

ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI DESA NEGERI GUGUNG SIBOLANGIT

M. Alief Kurniadi Putra¹, Hamdani²,

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan

^{1,2}Jl. Gatot Subroto No.km, Simpang Tj, Kota Medan, 20122, Indonesia

email: ¹maliefkurniadiputra@gmail.com

Abstract — *The Micro-Hydro Power Plant (PLTMH) is a small-scale hydropower generator with an installed capacity of less than 200 kW. It utilizes the flow of water from irrigation channels, rivers, or natural waterfalls by harnessing the available waterfall height at the construction site. This study focuses on the planning techniques and equipment required for PLTMH located in rural areas such as Negeri Gugung Sibolangit to meet the electricity needs of the residents. The research includes a technical feasibility study by surveying the hydrological potential and the potential falling height (head) at the planned PLTMH development site. Based on the calculations, the electricity demand for the residents of Negeri Gugung Sibolangit during peak load is estimated to be 20 kW. Field surveys indicate that the potential water discharge in the river of Negeri Gugung Sibolangit is approximately 0.95 m³/s, with a planned water discharge in the diversion channel of 0.38 m³/s and a waterfall height of 7.5 meters. This configuration can generate a power of 28 kW, which is sufficient to meet the needs of the local population. Considering the head, planned discharge, and installed capacity, the suitable turbine type is determined to be a cross-flow turbine, and the generator type is identified as a synchronous generator. Based on these parameters, it can be concluded that building a PLTMH in Negeri Gugung Sibolangit is highly feasible.*

Abstrak – Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah sebuah pembangkit listrik tenaga air dengan skala kecil dengan kapasitas terpasang di bawah 200 kW yang menggunakan aliran air dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun air yang tersedia di lokasi pembangunan. Penelitian ini membahas mengenai teknik perencanaan serta peralatan yang diperlukan pada PLTMH yang terletak di pedesaan seperti Negeri Gugung Sibolangit untuk memenuhi kebutuhan listrik warga setempat. Penelitian termasuk kajian kelayakan secara teknis dengan mensurvei potensi hidrologi dan potensi tinggi jatuh (*head*) yang terdapat di lokasi rencana pembangunan PLTMH. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan listrik warga Negeri Gugung Sibolangit pada beban puncak sebesar 20kW. Hasil survei di lapangan memperlihatkan bahwa potensi debit air yang ada di sungai Negeri Gugung Sibolangit adalah sebesar 0,95 m³ /det dengan debit air yang direncanakan pada saluran pembelokan sebesar 0,38 m³ /det dan memiliki tinggi terjun 7,5 m sehingga dapat menghasilkan daya sebesar 28 kW yang cukup untuk memenuhi kebutuhan warga setempat. Berdasarkan *head*, debit rencana dan kapasitas terpasang tersebut maka jenis turbine yang sesuai adalah jenis cross flow dan jenis generator adalah jenis generator sinkron. Berdasarkan parameter di atas, dapat disimpulkan bahwa pada Negeri Gugung Sibolangit tersebut sangat memungkinkan untuk dibangun PLTMH.

Kata Kunci – *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Debit Air, Head, Turbin, Generator, Beban.*

I.PENDAHULUAN

Dalam aktivitas sehari-hari, tingkat penggunaan listrik di pedesaan terhitung masih sangat rendah, terutama bila dibandingkan dengan tingkat penggunaan listrik di daerah urban atau perkotaan. Kelistrikan di pedesaan merupakan salah satu hal terpenting untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat pedesaan dan untuk mengurangi kesenjangan antara kehidupan perkotaan dengan pedesaan [1]. Untuk itu pemerintah telah memasukkan pembangkit listrik tenaga air seperti PLTMH sebagai salah satu sumber energi untuk masyarakat khususnya masyarakat pedesaan. Pembangunan PLTMH diharapkan juga dapat menjadi salah satu pilihan dalam kebijakan pemerintah dalam memenuhi target dengan total kapasitas terpasang sebesar 35GW. Indonesia yang sangat kaya dengan potensi energi dari sumber alam tentu akan bisa digunakan sebagai alternatif terhadap sumber energi yang berasal dari sumber fosil.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan merupakan suatu pembangkit yang mampu alternatif yang tepat di pedesaan yang banyak terdapat sungai-sungai kecil [2]. Keuntungan dari PLTMH adalah penggunaan teknologi tidak rumit sehingga sesuai dengan kondisi topografi dan akses yang tersedia di pedesaan. Selain itu, distem distribusi juga bisa dilakukan langsung ke masyarakat tanpa harus melalui jalur listrik nasional atau jalur transmisi yang dimiliki oleh PT PLN Perserot lain yang sifatnya tidak ilmiah.

II.PENELITIAN TERDAHULU

A. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*

Kebutuhan energi listrik untuk daerah pedesaan relatif kecil yaitu berkisar antara 10 s/d 150 kW, dimana pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas di bawah 200 kW sangat cocok digunakan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah pedesaan. PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil (dibawah 200 kW) yang menggunakan aliran air sungai, air saluran irigasi, atau air terjun alam. Sistem kerja PLTMH dengan memanfaatkan tinggi jatuh (*head*) air dan jumlah debit air yang ada. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini biasanya dibangun di wilayah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PT. PLN dan menjadi salah satu program pemerintah untuk masa 5 s/d 10 tahun kedepan. Pada umumnya PLTMH mengadopsi sistem *run of river* dimana tidak ada air yang disimpan di belakang bendungan dan air lebih akan melimpah melalui bangunan pelimpah (*spillway*).

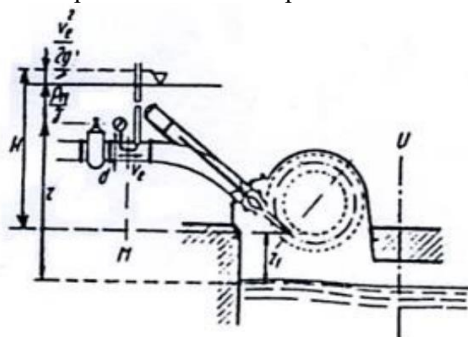
Selain itu head atau ketinggian diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke suatu sisi sungai dan menjatuhkannya kembali ke sungai tersebut tanpa merusak vegetasi dan ekosistem yang ada pada sungai tersebut. [3] menyimpulkan bahwa pembangkit listrik skala kecil termasuk Mikrohidro akan memainkan peran penting dalam industri energi terbarukan di masa yang akan datang. [4] menambahkan bahwa jenis pembangkit hidro ini merupakan salah satu pembangkit listrik yang hemat biaya dan teknologi yang ramah lingkungan dan sangat sesuai untuk dipertimbangkan baik elektrifikasi pedesaan di negara berkembang maupun negara maju.

Sistem PLTMH jenis *run of river* umumnya menggunakan pipa untuk mengalirkan air menuju rumah pembangkit (*powerhouse*). *Powerhouse* ini umumnya dibangun tidak jauh dari tebing sungai. Aliran air dari pipa akan menuju ke turbin dan melalui jet noselnya air akan keluar dengan kecepatan tertentu dan memutar roda turbin (*runner*), kemudian air tersebut akan mengalir kembali ke sungai asalnya melalui sebuah saluran keluar atau sering disebut sebagai *tailrace* [5] [6].

Aliran air tersebut akan berubah menjadi energi mekanik yang dihasilkan melalui putaran poros (*shaft*) turbin akan diubah menjadi energi listrik melalui sebuah generator [7].

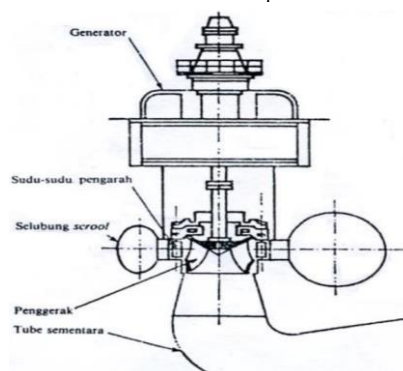
1) Turbin Air

Secara umum, terdapat dua jenis turbin air yang sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga mini hidro yaitu turbin impulse (Gambar 2.1) dan *reaction* (Gambar 2.2). Beberapa jenis turbin yang termasuk ke dalam jenis impulse seperti pelton dan turgo. Sementara itu yang termasuk ke dalam jenis *reaction* seperti francis dan Kaplan.



Sumber: [7]

Gbr. 1 Turbin Impuls



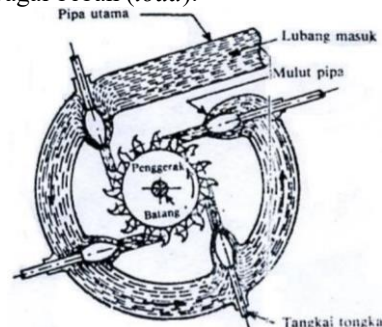
Sumber: [8]

Gbr. 2 Turbin Reaksi

2) Turbin Pelton

Turbin pelton sangat sesuai digunakan pada pembangkit listrik tenaga air dengan perbedaan tinggi jatuh (*head*) yang besar dan dengan debit air yang kecil [9]. Banyaknya pancaran dapat dibuat dari satu hingga empat pancaran melalui nozzle dengan kapasitas pipa pancaran ditentukan oleh diameter turbin. Komponen-komponen utama dari turbin jenis pelton adalah.

- Mempunyai pipa nozle yang berfungsi untuk mengarahkan aliran jet air
- Runner yang menggunakan energi kinetis aliran jet air
- Kotak penutup untuk mengamankan runner dan nozzle
- Alat pengatur kecepatan aliran agar kecepatan tetap sama pada berbagai beban (*load*).



Sumber: [8]

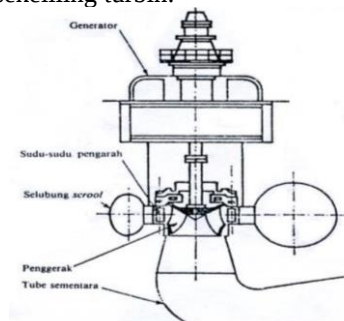
Gbr. 3 Turbin Pelton

3) Turbin Francis

Sementara itu, komponen-komponen utama dari turbin francis adalah:

- Rumah spiral yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin
- Bagian turbin yang berputar
- Pipa pelepas air yang meneruskan air dari turbin ke saluran pembuang

Fungsi rumah spiral adalah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat sekeliling turbin.



Sumber: [8]

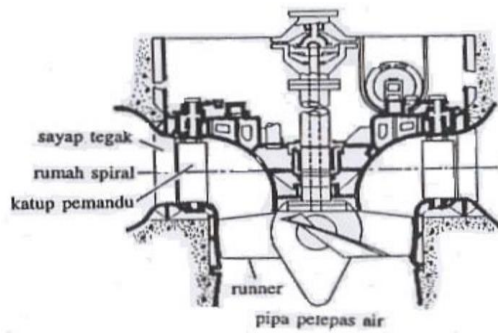
Gbr. 4 Turbin Francis

4) Turbin Kaplan

Bagian-bagian turbin ini sama seperti turbin francis yaitu:

- Rumah spiral.
- Turbin.
- Pipa pelepas air

Turbin kaplan yang bertekanan rendah mempunyai 4 sampai dengan 6 daun (*blade*), sedangkan Kaplan yang bertekanan tinggi terdiri dari 8 blade. Blade ini dibuat dari baja yang tahan karat dan mampu menahan pengaruh kavitasi. Turbin kaplan umumnya mempunyai hanya satu shaft yang menghubungkan turbin dan generator [7].



Sumber: [7]

Gbr. 5 Turbin Kaplan

III. METODE PENELITIAN

A. Teknik Perencanaan Daerah Tangkapan Air, Perhitungan Debit Air, Daya Turbin, Generator dan Beban

1) Pengukuran Debit Air

Untuk menghitung besar debit sungai dapat digunakan rumus umum [5].

$$Q = L \times D \times V \text{ (m}^3 \text{ /det)} \quad (1)$$

$$Q = V \times A \text{ (m}^3 \text{ / det)} \quad (2)$$

Dimana:

Q = Besar debit air (m³ /det)

L = Lebar sungai (m)

D = Tinggi muka air (m)

V = kecepatan aliran air (m/det)

A = Luas penampang basah sungai (m²)

Untuk menghitung luas penampang sungai dapat dilakukan dengan membagi penampang basah sungai kedalam beberapa bagian sehingga bisa mewakili bentuk penampang sungai keseluruhan. Pada masing-masing bagian penampang sungai dilakukan pengukuran kecepatan air dan kedalaman air. Debit total dari sungai tersebut dapat dihitung dengan rumus.

$$Q_{\text{total}} = A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3 + \dots + A_n \cdot V_n \quad (3)$$

Untuk menghitung daya yang dibangkitkan oleh air maka dapat digunakan rumus:

$$P_{\text{input}} = \frac{Q \times S \times H}{75} \text{ HP} \quad (4)$$

Dimana:

P = Kapasitas terpasang (kW)

Q = Debit air (m³ /det)

H = Tinggi terjun air (m)

S = Massa jenis air.

Maka:

$$\begin{aligned} P_{\text{input}} &= \frac{Q \times S \times H}{75} \text{ HP} \\ &= 13,33 \text{ QH (hp)} \\ &= 0,736 \times 13,33 \text{ QH} \end{aligned}$$

$$P_{\text{input}} = 9,8 \text{ QH (kW)} \quad (5)$$

2) Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin adalah daya yang dibangkitkan oleh sejumlah air yang menekan sudu-sudu turbin. Daya turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$N_t = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_e \cdot \eta_t}{75} \quad (6)$$

Dimana:

N_t = daya turbin air (HP)

γ = berat jenis air (1000 kg/m³)

Q = kapasitas air (m³ /det)

H_e = head efektif (m)

η_t = efisiensi turbin (%)

3) Perhitungan Daya Generator

Daya adalah laju atau kemampuan dalam melakukan kerja atau laju pengeluaran energi. Dalam satuan SI, satu watt didefinisikan sebagai sesuatu yang sama dengan kerja yang dilakukan pada laju satu joule setiap detik. Watt juga didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik oleh arus 1 A yang tidak berubah yang mengalir pada tegangan 1 volt. Atau:

$$P = I V \quad (7)$$

Dimana:

P = daya listrik (watt)

I = arus listrik (amper)

V = tegangan (volt)

Dengan kata lain, watt adalah ukuran laju muatan listrik bergerak melalui suatu perbedaan potensial. Dari hukum Ohm dinyatakan:

$$V = IR \quad (8)$$

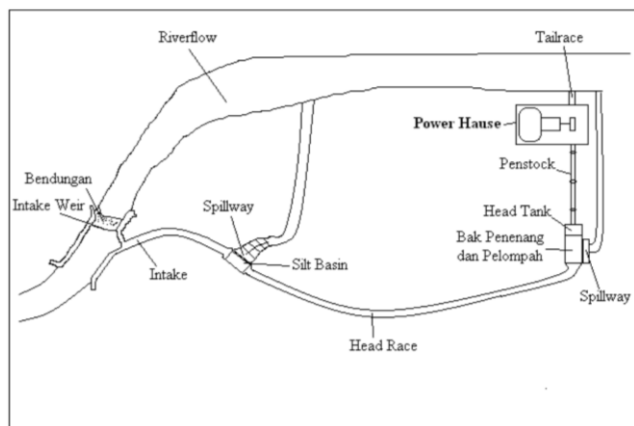
Maka dapat disubstitusikan, bahwa rumus lain dari daya adalah

$$P = IV = I \times IR$$

$$P = I^2 R \quad (9)$$

4) Perencanaan Daerah Tangkapan Air

Dalam merencanakan sebuah PLTMH dapat diketahui dulu karakteristik dari sungai dimana lokasi PLTMH akan dibangun. Dengan kata lain harus diketahui keadaan hidrologi serta daerah tangkapan tempat air tersebut. Maksud dari pemantauan daerah tangkapan air ini adalah untuk mengetahui luas wilayah daerah aliran air dan tangkapan air guna memberikan informasi karakteristik aliran sungai. Pemantauan ini didasarkan pada ramalan-ramalan dari data terdahulu dan masukan atau wawancara dengan penduduk setempat yang tinggal disekitar sungai/lokasi.



Gbr. 6 Saluran Tangkapan Air dan Teknik Penyaluran Air pada PLTMH yang Direncanakan

Gambar 6 menunjukkan bahwa aliran sungai yang dialihkan sebagian kerencana pengalihan serta pengambilan air untuk PLTMH

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

1) Potensi Sungai Desa Negeri Gugung Sibolangit

Dari hasil pengukuran di lapangan diperoleh debit total $Q_t = 0,95 \text{ m}^3/\text{det}$ dan debit air (Q) pada saluran pembelokan $= 0,38 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan Tinggi terjun (H) yang didapat adalah $= 7,5$ meter. Untuk menghitung potensi tenaga air dalam besaran tenaga kuda (hp) yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin dapat dihitung dengan Persamaan (5).

$$P = 9,8 \times Q \times H \text{ (kW)}$$

Jadi potensi daya air yang tersedia dengan perbedaan ketinggian yang ada di Desa Negeri Gugung Sibolangit adalah sebesar

$$P = 9,8 \times 0,95 \times 7,5 = 69,82 \text{ kW}$$

Dalam perencanaan ini akan dibangun satu unit turbin air yang mampu menggerakkan generator dengan daya output sebesar 25 kW. Jadi besar daya input yang ada pada PLTMH Tingkem adalah:

$$P_{\text{input}} = 9,8 \times 0,38 \times 7,5 = 27,93 \text{ kW}$$

Daya input adalah daya yang masuk ke dalam sistem pembangkit

2) Turbin

Apabila turbin dan generator digabungkan maka rata-rata kecepatan dari turbin sama dengan kecepatan generator, jadi kecepatan turbin yang direncanakan sesuai dengan kecepatan generator yang direncanakan. Untuk mengetahui daya turbin dapat digunakan rumus pada persamaan (6). yaitu:

$$N_t = \frac{1000 \cdot 0,38 \cdot 7,5 \cdot 0,85}{75}$$

$$= 32,3 \text{ HP}$$

TABEL I
PEMILIHAN JENIS TURBIN UNTUK PLTMH

Tinggi Air (M)	Debit m^3/detik	Kapasitas (KW)	Jenis Turbin
0.5–10	-	-	Simple wood and metal wheel
0.5– 2	0.05 – 8	-	Scheider Hydro Engine
2 – 50	3 – 20	-	Axial Flow
2 – 15	1.5 – 40	0–5000	a. Straflo
1.25 - 25	3 – 25	150-3500	b. Turbular
			c. Bulb
1 – 70	3 – 40	-	Kaplan
8 – 300	0.3 – 20	500-5000	Francis
45 – 300	1 – 8	-	Turgo
1 – 200	0.03 – 9	50–1000	Cross Flow, Banki, Mitchel or Obserger
45 - 1000	0.06 – 3	100-5000	Pelton

Adapun spesifikasi turbin yang direncanakan untuk PLTMH Desa Negeri Gugung Sibolangit adalah sebagai berikut:

- Jenis/tipe : Impuls / Cross Flow
- Putaran : 500 rpm
- Daya : 32,3 HP
- Tinggi jatuh : 7,5 m
- Kapasitas aliran : $0,38 \text{ m}^3/\text{det}$

3) Generator

Generator Sinkron adalah suatu jenis generator listrik yang berputar dengan kecepatan sinkron yang putaran generator ditentukan oleh jumlah kutub yang terpasang pada generator dan besarnya frekuensi yang diinginkan, putaran generator sinkron dapat ditentukan dengan rumus:

$$N = \frac{120}{P}$$

Dimana:

- N = Putaran generator
- f = Frekuensi listrik yang diinginkan
- p = Jumlah kutub Jadi

Jadi:

$$N = \frac{120 \cdot 50}{4}$$

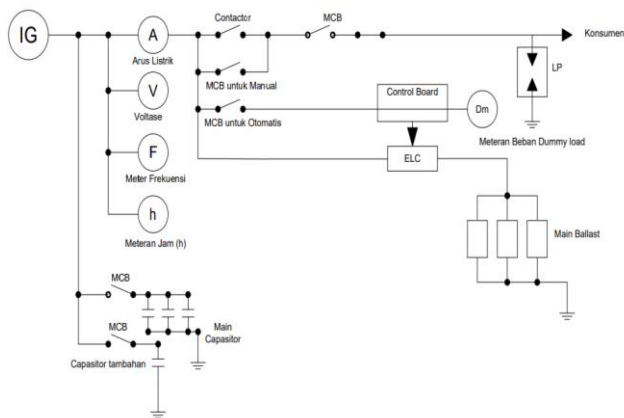
$$= 1500 \text{ Rpm}$$

Maka pada PLTMH Tingkem generator yang direncanakan adalah generator sinkron dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Generator : Sinkron
- Kapasitas : 25 kW
- Putaran : 1500 rpm
- Jumlah fasa : 1 fasa
- Tegangan : 220 V
- Frekuensi : 50 Hz
- Kutub : 4 kutub

4) Distribusi

Adapun *one line diagram* yang direncanakan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dilihat pada Gambar



Gbr. 7 One Line Diagram PLTMH Desa Negeri Gugung Sibolangit

5) Prakiraan Beban

Untuk memperkirakan jumlah beban yang dilayani oleh PLTMH di desa tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penerangan rumah penduduk
 - a. Kamar tidur 2 buah @ 25 watt = 50 watt
 - b. Kamar tamu = 50 watt
 - c. Dapur = 50 watt
 - d. Kamar mandi/WC = 25 watt
 - e. Penerangan luar/teras = 50 watt
 - f. TV/tape, lain-lain = 175 watt
 - g. Jumlah = 400 watt

Maka jumlah beban untuk penerangan rumah penduduk adalah
 $P = 400 \times 48 = 19.200 \text{ W}$
 $P = 19,2 \text{ kW}$

2. Jadi jumlah daya keseluruhan yang digunakan oleh konsumen adalah

$$P = 19.200 + 800$$

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

Adapun besarnya beban puncak/maksimum yang digunakan oleh warga tersebut adalah sebesar 20 kW. Dengan memperhatikan tingkat perkembangan penduduk sebesar 4%/tahun maka perencanaan sebuah PLTMH untuk 6 tahun mendatang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Daya} = (100\% + 4\%)^{6-1} \cdot 20.000 \text{ watt} = 25,3 \text{ kW}$$

maka dalam perencanaan ini keperluan energi listrik untuk 6 tahun mendatang diambil sebesar 25 kW.

V.KESIMPULAN

Dari penjelasan dan hasil analisa di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Potensi air yang ada pada sungai waih tingkem di Desa Negeri Gugung Sibolangit adalah sebesar 0,93 m³ /det maka sangat memungkinkan untuk membuat suatu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
- 2) Debit air sebesar 0.38 m³ /det digunakan untuk pembangkit dengan ketinggian 7,5 m maka menghasilkan daya sebesar 27,93 kW. Dengan demikian maka PLTMH Desa Negeri Gugung Sibolangit mampu melayani kebutuhan daya kekonsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Dwiyanto, "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)," 2016.
- [2] A. Purnama, "Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Tinjauan Teknis," *J. Ris. Kaji. Teknol. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 2, pp. 124–130, 2018.
- [3] T. E. Venus *et al.*, "The public's perception of run-of-the-river hydropower across Europe," *Energy Policy*, vol. 140, p. 111422, 2020.
- [4] A. W. Dametew, "Design and analysis of small hydro power for rural electrification," *Glob. J. Res. Eng.*, vol. 16, no. 6, 2016.
- [5] Dinas Pertambangan dan Energi, *Diktat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Banda Aceh*. Jakarta: UI-Press, 1999.
- [6] A. Syafi, K. Yusuf, and J. Arfiandi, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Desa Tingkem," *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 8–14, 2022.
- [7] O. F. Patty, "Mesin Tenaga Air," *Penerbit Erlangga, Jakarta*, 1995.
- [8] K. N. Sharma and M. M. Dandekar, "Pembangkit Listrik Tenaga Air." Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 1991.
- [9] E. C. Lister, "Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam," *Penerbit Erlangga, Jakarta*, 1993.