

STUDI TEKNO EKONOMI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK MIKRO HIDRO (PLTMH) DI KECAMATAN KARERA, KABUPATEN SUMBA TIMUR

Frans J. Likadja¹, Molina Olivia Odja², Stephanie I. Pella³, Wenefrida T. Ina⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana Kupang – NTT, Telp (0380) 881597/Fax (0380) 881557

Email: frankylikadja@yahoo.com, molina.odja@staf.undana.ac.id, s.i.pella@staf.undana.ac.id, wenefrida_ina@staf.undana.ac.id

ABSTRACT

Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima Sep 15, 2022

Direvisi Sep 25, 2022

Disetujui Okt 27, 2022

This study aims to measure the water potential of the Pahambur Wai River, in Nggongi Village, Karera District, East Sumba Regency to be used as a driving source for Micro Hydro Power Plants. This study aims to measure the water potential of the Pahambur Wai River, in Nggongi Village, Karera District, East Sumba Regency to be used as a driving source for Micro Hydro Power Plants. The research methods used are observation, area mapping, measurement of water flow and elevation, calculation of potential for electric power generated, Detail Engineering Design, cost calculation and economic feasibility. From the analysis and calculation, the maximum water flow of the Pahambur Wai River is 1,687 m³/s, minimum water flow is 0.054 m³/s. Probability availability is 70%, or 0.240 m³/s, with an effective elevation of 15 meters. The actual electric power generated is 20.44 kW. Type of turbine of MHPP is the Crossflow T14, D300 turbine, and coupled using a V belt, to a 3-phase synchronous generator, with a capacity of 25 kW. The plan for the construction and operation of the MHPP is economically feasible, as can be seen from the indicators of investment feasibility NPV, IRR, and Profitability Index.

Keywords: Pahambur Wai River, PLTMH, Detail Engineering Design, Economic Feasibility Analysis.



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur potensi air Sungai Pahambur Wai, di Desa Nggongi, Kecamatan Karera, Kabupaten Sumba Timur untuk dimanfaatkan menjadi sumber penggerak Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Metode penelitian yang digunakan yakni observasi, pemetaan situasi, pengukuran debit air dan elevasi untuk mengetahui potensi daya listrik yang dibangkitkan, Detail Engineering Design (DED), perhitungan biaya dan analisis kelayakan ekonomi. Dari hasil analisis dan perhitungan, diketahui besar debit air maksimum sungai Pahambur Wai adalah 1.687 m³/s, sedangkan debit air minimum 0.054 m³/s. Persentase probabilitas ketersediaan debit 70%, atau 0.240 m³/s, dengan elevasi efektif 15 meter. Daya listrik aktual yang dibangkitkan 20.44 kW. Jenis turbin yang digunakan dalam desain perencanaan PLTMH adalah Turbin Crossflow T14, D300, dan terkopel menggunakan V belt, ke generator sinkron 3-fasa, tipe brushless, dengan kapasitas 25 kW. Rencana pembangunan dan pengoperasian PLTMH layak secara ekonomi terlihat dari indikator kelayakan investasi NPV, IRR, dan Profitabilitas Indeks.

Kata Kunci: Sungai Pahambur Wai, PLTMH, Detail Engineering Design, analisis kelayakan ekonomi

Penulis Korespondensi:

Frans J. Likadja

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik,

Universitas Nusa Cendana,

Jalan Adisucipto, Penfui, Kupang.

frankylikadja@yahoo.com



1. PENDAHULUAN

Energi Listrik berkontribusi penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan berguna mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Akses ke energi listrik yang andal dan terjangkau merupakan syarat utama untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat,[1]. Pertambahan penduduk dan peningkatan ekonomi masyarakat berkorelasi dengan permintaan dan konsumsi energi listrik. Pesatnya konsumsi energi akan melahirkan tantangan baru, yakni upaya efisiensi pada sisi suplai dan pemakai listrik, [2].

Kabupaten Sumba Timur berada pada wilayah administratif Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan luas wilayah daratan 7000,50 Ha, dan tersebar pada 1 (satu) pulau utama (Pulau Sumba) dan 3 pulau kecil yaitu Pulau Prai Salura, Pulau Mengkudu dan Pulau Nuha (belum berpenghuni). Sekitar 40% luas Sumba Timur merupakan daerah yang berbukit-bukit terjal terutama di daerah bagian Selatan, dimana lereng-lereng bukit tersebut merupakan lahan yang cukup subur, sementara daerah bagian Utara berupa dataran yang berbatu dan kurang subur. BPS, Kabupaten Sumba Timur dalam Angka, 2022 [3-4].

Rasio Elektrifikasi (RE) Kabupaten Sumba Timur pada Tahun 2018 masih di angka 50,9%, [5]. Angka RE ini jauh di bawah RE Nasional yakni 99,4%. Kendala penyediaan listrik di Sumba Timur hingga ke wilayah perdesaan dan terpencil antara lain disebabkan oleh sulitnya suplai dan mahalnya harga BBM, tingkat kepadatan penduduk yang relatif rendah terutama di wilayah perdesaan dengan pola penyebaran pemukiman yang tersebar dan berjauhan serta rendahnya daya serap masyarakat terhadap energi listrik [4].

Desa Nggongi, Kecamatan Karera, Kabupaten Sumba Timur mempunyai sumber tenaga air yakni Sungai Pahambur Wai dan dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga listrik. Guna mendukung rencana pembangunan dan pemanfaatannya, perlu dilaksanakan studi kelayakan, *detail engineering design* (DED), menghitung biaya pembangunan dan rencana pengoperasian, serta analisis kelayakan ekonominya [4,6,7].

Lokasi Sungai Pahambur Wai terletak pada koordinat Lat -10.159950^0 , Long 120.220510^0 dan berjarak 13 km dari pusat desa Nggongi, dapat ditempuh menggunakan kendaraan roda empat

sejauh ± 4.5 km, dan dilanjutkan berjalan kaki sejauh $\pm 8,5$ km. Jarak

Desa Nggongi ke pusat Kabupaten (Waingapu) sejauh ± 65 km, dengan waktu tempuh ± 5 jam perjalanan darat menggunakan kendaraan roda empat dengan kondisi jalan beraspal mulus sebagian, berlubang, dan berkelok.

Desa Nggongi, Kecamatan Karera, Kabupaten Sumba Timur, terdiri atas 2 Kelurahan, 4 Dusun, 20 RT dan 10 RW. Jumlah Penduduk Desa Nggongi adalah 1896 Jiwa, 495 KK, [3,4].

Kebutuhan listrik seluruh masyarakat Desa Nggongi sepenuhnya disuplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Nggongi, berkapasitas 5 kW. PLTD Nggongi beroperasi hanya 12 jam sehari yaitu dari pukul 18.00 - 6.00 Wita. Dari 495 jumlah KK, pelanggan listrik PLN sebanyak 236 KK dan non-PLN sejumlah 259 KK. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi, dapat dipastikan kebutuhan listrik masyarakat Desa Nggongi dan sekitarnya akan terus meningkat. Untuk mengantisipasi meningkatnya kebutuhan listrik masyarakat, diperlukan sumber pembangkit listrik baru. Rencana pemanfaatan potensi air sungai Pahambur Wai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) diharapkan menjadi alternatif untuk memenuhi permintaan kebutuhan listrik masyarakat Desa Nggongi dan sekitarnya [7-11].

Gippner [12] menyatakan bahwa di Nepal, kehadiran PLTMH menghemat pengeluaran energi di tingkat rumah tangga dengan cara menurunkan konsumsi minyak tanah rata-rata sebesar 21 liter per bulan, serta ribuan liter solar yang sebelumnya digunakan untuk pertukangan perdesaan dan pengolahan pertanian.

Maksud kegiatan ini adalah melaksanakan studi pemanfaatan aliran Sungai Pahambur Wai guna mengetahui besar potensi daya listrik yang dibangkitkan, menyusun *Detail Engineering Design* (DED) guna mengetahui kriteria teknis konstruksi, perhitungan biaya dan analisis kelayakan ekonomi rencana pelaksanaan pembangunan dan pengoperasian PLTMH di Desa Nggongi, Kecamatan Karera, Kabupaten Sumba Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Tujuan pelaksanaan kegiatan adalah penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat Desa Nggongi dan dapat dimanfaatkan untuk mendukung kegiatan produktif guna

pemberdayaan dan peningkatan ekonomi, sosial dan budaya masyarakat. Selain itu kegiatan ini juga bertujuan untuk meningkatkan Rasio Elektrifikasi

- η_t = Efisiensi Turbin ~ 0,75
- η_{tm} = Efisiensi Turbin Mekanik ~ 0,95
- η_g = Efisiensi Generator ~ 0,9

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei, studi kasus pemanfaatan aliran Sungai Pahambur Wai untuk rencana pembangunan PLTMH.

2.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan adalah kondisi topografi, debit aliran sungai, dan head / elevasi dengan melakukan pengukuran langsung di lokasi penelitian, serta data curah hujan 10 (sepuluh) tahunan yang diperoleh dari stasion meteorologi Umbu Mehang Kunda, Kabupaten Sumba Timur. Instrumen penelitian yang digunakan yakni, *water current meter* Vale Port model 0012 B, theodolit Topcon DT 027, GPS Garmin 64 S, serta peralatan pendukung lainnya.

2.2 Analisis Data

Data hasil pengukuran topografi, debit air dan elevasi, kemudian dianalisis untuk menentukan titik lokasi bendung, bak penenang, jalur pipa pesat, dan rumah pembangkit.

Untuk menentukan debit andalan, debit desain, dan debit banjir sebagai dasar pertimbangan menetapkan debit desain PLTMH diperlukan data hujan di lokasi, lalu dianalisis menggunakan metode NRECA, yang dikembangkan oleh Crawford, 1985, [7], yakni:

$$Q = P - AET + \Delta S \dots \dots \dots \quad 2.1$$

Keterangan:

- Q = tebal aliran (mm/bulan)
- P = curah hujan (mm/bulan)
- AET=evaporasi aktual (mm/bulan)
- ΔS = perubahan tampungan(m)

Analisis hidrologi menggunakan metode NRECA yang dipilih karena sesuai dengan iklim semi kering seperti umumnya di wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT), [6].

Potensi daya listrik aktual yang dapat dibangkitkan oleh PLTMH dihitung menggunakan.

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta_h \times \eta_t \times \eta_{tm} \times \eta_g \dots (2.2)$$

dimana:

- H = Head Meter
- Q = Debit m³/dtk
- η_h = Efisiensi Hidrolika ~ 0,9

Untuk memperkirakan efisiensi keseluruhan pembangkit listrik tenaga mikrohidro, efisiensi turbin harus dikalikan dengan efisiensi penambah kecepatan (jika ada) dan alternator, [9].

Setelah mengetahui kondisi topografi, elevasi dan debit andalan, serta potensi daya listrik aktual kemudian dilakukan *Detail Engineering Design* untuk konstruksi sipil dan mekanikal elektrikal, yakni:

- 1) Komponen Sipil PLTMH yang dibangun pada aliran sungai terdiri:
 - Bendungan Pengalihan (Diversion Weir)
 - Bak Pengendap (Stand Trap)
 - Saluran Pembawa (Headrace Channel)
 - Bak Penenang (Forebay)
 - Saringan (Trash Rack)
 - Saluran Pelimpah (Spillway)
 - Pipa Pesat (Penstock)
 - Rumah Pembangkit (Powerhouse)
- 2) Komponen Mekanikal & Elektrikal terdiri atas:
 - Turbin Air
 - Generator
 - Panel Listrik, Alat Kontrol dan Ballast

Setelah penentuan teknis kemudian dilakukan perhitungan biaya dan analisis kelayakan ekonomi. Analisis kelayakan yang digunakan adalah nilai manfaat bersih sekarang (*Net Present Value*, NPV), Profitability Index (PI), dan *Internal Rate of Return* (IRR).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(Bt - Ct)}{(1 + i)^t}$$

- dimana :
- t = umur proyek
 - i = tingkat bunga
 - Bt = benefit (manfaat proyek) pada tahun t
 - Ct = cost (biaya proyek) pada tahun t

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{(NPV_1 - NPV_2)} (i_2 - i_1)$$

dimana:

- i_1 = Tingkat Diskonto yang menghasilkan NPV+
- i_2 = Tingkat Diskonto yang menghasilkan NPV-
- NPV₁=Net Present Value bernilai positif
- NPV₂= Net Present Value bernilai negatif

Kriteria kelayakan yang digunakan adalah apabila nilai NPV lebih besar dari nol dan IRR yang merupakan tingkat diskonto di mana nilai

sekarang bersih dari biaya (arus kas negatif) investasi sama dengan nilai sekarang bersih dari **Profitability Index (PI) = Nilai Aliran Kas Masuk/ Nilai Investasi**

Kelayakan investasi menurut analisa PI adalah:

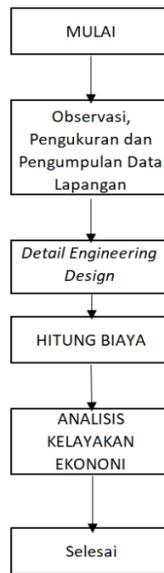
- Jika $PI > 1$; maka investasi tersebut dapat dijalankan (tidak layak)
- Jika $PI < 1$; investasi tsb tidak layak dijalankan (layak)

Asumsi yang digunakan dalam analisis finansial dan ekonomi adalah:

manfaat (arus kas positif) investasi.

1. Jangka waktu analisis adalah 25 tahun, sesuai dengan umur ekonomis PLTMH.
2. Discount Faktor = 13%/ tahun
3. Kapasitas daya listrik PLTMH adalah 20.44 KW
4. Waktu operasional harian PLTMH 24 Jam/ sehari

Kerangka penelitian dapat dilihat Pada gambar 1, berikut:



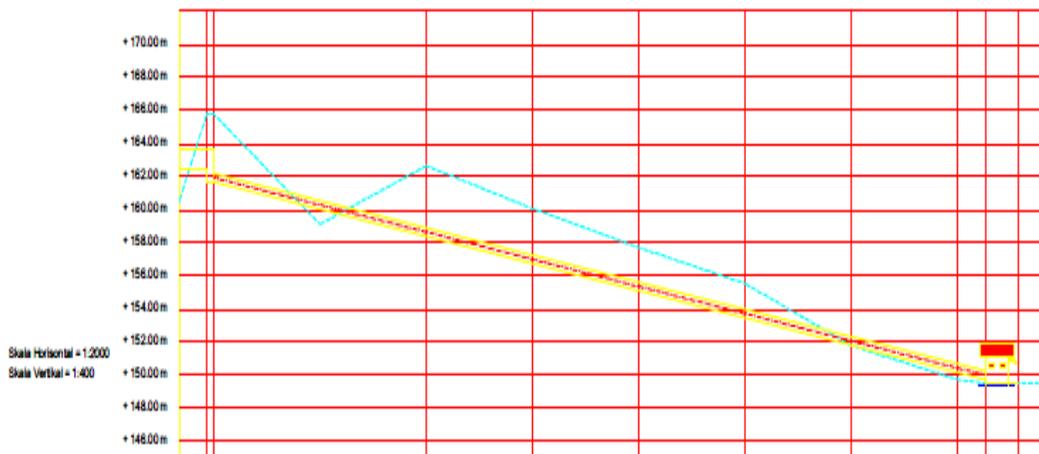
Gambar 1 Kerangka Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

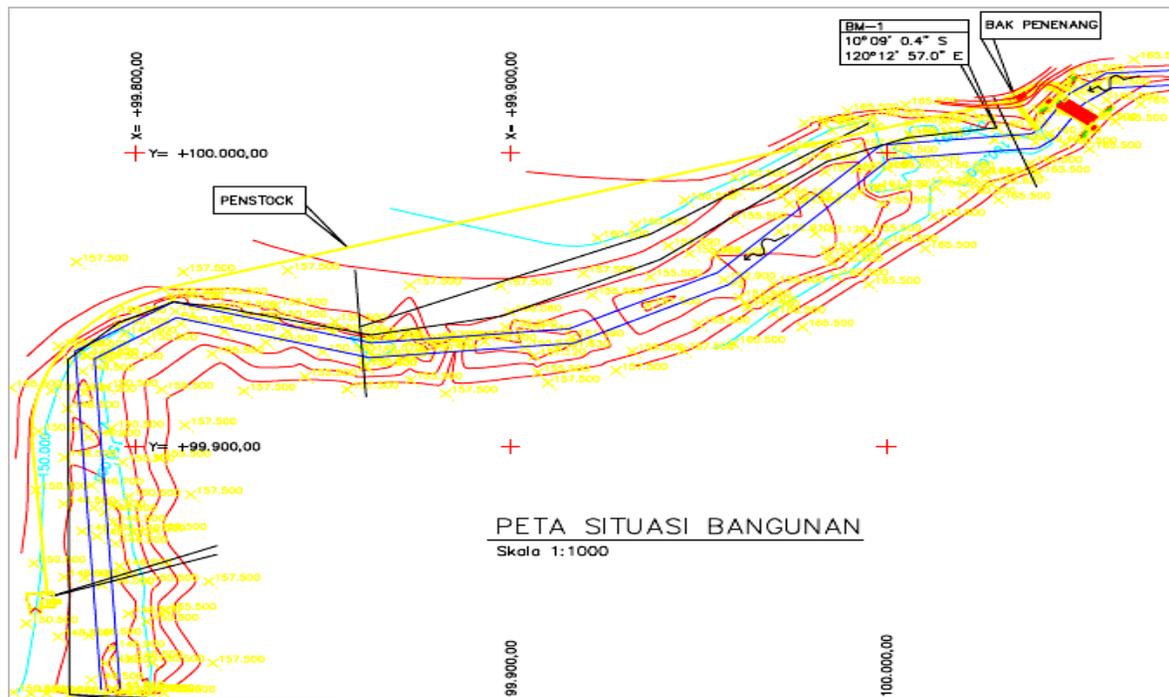
3.1 Pengukuran Topografi

Hasil pengukuran topografi dapat dilihat pada

Gambar 2 dan peta situasi bangunan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut di bawah ini.



Gambar 2 Potongan Memanjang Lokasi Bangunan PLTMH



Gambar 3 Peta Situasi Bangunan PLTMH

Dari Gambar 2 dan 3 di atas, diperoleh perbedaan tinggi/ head di lokasi perencanaan PLTMH Nggongi adalah 15 meter, juga penempatan bak penenang dan jalur pipa pesat/ *penstock*

3.2 Studi Hidrologi

andalan, debit desain, dan debit banjir sebagai dasar pertimbangan menetapkan debit desain PLTMH. Hasil perhitungan rerata curah hujan tahunan di Kabupaten Sumba Timur seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini

Tabel 1 Rerata Curah Hujan Tahunan di Kabupaten Sumba Timur

No	Tahun	Bulan												Maximum (mm)
		Jan	Peb	Mrt	Aprl	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nop	Des	
1	2011	223.90	201.70	27.80	72.40	126.70	39.90	36.273	32.975	58.472	70.167	84.20	337.10	357.10
2	2012	209.30	230.00	235.00	195.60	1.60	58.30	89.20	1.00	15.20	147.50	189.90	228.60	235.00
3	2013	387.40	154.60	329.40	167.70	11.40	42.00	59.00	2.50	1.00	9.70	227.50	133.30	387.40
4	2014	279.60	157.50	315.30	252.10	330.20	42.00	67.60	1.00	1.00	61.40	309.30	89.90	330.20
5	2015	148.70	106.70	179.90	125.10	43.10	7.20	1.00	1.00	1.00	19.10	148.40	210.30	210.50
6	2016	265.20	137.70	207.30	41.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.60	124.70	360.40	360.40
7	2017	357.00	387.00	72.00	40.70	34.60	1.00	1.00	1.00	1.00	54.30	179.90	806.20	806.20
8	2018	448.70	464.70	267.20	217.80	64.50	27.30	1.00	19.70	1.00	1.00	137.00	202.00	464.70
9	2019	382.00	197.00	77.00	117.00	106.00	8.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	191.00	382.00
10	2020	279.60	157.50	315.30	252.10	330.20	42.00	67.60	1.00	1.00	61.40	309.30	89.90	330.20
11	2021	148.70	106.70	179.90	125.10	43.10	7.20	1.00	1.00	1.00	19.10	148.40	210.50	210.50
Rerata		284.55	209.19	200.55	146.08	99.31	25.08	29.61	5.74	7.52	40.66	168.96	263.60	370.38

Berdasarkan Tabel 1 di atas, Curah hujan rata-rata di Kabupaten Sumba Timur dan sekitarnya mencapai 370.38 mm/tahun dengan jumlah hari hujan rata-rata tiap tahun antara 1 sampai 15 hari. Dari data curah hujan yang ada diketahui bahwa pada bulan tertentu

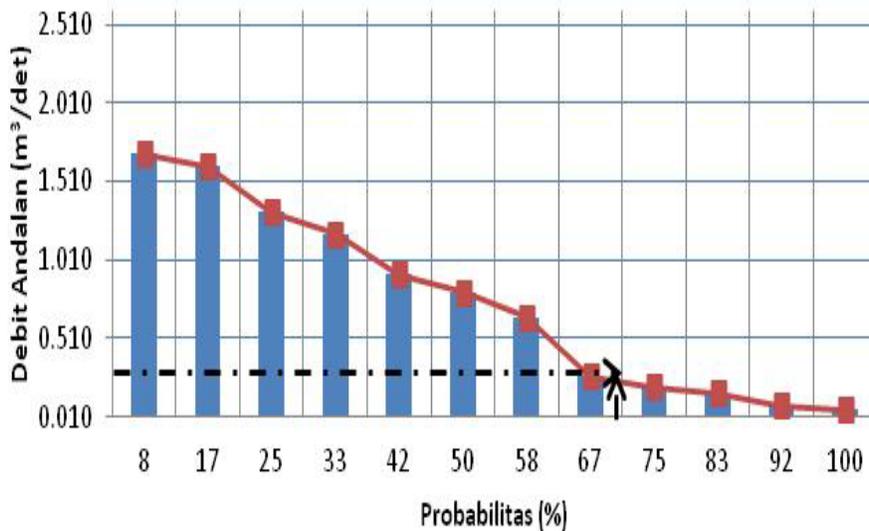
jumlah hari hujan sangat minim untuk setiap tahunnya. Hal ini akan berpengaruh pada ketersediaan air di daerah sekitar rencana pembangunan PLTMH. Hasil analisis debit andalan seperti terlihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Analisa Debit Andalan dengan menggunakan Metode NRECA

No	TAHUN	Bulan											
		Jan	Peb	Mrt	Aprl	Mei	Jun	Jul	Agsts	Sept	Okt	Nop	Des
1	2011	1.326	1.301	0.417	0.469	0.739	0.324	0.218	0.142	0.242	0.310	0.409	1.286
2	2012	1.230	1.241	1.401	1.295	0.383	0.392	0.506	0.143	0.065	0.673	1.208	1.616
3	2013	1.127	0.602	1.120	0.686	0.222	0.100	0.085	0.029	0.013	0.006	0.746	0.67
4	2014	1.694	1.007	1.774	1.672	2.183	0.742	0.579	0.199	0.090	0.238	1.834	0.954
5	2015	0.830	0.580	0.954	0.760	0.360	0.133	0.060	0.027	0.012	0.005	0.743	1.221
6	2016	1.599	0.892	1.202	0.453	0.178	0.080	0.036	0.016	0.007	0.003	0.582	1.936
7	2017	2.204	2.198	0.884	0.455	0.269	0.101	0.045	0.020	0.009	0.148	0.933	4.47
8	2018	2.809	2.699	2.102	1.753	0.798	0.362	0.150	0.067	0.030	0.014	0.761	1.330
9	2019	2.369	1.345	0.708	0.721	0.662	0.200	0.090	0.040	0.018	0.008	0.004	0.956
AVG		1.687	1.318	1.174	0.918	0.644	0.270	0.197	0.076	0.054	0.156	0.802	1.604

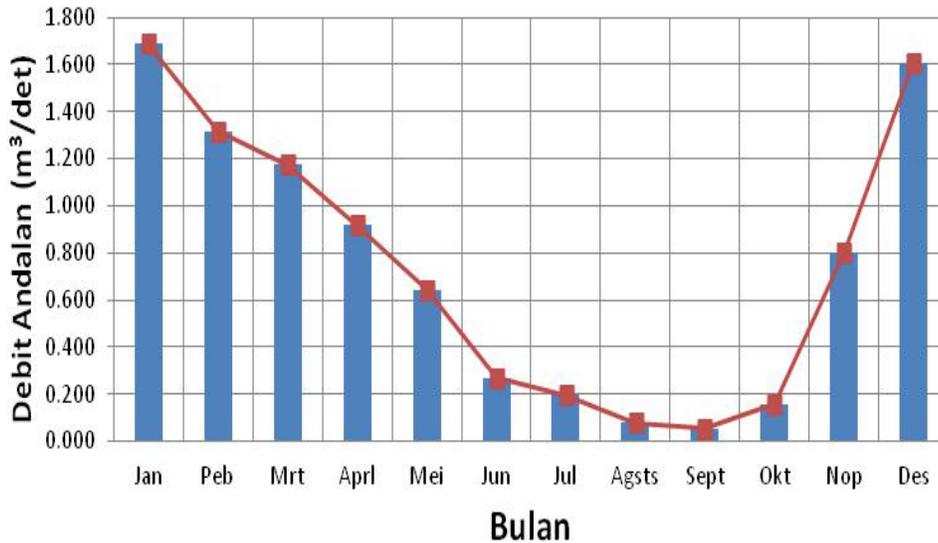
Dari Tabel 2 di atas, diketahui bahwa debit maksimum Sungai Pahambur Wai 1.687 m³/s dan terjadi pada bulan Januari, sedangkan debit efektif minimum 0.054 m³/s dan terjadi pada bulan

September. Persentase probabilitas ketersediaan debit untuk PLTMH Nggongi dipilih probabilitas debit 70%, yaitu 0.240 m³/s. Hubungan antara debit andalan dan probabilitasnya seperti terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Probabilitas Debit Andalan PLTMH

Rerata debit andalan bulanan Sungai Pahambur Wai dapat dilihat pada Gambar 3.4, berikut.



Gambar 5 Rerata Debit Andalan Bulanan

Dari Gambar 5 di atas, diketahui bahwa selama kurun waktu 9 bulan (Januari, Februari, Maret, April, Mei, juni, Juli, Nopember, Desember) dalam setahun, ketersediaan debit Sungai Pahambur Wai adalah $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan tingkat probabilitas sebesar 70%. Sebaliknya, debit minimum sebesar $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ terjadi selama kurun waktu 3 bulan (September, Oktober, dan November) dengan tingkat probabilitas sebesar 70%.

3.3 Potensi Daya Listrik Aktual

diperoleh potensi daya listrik aktual yang dapat dibangkitkan, menggunakan persamaan 2.2 di atas, yakni: $P \text{ aktual} = 20.44 \text{ kW}$.

3.4 Detail Engineering Design

Pembangunan dan pengoperasian PLTMH Nggongi yang memanfaatkan aliran Sungai Pahambur Wai memerlukan rencana detail desain bangunan utama dan bangunan penunjang sebagai berikut:

3.4.1 Bangunan sipil:

a. Bendung (Weir):

Lebar dasar sungai pada lokasi rencana as bendung PLTMH Nggongi adalah 10,00 m dan elevasi dasar sungai +159 meter, dan tinggi mercu bendung rencana adalah 2 meter, sehingga elevasi rencana mercu bendung El menjadi +161 meter. Bendung dilengkapi dengan 1 (satu) buah pintu penguras di dekat pintu intake berdimensi 3 m (lebar) x 6 m (tinggi)

b. Intake:

Bangunan intake direncanakan dengan konstruksi bangunan dari pasangan batu kali 1:3 diperkuat cor beton pada beberapa bagian dilengkapi dengan 1 (satu) buah pintu air di mulut intake dan satu buah pintu air yang dilengkapi saringan atau trash rack dan pada mulut pipa pesat/ penstock. Elevasi ambang intake adalah EL.+160.2-meter dan ditetapkan 1.2 meter di atas dasar lantai bendung. Intake dilengkapi dengan 1 (satu) buah pintu air dengan dimensi 1 m (lebar) x 0.5 m (tinggi).

c. Bak / kolam penenang (forebay):

Kolam atau bak penenang direncanakan menggunakan *type head pond* yang dilengkapi dengan saluran pelimpah. *Head pond* berfungsi untuk menampung dan menenangkan air dari intake sebelum masuk ke pipa pesat. Desain *head pond* dengan lebar (B) = 1.5 m dan panjang (l) = 4.3 m, dengan ketinggian (H) = 1 m

d. Pipa Pesat (penstock):

Dimensi dan tebal penstock didesain mampu menahan tekanan air statis dan tekanan water hammer. Tekanan water hammer didesain dengan lama penutupan intake valve minimum 4 (empat) detik. Pipa penstock dipilih menggunakan bahan pipa baja sepanjang 325 m, didesain satu jalur dengan diameter 0.4 m, dengan tebal pipa baja 6 mm

e. Rumah pembangkit (powerhouse):

Konstruksi powerhouse direncanakan dari pasangan atap konstruksi kayu dengan panjang 7 m dan lebar 5 m

f. Saluran pembuang (Tailrace):

Tail race atau saluran pembuang terletak di tepi sungai dengan pertimbangan lahan yang terbatas dan

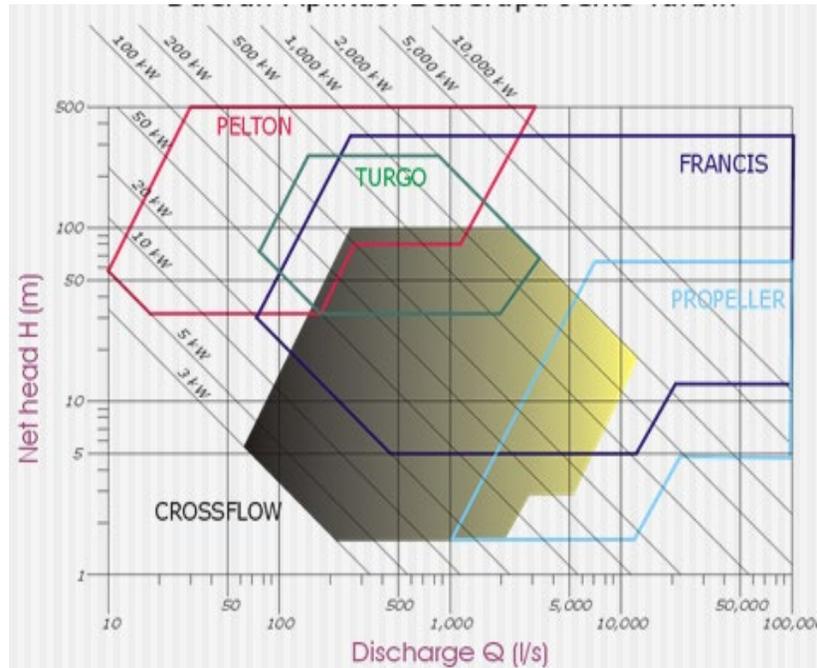
efektifitas untuk mengembalikan air kembali ke sungai

3.4.2 Perlengkapan hydromechanical:

- a. Pintu / gate
- b. Saringan sampah / trash rack
- c. Penstock steel pipe

3.4.3 Peralatan elektromekanikal:

- a. Turbin dan generator:



Gambar. 6 Pemilihan Turbin Berdasarkan Debit Air dan Ketinggian

Dari data hasil pengukuran dan perhitungan hidrologis, diketahui debit air Sungai Pahambur Wai adalah 240 lt/dtk atau 0,24 m³/dtk, dengan ketinggian efektif 15 meter. Mengacu pada Gambar 6 di atas, dipilih jenis Turbin *Crossflow* dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 3 Berikut

Tabel 3 Spesifikasi Turbin

Site Data			
Gross head	Hgross	m	15,00
net head /design head	Hnet	m	14,700
design flow	Qt	l/s	240
diameter of runner	Dt	m	0,40
Turbine Calculation based on T14 D300			
net head /design head	Hnet	m	14,7
design flow	Qt	l/s	240
diameter of runner	Dt	m	0,4
unit speed (opt)	n11	rpm	38
unit flow (opt)	Q11opt	m ³ /s	0,80
efficiency of turbine	etat opt	-	74,0%
unit flow (max)	Q11 max	m ³ /s	0,94
efficiency of turbine	etat max	-	73%
Width of runner	b0	mm	196
shaft power output	Pt opt	kW	25,6
	Pt max	kW	29,7
Turbine speed	nt	rpm	364

Turbine width is determined			
Width of runner	bow	mm	260,0
Optimum Discharge	Qopt	l/s	319,0
Power (turbine shaft)	Ptw_opt	kW	34,0
Turbine speed	ntw_opt	rpm	364
Run away speed	ntw_max	rpm	656
Generator/Transm. Effic.	eta_g	-	91%
El. Output	Pel	kW	31,01

b. Perlengkapan pembangkit listrik:

Generator listrik yang digunakan pada PLTMH dengan spesifikasi teknis dapat dilihat pada Tabel 4, berikut:

Tabel 4 Spesifikasi Generator Listrik

Jenis Generator	Generator sinkron, brushless, 3 fasa, 4 kutub, 50 Hz
Kecepatan Putar (Ng)	1500 rpm
Output (Pg), (kW)	1 X 25
Pengkopelan Turbin - Generator	Kopel Tidak Langsung, menggunakan V Belt
Sistem Pendinginan	Terbuka

b. Bangunan Penunjang:

- a. Kantor:
Konstruksi gedung kantor direncanakan dengan panjang 9.5 m dan lebar 8 m. Kantor PLTMH dilengkapi dengan pagar BRC
- b. Akses Jalan: Akses jalan menuju ke lokasi PLTMH direncanakan dengan konstruksi pengerasan sirtu. Akses jalan dengan lebar 3.10-meter dan panjang

jalan sampai ke rumah pembangkit sejauh 5000 meter.

3.5 Perhitungan Biaya Investasi

Estimasi pembiayaan rencana pembangunan PLTMH dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5 Uraian Biaya Investasi PLTMH

NO.	URAIAN PEKERJAAN		JUMLAH HARGA
I	PEKERJAAN PERENCANAAN	Rp.	175,000,000.00
II	PEKERJAAN KONSTRUKSI	Rp.	6,501,289,954.55
II.A	PEKERJAAN BANGUNAN SIPIL	Rp.	5,608,872,754.55
II.B	PEKERJAAN MEKANIKAL	Rp.	723,403,200.00
II.C	PEKERJAAN ELEKTRIKAL	Rp.	169,014,000.00
II.D	BIAYA KONSTRUKSI DAN SUPERVISI	Rp.	28,500,000.00
	TOTAL BIAYA KONSTRUKSI	Rp.	6,704,789,954.55
	Contingensi	Rp.	670,478,995.45
	Jumlah	Rp.	7,375,268,950.00
	PPn 10%	Rp.	737,526,895.00
	TOTAL BIAYA KONSTRUKSI + PPn 10%	Rp.	8,112,795,845.00
	PEMBULATAN	Rp.	8,112,795,000.00

Dari Tabel 5 di atas, biaya investasi pembangunan PLTMH sebesar Rp.8,112,795,000,- meliputi pekerjaan perencanaan, pekerjaan konstruksi yang terdiri dari pekerjaan bangunan sipil, mekanikal elektrik dan supervisi. Tambahan biaya lainnya adalah biaya *contingence*, dan Pajak Penambahan nilai (PPn)

3.6 Estimasi Biaya Operasional & Pemeliharaan (O & P)

Biaya O & P terdiri atas biaya tetap operasional, biaya *non* personal, biaya pemeliharaan rutin per tahun dan biaya pemeliharaan berkala (5 tahunan sekali) seperti biaya *overhaul* peralatan dan pergantian *spare part*. Biaya tetap operasional, biaya *non* personal, biaya pemeliharaan rutin per tahun diperkirakan mencapai Rp. 333,558,604.26 / tahun, sedangkan biaya pemeliharaan berkala sebesar Rp.25.000.000, - per 5 tahun.

3.7 Perolehan Revenue Pengoperasian PLTMH

Jika harga jual listrik PLTMH ditetapkan senilai Rp 741/ KWH dengan faktor eskalasi tarif sebesar 4% per tahun. Simulasi tarif listrik dan perolehan *revenue* PLTMH saat beroperasi dihitung dengan membandingkan biaya pengoperasian pembangkit listrik lainnya seperti Pengoperasian Pembangkit

Listrik Tenaga Diesel (PLTD) seperti terlihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Penghematan Perolehan *Revenue* Pengoperasian PLTMH

Tahun Ke-	Energi Tahunan (KWh)	Biaya Operasi & Pemeliharaan (Rp./kWh)	Biaya Harga jual listrik (Rp./kWh)	Pendapatan Penjualan Listrik (Rp.)
1	133,611	3,069.57	741.00	311,122,722
2	133,611	3,299.79	770.64	337,922,130
3	133,611	3,547.27	801.47	366,870,100
4	133,611	3,813.32	833.52	398,133,321
5	133,611	4,099.32	866.87	431,891,203
6	133,611	4,406.76	901.54	468,336,840
7	133,611	4,737.27	937.60	507,678,053
8	133,611	5,092.57	975.11	550,138,494
9	133,611	5,474.51	1,014.11	595,958,852
10	133,611	5,885.10	1,054.67	645,398,135
11	133,611	6,326.48	1,096.86	698,735,060
12	133,611	6,800.97	1,140.74	756,269,536
13	133,611	7,311.04	1,186.36	818,324,272
14	133,611	7,859.37	1,233.82	885,246,494
15	133,611	8,448.82	1,283.17	957,409,799
16	133,611	9,082.48	1,334.50	1,035,216,145
17	133,611	9,763.67	1,387.88	1,119,097,990
18	133,611	10,495.94	1,443.39	1,209,520,600
19	133,611	11,283.14	1,501.13	1,306,984,516
20	133,611	12,129.37	1,561.18	1,412,028,220
21	133,611	13,039.08	1,623.62	1,525,230,996
22	133,611	14,017.01	1,688.57	1,647,216,008
23	133,611	15,068.28	1,756.11	1,778,653,602
24	133,611	16,198.40	1,826.35	1,920,264,872
25	133,611	17,413.28	1,899.41	2,072,825,477
				23,756,473,438.64

3.8 Perhitungan Arus Kas

Arus kas menunjukkan perputaran uang masuk dan keluar yang diterima perusahaan sebagai hasil pengoperasian PLTMH, dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7 Perhitungan Arus Kas PLTMH

Tahun Ke-	Energi Tahunan (kWh)	Biaya Operasi Pemeliharaan (Rp.)	Harga jual Listrik (Rp.)	Potensi Penghematan (Rp.)	Pendapatan Sebelum Pajak (Rp.)	Pajak PPn 10% (Rp.)	Pendapatan Setelah Pajak (Rp.)
1	133,611.07	3,070	750.00	309,920,222.71	309,920,222.71	30,992,022.27	278,928,200.44
2	133,611.07	3,300	780.00	336,671,529.92	336,671,529.92	33,667,152.99	303,004,376.93
3	133,611.07	3,547	811.20	365,569,476.79	365,569,476.79	36,556,947.68	329,012,529.11
4	133,611.07	3,813	843.65	396,780,672.97	396,780,672.97	39,678,067.30	357,102,605.67
5	133,611.07	4,099	877.39	430,484,448.27	430,484,448.27	43,048,444.83	387,436,003.44
6	133,611.07	4,407	912.49	466,873,815.72	466,873,815.72	46,687,381.57	420,186,434.15
7	133,611.07	4,737	948.99	506,156,507.07	506,156,507.07	50,615,650.71	455,540,856.37
8	133,611.07	5,093	986.95	548,556,086.49	548,556,086.49	54,855,608.65	493,700,477.84
9	133,611.07	5,475	1,026.43	594,313,148.01	594,313,148.01	59,431,314.80	534,881,833.21
10	133,611.07	5,885	1,067.48	643,686,603.36	643,686,603.36	64,368,660.34	579,317,943.02
11	133,611.07	6,326	1,110.18	696,955,066.62	696,955,066.62	69,695,506.66	627,259,559.96
12	133,611.07	6,801	1,154.59	754,418,343.35	754,418,343.35	75,441,834.33	678,976,509.01
13	133,611.07	7,311	1,200.77	816,399,031.70	816,399,031.70	81,639,903.17	734,759,128.53
14	133,611.07	7,859	1,248.81	883,244,244.18	883,244,244.18	88,324,424.42	794,919,819.76
15	133,611.07	8,449	1,298.76	955,327,459.01	955,327,459.01	95,532,745.90	859,794,713.10
16	133,611.07	9,082	1,350.71	1,033,050,510.80	1,033,050,510.80	103,305,051.08	929,745,459.72
17	133,611.07	9,764	1,404.74	1,116,845,731.17	1,116,845,731.17	111,684,573.12	1,005,161,158.06
18	133,611.07	10,496	1,460.93	1,207,178,250.36	1,207,178,250.36	120,717,825.04	1,086,460,425.32
19	133,611.07	11,283	1,519.36	1,304,548,472.06	1,304,548,472.06	130,454,847.21	1,174,093,624.85
20	133,611.07	12,129	1,580.14	1,409,494,734.50	1,409,494,734.50	140,949,473.45	1,268,545,261.05
21	133,611.07	13,039	1,643.34	1,522,596,171.71	1,522,596,171.71	152,259,617.17	1,370,336,554.53
22	133,611.07	14,017	1,709.08	1,644,475,789.99	1,644,475,789.99	164,447,579.00	1,480,028,210.99
23	133,611.07	15,068	1,777.44	1,775,803,775.86	1,775,803,775.86	177,580,377.59	1,598,223,398.27
24	133,611.07	16,198	1,848.54	1,917,301,052.73	1,917,301,052.73	191,730,105.27	1,725,570,947.46
25	133,611.07	17,413	1,922.48	2,069,743,105.12	2,069,743,105.12	206,974,310.51	1,862,768,794.60

Dari Tabel 7 di atas, perolehan pendapatan bersih setelah pajak dari pengoperasian PLTMH selama masa ekonomis-nya yakni 25 tahun adalah Rp. **21,335,754,825.41**, - Pengoperasian PLTMH akan menghemat biaya operasional sebesar Rp. **23,706,394,250.45**, jika dibandingkan dengan mengoperasikan pembangkit listrik lainnya yang menggunakan bahan bakar fosil, seperti PLTD.

3.9 Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi rencana pembangunan dan pengoperasian PLTMH menggunakan kriteria NPV, IRR dan Profitabilitas Indeks (PI). Berikut adalah data investasi dan kriteria kelayakan seperti terlihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Kriteria Kelayakan Investasi

Nilai Investasi	:	8,112,795,000.00	
Bunga Deposito	:	6.00% /tahun	
Biaya Modal Rata-Rata Tertimbang (WACC)	:	9.00% /tahun	
Bunga Reinvestasi	:	16.00% /tahun	
Jangka Waktu Pinjaman	:	0 tahun	
Usia Ekonomis Investasi	:	25 tahun	
Nilai Sisa (salvage) Aset	:	5,862,390,258.13	
KRITERIA KELAYAKAN INVESTASI			
Estimate Payback Period (PP)	:	<10	tahun
Net Present Value (NPV)	:	> 1	
Internal Rate of Return (IRR)	:	> Bunga Deposito	
Profitability Index (PI)	:	> 1	
PENILAIAN KELAYAKAN INVESTASI			
Average Rate of Return (ARR)	:	21.04%	
Net Present Value (NPV)	:		
NPV Tingkat Bunga Deposito 6.00%	:	505,915,074	Layak
NPV Tingkat Biaya Modal 9.00%	:	-1,976,194,328	Tidak Layak
Internal Rate of Return (IRR)	:	6.49%	Layak
Modified Internal Rate of Return (MIRR)	:	11.46%	Layak
Profitability Index (PI)	:		
PI Tingkat Bunga Pinjaman	:	1.06	Layak
PI Tingkat Biaya Modal	:	0.756	Layak

Dari Tabel 8, biaya investasi PLTMH memanfaatkan aliran sungai Pahambur Wai sebesar Rp. 8.112.795.000,- dengan asumsi bunga deposito sebesar 6.% per tahun dan *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) sebesar 8,78% serta bunga reinvestasi sebesar 16 %. Dari asumsi tersebut, dan dari hasil analisis, diperoleh nilai NPV untuk tingkat suku bunga deposito 6.% memperlihatkan nilai positif atau layak, sedangkan nilai NPV untuk tingkat biaya modal 8,78%, memperlihatkan nilai negatif atau tidak layak. Dari hasil perhitungan IRR diperoleh tingkat pengembalian sebesar 6.93% atau lebih besar dari suku bunga deposito sebesar 6% per tahun, sedangkan nilai profitabilitas indeks menunjukkan 1.06 atau lebih besar dari 1.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut sebagai berikut:

1. Debit maksimum Sungai Pahambur Wai, di Desa Nggongi, Kecamatan Karera, Kabupaten Sumba Timur adalah $1.687 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan debit efektif minimum adalah $0.054 \text{ m}^3/\text{s}$. Persentase probabilitas ketersediaan debit untuk PLTMH Nggongi adalah 70%, yaitu $0.240 \text{ m}^3/\text{s}$, dengan perbedaan tinggi/ head 15 meters.
2. Daya Listrik Aktual yang dibangkitkan yakni 20.44 kW
3. Jenis turbin yang digunakan dalam desain perencanaan PLTMH adalah Turbin Crossflow T14, D300, dan ter kopel menggunakan V belt, ke generator sinkron 3-fasa, tipe brushless, dengan kapasitas 25 kW.
4. Rencana pembangunan dan pengoperasian PLTMH layak secara ekonomi terlihat dari indikator kelayakan investasinya menggunakan kriteria analisis NPV, IRR, dan Profitabilitas Indeks (PI). Biaya investasi pembangunan PLTMH cukup besar, oleh karena kondisi topografi dan aksesibilitas ke lokasi PLTMH jauh dan sulit terjangkau, namun jika dibandingkan dengan biaya operasional pembangkit listrik lainnya yang menggunakan energi fosil, maka pengoperasian PLTMH akan lebih menguntungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustina, Karen, "Indonesia dan Ketahanan Energi". Pidato di *Center for Strategic and International Studies* (CSIS), Washington, D.C.
- [2] Kebijakan Energi. Yogyakarta: Pusat Studi Energi UGM, 2011
- [3] BPS Kabupaten Sumba Timur. Sumba Timur dalam Angka, 2022.
- [4] BPS Kabupaten Sumba Timur, Kecamatan Karera dalam Angka, 2022
- [5] Dagi Consulting, *Monitoring dan Evaluasi Program Sumba Iconic Island*, 2018
- [6] Panduan Untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Mini Hidro, Buku Perencanaan PLTMH. Jakarta: IMIDAP, 2010
- [7] Karunia Waasiu Widyaningsih, Perbandingan Metode FJ. Mock dan NRECA untuk Transformasi Hujan Menjadi Debit pada DAS Metro Kabupaten Malang, Jawa Timur, *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* Vol. 1 No. 1 (2021) p. 52-61 @ Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2021.
- [8] Oliver Paish, *Small hydro power: technology and current status, Reneable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Volume 6, Issue 6, December 2002, Pages 537-556, 2022.
- [9] Bilal Abdullah Nasir, *Design Considerations Of Micro-Hydro-Electric Power Plant, Design Considerations Of Micro-Hydro-Electric Power Plant*, 2014
- [10] Haerun, Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro (Pltmh) Dengan Menggunakan Aplikasi Hydropower Casimir Di Sungai Noling Kelurahan Noling Kabupaten Luwu, *Jurnal MEDIA ELEKTRIK*, Vol. 19, No. 1, Desember 2021
- [11] Zeb, S., Ali, M., Mujeeb, A., & Ullah, H, *Cost efficient Mini hydro plant with low water head whirlpool design methodology for rural areas : (Micro Hydro Whirlpool power plant). 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (ICoMET)*, 1–7, 2019
- [12] Gippner, O., Dhakal, S., & Sovacool, B. K. *Microhydro electrification and climate change adaptation in Nepal: socioeconomic lessons from the Rural Energy Development Program (REDP)*. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 18, 407–427. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9367-5>, 2013.