

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO MENGUNAKAN GENERATOR AC 3 FASA DAN TURBIN PELTON DI DESA TIMBANGREJA

Christian Saragih^{1*}, Abdul Syakur², dan M. Arfan³

¹²³Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

^{*}E-mail: csaragih26@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) merupakan sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan air sebagai sumber energi utama. Proyek ini terletak di Desa Timbangreja dan mengandalkan air dari saluran irigasi. Turbin Pelton yang dibuat dari pipa galvanis dengan diameter 2 inci digunakan untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang menggerakkan generator DC. Generator AC 200W dengan tegangan 12V digunakan dalam proyek ini, dan charge controller MPPT mengontrol pengisian baterai. Hasil pengukuran mencatat debit air sebesar 14 L/min. Kecepatan turbin dan generator tanpa beban adalah 86,31 RPM dan 1862,2 RPM dengan tegangan 82,13V. Saat terhubung dengan baterai, kecepatan generator menjadi 688,31 RPM pada turbin dan 31,87 RPM pada turbin. Tegangan rata-rata keluaran generator adalah 14,22V dengan arus 1,64A, menghasilkan daya rata-rata 23,32W. Efisiensi generator dihitung sekitar 56%. Pengisian baterai berhasil menghasilkan energi maksimal 411,84W. PLTPH ini merupakan contoh sederhana dan efisien pemanfaatan sumber energi piko hidro untuk menghasilkan listrik ramah lingkungan. Dengan potensinya dalam menyediakan listrik bagi komunitas dengan akses terbatas, proyek semacam ini dapat meningkatkan kualitas hidup.

Kata kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH), Turbin Pelton, Generator AC, Tegangan, Arus, dan Daya

Abstract

The Pico Hydro Power Plant (PLTPH) is a hydroelectric system located in Timbangreja Village, utilizing water from an irrigation channel as its energy source. It features a Pelton turbine crafted from a 2-inch galvanized pipe to convert water's kinetic energy into mechanical energy to drive a 200W AC generator. Managing battery charging is a 12V AC generator and an MPPT charge controller. Measurement results indicate a water flow rate of 14 liters per minute, essential for calculating system performance. Unloaded, the turbine and generator operate at speeds of 86.31 RPM and 1862.2 RPM, respectively, with a voltage of 82.13V. When connected to the battery, the generator's speeds shift to 688.31 RPM for the turbine and 31.87 RPM for the generator. The generator maintains an average output voltage of 14.22V with a current of 1.64A, resulting in an average power output of around 23.32W. The generator exhibits an efficiency of approximately 56%. Successful battery charging yields a maximum energy output of 411.84W. This PLTPH exemplifies a simple and efficient approach to harnessing pico-hydro energy sources for environmentally friendly electricity. With the potential to provide electricity to communities with limited access, projects like this can significantly enhance their quality of life.

Keywords: Pico Hydro Power Plant (PLTPH), Pelton Turbine, AC Generator, Current, Voltage, Power

1. Pendahuluan

Hingga akhir tahun 2020, kapasitas terpasang untuk pembangkit listrik di Indonesia telah mencapai 72.750,72 MW. Ini terbagi menjadi 43.186,53 MW untuk pembangkit listrik milik PLN dan 29.564,19 MW untuk pembangkit listrik non-PLN. Dibandingkan dengan tahun 2019 yang memiliki kapasitas terpasang sekitar 69.678,85 MW, terjadi peningkatan sebanyak 3.071,87 MW.

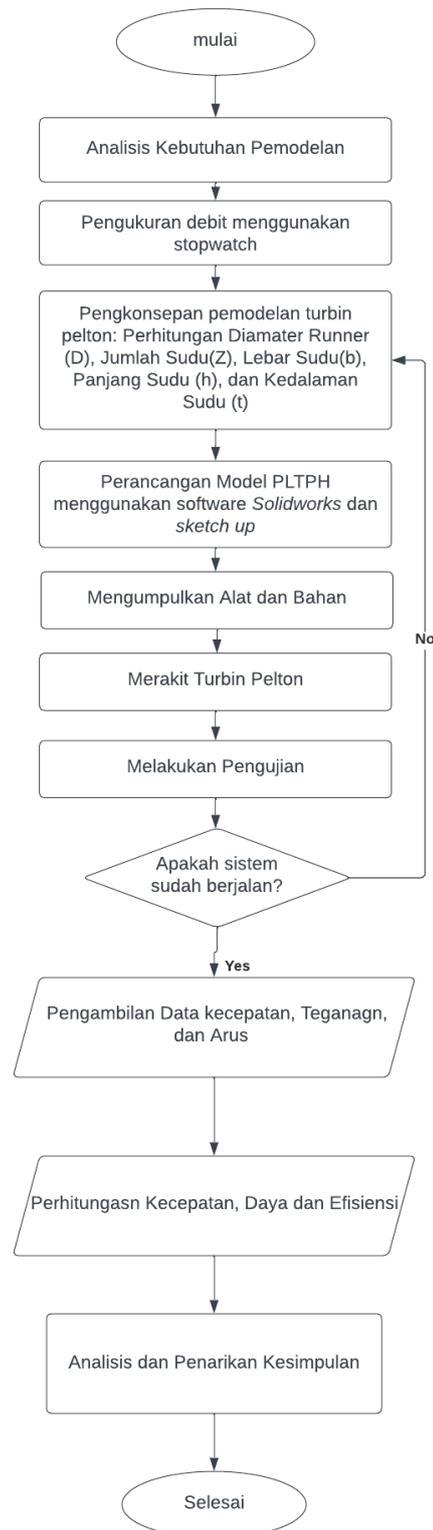
Jaringan transmisi listrik mencapai panjang 61.452,20 km hingga akhir tahun 2020, sedangkan jaringan distribusi mencapai 1.006.265,15 km. Total kapasitas Gardu Induk adalah 152.068,00 MVA, dengan kapasitas Gardu Induk Distribusi sebesar 61.555,90 MVA. Penyediaan tenaga listrik pada akhir tahun 2020 mencapai 271.802,48 GWh. Ini terdiri dari produksi tenaga listrik PLN sebesar 177.360,64 GWh dan pembelian sebesar 94.441,84 GWh [1].

Rasio elektrifikasi adalah perbandingan antara jumlah rumah tangga yang memiliki akses listrik dengan total rumah tangga. Rasio elektrifikasi hingga akhir tahun 2020 mencapai 99,20%, sedangkan pada tahun 2019, rasio ini sebesar 98,89% [2]. Total energi listrik yang digunakan atau dikonsumsi di suatu wilayah dibagi jumlah penduduknya dalam periode satu tahun merupakan definisi dari konsumsi listrik per kapita. Konsumsi listrik Indonesia pada tahun 2022 mencapai 1.173 kWh per kapita dan diharapkan terus mengalami peningkatan setiap tahun mengingat konsumsi listrik Indonesia masih mengalami ketertinggalan dibandingkan rata-rata konsumsi listrik di ASEAN yaitu 3.672 kWh per kapita. Pada tahun 2023 ditargetkan konsumsi listrik per kapita Indonesia sebesar 1.336 kWh per kapita. Perubahan tingkat konsumsi energi listrik yang semakin tinggi tanpa adanya realisasi akan penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan akan menyebabkan masalah baru yaitu krisis iklim [3]. Aliran air Desa Timbangreja merupakan salah satu aliran irigasi sawah yang berfungsi untuk mengairi sawah di desa timbangreja. Namun permasalahannya, sistem penerangan jalan yang berada di sekitar aliran air tidak mencukupi penerangan. Melihat adanya potensi pembangkitan energi listrik yang berasal dari aliran air maka penulis memiliki gagasan untuk merancang Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT) yaitu kombinasi pembangkitan dari sumber energi air dan energi surya. Pembangunan PLTH ini bertujuan agar dapat memanfaatkan energi baru terbarukan. Perancangan PLTPH ini menggunakan jenis turbin pelton.

2. Metode

2.1. Perancangan dan Simulasi Alat

Perancangan ini dimulai dari sumber daya alam yang tersedia yaitu aliran air Desa Timbangreja. Aliran air inilah yang kemudian akan dimanfaatkan energinya untuk memutar Turbin pada PLTPH ini. Air yang ada akan ditampung lebih dahulu dengan menggunakan bendungan air guna menambah *head* atau tinggi jatuh air dimana setelah pembendungan air ini didapat *head* atau tinggi jatuh air adalah 40cm. Kemudian air yang telah ditampung tersebut akan disalurkan menuju turbin pelton yang kemudian akan memutar turbin pelton dan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik yang ada pada turbin akan disalurkan ke generator AC melalui sistem transmisi mekanik menggunakan sprocket dan rantai. Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perancangan

Dari Gambar 1 akan dilaksanakan perancangan sistem PLTPH dan melaksanakan pengukuran yang diperlukan yaitu kecepatan, arus, dan tegangan kemudian dilakukan analisis dan penarikan kesimpulan.

2.2. Perancangan Alat PLTPH

2.2.1 Perancangan Turbin

Aliran air Desa Timbangreja memiliki aliran air dan ketinggian yang berpotensi dalam pembangkitan energi listrik. Berdasarkan pengambilan data, didapatkan debit aliran air sebesar 0,014 m³ /s, maka ditentukan kemungkinan ukuran lebar sudu dan diameter turbin, kecepatan keliling runner Jumlah sudu penyangga sudu lebar sudu dan kedalaman sudu dapat dilihat pada persamaan 1,2,3,4,5,dan 6 [4].

- Kecepatan keliling runner

$$U = e\sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{1}$$

$$= 0,43\sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,75}$$

$$= 1,64 \text{ m/s}$$

- Diameter Runner

$$D = \frac{60 \cdot U}{\pi \cdot n} \tag{2}$$

$$= \frac{60 \cdot 1,64}{3,14 \cdot 200} = 157,51$$

- Penyangga Sudu

Penyangga sudu yang digunakan adalah 1,5 cm.

- Jumlah Sudu Turbin

$$Z = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot d_0} \tag{3}$$

$$= \frac{3,14 \cdot 187,5}{2 \cdot 25} = 11,7 \approx 12$$

- Lebar Sudu

$$b = 3,2 \times d_0 \tag{4}$$

$$= 3,2 \times 25 = 80 \text{ mm}$$

- Panjang Sudu

$$h = 2,5 \times d_0 \tag{5}$$

$$= 2,5 \times 25 = 60 \text{ mm}$$

- Kedalaman Sudu

$$t = 0,95 \times d_0 \tag{6}$$

$$= 0,95 \times 25 = 23,75 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas bisa didapatkan spesifikasi dari turbin pelton yang akan digunakan di tampilkan pada Tabel 1.

Kategori	Nilai
Kecepatan keliling	64 m/s
Diameter runner	157,51mm
Penyangga sudu	1,5 cm
Jumlah sudu	12
Panjang sudu	6 cm
Lebar sudu	8cm
Kedalaman sudu	1,37cm

Dari perancangan turbin pelton pada Tabel 1 didapatkan total diameter dari turbin pelton adalah 30,7 cm dengan jumlah sudu total adalah 12 buah.

2.2.2 Perancangan Transmisi Mekanik

Generator yang digunakan adalah generator AC 200 W yang sudah diberikan tambahan penyearah 3 fasa untuk menghasilkan tegangan DC. Untuk menghubungkan turbin pelton dan generator AC digunakan Gear 2 tingkat sehingga total ada 4 gear yang terpasang pada sistem. Perbandingan jumlah gigi gear perlu ditentukan agar mendapatkan putaran generator sesuai yang diharapkan. Untuk perbandingannya Sprocket 1 yang berjumlah gigi 54 terhubung dengan rantai pada sprocket 2 yang berjumlah gigi sebanyak 10. Dari Hubungan tersebut menggunakan persamaan 7 [5].

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{7}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{10}{54} = \frac{1}{5,4}$$

Pada sprocket 4 berjumlah gigi 10 yang seporos langsung dengan generator dihubungkan dengan rantai pada sprocket 3 yang berjumlah gigi 40, maka dari hubungan ini didapat persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{n_4}{n_3}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{10}{40} = \frac{1}{4}$$

Karena itu bisa didapat perbandingan kecepatan rotasi antara sprocket 4 (sprocket generator) dengan sprocket 1 (sprocket turbin) didapatkan sebagai berikut.

$$\frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{5,4} = \frac{1}{21,6}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Kecepatan Putaran Turbin dan Generator pada Kondisi Tanpa Beban

Pengukuran kecepatan putaran turbin pelton dan generator dilakukan 10 kali selama Berikut ini merupakan hasil pengukuran kecepatan putaran turbin pelton dan generator ketika belum dikenai beban dapat dilihat pada Tabel 2.

Percobaan Ke-	RPM di Turbin	RPM Generator
1	80,4	1775
2	81,3	1727
3	80,4	1762
4	82,6	1766
5	81,9	1778
6	91,9	1969

Lanjutan Tabel 2

Percobaan Ke-	RPM di Turbin	RPM Generator
7	92,2	1976
8	91,4	1983
9	91,2	1966
10	93,1	1976
Rata-rata	86,31	1862,2

Berdasarkan data hasil pengukuran yang telah dilakukan dan ditampilkan pada Tabel 2, ditemukan bahwa kecepatan putaran turbin Pelton dan kecepatan putaran generator DC yang diukur dengan menggunakan tachometer memiliki nilai yang bervariasi. Rata-rata kecepatan putaran turbin Pelton yang diukur menggunakan tachometer adalah sekitar 86,31 RPM, sedangkan rata-rata kecepatan putaran generator AC yang diukur menggunakan tachometer adalah sekitar 1862 RPM. Berdasarkan hasil yang terukur pada perbandingan rata-rata kecepatan turbin dan kecepatan generator adalah 1:21,6 hasil ini sangat mirip dengan nilai perbandingan dalam perancangan sistem transmisi mekanik PLTPH ini yaitu 1:21,6. Hal ini disebabkan tingkat efisiensi transmisi mekanik dari sprocket dan rantai yang memang cukup tinggi dikarenakan slip yang dimiliki sedikit.

3.2. Pengukuran Tegangan Generator pada Kondisi Tanpa Beban

Berikut ini data hasil pengukuran kedua yaitu pengukuran tegangan generator ketika sistem belum terhubung dengan baterai atau disebut dengan *open circuit* ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengukuran Tegangan *Open Circuit*

Percobaan Menit Ke-	Tegangan Yang Terukur di Multimeter (V)
1	81,8
2	81,7
3	82,1
4	82,2
5	82,0
6	82,2
7	82,4
8	82,5
9	82,6
10	81,8
Rata-rata	82,13

Dari Tabel 3 hasil pengukuran diatas didapatkan rata-rata tegangan *Open Circuit* yang dihasilkan generator selama pengukuran adalah sebesar 82,13V.

3.3 Pengukuran Kecepatan Putaran Turbin dan Generator pada Kondisi Terhubung Baterai

Berikut ini data hasil pengukuran ketiga yaitu pengukuran kecepatan turbin dan generator ketika sistem sudah terhubung dengan baterai atau disebut dengan *close circuit* yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengukuran kecepatan turbin dan generator terhubung baterai

Percobaan Ke-	RPM di Turbin	RPM Generator
1	31,2	685
2	30	693,6
3	28	694,9
4	32,2	687,1
5	32,9	710
6	31,6	698,8
7	29	668,7
8	31,6	673
9	31,2	660,1
10	32,6	638,7
Rata-rata	31,87	688,315

Dari hasil pengukuran yang tertampil pada Tabel 4 nilai rata-rata hasil pengukuran kecepatan putaran turbin Pelton menggunakan tachometer adalah sekitar 31,87 RPM, sementara nilai rata-rata hasil pengukuran kecepatan putaran generator AC menggunakan tachometer adalah sekitar 688,31 RPM. Hal penurunana kecepatan generator ini disebabkan karena generator telah terhubung dengan beban. Terhubungnya generator dengan beban menyebabkan munculnya beban mekanik. Beban mekanik adalah hambatan atau tuntutan yang ditempatkan pada generator atau mesin listrik yang mengharuskannya bekerja lebih keras untuk menghasilkan daya listrik yang diperlukan untuk mengatasi beban tersebut.

3.4. Pengukuran Tegangan Generator pada Kondisi Terhubung Baterai

Berikut ini data hasil pengukuran keempat yaitu pengukuran tegangan generator ketika sistem sudah terhubung dengan baterai yang terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Pengukuran Tegangan Terhubung Baterai

Percobaan Menit Ke-	Tegangan Yang Terukur di Multimeter (V)
1	14,6
5	14,1
10	14,12
15	14,00

Lanjutan Tabel 5

Percobaan Ke-	Menit	Tegangan Yang Terukur di Multimeter (V)
20		13,98
25		14,04
30		14,27
Rata-rata		14,22

Dari Tabel 5 hasil pengukuran diatas didapatkan rata rata tegangan terhubung beban yang dihasilkan generator selama pengukuran adalah sebesar 14,22V. Dari hasil pengukuran rata rata tegangan keluaran yang dihasilkan generator adalah 14,22 V. Hal ini menunjukkan perubahan tegangan dari yang sebelumnya open circuit mencapai 82,13V sedangkan setelah dihubungkan dengan beban tegangan yang dihasilkan adalah 14,22. Hal ini disebabkan pada generator *open circuit* arus yang dihasilkan itu sangat sedikit sehingga tegangan mencapai nilai yang sangat tinggi. Saat generator sudah terhubung dengan beban maka tegangan akan mengalami penurunan tegangan dan arus akan keluar.

3.5. Pengukuran Tegangan Generator pada Kondisi Terhubung Baterai

Berikut ini data hasil pengukuran kelima yaitu pengukuran arus listrik generator ketika sistem sudah terhubung dengan baterai dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Pengukuran Arus Keluaran Generator

Percobaan Ke-	Menit	Arus Yang Terukur di Multimeter (A)
1		1,56
5		1,62
10		1,67
15		1,66
20		1,53
25		1,65
30		1,68
Rata-rata		1,64

Dari hasil pengukuran pada Tabel 6 rata rata tegangan Arus yang dihasilkan generator adalah 1,64A. Hasil pengukuran yang didapat menunjukkan arus dari generator sudah keluar dan masuk ke beban. Besar arus yang keluar bervariasi hal ini dikarenakan perubahan pada kecepatan pada generator yang berubah ubah akibat kondisi air yang tidak stabil.

3.6. Perhitungan Kecepatan Putar

Berdasarkan hasil pengukuran rata-rata kecepatan putaran turbin Pelton menggunakan tachometer, didapatkan data

bahwa turbin Pelton berputar pada kecepatan sekitar 86,31 RPM. pada kondisi *no load*. Juga didapatkan bahwa turbin pelton berputar sebesar 31,87 RPM pada kondisi *full load*. Menghitung kecepatan putaran generator AC menggunakan rumus pada perbandingan yang kita dapatkan bahwa perbandingan putaran antara kecepatan turbin dan generator adalah 1:25,6, maka didapat perhitungan kecepatan generator *no load* sebagai berikut

$$\omega_{no\ load} = 86,31 \times 21,6 = 1864,29$$

Dan pada kecepatan putaran generator *full load* bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\omega_{full\ load} = 31,87 \times 21,6 = 688,39$$

Perbandingan antara pengukuran dari kecepatan generator menggunakan tachometer dengan perhitungan dapat ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan kecepatan generator

Kondisi	Hasil Pengukuran (RPM)	Hasil Perhitungan (RPM)
<i>No load</i>	1862,2	1864,29
<i>Full load</i>	688,31	688,39

Dari pengukuran yang ada pada Tabel 7 hasil pengukuran yang didapatkan maka hasil dari hasil pengukuran bahwa selisih dari hasil perhitungan dan pengukuran cukup sedikit selisihnya hal ini dikarenakan kemampuan dari gear dan rantai untuk melakukan transfer mekanik sangat baik dan efisien.

3.7. Perhitungan Efisiensi Sistem PLTPH

Diketahui besarnya debit aliran air yang melewati pipa adalah 0,014 m³ /s dan dengan ketinggian jatuh air yang digunakan pada percobaan ini adalah sebesar 30 cm. Daya masukan yang masuk kedalam sistem PLTPH dapat digunakan persamaan 8.

$$P = 9,8 \times \rho \times Q \times H \tag{8}$$

$$P = 9,8 \times 1000 \times 0,014 \times 0,3 = 41,16 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan daya yang masuk kedalam sistem PLTPH turbin pelton adalah sebesar 41,16 Watt Dimana setelah pengukuran telah didapat arus rata rata dari generator adalah sebesar 1,64A dan tegangan rata rata yang keluar dari generator adalah 14,22V maka didapatkan daya keluaran generator dengan menggunakan persamaan 9.

$$P_{out} = V \times I \tag{9}$$

$$P_{out} = 14,22V \times 1,64A = 23,33 \text{ Watt}$$

Besar daya keluaran generator adalah sebesar 23,33 Watt. Perhitungan efisiensi bisa didapat dengan menggunakan persamaan 10.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{10}$$

$$\eta = \frac{23,33}{41,16} \times 100\% = 56\%$$

Dari persamaan 10 didapatkan efisiensi sistem PLTPH dalam menyuplai beban adalah sebesar 56%.

3.8. Perhitungan Efisiensi Sistem PLTPH

Baterai PLTPH yang digunakan adalah baterai VRLA dengan spesifikasi 12V 100Ah. Pengujian dilakukan mulai pada saat kondisi SOC baterai adalah 60%. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan arus yang masuk kedalam baterai dari MPPT dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Data pengisian Baterai PLTPH

No	(A)	(V)	SOC (%)
1	2,18	13,22	60,07
2	2,03	13,41	65,77
3	1,86	13,46	70,03
4	1,52	13,52	75,69
5	1,63	13,63	80,55
6	1,29	13,80	85,00
7	1,10	14,06	90,00
8	0,92	14,19	94,67
9	0,32	14,45	100,00
Rata Rata	13,75	1,43	

Berdasarkan Tabel 8 besar Ah yang boleh di isi pada saat *charging* adalah sebesar 40Ah dikarenakan kondisi baterai 12 V 100 Ah dengan kondisi SOC 60% baterai berisi 60Ah, sehingga bagian baterai yang belum terisi adalah sebesar 40Ah, maka dari itu didapatkan perhitungan bahwa pengisian baterai pada kondisi SOC 60% sampai 100% adalah mencapai lama waktu sebesar 27,7h. Apabila pada sistem PLTS dapat berjalan selama 24 jam penuh tanpa berhenti maka saat dilakukan pengisian selama satu hari penuh bisa didapatkan arus sebesar.

$$Arus \text{ selama satu hari} = 1,43 \times 24 = 34,32 \text{ Ah}$$

Dari perhitunggan diatas didapatkan arus *charging* satu hari adalah 34,32Ah atau bisa dituliskan energi yang tersimpan adalah sebesar 411,84 Watt.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, berhasil merancang dan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) menggunakan generator AC 3 fasa 200W dan turbin pelton sebagai penggerakannya. Proses perancangan turbin pelton dengan aplikasi Solidworks dilakukan dengan dimensi diameter total 30,7 cm dan jumlah sudu sebanyak 12 buah. Hasil pengukuran menunjukkan kecepatan rata-rata putaran turbin tanpa beban sebesar 86,31 RPM dan saat berbeban sebesar 31,87 RPM. Kecepatan generator tanpa beban terukur adalah 1862,2 RPM, sedangkan perhitungan memberikan nilai 1864,29 RPM dengan selisih sebesar 2,09 RPM. Pada kondisi berbeban, kecepatan generator terukur adalah 688,31 RPM, sedangkan perhitungan memberikan nilai 688,39 RPM dengan selisih sebesar 0,08 RPM. Selain itu, hasil pengukuran tegangan keluaran generator tanpa beban adalah 82,13V, tetapi saat terhubung dengan beban, tegangan mengalami penurunan menjadi rata-rata 14,22V, dengan arus keluaran sebesar 1,64A. Dari perhitungan, daya masuk ke sistem PLTPH adalah 41,16 Watt, sedangkan daya keluaran generator adalah 23,33 Watt, menghasilkan efisiensi sistem PLTPH sebesar 56%. Penelitian ini masih banyak kekurangn karena itu untuk pengembangan selanjutnya dapat dilakukan pengembangan seperti perubahan bentuk turbin menambah alternative pembangkit dan juga meningkatkn efisiensi system mulai dari perbaikan aspek elektronik, aspek sipil ataupun aspek sipil lainnya.

Referensi

- [1]. M. Ir. Unggul Wibawa, Pendekatan Praktis Pembangkit Energi Baru & Terbarukan, Malang: UB Press, 2017
- [2]. Gunawan, "Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro," Jurnal Rekayasa ElektriKa, vol. 10, no. 4, 2013.
- [3]. Andrian Luthfianto, "PERENCANAAN ULANG SISTEM TRANSMISI RANTAI MOBIL NOGOGONI EVO 3" TUGAS AKHIR – TM 145502,2017
- [4]. Hanif Adi Rahmawan, "RANCANG BANGUN TURBIN PELTON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) SKALA LABORATORIUM" TUGAS AKHIR – TF145565, 2018
- [5]. Dwi Irawan, "Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung," Jurnal TURBO ISSN 2301-6663