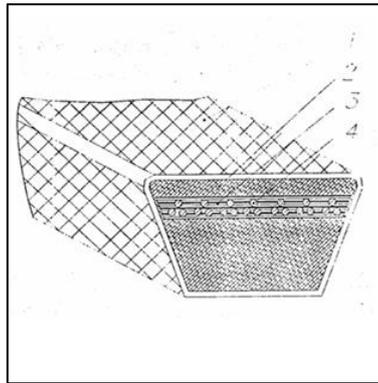
- Keuntungan flat belt dibanding V-belt:
- Dapat bekerja pada kecepatan putar poros hingga 70 m/s.
- Dapat memindahkan daya yang besar pada jarak poros yang panjang.
- Efisiensi tinggi, berkisar 98%
- Sederhana dalam perawatan
- Tidak terjadi tegangan balik (re-tensioning)
- Tidak berisik (Low noise), dan dapat meredam pengaruh getaran dengan baik.
- Baik sekali digunakan untuk instalasi elektro-mekanik karena bekerja dengan kecepatan tetap pada setiap waktu.

2. V Belt

Sabuk V (V belt) memiliki bentuk penampang trapesium, menyerupai huruf “V”. Sabuk ini terbuat dari kain dan benang katun (katun, rayon atau nylon) dan diresapi dengan karet. V belt dipakai untuk jarak sumbu yang pendek. Dibandingkan flat belt, V belt sedikit kurang efisien, berkisar 70 – 96 %, dan memiliki umur lebih pendek. Kecepatan sabuk direncanakan untuk 10 – 20 m/s pada umumnya dan maksimum sampai 25 m/s.

Untuk transmisi daya dari turbin ke generator pada mikrohidro lebih banyak memakai flat belt. V belt biasanya dipakai untuk pembangkit listrik dengan kapasitas dibawah 20 kW. Keuntungan penggunaan V belt adalah pulley dapat dipasang langsung pada poros generator sehingga tidak memerlukan kopling dan bantalan pada pulley, pemasangan dan penggantian belt mudah.

Pemilihan jenis penampang sabuk V didasarkan atas daya rencana dan putaran poros penggerak. Daya rencana dihitung dengan mengalikan daya yang akan diteruskan dengan faktor koreksi (1,5 – 2). Pada umumnya untuk mikrohidro digunakan sabuk V tipe B dan tipe C.



Gambar 2.26. Penampang V Belt

2.8.2 Pulley

Baik pulley penggerak maupun yang digerakkan terbuat dari baja karbon sedang, dapat pula dibuat dari besi cor kelabu FC 20 atau FC 30. Pulley terletak pada poros dengan dikunci oleh baut atau klem. Disamping sebagai tempat kedudukan sabuk, pulley berfungsi untuk menaikkan putaran sehingga putaran generator sesuai dengan putara daerah kerjanya.

Persamaan perbandingan putarannya adalah:

Dimana,

n_1 = putaran pulley penggerak (rpm)

n_2 = putaran pulley yang digerakkan (rpm)

d_p = diameter nominal pulley penggerak (mm)

D_p = diameter nominal pulley yang digerakkan (mm)

Kecepatan linear belt (m/s) adalah:

$$V = \frac{(d_p \times n_1)}{(60 \times 1000)} \dots\dots\dots \text{(pers 2.3)}$$

Panjang belt dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L = 2C + 1,57 (D_p + d_p) + ((D_p - d_p)^2 / 4C)$$

$$C = (K + K^2 - 32 (D_p - d_p)^2) / 16$$

$$K = 4L - 6.28 (D_p + d_p) \dots\dots\dots \text{(pers 2.4)}$$

Dimana:

C = jarak sumbu poros (mm)

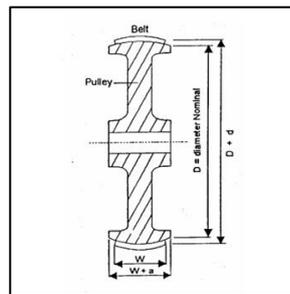
D_p = diameter nominal dari pulley yang besar

d_p = diameter nominal dari pulley yang kecil

L = panjang keliling sabuk (mm)

1. Pulley untuk flat belt

Untuk dapat mendisain pulley dengan baik dapat memanfaatkan katalog belt yang dikeluarkan oleh pabrik di samping mempelajari literatur mengenai mesin. Patokan yang harus diingat adalah jarak antara poros sebesar 1,5 s/d 2 kali diameter pulley besar. Diameter pulley yang terlalu kecil akan memperpendek umur sabuk. Pembatasan ukuran pulley sering dikenakan pada lebar pulley, seperti pada sabuk datar. Untuk meningkatkan efek centring (mengarahkan belt ke centre pulley) bentuk permukaan pulley dibuat melengkung (crowning). Crowning pada pulley cukup dilakukan pada pulley terbesar.



Gambar 2.27. Pulley Crowning

Lebar Belt	a
W (mm)	(mm)
s.d 100	10
100 - 200	20
200 - 400	30

Tabel 2.1 Lebar Belt

Diameter Pulley	
Dmm	dmm
100	0,6
200	1,2
300	1,6
400	2
600	2,6
1000	4,6

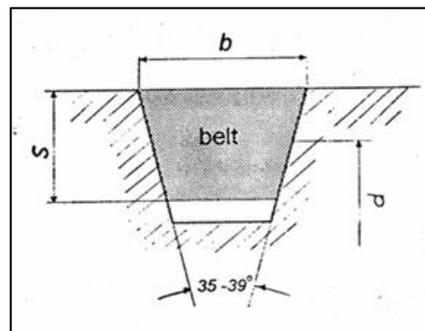
Tabel 2.2 Diameter Pulley

2. Pulley untuk V Belt

Pulley V belt memiliki alur dengan penampang menyerupai V belt. Untuk mempertinggi daya yang ditransmisikan, dapat dipakai beberapa v belt yang dipasang sebelah menyebelah, sehingga pulley yang digunakan dapat mempunyai alur yang banyak. Sudut alur pulley (γ_s) sedikit lebih kecil dibandingkan sudut V sabuk (γ_R), sehingga akan terjadi kontak yang merata dengan pulley. Dengan demikian keausan pada sabuk dapat dihindari.

Penampang V Belt, Diameter Minimum Pulley dan Panjang Belt (DIN 2215)												
<i>d</i>		5	6	8	10	13	17	20	25	32	40	50
<i>s</i>		3	4	5	6	8	11	12,5	16	20	25	32
<i>d_{min}</i>		22	32	45	63	90	125	180	250	335	500	710
	dari	150	212	296	420	585	832	1100	1650	2303	3230	4600
<i>L_i</i>	Sampai	860	1262	1916	2820	4275	6332	9540	14050	18063	18080	18100

Tabel 2.3 Penampang V belt, Diameter Minimum Pulley dan Panjang Belt (DIN 2215)



Gambar 2.28 Dimensi utama V belt, Sudut V belt pada Belt

$$\gamma_R = 35^\circ - 39^\circ$$

3. Metode Penegangan Belt

Untuk dapat memelihara tegangan yang cukup dan sesuai pada sabuk, jarak poros pulley harus dapat disetel ke dalam maupun keluar. Metoda penegangan belt ada bermacam macam. Metoda yang sederhana dan mudah adalah menyetel jarak antar poros sehingga diperoleh penambahan bentangan sabuk sebesar 2%-3%. Perhatikan gambar 7-12; misalkan panjang bentangan sabuk sebelum ditegangkan adalah 100 cm. Untuk mendapatkan tegangan sabuk yang cukup maka jarak poros disetel sehingga diperoleh panjang rentangan penuh 102 cm atau 103 cm.

2.8.3 Kopling

Kopling adalah element mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan. Sumbu kedua poros yang dihubungkan tersebut terletak pada satu garis lurus atau dapat sedikit berbeda sumbunya. Untuk sistem transmisi pada mikrohidro biasa digunakan jenis kopling tetap fleksibel yang selalu dalam keadaan terhubung.

Kopling fleksibel mengijinkan sedikit ketidaklurusan sumbu poros. Walaupun demikian, sedapat mungkin sumbu poros diluruskan agar umur bantalan dan kopling dapat lebih lama. Jenis kopling fleksibel yang dapat digunakan adalah:

- Kopling rantai (chain coupling)
- Kopling karet ban
- Kopling flens fleksibel

1. Kopling rantai (chain coupling)

Bagian utama kopling rantai terdiri dari dua buah sproket terbuat dari baja cor yang mengalami pengerasan (hardened stell), sebuah rantai rol dengan rangkaian ganda dan rumah kopling. Kopling rantai terutama digunakan untuk menyerap ayunan atau kejutan momen putar secara elastis.

Kelebihan kopling rantai adalah:

- Instalasi dan perawatan yang mudah
- Umur yang lama
- Meningkatkan kemampuan peredaman gaya gesek

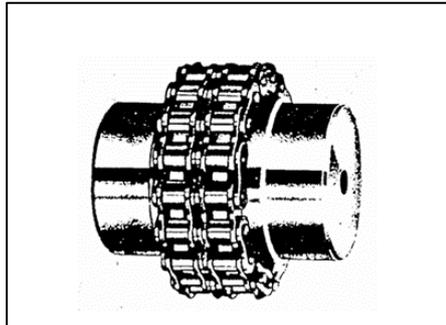
a) Kopling Rantai Tsubaki

Salah satu produk kopling rantai yang banyak diperoleh di pasaran adalah kopling rantai tsubaki. Kopling ini dapat bekerja dengan baik meskipun kedua sumbu poros yang dihubungkan tidak benar-benar lurus. Gambar 7.14 memperlihatkan batas-batas kesalahan pemasangan poros yang diijinkan. Batas toleransi ketidaklurusan yang diijinkan dalam pemasangan kopling rantai adalah:

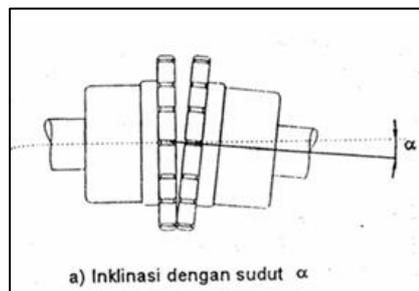
- Inklinasi (angular alignment) $\alpha = 1$ derajat
- Ketidak sejajaran sumbu poros (pararel alignment) tidak lebih dari 2% diameter pitch kopling rantai. Jadi: $\varepsilon =$ diameter pitch kopling rantai x 2%

Pada pemasangan kopling rantai ini antara kedua sproket terdapat gap (celah) selebar S, yang besarnya telah ditabelkan. Sproket diletakkan pada poros generator dan poros penerus daya (pulley). Kopling tersebut dijaga kedudukan pada kedua poros dengan sekrup pengencang.

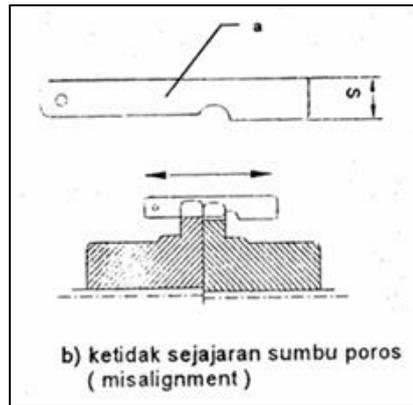
Ketidaklurusan dari sumbu sproket harus dikurangi seminimal mungkin setelah pemasangan, atau setelah kondisi poros generator dan poros pulley diatur kelurusannya. Pelumasan pada rongga-rongga rantai dan gap antara kedua sproket harus terjaga dengan memberikan grease (gemuk) secukupnya menurut jadwal yang telah ditentukan.



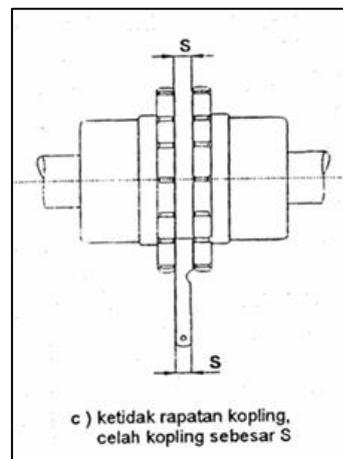
Gambar 2.29 Kopling Rantai



Gambar 2.30 Inklinasi dengan sudut α



Gambar 2.31 Ketidak sejajaran sumbu poros (misalignment)



Gambar 2.32 Ketidak rapat kopling, celah kopling sebesar S

b) Pemilihan dimensi (size) kopling

Besarnya daya yang akan diteruskan perlu diketahui terlebih dahulu untuk merencanakan atau melakukan pemilihan kopling. Karena adanya variasi beban, perlu dilakukan koreksi sehingga daya yang harus diperhitungkan adalah :

$$P_d = F_c \times P_m \text{ (kW) } \dots\dots\dots \text{(pers 2.5)}$$

Dimana :

P_d = Daya yang diperhitungkan (kW)

P_m = Daya yang akan diteruskan (kW)

f_c = faktor koreksi yang besarnya antara 1,5 – 2,5

Dalam memilih kopling, pilihlah ukuran yang sedemikian rupa sehingga daya P_d lebih rendah daripada daya normal maksimum dari kopling standar yang disediakan oleh produsen kopling. Diameter dalam kopling yang dipilih harus disesuaikan

dengan poros yang akan dihubungkan. Jika diameter dalam kopling tidak cukup besar maka dipilih kopling berukuran lebih besar dengan diameter dalam yang memadai.

2. Kopling karet ban (rubber coupling)

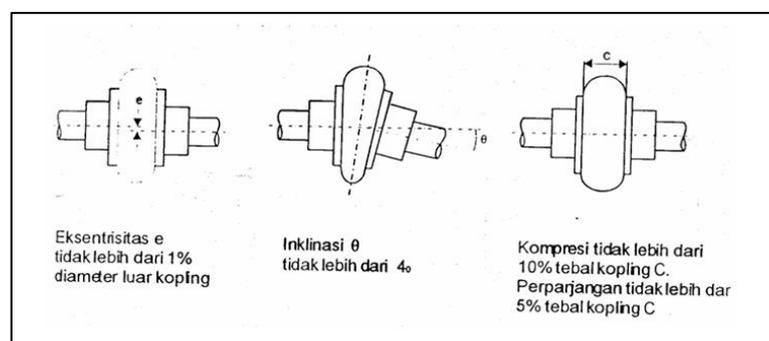
Kopling karet ban dapat bekerja dengan baik meskipun kedua sumbu poros yang dihubungkan tidak benar-benar lurus. Kopling ini terutama digunakan untuk mengurangi getaran dan suara berisik pada poros selama penerusan daya.

Dalam batas-batas tertentu, kopling karet ban masih dapat meneruskan daya dengan baik walaupun terjadi kesalahan posisi poros pada saat pemasangan. Gambar dibawah ini memperlihatkan batas-batas toleransi kesalahan pemasangan poros yang dapat diijinkan. Pemasangan dan pelepasan kopling ini dapat dilakukan dengan mudah karena hubungan dilakukan dengan jepitan baut pada ban karetinya.

Karena keuntungan demikian banyak, pemakaian kopling ini semakin luas. Meskipun demikian harga kopling ini agak lebih tinggi dibandingkan dengan kopling flens.

Keuntungan kopling karet ban:

1. Pemasangan dan pelepasan yang mudah karena hubungan dilakukan dengan jepitan baut pada ban karetinya.
2. Kelebihan (variasi) beban pada poros dapat diserap oleh ban karet.
3. Hubungan listrik antara kedua poros dapat dicegah.



Gambar 2.33 Daerah Kesalahan yang Diperbolehkan pada Operasi Kopling Karet Ban

a) Pemilihan dimensi kopling karet

Untuk merencanakan atau melakukan pemilihan kopling karet ban perlu diketahui besarnya daya yang akan diteruskan, putaran poros, momen puntir yang diteruskan, persyaratan kerja, dll. Beberapa produsen kopling karet ban telah menyediakan ukuran standar sesuai dengan daerah kerjanya.

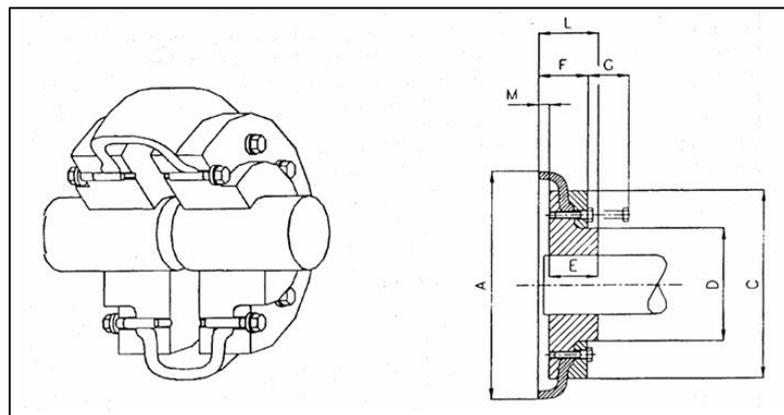
Momen puntir yang diteruskan kopling dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_m = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P}{n_1} \text{ (kg.mm) (pers 2.6)}$$

Dimana :

P = Daya nominal (kW)

n₁ = Putar (rpm)



Gambar 2.34 Kopling Fenaflex

Karena adanya variasi momen puntir, perlu dilakukan koreksi sehingga momen puntir yang harus diperhitungkan adalah :

$$T_m = f_c \times T_m \text{ (kg.mm) (pers 2.7)}$$

Dimana :

f_c = faktor koreksi yang besarnya antara 2 – 2,5

Dimensi Kopling karet Ban Fenaflex											
Type	Max Bore - (mm)	L (mm)	E (mm)	Screw over key	A (mm)	C (mm)	D (mm)	F (mm)	G (mm)	M (mm)	Approx wight (kg)
F70	50	47	35	M10	187	144	80,0	50	13	11,5	3,1
F80	60	55	42	M10	211	167	97,0	54	16	12,5	4,9
F90	70	64	49	M12	235	188	112,0	60	16	13,5	7,1
F100	80	71	56	M12	254	216	125,0	62	16	13,5	9,9
F110	90	76	63	M12	279	233	128,0	62	16	12,5	12,5
F120	100	85	70	M16	314	264	143,0	67	16	14,5	16,5

Tabel 2.4 Dimensi Kopling Karet Ban Fenaflex

Dalam memilih kopling karet ban, pilihlah ukuran yang sedemikian rupa sehingga momen puntir T_d (kg.mm) lebih rendah daripada momen normal maksimum kopling standar yang disediakan oleh produsen kopling.

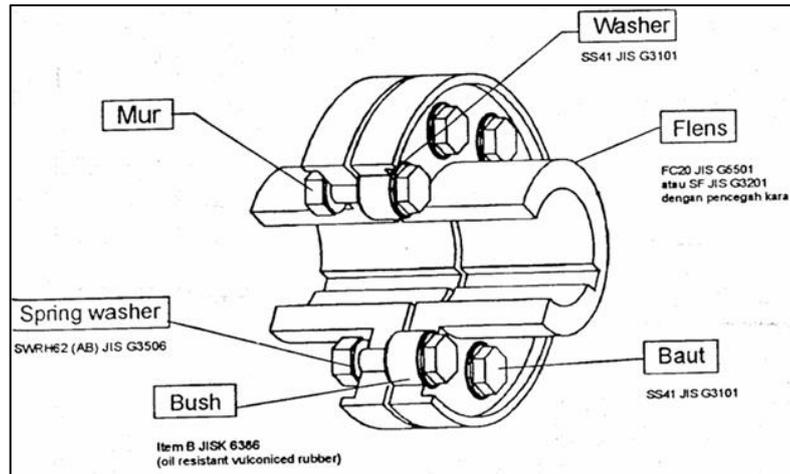
3. Kopling flens fleksibel

Berlawanan dengan kopling karet ban, kopling flens fleksibel dapat mentransmisikan momen putar yang lebih besar dan ketahanan temperatur yang lebih tinggi. Walaupun demikian, pada umumnya kopling ini menunjukkan peredaman yang kurang. Disamping itu konstruksi kopling ini sederhana, mudah dalam pemasangan dan relatif tidak memerlukan perawatan.

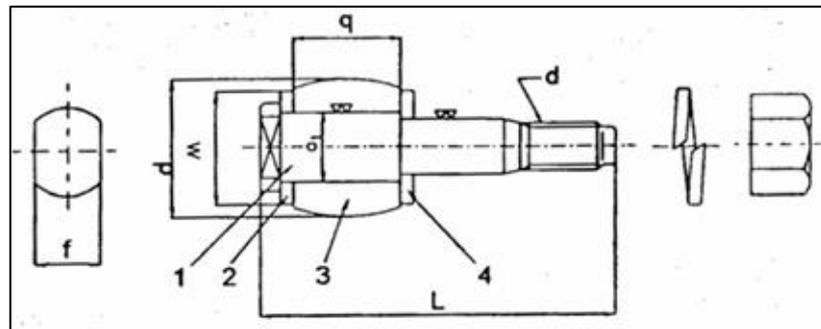
Pada pemasangan kopling flens fleksibel harus diperhatikan toleransi ketidaklurusan sumbu poros, seperti: angular alignment, dan paralel alignment. Prosedur pemilihan kopling flens fleksibel pada dasarnya sama dengan pemilihan kopling jenis lain.

Type (NBK)	Max load [kW] @ service factor 1.5				
	750 RPM	1000 RPM	1500 RPM	Angular alignment - a	Parallel alignment - b
FCL140	7	9	13	0.5	1%
FCL160	10	14	20	0.5	1%
FCL180	12	16	23	0.5	1%
FCL200	22	30	45	0.5	1%
FCL224	26	35	53	0.5	1%
FCL250	44	58	87	0.5	1%
FCL280	77	103	154	0.5	1%
FCL315	115	153	229	0.5	1%
FCL355	180	240	360	0.5	1%

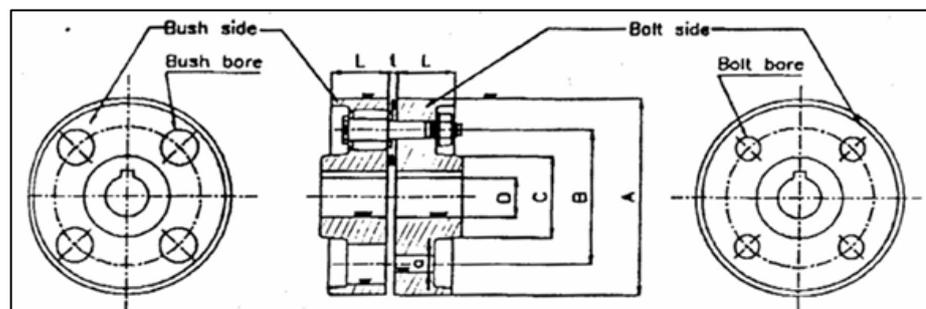
Tabel 2.5 Data Teknis Kopling Flens Fleksibel NBK



Gambar 2.35 Susunan Kopling Flens Fleksibel NBK



Gambar 2.36 Penampang baut kopling flens fleksible NBK



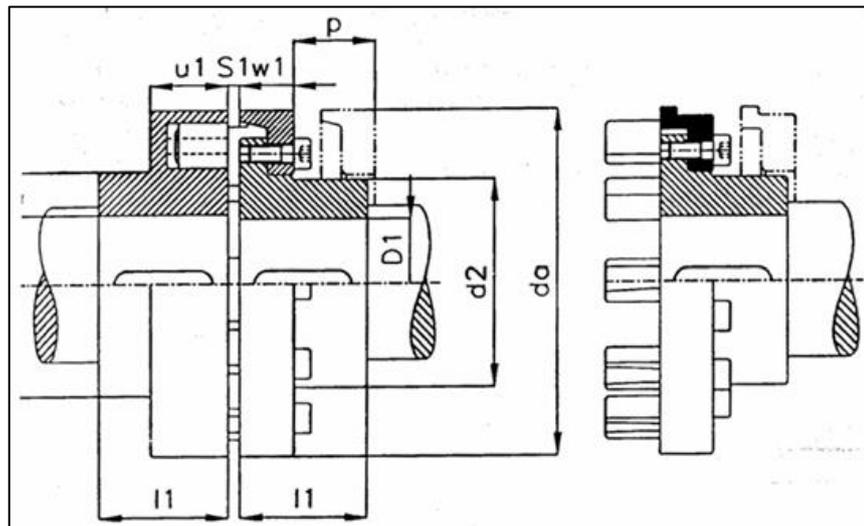
Gambar 2.37 Konstruksi Kopling Flens NBK

Type	Stock bore [mm]	Max bore - D [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	a [mm]	L [mm]	No. of bolts	Bolt category	t [mm]	Approx weight [kg]
FCL140	13	35	140	100	63	14	50	6.0	F3	3	5.5
FCL160	17	45	160	115	80	14	56	8.0	F3	3	8.1
FCL180	19	50	180	132	90	14	63	8.0	F3	3	10.7
FCL200	20	56	200	145	100	20	71	8.0	F4	4	16.7
FCL224	30	63	224	170	112	20	80	8.0	F4	4	21.5
FCL250	35	71	250	180	125	25	90	8.0	F5	4	32.2
FCL280	37	80	280	200	140	28	100	8.0	F6	4	44.1
FCL315	45	90	315	236	160	28	112	10.0	F6	4	60.8
FCL355	60	100	355	260	180	35.5	125	8.0	F7	5	89.7

Tabel 2.6 Dimensi Kopling Flens Fleksibel NBK

Bolt cat.	[mm]	1. Bolt [mm]				2. Washer [mm]		3. Bush [mm]		4. Washer [mm]	
	a x L	d	a1	f	L	a1	w	p	q	a	w
F3	14 x 64	M12	16.0	17.0	64.0	16.0	25.0	31.0	18.0	14.0	25.0
F4	20 x 85	M20	22.4	24.0	85.0	22.4	32.0	40.0	22.4	20.0	32.0
F5	25 x 100	M24	28.0	30.0	100.0	28.0	40.0	50.0	28.0	25.0	40.0
F6	28 x 116A	M24	31.5	32.0	116.0	31.5	45.0	56.0	40.0	28.0	45.0
F7	35.5 x 150A	M30	40.0	41.0	150.0	40.0	56.0	71.0	56.0	35.5	56.0

Tabel 2.7 Dimensi Baut Kopling Flens Fleksibel NBK



Gambar 2.38 Konstruksi Kopling Fleksibel N-UEFEX

Type (N-EUFEX)	Max bore-D1 part 1 [mm]	Max bore-D1 part 2 [mm]	da [mm]	d2 - part 1 [mm]	d2 - part 2 [mm]	w1 [mm]	l1 [mm]	u1 [mm]	P [mm]	S1 [mm]	Approx weight [kg]
A 110	48	38	110	86	62	20	50	34.0	33	2..4	3.5
A 125	55	45	125	100	75	23	50	36.0	38	2..4	5.6
A 140	60	50	140	100	82	28	55	34.0	43	2..4	7
A 160	65	58	160	108	95	28	60	39.0	47	2..6	9.8
A 180	75	65	180	125	108	30	70	42.0	50	2..6	14.2
A 200	85	75	200	140	122	32	80	47.0	53	2..6	19.8
A 225	90	85	225	150	138	38	90	52.0	61	2..6	27
A 250	100	95	240	165	155	42	100	60.0	69	3..8	37
A 280	110	105	280	180	172	42	110	65.0	73	3..8	48

Tabel 2.8 Dimensi Kopling Fleksibel N-EUFEX

4. Bantalan (*Bearing*)

Bearing adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gesekan bolak-baliknya dapat berlangsung halus, aman dan berumur panjang. Bearing harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik.

Salah satu jenis bearing yang sering digunakan pada turbin untuk PLTMH adalah jenis spherical roller bearing dengan adaptor sleeve yang berfungsi untuk mengunci bearing dengan poros. Bearing ini memungkinkan untuk menahan ketidaklurusan atau lendutan poros (*self alignment*). Kapasitas beban yang dapat ditahan oleh bantalan ini besar, disamping dapat menahan beban aksial.

Dalam menentukan jenis dan dimensi bearing yang akan digunakan perlu dilakukan perhitungan. Prosedur perhitungan dan pemilihan bearing dapat mengacu pada katalog pemilihan bearing yang disediakan oleh produsen, seperti bearing SKF, FAG dan NSK.

Bearing SKF relatif lebih mahal dibandingkan bearing merek lain. Walaupun demikian, kualitas bearing ini termasuk yang terbaik dan teruji. Tabel 7.16 memperlihatkan beberapa jenis spherical roller bearing beserta perlengkapan pendukungnya yang umum dipakai pada instalasi turbin PLTMH.

a) Instalasi dan perawatan

Untuk mencegah kebocoran pelumas serta masuknya benda asing, bantalan dilengkapi dengan bermacam-macam alat penyekat, seperti cincin O. Cincin O merupakan cincin dengan penampang lingkaran yang berfungsi sebagai penjebak air. Penjebak air ini menahan agar air tidak masuk ke rumah bearing. Bearing yang kemasukan air tidak dapat berfungsi dengan baik, sehingga bantalan cepat aus dan berkarat. Rumah bantalan, yang mempunyai flens pada sekelilingnya, duduk pada casing turbin dengan cara dibaut.

berfungsi dengan baik, sehingga bantalan cepat aus dan berkarat. Rumah bantalan, yang mempunyai flens pada sekelilingnya, duduk pada casing turbin dengan cara dibaut.

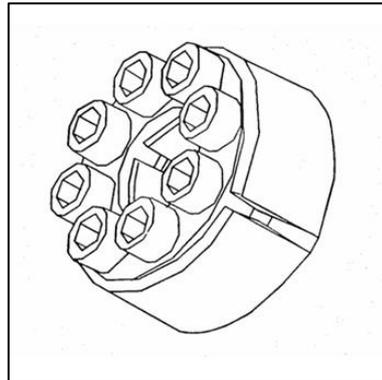
Cara yang umum untuk pemberian gemuk adalah dengan mengisi bagian dalam bearing dengan gemuk. Untuk menjamin pelumasan yang baik, sebaiknya menggunakan jenis gemuk yang disarankan oleh produsen bearing.

Pemberian gemuk yang terlalu banyak akan menyebabkan rumah bearing menjadi sesak, akibatnya putaran bearing tidak lancar dan menimbulkan panas. Jadwal pemberian gemuk serta banyaknya gemuk yang diberikan dapat mengikuti prosedur yang disarankan produsen bearing. Setelah pemberian gemuk yang ketiga kali sebaiknya bantalan dibersihkan dari sisa-sisa gemuk yang lama dengan minyak tanah dan diisi kembali dengan gemuk yang seluruhnya baru. Turbin setiap hari harus dibersihkan dengan lap agar embun yang menempel pada turbin cepat kering. Embun yang masuk ke lubang baut akan menyebabkan karat.

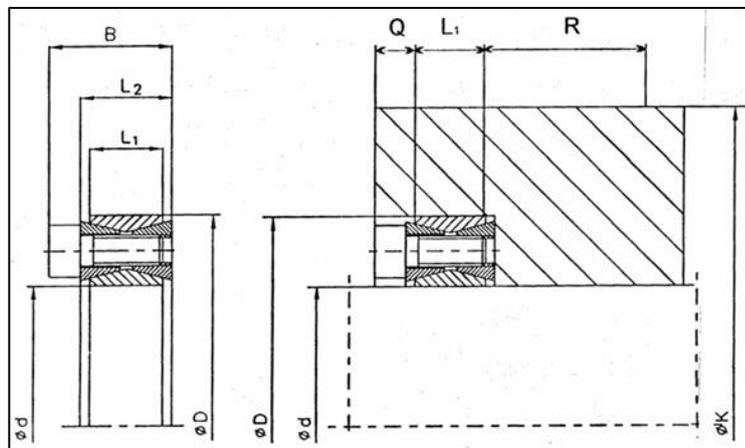
5. *Cone Clamp*

Cone clamp (*clamp* cerucut) berfungsi untuk menjaga kedudukan *pulley* pada poros agar tetap pada tempatnya. Penggunaan lainnya adalah untuk menjaga kedudukan guide vane

agar tidak berubah. *Clamp* kerucut dapat digunakan pada beban tinggi dan memiliki umur yang lama (tahan).



Gambar 2.39 *Cone Clamp*



Gambar 2.40 Penampang Tolok *Cone Clamp*

2.9. Karakteristik Turbin air

1. Debit air (Q)

Debit air adalah besaran yang menyatakan banyaknya air yang mengalir selama satu waktu yang melewati suatu penampang luas. Untuk menghitung nilai debit air, dapat digunakan persamaan sebagai berikut;

$$Q = V \times t \dots\dots\dots \text{(pers 2.3)}$$

Dimana :

V : volume tabung (m³/s)

t : waktu (s)

2. Daya air (Pa)

Daya hidrolis adalah daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian. Daya air dapat diketahui dengan mempergunakan persamaan;

$$Pa = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(\text{pers 2.4})$$

Dimana :

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Q = debit air (m³/s)

H = jatuh air (m)

g = gravitasi (m/s)

3. Daya turbin (Pt)

Sedangkan untuk mengetahui daya turbin yang direncanakan dapat dihitung dengan melakukan persamaan berikut;

$$Pt = T \cdot \omega \dots\dots\dots(\text{pers 2.5})$$

Dimana :

T = daya air (kw)

ω = kecepatan keliling turbin

4. Kecepatan Keliling turbin

Kecepatan keliling turbin adalah kecepatan linier pada tepi sudu-sudu turbin. Ini merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kinerja turbin dalam berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik tenaga air, turbin angin, dan turbin gas. Kecepatan keliling turbin dapat mempengaruhi efisiensi dan daya yang dihasilkan oleh turbin.

Dalam konteks turbin air, kecepatan keliling turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kecepatan aliran air masuk, desain sudu turbin, dan diameter turbin. Dalam desain turbin yang efisien, kecepatan keliling turbin seringkali diatur sedemikian rupa sehingga turbin dapat menangkap sebanyak mungkin energi kinetik dari aliran air tanpa menghasilkan terlalu banyak kehilangan energi karena gesekan. Kecepatan keliling turbin

atau dikenal dengan kecepatan sudut dapat diperoleh dengan persamaan berikut;

$$V = \omega \times r \dots\dots\dots(\text{pers 2.6})$$

Dimana :

V = Kecepatan keliling turbin

ω = kecepatan sudut turbin

r = jari – jari turbin (rpm)

Kecepatan sudut turbin (ω) dapat dihitung sebagai :

$$\omega = 2\pi \times n$$

Dimana :

n = kecepatan putar turbin (dalam putaran per detik atau rpm)

5. Torsi (T)

Momen gaya (torsi) adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi untuk menghitung torsi dapat menggunakan persamaan berikut;

$$T = F \cdot r \cdot g \dots\dots\dots(\text{pers 2.7})$$

Dimana :

T : Momen torsi (N)

F : Gaya pada poros = $F = (m_2 - m_1) \cdot g$

m_1 m_2 = Pembebanan (kg)

g = Gravitasi (9,8 m/s²)

r = jari jari poros (m)

6. Efisiensi turbin (η_t)

Untuk menentukan efisiensi turbin whirlpool dilakukan perbandingan antara input dan output. Maka ditentukan dengan persamaan :

$$\eta_t = P_t / P_a \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{pers 2.8})$$

Di mana:

η_t = efisiensi turbin

P_{out} = daya keluaran dari turbin (watt)

P_{in} = daya yang tersedia dalam aliran fluida yang masuk ke

turbin (watt)

7. Kecepatan spesifik

Kecepatan spesifik (NS) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (Hnetto) satu satuan Panjang

$$NS = \frac{n\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots(\text{pers 2.9})$$

Dimana :

P = daya (kw)

H = tinggi terjun netto/efektif (m)

n = putaran spesifik turbin (rpm)

8. Generator Listrik

Generator merupakan komponen pembangkit listrik mikro hidro yang berfungsi sebagai penukar energi mekanik berupa putaran poros turbin menjadi energi listrik. Prinsip dasar generator menerapkan hukum Faraday yang menyatakan bahwa, jika ada perubahan garis gaya magnet pada sebuah kumparan kawat, maka akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL).

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ;

$$Pg = V \cdot I \dots\dots\dots(\text{pers 2.10})$$

Dimana :

Pg = daya (watt)

V = tegangan listrik (volt)

I = arus (ampere)

9. Perhitungan *Power Out Put*

Perhitungan "power output" merujuk pada pengukuran atau perhitungan daya yang dihasilkan oleh suatu sistem atau perangkat. Daya output adalah jumlah energi yang dihasilkan atau dikonsumsi oleh suatu sistem dalam satu satuan waktu. Dalam konteks energi listrik, power output diukur dalam watt (W) atau kilowatt (kW).

Untuk mengetahui dengan menggunakan persamaan berikut;

$$P_{el} = \rho \times g \times Q \times H_n \times \eta \dots\dots\dots(\text{pers 2.11})$$

Dimana :

P_{el} = Power out put – listrik (watt)

ρ = Massa jenis air (1000 Kg/m³)

g = Gaya gravitasi (9.81 m/ s²)

Q = Debit air (m³/s)

H_n = Tinggi jatuh bersih (m) (gunakan 90% *gross head*)

η = efisiensi total (gunakan 70%)

10. Biaya produksi energi

Biaya produksi energi merujuk pada total biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan energi dari suatu sumber. Ini mencakup berbagai komponen biaya yang terlibat dalam mengkonversi sumber daya alam menjadi energi yang dapat digunakan. Biaya produksi energi dapat sangat bervariasi tergantung pada jenis sumber daya energi yang digunakan, teknologi yang diterapkan, dan kondisi lokal.

Untuk mengetahui biaya produksi energi tersebut dapat menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$\text{Biaya produksi energi} = \frac{\text{Total Investasi} - \text{Biaya tahunan O \& M}}{\text{Produksi energi pertahun}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana ;

O&M = *Operation and Maintenance*

2.10. Klasifikasi turbin

Standar ini menetapkan klasifikasi pembangkit listrik tenaga air mulai dari skala kecil untuk perdesaan hingga pembangkitan besar untuk interkoneksi. Klasifikasi ini dibuat berdasarkan kapasitas/daya terbangkit dengan mempertimbangkan dengan sesuai standar SNI 8396:2019 diantaranya ;

Istilah	Output daya
Pico hydropower	< 5 kW
Micro hydropower A	5 – 100 kW
Micro hydropower B	100 – 200 kW

Istilah	Output daya
Micro hydropower C	200 – 600 kW
Micro hydropower D	600 kW – 1 MW
Mini hydropower (MHP)	1 MW – 10 MW
PLTM Skala Menengah	10 – 50 MW
Hydropower skala besar	>50 MW

Table 2.9 Klasifikasi Turbin

Berdasarkan klasifikasi di atas Klasifikasi ini dibuat berdasarkan kapasitas/daya terbangkit dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut :

- a. Teknologi
- b. Keselamatan
- c. Lingkungan
- d. Layout system
- e. Potensi energi hidrolis (diantarnya head dan debit)
- f. Mode interkoneksi (on/off grid)
- g. Pemanfaatan
- h. Komersial

2.11. Komponen PLTMH

Berikut ini merupakan komponen-komponen dan bagian yang ada pada PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) beserta dengan fungsinya ;

- 1) Dam atau bendungan (*Intake*)



Gambar 2.41 *Intake*

Dam atau biasa disebut sebagai bendungan adalah bagian dari PLTMH yang berfungsi untuk menampung air hingga ketinggian tertentu dan kemudian mengalirkannya ke bak pengendap (Setting Basin) melalui saluran pembawa (Headrace)

Di bagian bendungan pengalih (intake) ini terdapat saringan yang bertujuan untuk menyaring kotoran yang ikut terbawa air sungai seperti daun-daun, ranting pohon dan sampah lainnya.

Intake dirancang untuk mengambil air dari waduk atau sungai dan mengalirkannya ke saluran pembawa menuju turbin. Intake harus dirancang dengan cermat agar mampu menangani volume air yang diperlukan oleh pembangkit listrik, sambil mencegah kerusakan atau penyumbatan oleh material terbawa air seperti batu, pasir, atau tanah. Keefektifan dan keandalan intake sangat penting untuk menjaga kinerja optimal pembangkit listrik.

2) Saluran pembawa (Headrace)



Gambar 2.42 *Headrace*

Saluran pembawa adalah bangunan berupa saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari intake atau bak pengendap ke bak penenang dan berfungsi untuk mempertahankan kestabilan debit air.

3) Bak penenang (*Forebay*)

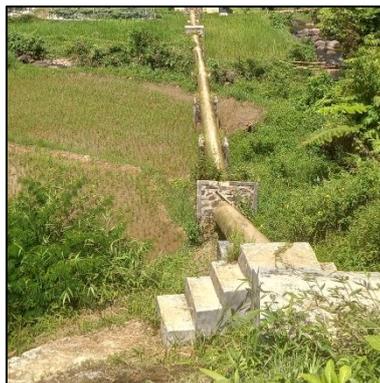


Gambar 2.43 *Forebay*

Bak Pengendap ini berada di ujung saluran pembawa berbentuk seperti kolam yang dalam dan lebar. Di bagian bak pengendap ini terdapat saluran penguras untuk memisahkan partikel (pasir atau lumpur) dengan air.

Dengan adanya bak pengendap ini membuat air yang menuju ke turbin tidak kotor dan berlumpur sehingga dapat melindungi komponen lainnya dari kerusakan yang disebabkan oleh pasir atau lumpur tersebut.

4) Pipa Pesat (*Penstock*)



Gambar 2.44 *Penstock*

Penstock merupakan bagian PLTMH berupa pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak pengendap ke turbin. Ukuran diameter pipa pesat ini berbanding lurus dengan banyaknya debit air yang ingin dialirkan ke turbin.

Dalam melakukan perancangan pipa pesat maka parameter yang harus diperhatikan adalah desain, material yang digunakan, diameter, ketebalan pipa dan jenis sambungan yang digunakan

5) Turbin



Gambar 2.45 Turbin

Turbin air merupakan komponen PLTMH yang berfungsi untuk mengubah energi aliran air menjadi energi putaran mekanis. Poros turbin dihubungkan dengan poros generator sehingga apabila turbin berputar maka rotor generator juga ikut berputar.

Ada dua jenis turbin yang dibedakan berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu turbin implus (cross-flow, pelton & turgo) dan turbin Reaksi (francis, kaplanpropeller).

- a) Turbin implus (cross-flow, pelton & turgo), ekanan pada setiap sisi sudu gerak runnernya pada bagian turbin yang berputar sama
- b) Turbin Reaksi (francis, kaplanpropeller), digunakan untuk berbagai keperluan (wide range) dengan tinggi terjun menengah (medium head).

6) Generator



Gambar 2.46 Generator

Generator merupakan mesin PLTMH yang berfungsi untuk mengubah energi gerak yang berasal dari turbin menjadi energi listrik.

Terdapat dua komponen utama pada generator yaitu rotor dan stator. Rotor merupakan bagian generator yang berputar dan terhubung dengan poros turbin. Sedangkan stator merupakan bagian generator yang tidak berputar.

Dengan adanya gaya elektromagnetik yang terbentuk saat rotor berputar membuat generator dapat menghasilkan energi listrik.

7) Saringan (*Trashrack*)Gambar 2.47 *Trashrack*

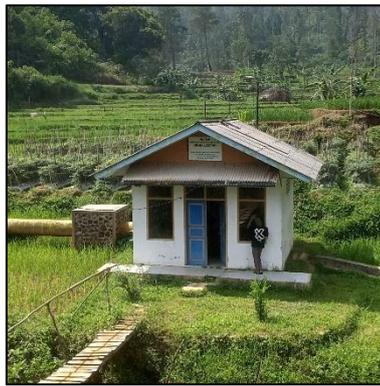
Saringan halus berfungsi untuk menjaga kotoran tidak masuk ke dalam pipa pesat dan turbin, saringan dapat terbuat dari plat tipis atau tangkai berbentuk bulat yang di susun secara vertical atau terbuat dari plat yang berlubang.

Jarak antara plat atau diameter dari lubang sebaiknya tidak lebih besar dari :

- 0.5 kali dari diameter nozzle untuk turbin Pelton,
- 0.6 kali dari jarak antar runner untuk tipe tubin lainnya.

Sarigan sebaiknya diletakan membentuk sudut 70° terhadap bidang datar untuk memudahkan dalam pembersihan. Pelaratan pembersih harus diaspakan.

8) Rumah Pembangkit (*Power House*)



Gambar 2.48 *Power House*

Rumah pembangkit akan menjaga peralatan mekanikal elektrikal dari kondisi – kondisi cuaca yang kurang baik dan mencegah masuknya orang – orang yang tidak berkepentingan.

- Ketinggian rumah pembangkit harus cukup tinggi dari permukaan air banjir di Sungai.
- Rumah pembangkit harus berventilasi
- Pintu rumah turbin harus cukup besar agar peralatan bisa masuk ke dalam.
- Area lantai harus datar dan kering sebagai tempat kerja untuk perbaikan dan pemeliharaan peralatan pembangkitan.

9) *Switchgear* dan Kontrol Distribusi



Gambar 2.49 *Switchgear*

Switchgear adalah perangkat kelistrikan berupa panel yang digunakan sebagai alat kontrol (menghubungkan / memutuskan distribusi listrik), alat proteksi (melindungi perangkat listrik lain ketika ada gangguan) dan sebagai alat pengukuran besaran listrik (arus, tegangan, daya dll).

Swicthgear umumnya terpasang di dalam ruangan untuk mengatur distribusi listrik pada suatu tempat, seperti rumah sakit, kampus, perkantoran, perumahan dll. Dengan adanya switchgear maka pengontrolan, monitoring dan perlindungan distribusi listrik dapat menjadi lebih baik.

Fungsi *Switchgear* Secara umum switchgear memiliki 3 fungsi utama, yaitu Pengendali (controlling), Proteksi (protection) dan Pengukuran (Metering).

10) *Tailrace* (Saluran Buangan)



Gambar 2.50 *Tailrace*

Tailrace atau saluran pembuang akhir merupakan bangunan air dengan jenis saluran terbuka yang digunakan pada PLTA. Fungsi dari *tailrace* adalah meneruskan air kembali ke sungai, air yang digunakan sebagai energi potensial untuk memutar turbin menjadi energi kinetik dan energi kinetik dikonversikan oleh generator menjadi energi listrik.

11) Jaringan Transmisi dan Distribusi



Gambar 2.51 Jaringan Transmisi

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil dengan output di bawah 100 KW yang memanfaatkan potensi aliran air yang terdapat di pedesaan sebagai sumber tenaga misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam. PLTMH memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dioperasikan, mudah dalam perawatan serta dengan biaya investasi yang terjangkau sehingga cocok diterapkan untuk menerangi wilayah pedesaan yang tidak terjangkau aliran listrik PLN.

2.12. Komersial pada PLTMH

Analisis komersial pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) melibatkan sejumlah rumus keuangan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kelayakan finansial proyek. Di bawah ini adalah beberapa rumus yang relevan, bersama dengan referensi yang dapat digunakan sebagai acuan:

2.12.1 Nilai Bersih Sekarang (NPV)

Nilai Bersih Sekarang (NPV) adalah suatu metode dalam analisis investasi yang digunakan untuk mengevaluasi keberlanjutan finansial

suatu proyek atau investasi. NPV mengukur selisih antara nilai sekarang dari arus kas bersih yang dihasilkan oleh suatu proyek dengan biaya awal investasi. Dengan kata lain, NPV mengukur nilai tambah suatu proyek terhadap nilai investasi awalnya. (*Richard A. Brealey*)

Rumus NPV:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \dots \dots \dots \text{(pers 2.13)}$$

Dimana :

NPV = Nilai bersih sekarang

T = Masa Proyek

CF_t = Arus kas bersih di periode t,

r = Tingkat diskonto (Tingkat pengembalian yang diharapkan)

Disini ada beberapa interpretasi NPV diantaranya ;

- Jika $NPV > 0$: Proyek dapat dianggap layak karena menghasilkan nilai tambah yang positif.
- Jika $NPV = 0$: Proyek mencapai titik impas (Break Even), artinya keuntungan bersihnya setara dengan biaya investasi.
- Jika $NPV < 0$: Proyek mencapai titik impas (Break Even), artinya keuntungan bersihnya setara dengan biaya investasi.

2.12.2 Tingkat Pengendalian Internal (IRR)

Tingkat Pengembalian Internal (IRR) adalah metode evaluasi investasi yang mengukur tingkat diskonto di mana nilai bersih sekarang (NPV) suatu proyek menjadi nol. IRR memberikan tingkat pengembalian yang membuat nilai investasi awal sama dengan nilai sekarang dari arus kas bersih yang dihasilkan oleh proyek selama masa proyek.

Rumus IRR :

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - C_0 = 0 \dots \dots \dots \text{(pers 2.14)}$$

Dimana :

IRR = Tingkat Pengembalian Internal,

T = Masa Proyek

CF_t = Arus kas bersih di periode t

C_0 = Biaya investasi awal

2.12.3 Periode Pengendalian Investasi (Payback Period)

Periode Pengembalian Investasi, atau yang dikenal juga dengan istilah Payback Period, adalah metode sederhana dalam analisis investasi yang mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal dari arus kas bersih yang dihasilkan oleh suatu proyek. Dengan kata lain, Payback Period adalah durasi waktu yang diperlukan untuk mencapai titik impas di mana arus kas bersih dari proyek setara dengan biaya investasi awal.

Rumus Payback Period :

$$\text{Payback Period} = \text{Tahun Sebelumnya} + \left(\frac{C_0}{CF_1}\right) \dots \dots \dots (\text{pers 2.13})$$

Dimana :

Payback Period = Waktu yang diperlukan untuk mencapai titik impas

C_0 = Biaya investasi awal

CF_1 = Arus kas bersih di periode pertama

Interpretasi Payback Period :

- Jika Payback Period lebih pendek, proyek dianggap lebih baik karena mengembalikan investasi lebih cepat.
- Jika Payback Period lebih Panjang, proyek dianggap kurang menguntungkan karena waktu pengembalian investasi lebih lama.

2.12.4 Profitability Index (PI)

Profitability Index (PI), juga dikenal sebagai Index Profitabilitas atau Indeks Keuntungan, adalah metode evaluasi investasi yang mengukur profitabilitas suatu proyek dengan membandingkan nilai sekarang dari arus kas bersih yang dihasilkan oleh proyek dengan biaya investasi awal. PI memberikan indikasi seberapa besar nilai sekarang dari arus kas bersih proyek per unit biaya investasi.

$$PI = \frac{NVP}{C_0} \dots \dots \dots (\text{pers 2.14})$$

Dimana :

PI = Profitability Index

NVP = Nilai bersih sekarang

C_0 = Biaya investasi awal

Interpretasi Profitability Index :

- $PI > 1$: Proyek dianggap layak secara finansial karena nilai sekarang dari arus kas bersih melebihi biaya investasi awal.
- $PI = 1$: Proyek mencapai titik impas, artinya nilai sekarang dari arus kas bersih sama dengan biaya investasi awal.
- $PI < 1$: Proyek dianggap tidak layak secara finansial karena nilai sekarang dari arus kas bersih kurang dari biaya investasi awal.

2.12.5 Risiko dan Analisis Sensitivitas

1. Risiko dalam pengelolaan PLTMH

Risiko dalam konteks investasi mengacu pada ketidakpastian atau kemungkinan terjadinya perubahan dalam hasil finansial yang diantisipasi. Risiko bisa berasal dari berbagai faktor, termasuk volatilitas pasar, perubahan kondisi ekonomi, atau faktor-faktor spesifik yang terkait dengan proyek atau investasi tertentu.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi risiko dalam pengelolaan PLTMH yaitu ;

- Faktor-Faktor Risiko: Risiko dalam pengelolaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat melibatkan berbagai faktor, seperti fluktuasi debit air, kerusakan peralatan, perubahan harga listrik, perubahan regulasi, dan faktor lingkungan seperti perubahan pola cuaca.
 - a) **Debit Air (Q):** Fluktuasi debit air dapat mempengaruhi produksi listrik. Rumus terkait risiko ini dapat mencakup variabel produksi listrik (P) sebagai fungsi dari debit air (Q): $P = f \times (Q)$(pers 2.15)
 - b) **Biaya Operasional (CO):** Perubahan biaya operasional dapat memengaruhi profitabilitas. Rumus terkait dapat mencakup total pendapatan (R) dikurangi biaya operasional (CO):
 $Profit = R - CO$ (pers 2.16)

- Dampak Terhadap Performa PLTMH: Risiko-risiko ini dapat memiliki dampak langsung terhadap performa PLTMH, mengancam kelangsungan operasional, dan mempengaruhi hasil finansial.

Rumus Performa :

$$Performa = \frac{\text{Total energi yang dihasilkan}}{\text{Total energi yang diharapkan}} \times 100\% \dots (\text{pers 2.17})$$

2. Analisis Sensitivitas dalam pengelolaan PLTMH

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil investasi atau proyek dapat dipengaruhi oleh perubahan dalam satu atau lebih variabel. Dalam konteks risiko, analisis sensitivitas membantu mengidentifikasi seberapa rentan suatu proyek terhadap perubahan kondisi tertentu dan bagaimana perubahan tersebut dapat mempengaruhi hasil finansial.

Ada beberapa jenis dan cara kerja dalam Analisa sensitivitas dalam pengelolaan PLTMH ini, sebagai berikut ;

- **Variabel Sensitivitas:** Analisis sensitivitas pada PLTMH melibatkan identifikasi variabel kritis seperti debit air, biaya operasional, atau harga listrik yang dapat memengaruhi kinerja dan keuntungan proyek.

a) Harga Listrik

Perubahan harga listrik dapat mempengaruhi pendapatan.

Rumus pendapatan (R) dapat mencakup listrik (P)

$$R = P \times \text{Total Energi} \dots \dots \dots (\text{pers 2.18})$$

Dimana :

R = Pendapatan

P = Produksi listrik

b) Debit Air (Q)

Analisis sensitivitas dapat dilakukan dengan menghitung perubahan persentase dalam produksi listrik terhadap perubahan persentase dalam debit air.

- **Evaluasi Dampak Perubahan:** Dengan merinci dampak perubahan pada variabel-variabel ini, pengelola PLTMH dapat memahami sejauh mana fluktuasi potensial dapat mempengaruhi hasil operasional dan keuangan.

Rumus Analisis Sensitivitas:

$$Sensitivity = \frac{\%Perubahan\ dalam\ Output}{\%Perubahan\ dalam\ variabel\ penyebab} \dots (\text{pers 2.19})$$

- **Cara Kerja Analisis Sensitivitas pada PLTMH:**
 - a) **Identifikasi Faktor Risiko:** Identifikasi risiko-risiko yang mungkin terjadi dalam pengelolaan PLTMH, seperti fluktuasi aliran sungai atau biaya operasional yang meningkat.
 - b) **Penilaian Dampak Perubahan:** Lakukan analisis sensitivitas terhadap variabel-variabel kritis. Misalnya, evaluasi bagaimana penurunan debit air atau kenaikan biaya operasional dapat memengaruhi pendapatan dan keuntungan.
 - c) **Perencanaan Mitigasi Risiko:** Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, pengelola dapat merencanakan strategi mitigasi risiko, seperti pengembangan sistem cadangan atau perjanjian harga listrik jangka panjang untuk mengamankan pendapatan.

2.12.6 Penghitungan Pendapatan

Pendapatan pada pengelolaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat dihitung dengan memperhatikan beberapa faktor, terutama produksi listrik dan harga jual listrik. Berikut adalah beberapa rumus dan faktor yang perlu diperhatikan:

1) Produksi listrik (P)

Produksi listrik dapat dihitung berdasarkan karakteristik teknis PLTMH dan debit air yang tersedia

Rumus umum yang digunakan pada produk listrik yaitu ;

$$P = f \times Q \dots \dots \dots (\text{pers 2.20})$$

Dimana :

P = Produksi Listrik

Q = Debit air

2) Harga jual listrik (*Revenue*)

Harga jual listrik dapat bervariasi berdasarkan perjanjian dengan penyedia listrik atau kebijakan tarif yang berlaku.

Rumus Umum :

Revenue = Total Kredit dari Penjualan Listrik(pers 2.21)

3) Pendapatan total (R)

Pendapatan total adalah hasil kali antara produksi listrik dan harga jual listrik.

Rumus umum :

$R = \sum Kredit$ (pers 2.22)

2.13. Pabrik Kopi di Gunung Halu

Pabrik kopi di Desa Tangsi, Kecamatan Gunung Halu, adalah sebuah fasilitas pengolahan kopi yang terletak di pedesaan yang indah di tengah pegunungan. Pabrik ini merupakan pusat kegiatan ekonomi utama bagi masyarakat setempat, serta menjadi titik penting dalam industri kopi di wilayah tersebut.

Pabrik kopi ini dikelilingi oleh kebun-kebun kopi yang hijau dan subur, menciptakan pemandangan yang memukau bagi pengunjung. Bangunan pabrik yang terawat dengan baik menonjol di tengah lanskap alami, menandakan pentingnya industri kopi dalam ekonomi lokal.



Gambar 2.52 Pabrik Kopi Desa Tangsi

Pabrik kopi ini memiliki 50 hektar ladang kopi di daerah Desa Tangsi Kecamatan Gunung Halu, dan pertahun pabrik kopi ini menghasilkan 40 juta ton kopi disaat panen raya. Setiap panen raya, perusahaan kopi ini mematok harga kopi sebesar Rp. 1700/Kg, ini di tetapkan ketika panen raya yang berlangsung di bulan April sampai bulan agustus atau di pertengahan tahun.

Perusahaan ini menggunakan listrik dari PLTMH dengan penggunaan listrik sebesar 12 kW dimana alat yang di gunakan hanya beberapa alat atau mesin pengupas kopi, Pada umumnya, mesin pengupas kopi digolongkan menjadi dua jenis, yaitu alat kupas kulit kopi kering dan alat kupas kulit kopi basah. Namun kedua mesin tersebut memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk mengupas kulit kopi atau memisahkan kulit dan biji kopi. Terdapat contoh gambar penggilingan kopi dibawah ini ;

- MESIN PENGUPAS KULIT KOPI SEGAR ADR MPKK 200

Alat pengupas kulit kopi ini memiliki spesifikasi diantaranya menggunakan model dan tipe ADR MPKK 200, menggunakan penggerak *engine* 5.5 HP, dengan berbahan bakar bensin, memiliki material dari besi mild steel + Cat, menggunakan rangka besi siku, dapat memproduksi berkapasitas 200-300kg/jam, dan dimensi alat tersebut sebesar 73 x 44 x 105 cm



Gambar 2.53 MESIN PENGUPAS KULIT KOPI SEGAR ADR
MPKK 200

- MESIN PENGUPAS KULIT KOPI BASAH MPKK 100

Alat pengupas kulit kopi ini memiliki spesifikasi diantaranya menggunakan model dan tipe ADR MPKK 100, berat mesin tersebut sebesar 24 kg, menggunakan penggerak manual, dapat memproduksi berkapasitas 60-80 kg/jam, dan dimensi alat tersebut sebesar 52 x 33 x 56 cm



Gambar 2.54 MESIN PENGUPAS KULIT KOPI BASAH MPKK
100

- MESIN PENGUPAS KULIT KOPI KERING ADR MPKK 150

Alat pengupas kulit kopi ini memiliki spesifikasi diantaranya menggunakan model dan tipe ADR MPKK 150, menggunakan penggerak *engine* 6.5 HP, dengan berbahan bakar bensin, memiliki material dari besi mild steel + Cat, menggunakan rangka besi siku, dapat memproduksi berkapasitas 150-200kg/jam, dan dimensi alat tersebut sebesar 90 x 60 x 110 cm



Gambar 2.55 MESIN PENGUPAS KULIT KOPI KERING ADR
MPKK 150

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melaksanakan tugas akhir, mahasiswa diharapkan mampu memecahkan studi kasus, yaitu mengangkat suatu kasus yang dijumpai di jurnal menjadi suatu kajian sesuai dengan bidang keahlian yang ada, atau melakukan pengamatan terhadap kerja suatu proses untuk dikaji sesuai dengan bidang keahlian yang dimiliki. Untuk mendukung tugas akhir dan kajian yang akan dilakukan, maka dapat dilakukan beberapa metode pelaksanaan, antara lain:

3.1 Pendahuluan

Metodologi penelitian ini dirancang untuk memberikan panduan dalam menjalankan analisis teknis dan komersial pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Gunung Halu. Langkah-langkah ini mencakup pengumpulan data, teknik analisis, dan penarikan kesimpulan yang dapat memberikan wawasan mendalam tentang potensi penerapan teknologi ini di industri kopi.

Pada bab ini, diuraikan metodologi penelitian yang akan digunakan untuk melakukan analisis teknis dan komersial pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Gunung Halu. Langkah-langkah dan prosedur yang dirancang dalam metodologi ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang kinerja teknis dan aspek keuangan dari sistem pembangkit listrik tersebut.

3.2 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain campuran, dengan pendekatan kuantitatif untuk analisis teknis dan pendekatan kualitatif untuk analisis komersial.

3.3 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian melibatkan seluruh data teknis dan komersial yang terkait dengan PLTMH di Gunung Halu. Sampel akan dipilih secara purposive, mempertimbangkan relevansi dan representativitas data.

DAFTAR KONSUMEN PLTMH							
NO	NAMA	MCB	KET	NO	NAMA	MCB	KET
1	IMIN	2		33	DAMAS	1	
2	YAYAT	2		34	RUMAH DINAS KPRH	1	
3	OMAN	2		35	RUMAH DINAS KPRH	2	
4	OPAN SOPANDI	2		36	SARMID	2	
5	DIAH	2		37	UNDANG ARA	2	
6	EMAH	2		38	HERMAN	2	
7	ATA	2		39	ANANG	1	
8	ASEP	2		40	YULI	2	
9	OCAH	2		41	BUPER	2	
10	ASEP	1		42	HERI	2	
11	IYAM	1		43	ADE ENEN	2	
12	DAUD	2		44	MAMAT	2	
13	SAEP	2		45	HIDAYAT	2	
14	WANDI	2		46	OLEH	2	
15	IWAN	2		47	DARMANA	2	
16	TOTO SUTANTO	2		48	DANI	2	
17	JEJE SUPIAN	2		49	OOM	2	
18	UPU	2		50	UYO	2	
19	MAMAN	2		51	IMIN	2	
20	MUSOLA	2		52	OGI	2	
21	UDAN	2		53	TATANG R	2	
22	UMAR	2		54	RIO	2	
23	NANA	2		55	PENDI	2	
24	TATANG UYUT	2		56	MAMAH	2	
25	OYOH	2		57	EJEH	2	
26	UDANG UNU	2		58	NANI	2	

DAFTAR KONSUMEN PLTMH							
NO	NAMA	MCB	KET	NO	NAMA	MCB	KET
27	PADIL	2		59	ENCU	2	
28	ENJANG BADRUDIN	2		60	UHUD	1	
29	UYAT	2		61	IMAT	2	
30	ALIT	2		62	MASJID	4	
31	ROHIDIN	1		63	PABRIK KOPI	0	
32	OOM	1		64	SEKOLAH	2	

Tabel 3.1 Daftar Konsumen PLTMH

3.4 Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data ini kami menyediakan data tersebut menjadi dua bagian diantaranya ;

3.4.1 Data Teknis

- a) Pengumpulan data teknis melibatkan observasi langsung, pengukuran, dan dokumentasi dari catatan harian dan log PLTMH.
- b) Pengukuran langsung daya, debit air, dan parameter teknis lainnya menggunakan alat yang sesuai.

PLTMH gunung Halu		
informasi data	satuan	Volume
Formulir A informasi dasar potensial PLTMH		
Debit air	1/s	400
Tinggi jatuh (head)	M	8
Daya air	Kw	26683,2
Panjang saluran	M	248,5
Jumlah KK rencana distribusi listrik	KK	80
Jarak ibu kota kecamatan ke lokasi	Km	2
jarak rencana PLTMH ke akses yang dapat di lalui kendaraan	Km	1
Jarak sumber air ke KK pengguna energi listrik	Km	2
Jarak dari desa	Km	1
Kedalaman saluran	M	0,8
Massa Jenis Air	Kg/m ³	1000
Tinggi muka air	M	0,6

Formulir B informasi umum dan sosio ekonomi	satuan	Volume
Nama kota/kabupaten dan jarak	Km	49
Nama kecamatan dan jarak	Km	5,5
Jumlah KK miskin	KK	20
Iuran per bulan/KK	KK	25000
Jumlah fasum dan infrastruktur sosial	Unit	5
Formulir C informasi teknis bangunan air, head dan penstock	satuan	Volume
Jarak pemasok material konstruksi	Km	25
Pengguna air untuk irigasi	jam	24
Elevasi Intake	mdpl	1186
Elevasi saluran pembawa titik 1	mdpl	1185
Elevasi saluran pembawa titik 2	mdpl	1185
Elevasi bak penenang	mdpl	1181
Elevasi power house	mdpl	1172
Panjang Penstock	M	72,2
Diameter Penstock	M	0,57
Gross head	M	8,5
Formulir D informasi teknis sistem mekanikal dan elektrikal	satuan	Volume
Diameter runner cross flow	mm	300
Bo runner cross flow	mm	600
Kapasitas	kW	20
Kecepatan turbin cross flow	rpm	380
Kapasitas generator sinkron	KVA	32
Jumlah fasa generator sinkron	fasa	3
Kecepatan generator sinkron	rpm	1500
Tegangan	Volt	389
Jam kerja pembangkit	Rot/kWh	83
Arus Ballast	Ampere	16
Arus konsumen	Ampere	19
jarak antar sudu (t) Turbin	M	0,01857
banyak sudu (n) Turbin	buah	32,9667
Jari jari (r) turbin	M	0,09743
kelengkungan sudu (y) Turbin		0,03176
Lebar sudu turbin (L)	M	0,02727
Formulir E informasi CROSS FLOW TURBINE	satuan	Volume
normal Diameter	Bo	300
Design Head	M	8
Design Flow	Ltr/s	400
Power Output	Kw	20
Production ID 106 CF 021207/CNJP	-	-

Tabel 3.2 Data Teknis

3.4.2 Data Komersial

a) Wawancara.

Wawancara dengan departemen keuangan pabrik untuk mendapatkan data komersial seperti biaya operasional, pendapatan, dan catatan keuangan.

b) Analisis dokumen keuangan.

Analisis dokumen keuangan adalah proses memeriksa, mengevaluasi, dan menafsirkan informasi yang terkandung dalam dokumen keuangan suatu entitas, seperti laporan keuangan, neraca, laporan laba rugi, dan arus kas. Tujuan dari analisis dokumen keuangan adalah untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang kinerja keuangan suatu perusahaan atau entitas, serta untuk membuat keputusan yang baik berdasarkan informasi tersebut.

PLTMH Gunung Halu				
Beban anggaran pada PLTMH 2024				
Bulan :	Januari			
No	Keterangan	Harga	Quantity	Total
1	Cat pestok	Rp 26.250	24	Rp 630.000,00
2	platbel	Rp 104.000	48	Rp 4.992.000,00
3	Bearing	Rp 145.000	36	Rp 5.220.000,00
4	AVR	Rp 125.000	36	Rp 4.500.000,00
5	Kontraktor	Rp 16.000	36	Rp 576.000,00
6	Gemuk	Rp 55.000	0	Rp -
7	Tax	Rp 6.000	0	Rp -
8	Lain - Lain	Rp 122.750	0	Rp -
9	-	Rp -	0	Rp -
Sub Total		Rp 600.000		Rp 15.918.000,00
Total				Rp 15.918.000,00

Tabel 3.3 Data Beban Anggaran PLTMH

Setelah melampirkan data beban anggaran yang terkelolah oleh Masyarakat maka di buatlah Buku Besar Keuangan untuk mempermudah proses Analisa keuangan pertahun dan perbulan.

Terdapat beberapa hasil proses pembukuan dalam buku besar keuangan PLTMH berada di Gunung Halu, dengan menghitung dari awal tahun yaitu bulan Januari sampai Desember dengan menghasilkan total biaya Rp. 6.752.500, terdapat table buku besar di bawah ini ;

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Jan-23	Iuran Bulanan	1,120,000		5,047,500
Jan-23	Gajih Operator		Rp 560.000	4,487,500
Jan-23	Phbm		Rp 50.000	4,437,500

Tabel 3.4 Data Buku Besar Pada Bulan Januari 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Feb-23	Iuran Bulanan	1,370,000		5,807,500
Feb-23	Gajih Operator		Rp 685.000	5,122,500
Feb-23	Phbm		Rp 50.000	5,072,500
Feb-23	Gerakan Saluran		Rp 250.000	4,822,500

Tabel 3.5 Data Buku Besar Pada Bulan Febuari 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Mar-23	Iuran Bulanan	1,400,000		6,222,500
Mar-23	Gajih Operator		Rp 700.000	5,522,500
Mar-23	Phbm		Rp 50.000	5,472,500
Mar-23	Jembatan		1,200,000	4,272,500

Tabel 3.6 Data Buku Besar Pada Bulan Maret 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Apr-23	Iuran Bulanan	1,170,000		5,442,500
Apr-23	Gajih Operator		Rp 585.000	4,857,500
Apr-23	Phbm		Rp 50.000	4,807,500

Tabel 3.7 Data Buku Besar Pada Bulan April 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Mei-23	Gajih Operator		Rp640.000	5,447,500
Mei-23	Phbm		Rp50.000	5,397,500
Mei-23	Perbaikan Jalan		Rp600.000	4,797,500

Tabel 3.8 Data Buku Besar Pada Bulan Mei 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Jun-23	Iuran Bulanan	1,150,000		5,947,500
Jun-23	Gajih Operator		Rp 575.000	5,372,500
Jun-23	Phbm		Rp 50.000	5,322,500

Tabel 3.9 Data Buku Besar Pada Bulan Juni 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Jul-23	Iuran Bulanan	1,200,000		6,522,500
Jul-23	Gajih Operator		Rp 600.000	5,922,500
Jul-23	Phbm		Rp 50.000	5,872,500
Jul-23	Kontaktor		Rp 800.000	5,072,500

Tabel 3.10 Data Buku Besar Pada Bulan Juli 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Agu-23	Iuran Bulanan	1,200,000		6,272,500
Agu-23	Gajih Operator		Rp 600.000	5,672,500
Agu-23	Phbm		Rp 50.000	5,622,500
Agu-23	Phbn		Rp 300.000	5,322,500

Tabel 3.11 Data Buku Besar Pada Bulan Agustus 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Sep-23	Iuran Bulanan	1,100,000		6,422,500
Sep-23	Gajih Operator		Rp 550.000	5,872,500
Sep-23	Phbm		Rp 50.000	5,822,500
Sep-23	Tamu		Rp 900.000	4,922,500

Tabel 3.12 Data Buku Besar Pada Bulan September 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Okt-23	Iuran Bulanan	1,260,000		6,182,500
Okt-23	Gajih Operator		Rp 630.000	5,552,500
Okt-23	Phbm		Rp 50.000	5,502,500

Tabel 3.13 Data Buku Besar Pada Bulan Oktober 2023

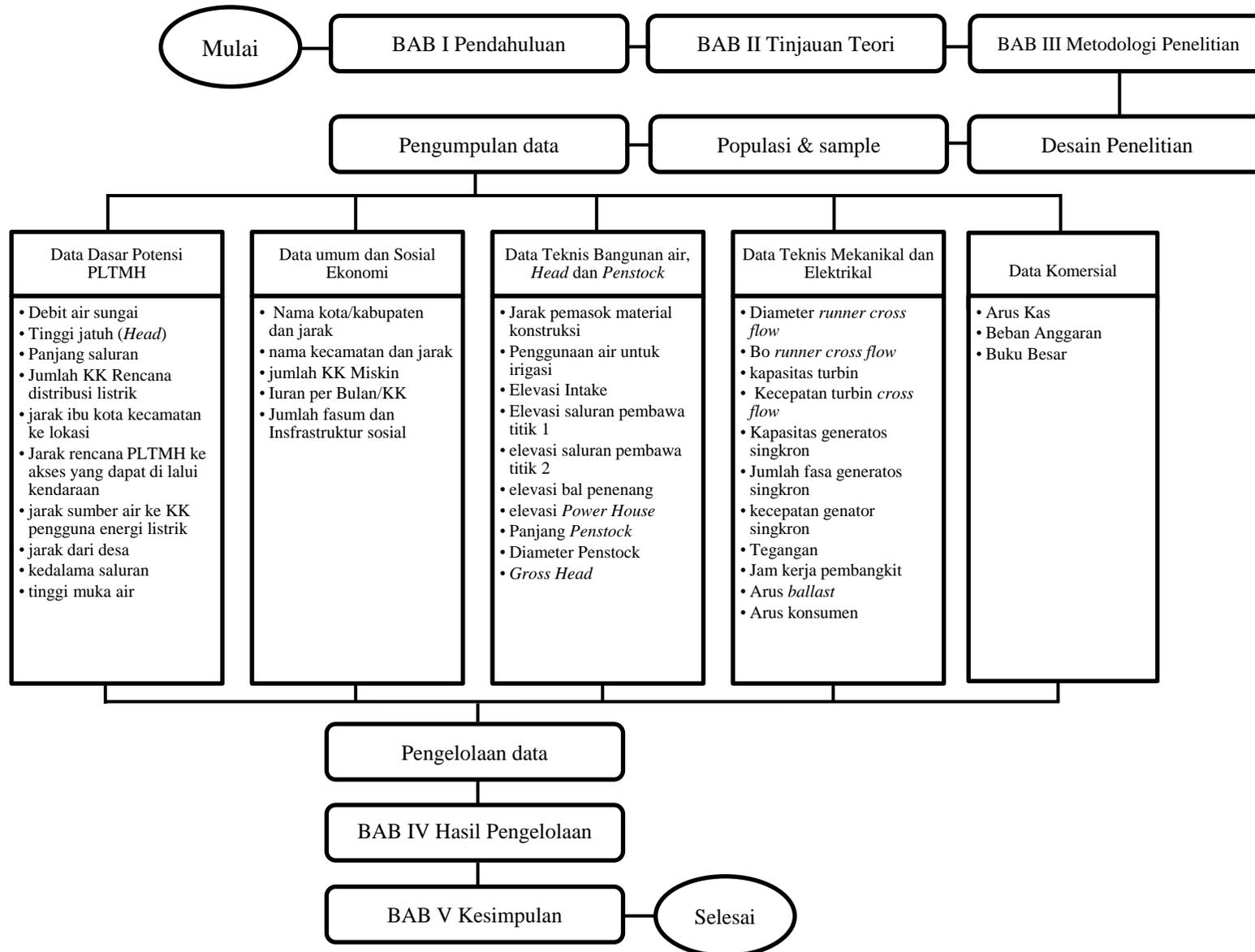
BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Nov-23	Iuran Bulanan	1,500,000		7,002,500
Nov-23	Gajih Operator		Rp 750.000	6,252,500
Nov-23	Phbm		Rp 50.000	6,202,500

Tabel 3.14 Data Buku Besar Pada Bulan November 2023

BUKU BESAR PLTMH				
Akun Kas PLTMH				
Tanggal	Keterangan	Debit	Kredit	Saldo
Des-23	Iuran Bulanan	1,200,000		7,402,500
Des-23	Gajih Operator		Rp 600.000	6,802,500
Des-23	Phbm		Rp 50.000	6,752,500

Tabel 3.15 Data Buku Besar Pada Bulan Desember 2023

3.5 Diagram Alir



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Potensi PLTMH Gunung Halu

PLTMH Gunung Halu memiliki potensi yang signifikan dalam menghasilkan energi listrik dari sumber air yang tersedia di lokasi. Berdasarkan data yang disediakan pada formulir A, ditemukan bahwa debit air yang tersedia adalah $400 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan tinggi jatuh (head) sebesar 8 meter. Dengan menggunakan rumus daya hidrolik, diperoleh estimasi daya air sebesar 26683,2 kW.

4.2 Analisis Lokasi dan Aksesibilitas

Berbagai informasi mengenai lokasi dan aksesibilitas juga diperoleh dari formulir A dan formulir B. PLTMH Gunung Halu terletak sekitar 2 km dari ibu kota kecamatan dan 1 km dari desa terdekat. Akses yang dapat dilalui kendaraan berjarak 1 km dari lokasi PLTMH, memudahkan distribusi energi listrik ke konsumen. Selain itu, jarak sumber air ke konsumen energi listrik juga cukup dekat, sekitar 2 km.

4.3 Analisis Teknis Bangunan Air dan Penstock

Formulir C memberikan informasi teknis mengenai bangunan air, head, dan penstock. Elevasi intake, saluran pembawa, bak penenang, dan powerhouse memberikan gambaran mengenai topografi lokasi dan ketinggian air yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi. Panjang penstock sebesar 72,2 meter dengan diameter 0,57 meter, serta gross head sebesar 8,5 meter, menjadi parameter kunci dalam menentukan performa PLTMH.

4.4 Analisis Sistem Mekanikal dan Elektrikal

Informasi mengenai sistem mekanikal dan elektrikal turbin juga diperoleh dari formulir D. Turbin cross flow dengan diameter runner 300 mm dan bo runner 600 mm memiliki kapasitas 20 kW. Generator sinkron dengan kapasitas 32 KVA dan tegangan 389 Volt telah dipilih untuk sistem ini. Dengan jumlah fasa 3 dan kecepatan 1500 rpm, sistem generator sinkron mampu memenuhi kebutuhan energi listrik.

4.5 Rencana Distribusi Listrik dan Penggunaan

Dari informasi formulir A dan formulir B, terlihat bahwa rencana distribusi listrik mencakup 80 KK dengan jarak 5,5 km dari nama kecamatan. Di samping itu, terdapat 20 KK miskin yang dapat diakses oleh PLTMH ini. Melalui iuran per bulan sebesar 25000 per KK, diharapkan PLTMH dapat memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat setempat.

4.6 Potensi Pengembangan Lebih Lanjut

PLTMH Gunung Halu memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai sumber energi listrik yang bersih dan berkelanjutan. Dengan optimalisasi operasional dan pemeliharaan yang baik, diharapkan PLTMH ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam penyediaan energi listrik di wilayah sekitar.

4.7 Analisis Perhitungan Teknis

Dalam menganalisis perhitungan teknis PLTMH Gunung Halu, terdapat beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan, termasuk estimasi daya air, karakteristik bangunan air, sistem mekanikal, dan elektrikal turbin. Berikut adalah analisis lebih rinci terhadap perhitungan teknis:

1. Estimasi Daya Air

Untuk menghitung daya air (P_{in}) kita gunakan rumus daya hidrolis :

$$P_{in} = \rho \times g \times Q \times H$$

Dari data tabel, memiliki:

Debit air (Q): 400 m³/s

Tinggi jatuh (head) (H): 8 m

Massa jenis air (ρ): 1000 kg/m³ (dari tabel)

Percepatan gravitasi (g): 9.81m/s

Mari kita hitung :

$$P_{in} = 1000\text{kg/m}^3 \times 9.81\text{m/s}^2 \times 400\text{m}^3/\text{s} \times 8\text{m}$$

$$P_{in} = 31392000 \text{ watt} = 31392 \text{ kW}$$

Jadi, daya air (P_{in}) yang tersedia dalam aliran fluida yang masuk ke turbin adalah sekitar 31392 kW.

2. Estimasi Efisiensi Turbin

Dalam analisis ini, kita akan mengasumsikan efisiensi turbin (η_t) sebesar 85%, yang diberikan dalam data tabel.

3. Estimasi Daya Keluaran Turbin

Daya keluaran turbin (P_{out}) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{out} = P_{in} \times \eta_t$$

Dari hasil perhitungan sebelumnya, $P_{in} = 31392 \text{ kW}$. Mari kita hitung P_{out}

:

$$P_{out} = 31392 \text{ kW} \times 0.85$$

$$P_{out} = 26683.2 \text{ kW}$$

Jadi, daya keluaran turbin (P_{out}) yang dihasilkan adalah sekitar 26683.2 kW.

4. Analisis Distribusi Energi Listrik

Dari data tabel, PLTMH Gunung Halu direncanakan untuk mendistribusikan energi listrik kepada 80 KK. Dengan daya keluaran turbin sebesar 26683.2 kW, maka rata-rata daya yang dapat didistribusikan ke setiap rumah tangga adalah:

$$\text{Daya per KK} = \text{Jumlah KK} / P_{out}$$

$$\text{Daya per KK} = 26683.2 \text{ kW} / 80$$

$$\text{Daya per KK} \approx 333.54 \text{ kW}$$

Sehingga, setiap rumah tangga mendapatkan rata-rata daya sebesar sekitar 333.54 kW.

5. Analisis Torsi Turbin

Untuk menghitung torsi yang dihasilkan oleh turbin, kita dapat menggunakan rumus :

$$T = \omega / P_{ou}$$

Di mana:

$$T \quad = \text{torsi (dalam Newton meter, Nm)}$$

$$P_{out} \quad = \text{daya keluaran dari turbin (dalam watt, W)}$$

$$\omega \quad = \text{kecepatan sudut turbin (dalam rad/s)}$$

Namun, dari data yang tersedia, kita tidak memiliki nilai langsung untuk kecepatan sudut turbin (ω). Namun, kita dapat menghitung kecepatan sudut turbin menggunakan rumus :

$$\Omega = 2\pi / 60$$

Di mana:

n = kecepatan putar turbin (dalam rpm)

Dari data tabel yang disediakan, kita memiliki:

$$P_{out} = 33384000 \text{ watt}$$

$$N = 380 \text{ rpm (kecepatan turbin cross flow)}$$

Mari kita hitung ω :

$$\Omega = 2\pi \times 380 / 60$$

$$\Omega \approx 39.79 \text{ rad/s}$$

Sekarang, kita dapat menghitung torsi:

$$T = 33384000 / 39.79$$

$$T \approx 838792.86 \text{ Nm}$$

Jadi, torsi yang dihasilkan oleh turbin adalah sekitar 838792.86 Nm.

6. Kecepatan Keliling Turbin

Untuk menghitung kecepatan keliling turbin, kita bisa menggunakan rumus :

$$V = \omega \times r$$

Di mana:

V = kecepatan keliling turbin (dalam m/s)

ω = kecepatan sudut turbin (dalam rad/s)

r = jari-jari turbin

Namun, dari data yang tersedia, kita tidak memiliki nilai langsung untuk kecepatan sudut turbin (ω). Kita dapat menghitungnya menggunakan rumus :

$$\Omega = 2\pi / 60$$

Di mana:

n = kecepatan putar turbin (dalam rpm)

Dari data tabel yang disediakan, kita memiliki:

$$n = 380 \text{ rpm (kecepatan turbin cross flow)}$$

$r = 0.097425$ m (jari-jari turbin)

Mari kita hitung ω :

$$\Omega = 2\pi \times 380 / 60$$

$$\Omega \approx 39.79 \text{ rad/s}$$

Sekarang, kita dapat menghitung kecepatan keliling turbin:

$$V = 39.79 \times 0.097425$$

$$V \approx 3.88 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan keliling turbin adalah sekitar 3.88 m/s

7. Kecepatan Spesifik Turbin

$$C = \frac{V}{\sqrt{2 \times g \times H}}$$

Di mana:

C = kecepatan spesifik turbin (tanpa satuan)

V = kecepatan keliling turbin (dalam m/s)

g = percepatan gravitasi (sekitar 9.81 m/s^2 di permukaan bumi)

H = ketinggian jatuh efektif (dalam meter)

Dari data tabel yang disediakan, kita memiliki:

$V = 3.88 \text{ m/s}$ (kecepatan keliling turbin yang telah dihitung sebelumnya)

$H = 8 \text{ m}$ (ketinggian jatuh efektif)

Mari kita hitung:

$$C = \frac{3.88}{\sqrt{2 \times 9.81 \times 8}}$$

$$C = \frac{3.88}{\sqrt{156.96}}$$

$$C = \frac{3.88}{12.53}$$

$$C = 0.31$$

Jadi, kecepatan spesifik turbin adalah sekitar 0.31.

8. Biaya produksi energi

Untuk menghitung biaya produksi energi, kita perlu mempertimbangkan beberapa faktor, termasuk biaya operasional dan biaya modal. Namun, dari data yang tersedia, kita hanya memiliki informasi tentang jumlah

rumah tangga yang dilayani oleh PLTMH, yaitu 80 KK, dan jumlah KK miskin, yaitu 20 KK.

Dari data tabel, kita tahu bahwa iuran per bulan per rumah tangga adalah Rp 25.000. Mari kita hitung berapa pendapatan per bulan yang dihasilkan dari 80 rumah tangga :

Pendapatan Bulanan = Jumlah RT x Iuran per Bulan per RT

Pendapatan Bulanan = 80×25000

Pendapatan Bulanan = 2.000.000 Rupiah

9. Perhitungan *Pulley*

Dengan menggunakan nilai tersebut, kita dapat melanjutkan perhitungan. Mari kita mulai dengan menghitung kecepatan linear belt (V) menggunakan rumus yang diberikan.:

$$V = \frac{(dp \times n1)}{(60 \times 1000)}$$

Dengan:

- dp adalah diameter nominal pulley penggerak,
- $n1$ adalah putaran pulley penggerak (300 rpm).

Diberikan $dp=500$ mm (sesuai data), mari kita hitung nilai V:

$$V = \frac{(500 \times 300)}{(60 \times 1000)} = 2,5m/s$$

Selanjutnya, menghitung panjang belt (L) menggunakan rumus yang diberikan:

$$L = 2C + 1,57(DP + dp) + \frac{(Dp - dp)^2}{4C}$$

$$C = \frac{K + K^2 - 32(Dp - dp)^2}{16}$$

$$K = 4L - 6.28(Dp + dp)$$

Dengan:

- Dp adalah diameter nominal dari pulley yang besar,
- dp adalah diameter nominal dari pulley yang kecil,
- L adalah panjang keliling sabuk (yang akan kita hitung).

Dari data sebelumnya, $Dp=1000$ mm dan $dp=500$ mm. Mari kita hitung panjang belt (L)

$$\begin{aligned}
K &= 4L - 6.28(Dp + dp) \\
&= 4L - 6.28 \times (1000 + 500) \\
&= 4L - 6.28 \times 1500 = 4L - 6.28 \times 1500 \\
&= 4L - 9420 \qquad = 4L - 9420
\end{aligned}$$

Kemudian,

$$\begin{aligned}
C &= \frac{K + K^2 - 32(Dp - dp)^2}{16} \\
&= \frac{(4L - 9420) + (4L - 9420)^2 - 32 \times (1000 - 500)^2}{16} \\
&= \frac{(4L - 9420) + (16L^2 - 75240L + 140256400) - 32 \times 250000}{16} \\
&= \frac{(16L^2 - 75236L + 148256400) - 8000000 + 4L - 9420}{16} \\
&= \frac{16L^2 - 75236L + 140256980}{16} \\
&= L^2 - 4702L + 8766061,25
\end{aligned}$$

Selanjutnya,

$$\begin{aligned}
L &= 2C + 1,57(DP + dp) + \frac{(Dp - dp)^2}{4C} \\
&= 2C \times (L^2 - 4702L + 8766061,25) + 1,57(1000 + 500) + \frac{(1000 - 500)^2}{4C} \\
&= 2L^2 - 9404L + 17532122,5 + 1,57(1500) + \frac{500^2}{4C} \\
&= 2L^2 - 9404L + 17532122,5 + 2355 + \frac{250000}{L^2 - 4702L + 8766061,25} \\
&= 6342,41\text{mm}
\end{aligned}$$

Dengan demikian, panjang belt L sekitar 6342,41 mm

Setelah menemukan panjang belt, dan menggunakan nilai ini untuk menghitung kecepatan linear belt (V) dengan rumus :

$$V = \frac{(500 \times 300)}{(60 \times 1000)}$$

$$V = \frac{150000}{60000}$$

$$V = 2,5\text{m/s}$$

Jadi, kecepatan linear belt adalah sekitar 2,5 m/s.

10. Pemilihan dimensi kupling

daya yang harus diperhitungkan (P_d) menggunakan rumus yang telah diberikan:

$$P_d = F_c \times P_m \text{ (kW)}$$

Dimana :

P_d = Daya yang diperhitungkan (kW)

P_m = Daya yang akan diteruskan (kW)

f_c = faktor koreksi yang besarnya antara 1,5 – 2,5

maka,

$$P_d = 2 \times 20 \text{ kW}$$

$$P_d = 40 \text{ kW}$$

Jadi, daya yang harus diperhitungkan adalah 40 kW, menggunakan kopling dengan dimensi F70.

11. Pemilihan dimensi kupling karet

Momen puntir yang diteruskan (T_m) menggunakan rumus yang telah diberikan :

$$T_m = 9.74 \times 10^5 \times \frac{P}{n_1}$$

nilai-nilai yang dimiliki:

$$P = 20 \text{ kW}$$

$$n_1 = 1500 \text{ rpm}$$

$$T_m = 9.74 \times 10^5 \times \frac{20}{1500}$$

$$T_m = 1298.67 \text{ kg/mm}$$

Jadi, momen puntir yang diteruskan adalah sekitar 1298.67 kg/mm.

4.8 Analisis Perhitungan Nilai Bersih Sekaran (NVP)

Untuk menghitung Nilai Bersih Sekarang (NPV), kita akan menggunakan rumus berikut:

$$NVP = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Dimana :

NVP = Nilai bersih sekarang

T = Masa Proyek

CF_t = Arus kas bersih di periode t ,

r = Tingkat diskonto (Tingkat pengembalian yang diharapkan)

tabel di atas untuk menghitung arus kas bersih setiap bulan dan kemudian menghitung NPV dengan asumsi tingkat diskonto yang telah ditentukan sebelumnya.

Dari data tabel, hitung arus kas bersih (CF) setiap bulan dan kemudian menghitung NPV dengan menggunakan rumus di atas. Mari kita mulai:

1. Januari:

- Arus kas bersih (CF) = Debit Januari - Kredit Januari
- $CF_{Januari} = 1,120,000 - 610,000 = 510,000$

2. Februari:

- $CF_{Februari} = 1,370,000 - 985,000 = 385,000$

3. Maret:

- $CF_{Maret} = 1,400,000 - 1,950,000 = -550,000$

4. April:

- $CF_{April} = 1,170,000 - 635,000 = 535,000$

5. Mei:

- $CF_{Mei} = 1,280,000 - 1,290,000 = -10,000$

6. Juni:

- $CF_{Juni} = 1,150,000 - 625,000 = 525,000$

7. Juli:

- $CF_{Juli} = 1,200,000 - 1,450,000 = -250,000$

8. Agustus:

- $CF_{Agustus} = 1,200,000 - 950,000 - 300,000 = -50,000$

9. September:

- $CF_{September} = 1,100,000 - 1,500,000 = -400,000$

10. Oktober:

- $CF_{Oktober} = 1,260,000 - 680,000 = 580,000$

11. November:

- $CF_{November} = 1,500,000 - 800,000 = 700,000$

12. Desember:

- $CF_{Desember} = 1,200,000 - 650,000 = 550,000$

Sebelum menghitung NPV, terlebih dahulu memutuskan tingkat diskonto yang akan digunakan. Dalam contoh ini menggunakan tingkat diskonto sebesar 10% per tahun.

Berikut adalah perhitungan NPV:

$$\begin{aligned}
 NPV = & \frac{510,000}{(1 + 0.10)^1} + \frac{385,000}{(1 + 0.10)^2} + \frac{-550,000}{(1 + 0.10)^3} + \frac{535,000}{(1 + 0.10)^4} \\
 & + \frac{-10,000}{(1 + 0.10)^5} + \frac{525,000}{(1 + 0.10)^6} \\
 & + \frac{-250,000}{(1 + 0.10)^7} + \frac{-50,000}{(1 + 0.10)^8} + \frac{-400,000}{(1 + 0.10)^9} + \frac{580,000}{(1 + 0.10)^{10}} + \frac{700,000}{(1 + 0.10)^{11}} \\
 & + \frac{550,000}{(1 + 0.10)^{12}}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan, Nilai Bersih Sekarang (NPV) dari kas PLTMH dengan tingkat diskonto 10% adalah sekitar 311.139,21..

4.9 Analisis Periode Pengendalian Investasi (Payback Period)

Periode Pengembalian Investasi (Payback Period) adalah waktu yang diperlukan untuk mendapatkan kembali investasi awal. Rumus untuk menghitung Payback Period adalah sebagai berikut:

$$\text{Payback Period} = \text{Tahun Sebelumnya} + \left(\frac{C_0}{CF_1} \right)$$

Investasi awal: 14.815.000

Arus kas bersih tahunan:

- Tahun 2023 : 895.000

- Tahun 2024 : 2.275.000

$$\text{Payback Period} = 2023 + \left(\frac{14.815.000 - 895.000}{2.275.000} \right)$$

$$\text{Payback Period} = 2023 + \left(\frac{13.920.000}{2.275.000} \right)$$

$$\text{Payback Period} = 2023 + 6.12$$

$$\text{Payback Period} = 2029.12$$

Dengan demikian, Periode Pengembalian Investasi (Payback Period) diperkirakan terjadi sekitar pada tahun 2029.12, yang merupakan sekitar enam tahun setelah tahun 2023.

4.10 Analisis Profitability Index (PI)

Setelah menghitung nilai NPV sebesar sekitar 311.139,21 dan mengetahui investasi awal sebesar 14.815.000, lalu dapat menggunakan rumus PI:

$$PI = \frac{NVP}{C_0}$$

$$PI = \frac{311139.21}{14815000} = 0.02098$$

Setelah perhitungan, PI sekitar 0.02098. Ini menunjukkan bahwa proyek tersebut mungkin tidak menghasilkan keuntungan yang signifikan dalam hubungannya dengan biaya investasi awalnya atau $PI < 1$.

4.11 Risiko dalam pengelolaan PLTMH

Risiko dalam pengelolaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat melibatkan berbagai faktor, seperti fluktuasi debit air, kerusakan peralatan, perubahan harga listrik, perubahan regulasi, dan faktor lingkungan seperti perubahan pola cuaca

Total Biaya Operasional (CO) dari kas PLTMH dapat dihitung dengan menjumlahkan semua nilai dalam kolom Debit yang terkait dengan operasional PLTMH. Berdasarkan data tabel yang diberikan, total biaya operasional adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CO} &= 560.000 + 685.000 + 700.000 + 585.000 + 640.000 + 575.000 + \\ & 600.000 + 600.000 + 550.000 + 630.000 + 750.000 + 600.000 \\ \text{CO} &= \text{Rp. } 8.825.000 \end{aligned}$$

4.12 Perhitungan Pendapatan

Pendapatan pada pengelolaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat dihitung dengan memperhatikan beberapa faktor, terutama produksi listrik dan harga jual listrik. Berikut adalah beberapa rumus dan faktor yang perlu diperhatikan

1) Produksi listrik (*P*)

Produksi listrik dapat dihitung berdasarkan karakteristik teknis PLTMH dan debit air yang tersedia, total Produksi Listrik (*P*) dapat dihitung dengan menjumlahkan semua nilai pada kolom Kredit :

$$\begin{aligned} P &= 10.887.500 + 5.047.500 + 5.122.500 + 4.857.500 + 5.447.500 + \\ & 5.372.500 + 5.922.500 + 6.272.500 + 5.872.500 + 6.182.500 + \\ & 7.002.500 + 7.402.500 + 6.802.500 \\ P &= 78.387.500 \end{aligned}$$

2) Harga jual listrik (*Revenue*)

Harga jual listrik dapat bervariasi berdasarkan perjanjian dengan penyedia listrik atau kebijakan tarif yang berlaku. Untuk menghitung pendapatan atau harga jual listrik (*revenue*) dari PLTMH, maka perlu menjumlahkan semua nilai dalam kolom Kredit yang terkait dengan penerimaan kas dari penjualan listrik.

Dalam tabel yang sudah disediakan, kolom Kredit berisi nilai-nilai yang mewakili pendapatan dari penjualan listrik.

Dengan menggunakan data tabel yang telah diberikan, kita akan menjumlahkan semua nilai dalam kolom Kredit. Setelah itu, kita

akan mendapatkan total pendapatan atau harga jual listrik dari PLTMH. Berikut adalah hasil perhitungannya :

$$\begin{aligned} \text{Revenue} &= 10.887.500 + 5.047.500 + 5.122.500 + 4.857.500 + \\ & 5.447.500 + 5.372.500 + 5.922.500 + 6.272.500 + 5.872.500 \\ & + 6.182.500 + 7.002.500 + 7.402.500 + 6.802.500 \end{aligned}$$

$$\text{Revenue} = \text{Rp. } 87.185.500$$

Jadi, harga jual listrik atau pendapatan dari PLTMH tersebut adalah 87.185.500.

3) Pendapatan total (R)

Pendapatan total adalah hasil kali antara produksi listrik dan harga jual listrik.

$$R = \sum \text{Kredit}$$

$$\begin{aligned} R &= 10.887.500 + 5.047.500 + 5.122.500 + 4.857.500 + \\ & 5.447.500 + 5.372.500 + 5.922.500 + 6.272.500 + 5.872.500 \\ & + 6.182.500 + 7.002.500 + 7.402.500 + 6.802.500 \end{aligned}$$

$$R = \text{Rp. } 78.387.500$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Potensi Energi dan Analisis Teknis

Dari hasil perhitungan teknis yang telah dilakukan berdasarkan data tabel yang disediakan, dapat disimpulkan bahwa PLTMH Gunung Halu memiliki potensi yang signifikan dalam menghasilkan energi listrik dari sumber air yang tersedia. Debit air yang tinggi sebesar 400 m³/s dan tinggi jatuh (head) 8 meter memungkinkan turbin untuk menghasilkan daya air sebesar 26683,2 kW. Analisis ini menunjukkan bahwa lokasi ini memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik yang bersih dan berkelanjutan.

5.2 Karakteristik Teknis Turbin

Analisis teknis turbin menunjukkan bahwa turbin cross flow yang digunakan dalam PLTMH Gunung Halu memiliki karakteristik yang sesuai dengan lingkungan operasionalnya. Dengan torsi yang cukup tinggi dan kecepatan keliling yang optimal, turbin ini mampu menghasilkan energi listrik dengan efisien. Kecepatan spesifik turbin yang mencapai 0.31 menunjukkan bahwa turbin ini efektif dalam mengkonversi energi hidrolik menjadi energi mekanik.

5.3 Potensi Manfaat Sosial dan Ekonomi

Selain aspek teknis, PLTMH Gunung Halu juga memiliki potensi untuk memberikan manfaat sosial dan ekonomi yang signifikan bagi masyarakat setempat. Distribusi energi listrik kepada 80 KK, termasuk 20 KK miskin, akan meningkatkan aksesibilitas terhadap energi listrik dan meningkatkan taraf hidup masyarakat setempat. Kontribusi iuran per bulan dari masyarakat akan mendukung pemeliharaan dan pengembangan PLTMH, menciptakan dampak positif dalam skala lokal.

5.4 Kesimpulan

Dari analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa PLTMH Gunung Halu memiliki potensi yang besar untuk menjadi sumber energi listrik yang berkelanjutan dan dapat memberikan manfaat signifikan bagi masyarakat setempat. Diperlukan upaya yang berkelanjutan dalam pemeliharaan, pengembangan, dan optimalisasi operasional untuk memastikan bahwa potensi ini dapat direalisasikan secara efektif dalam jangka panjang. Melalui sinergi antara aspek teknis, sosial, dan ekonomi, PLTMH Gunung Halu dapat menjadi contoh yang baik dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk pembangunan berkelanjutan yang inklusif.

DAFTAR PUSTAKA

- Kartika, H., & Putra, I. (2020). "Pemodelan dan Analisis Teknis serta Finansial Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kawasan Gunung Halu." *Jurnal Inovasi Energi*, Volume 5(2), Halaman 123-135.
- Wibowo, A., & Santoso, B. (2019). "Analisa Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Daerah Gunung Halu." *Jurnal Energi dan Lingkungan*, Volume 8(1), Halaman 45-57.
- Susanto, C., & Rahardjo, D. (2018). "Studi Kelayakan Teknis dan Finansial Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Pabrik Kopi Gunung Halu." *Jurnal Rekayasa Energi*, Volume 12(3), Halaman 89-101.
- Utomo, E., & Purwanto, F. (2021). "Analisis Teknis dan Komersial Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Daerah Pegunungan: Studi Kasus Gunung Halu." *Jurnal Teknologi Energi*, Volume 15(4), Halaman 212-224
- Surya, J., & Prabowo, K. (2017). "Evaluasi Kinerja dan Aspek Finansial Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Pabrik Kopi Gunung Halu." *Jurnal Teknik Energi*, Volume 3(2), Halaman 78-91.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

THREE PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR MJB 160 MB4



THREE PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR MJB 160 MB4

CONTINUOUS DUTY

4 poles
50 Hz - 1500 rpm / 60 Hz - 1800 rpm

AMBIENT TEMPERATURE		40°C	WINDING DATA								Winding code	M0
TEMPERATURE RISE		H									Number of leads	12
INSULATION CLASS		H									Winding pitch	2/3
POWER FACTOR		0,8										
FREQUENCY		Hz	50 Hz				60 Hz					
VOLTAGE	Connections	Star series	380	400	415	440	380	416	440	460	480	
		Star parallel	190	200	208	220	190	208	220	230	240	
RATING POWER		kVA	30,9	32,0	32,0	32,0	31,8	33,8	36,9	40,0	40,0	
		kW	24,7	25,6	25,6	25,6	25,4	27,0	29,5	32,0	32,0	
EFFICIENCY [%] @ 0,8 p.f.		4/4	87,4	88,3	87,9	87,7	87,1	87,8	88,3	88,8	89,1	
		3/4	89,2	89,8	89,4	89,3	89,1	89,4	89,8	90,3	90,7	
		2/4	90,3	90,6	89,9	90,1	90,3	90,4	90,6	90,8	90,9	
EFFICIENCY [%] @ 1 p.f.		4/4	89,9	90,6	90,3	90,1	89,7	90,2	90,6	91,0	91,3	
		3/4	91,4	91,9	91,5	91,5	91,2	91,5	91,9	92,3	92,6	
		2/4	92,2	92,5	92,0	92,1	92,2	92,4	92,5	92,7	92,8	
SHORT CIRCUIT RATIO		SCR	0,44	0,47	0,51	0,57	0,36	0,40	0,41	0,41	0,45	
REACTANCES [%]												
Direct axis synchronous		X _d	293	274	255	226	285	321	313	311	285	
Quadrature axis synchronous		X _q	164	153	142	126	202	179	175	174	159	
Direct axis transient		X' _d	26,7	25,0	23,2	20,7	33,0	29,3	28,6	28,4	26,0	
Direct axis subtransient		X'' _d	11,4	10,7	9,9	8,8	14,1	12,5	12,2	12,1	11,1	
Quadrature axis subtransient		X'' _q	15,2	14,2	13,2	11,7	18,8	16,6	16,2	16,1	14,8	
Negative sequence		X ₂	13,4	12,5	11,6	10,3	16,5	14,6	14,3	14,2	13,0	
Zero sequence		X ₀	2,5	2,3	2,1	1,9	3,0	2,7	2,6	2,6	2,4	
TIME CONSTANTS [s]												
Open circuit		T _{do}									0,5	
Transient		T _d									0,05	
Subtransient		T' _d									0,007	
Armature		T _a									0,005	

MECHANICAL CHARACTERISTICS

D-end bearing/Lubrication	6310 2RS C3 / Prelubricated
N-end bearing/Lubrication	6309 2RS C3 / Prelubricated
Overspeed [r.p.m.]	2250
Inertia [J] [kgm ²]	Refer to B34 construction 0,17
Weight [kg]	Refer to B34 construction 188
Method of cooling	IC01
Cooling air required [m ³ /s] @ 50/60 Hz	0,11 / 0,14
Degree of protection	IP23
Types of construction available	B2 (SAE) - IM B34
Direction of rotation (Standard)	CW

OTHER DATA

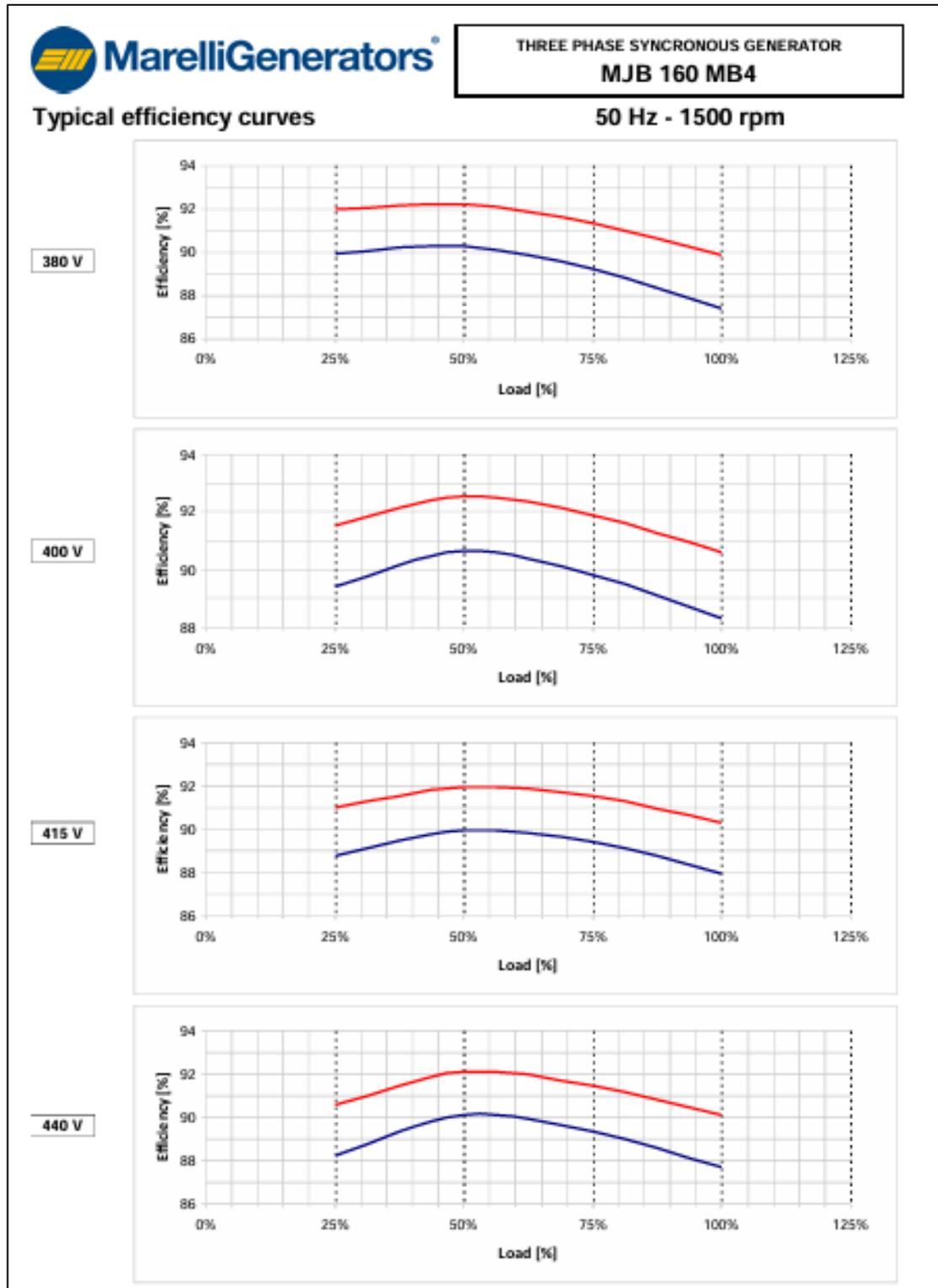
Phase resistance [Ω] @ 20 °C - Star series	0,3
Overloads	10% for 1 hour every 12 hours
3-phase short circuit sustained current	≥ 300 % (3 In) with auxiliary winding
Voltage regulation accuracy	± 1 % In steady state condition
Radio interference	EN 55011 - Class B Group 1
Wave form THF	< 2%
Total harmonic content	< 2% - At no load

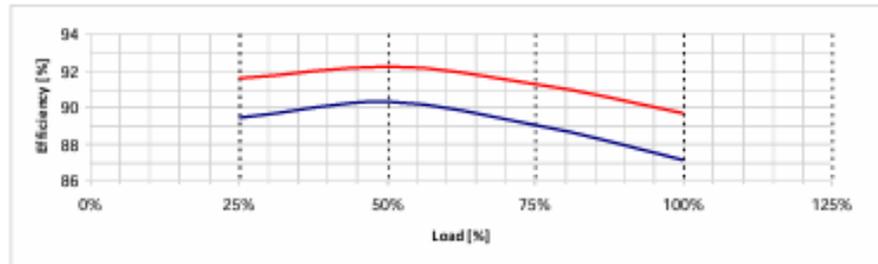
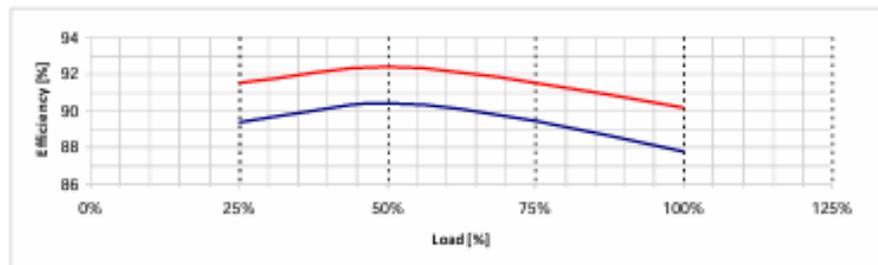
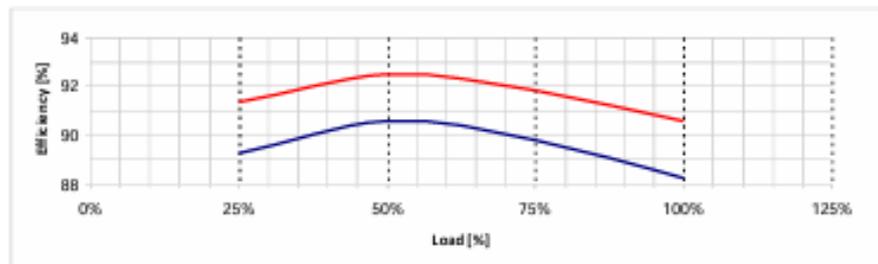
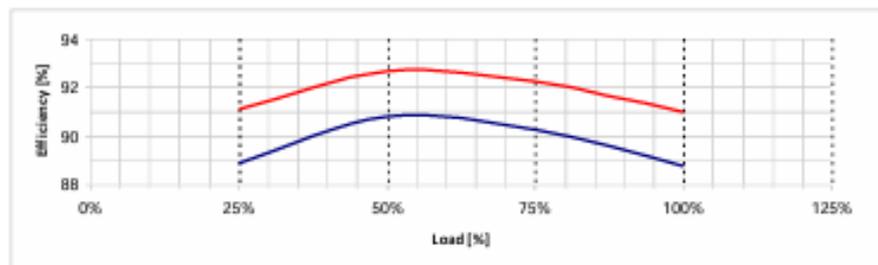
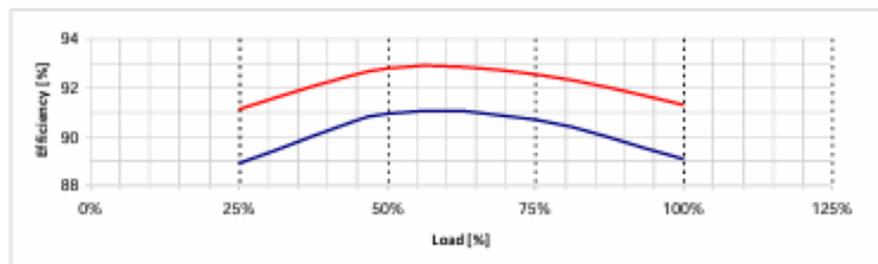
STANDARDS

IEC 60034-1; CEI 2-3; BS 4999-5000; VDE 0530; NF 51-100,111; OVE M-10, NEMA MG 1.22.

LAMPIRAN 2

TYPICAL EFFICIENCY CURVE



Typical efficiency curves
60 Hz - 1800 rpm
380 V

416 V

440 V

460 V

480 V


LAMPIRAN 3

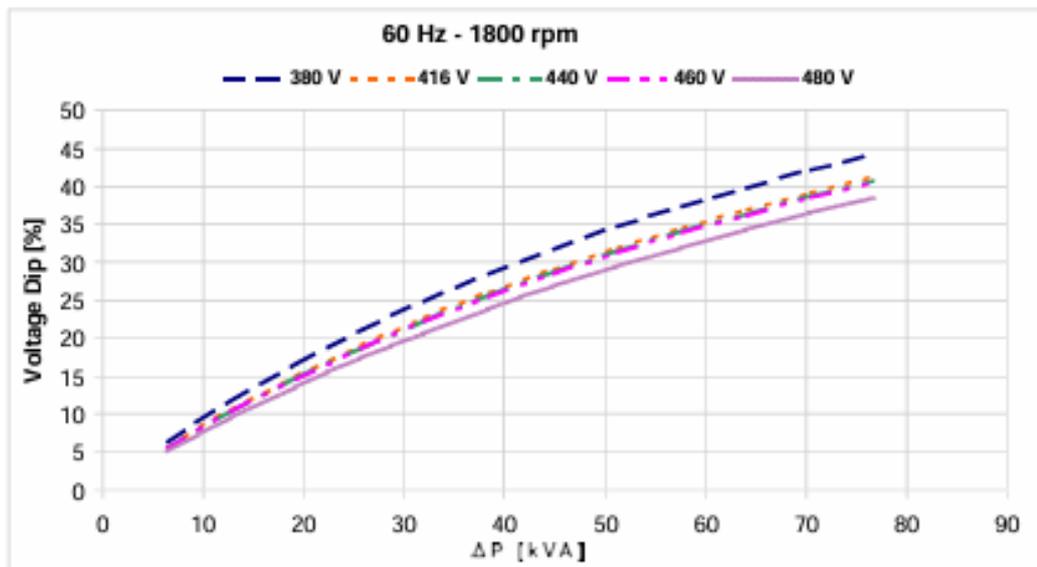
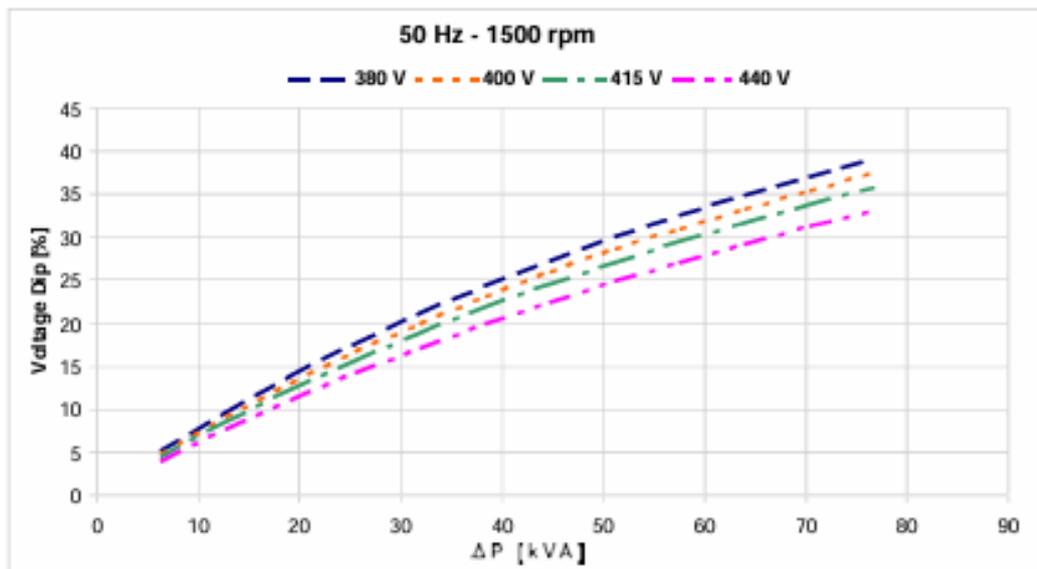
LOCKED ROTOR MOTOR STARTING CURVE



MarelliGenerators®

THREE PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR
MJB 160 MB4

Locked rotor motor starting curves (*)



$$\Delta P = P_n \times \frac{I_s / I_n}{\cos \varphi_n \times \eta_n}$$

(*): A coefficient of 0,85 must be applied to the voltage dip if the load has a power factor equal or greater than 0,8.