

SISTEM PENYIMPANAN ENERGI BERBASIS PUMP STORAGE DAN PIKOHIDRO YANG DI DUKUNG PLTS

Teguh Permana Putra¹, Widodo Pudji Muljanto², Irrine Budi Sulistiawati^{3*}
Program Studi Teknik Elektro S1, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang Indonesia
¹teguhsanmurep@gmail.com, ²widodo_pm@lecturer.itn.ac.id, ^{3*}irrine@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Pembangkit listrik tenaga air dipilih untuk memanfaatkan sumber energi terbaru, Air merupakan salah satu sumber energi yang gampang diperoleh dan cukup terjangkau Sehingga dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). dalam hal ini, dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga pikohidro pumpstorage yang bertujuan untuk mengetahui energi yang dapat dihasilkan oleh turbin dengan ketinggian yang telah ditentukan dengan cara menghitung torsi turbin. adapun prinsip kerja dari pump storage ini adalah daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan digunakan untuk menghidupkan pompa lalu pompa akan mengalirkan air dari tandon bawah ke tandon atas apabila beban membutuhkan daya listrik maka air akan dialirkan dari tandon atas ke bawah untuk menghasilkan energi dengan memutar turbine dan air dapat dipompa kembali ke tandon atas untuk menyimpan air yang akan diturunkan Kembali untuk memutar turbin. Sehingga diperoleh daya maksimum sebesar 213,7869 Watt pada RPM 89.

Kata Kunci: *PLTA, Pikohidro, Pompa dan Penyimpanan, Turbin.*

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi yang sangat diperlukan terutama dalam kehidupan sehari-hari. Berbagai macam inovasi muncul untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air dipilih untuk memanfaatkan sumber energi terbaru, namun teknologi yang digunakan masih sederhana. Turbin air adalah mesin yang mengubah energi air menjadi energi mekanik melalui poros yang berputar, dengan memanfaatkan energi potensial, tekanan, dan energi kinetik. Mengubah putaran poros turbin tersebut menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Biasanya, microhydro atau picohydro dibangun menggunakan air terjun dengan ketinggian yang tinggi. Sementara itu, sungai-sungai

yang airnya kecil secara vertikal belum dimanfaatkan secara maksimal. Meskipun di Indonesia terdapat 2 potensi air sungai dari 5.590 aliran sungai yang ada di berbagai pulau di Indonesia [1]. Untuk mengantisipasi permintaan listrik yang terutama bergantung pada sumber daya air atau PLTA, yang juga melimpah di Indonesia, PLTA akan menggunakan metode PLTA Pumped Storage untuk meningkatkan produksi listrik. Dengan memompa kembali air limbah dari PLTA dan menggunakannya kembali untuk menghasilkan listrik dalam skala produksi yang lebih besar [2].

Pembangkit listrik pikohidro, dengan daya antara ratusan hingga 5 kW, dapat memberikan manfaat signifikan bagi masyarakat dalam menyediakan listrik tanpa biaya yang tinggi untuk rumah tangga [3]. Berdasarkan laporan Bank Dunia pada penelitian Williamson, dkk (2013) dalam Yahya, dkk (2022) mengatakan bahwa pembangkit listrik pikohidro merupakan pembangkit listrik skala kecil yang murah dengan daya maksimum yang dihasilkan sekitar 5 kW [4].

Pumped-storage hydropower (PSH) dapat dimanfaatkan untuk menstabilkan sistem kelistrikan agar dapat memanfaatkan energi terbarukan secara besar-besaran. PSH memberikan biaya yang hemat biaya. PSH menawarkan biaya yang ekonomis. Saat kebutuhan listrik sedang rendah, sisa kapasitas pembangkit listrik digunakan untuk mengalirkan air ke reservoir yang lebih tinggi. Saat terdapat permintaan yang lebih tinggi, sehingga air mengalir kembali ke reservoir yang lebih rendah melalui turbin guna menciptakan listrik di generator listrik. (Florian et al, 2015). PSH bukan hanya menjadi sumber daya energi yang bisa diperbarui dan berkelanjutan, tetapi juga memiliki kapasitas penyimpanan dan fleksibilitas yang dapat dimanfaatkan meningkatkan kestabilan jaringan dan mendukung perkembangan sumber energi terbarukan yang tidak konsisten [5].

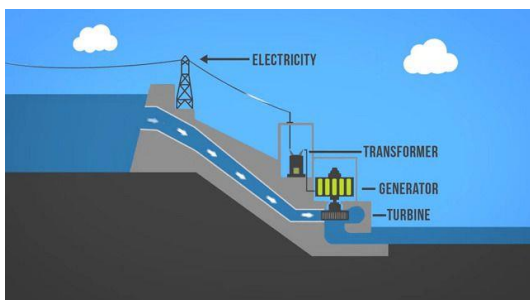
PLTS biasanya menyimpan energi surya dengan menggunakan baterai timbal-asam yang dapat diisi kembali, terutama pada PLTS Off-Grid. Saat ini, baterai menjadi salah satu komponen yang paling populer dalam sistem kelistrikan PLTS Off-Grid karena berfungsi sebagai tempat penyimpanan

energi. Meskipun baterai ini memiliki beberapa kelemahan seperti biaya investasi yang tinggi, umur baterai yang relatif pendek, potensi kerusakan lingkungan, kemungkinan ledakan karena mengandung timbal dan asam sulfat, serta kesulitan pemeliharaan di daerah terpencil [6]. Pemerintah telah lama memanfaatkan potensi energi listrik dari sumber hidro baik dalam skala besar maupun kecil sebagai sumber energi terbarukan yang dapat bersaing dengan batubara. Meskipun berada di wilayah terpencil, mini hidro lebih dipilih sebagai solusi untuk menyuplai energi dibandingkan dengan opsi energi lain [7]. Sehingga dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui energi yang dapat dihasilkan oleh turbin dengan ketinggian yang telah ditentukan dengan cara menghitung torsi turbin.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Air merupakan salah satu sumber energi yang gampang diperoleh dan cukup terjangkau. Energi listrik yang diperoleh dari pemanfaatan aliran air termasuk dalam kategori energi yang ramah lingkungan atau biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang mana dapat dilihat pada gambar 1. Pembangkit listrik tenaga air. Sumber daya air yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik adalah air yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin tinggi kapasitas aliran dan ketinggiannya dari instalasi, maka semakin besar energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Pembangkit listrik yang digunakan yaitu Pico Hydro yang mana keluaran yang dihasilkan membutuhkan daya berkisar kurang dari 5 Kw.



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Air

B. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh) merupakan jenis sistem pembangkit listrik yang umum ditemukan di daerah pedesaan. PLTPh cocok untuk daerah pedesaan maupun pegunungan. Sistem pembangkit listrik ini menawarkan penghematan biaya yang signifikan dan konstruksi yang sederhana. PLTPh merupakan sumber energi terbarukan yang efisien secara biaya dan dapat menyediakan listrik untuk daerah pedesaan. PLTPh memanfaatkan perbedaan ketinggian dan laju aliran air untuk beroperasi. Energi yang dihasilkan memungkinkan laju aliran air rendah hingga 1 L/s dan tekanan kepala air hingga 1 m. Jenis sumber daya ini sering ditemukan di saluran irigasi atau parit dengan aliran air rendah. Cuaca dapat tidak terduga, dengan hujan deras tiba-tiba yang menyebabkan aliran air cepat di sistem

drainase. Ketidakstabilan aliran air dapat berdampak negatif pada operasi turbin dan generator.[8].

C. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

1. Turbin Air

Turbin air merupakan komponen pada sistem pembangkit listrik yang berfungsi mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik melalui aliran air yang memutar sudu-sudu turbin. Putaran tersebut kemudian diteruskan untuk menggerakkan generator pada sistem pembangkit listrik. Komponen ini tersusun dari perangkat mekanis yang terdiri atas poros dan sudu. [9]. Turbin air berfungsi untuk mengonversi energi potensial fluida menjadi energi mekanik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan sebanding dengan ketinggian jatuhnya air (head). Pada Gambar 2 ditampilkan bentuk dari turbin air. Untuk memperoleh energi potensial yang lebih besar, aliran air dapat dibendung atau dihambat sehingga ketinggian permukaan air meningkat. Dengan cara ini, energi yang tersedia untuk menggerakkan turbin menjadi lebih optimal. Daya turbin adalah output energi yang timbul akibat perputaran turbin. Nilai daya ini ditentukan oleh faktor kecepatan aliran air, luas penampang aliran, dan kecepatan putar turbin. Dari perhitungan torsi turbin dan kecepatan sudut turbin maka diperoleh persamaan daya output turbin, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (1)$$

Dimana:

P_t : Daya Turbin (Watt)

T : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan Angular (rad/s)

Turbin memiliki prinsip yang sebanding dengan gaya pada gerakan translasi. Sementara itu, torsi merepresentasikan besarnya pengaruh suatu gaya untuk menghasilkan gerakan rotasi pada suatu benda. Untuk menghitung torsi dapat digunakan pada bersamaan berikut:

$$T = F \cdot R \quad (2)$$

Dimana:

T : Torsi Turbin (Nm)

R : Jari-jari (mm)

F : Gaya (N)



Gambar 2. Turbin Air

2. Pompa Air

Pompa merupakan mesin mekanik yang berperan dalam mengalirkan cairan, baik dengan cara mengangkatnya dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi, maupun memindahkannya dari wilayah bertekanan rendah ke wilayah bertekanan tinggi. Selain itu, pompa juga berfungsi sebagai penguat aliran pada jaringan pipa. Gambar 3 memperlihatkan pompa air yang digunakan.



Gambar 3. Pompa Air

3. Generator DC

Contoh generator DC yang terlihat pada Gambar 4 adalah sebuah mesin listrik dinamis yang berperan dalam mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan berbentuk arus searah atau arus DC yang hanya mengalir dalam satu arah[14]. Klasifikasi generator DC didasarkan pada konfigurasi belitan magnet maupun metode eksitasi yang digunakan terhadap jangkar (anker).



Gambar 4. Generator DC

4. Pipa

Pipa didefinisikan sebagai sebuah tabung yang dirancang untuk mengalirkan cairan atau gas dari suatu lokasi ke lokasi lain. Bahan pembuat pipa sangat beragam, tergantung pada tujuan penggunaannya, misalnya logam untuk kebutuhan kekuatan tinggi, plastik untuk aplikasi yang lebih ringan, ataupun material lain sesuai kebutuhan. Bentuk dan contoh pipa tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Rumus untuk mencari *friction loss* pada pipa adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$H_F = H_L \times L_{\text{pipa}} \quad (3)$$

$$H_L = \left(\frac{3.35 \times 10^6 \times Q}{d^{2.63} \times C} \right)^{1.852} \quad (4)$$

Dimana:

H_F : Friction Loss Pipa

L_{pipa} : Panjang Pipa (m)

H_L : Head Loss Pipa m/100m

Q : Debit Pompa liter/detik

d : Diameter dalam pipa (mm), (inch)

C : Constanta Hazen William



Gambar 5. Pipa

5. Pulley

Pulley adalah komponen mekanis yang digunakan untuk mentransmisikan putaran dari satu poros ke poros lain sehingga memungkinkan terjadinya perubahan energi. Selain itu, pulley berperan dalam penyaluran daya. Ilustrasi bentuk pulley dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pulley

D. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem yang berfungsi mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Proses konversi ini dilakukan oleh panel surya yang tersusun dari sel-sel photovoltaic. Panel surya yang digunakan, seperti ditunjukkan pada gambar 7, terdiri atas sel-sel dengan lapisan silikon (Si) murni serta material semikonduktor lain. Energi matahari yang ditangkap dimanfaatkan langsung untuk menghasilkan listrik arus searah (DC), kemudian disimpan ke dalam baterai, dan selanjutnya diubah menjadi arus bolak-balik (AC) melalui inverter. Adapun jenis-jenis pada panel panel surya yaitu Monokristal, Polikristal, dan *Thin Film Photovoltaic*.

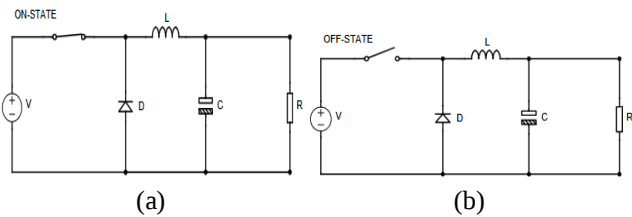


Gambar 7. Panel Pembangkit Listrik Tenaga Surya

E. Buck Konverter

Buck Konverter adalah jenis konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan atau step down. Konverter buck menghasilkan tegangan DC yang lebih kecil dibandingkan dengan tegangan masukan. Konverter buck terdiri dari MOSFET (switch aktif) dan dioda (switch pasif). Konverter buck sering dimanfaatkan sebagai alat pengubah tegangan searah karena desain yang sederhana dan biaya yang lebih terjangkau. Prinsip operasional konverter buck dapat

dibagi menjadi 2 kondisi, yaitu ketika saklar dalam keadaan tertutup (state ON) pada gambar 8 (a) dan ketika saklar dalam keadaan terbuka (state OFF) pada gambar 8 (b).



Gambar 8. (a) Rangkaian Buck Konverter Saklar Tertutup
(b) Rangkaian Buck Konverter Saklar Terbuka

F. Pump Storage

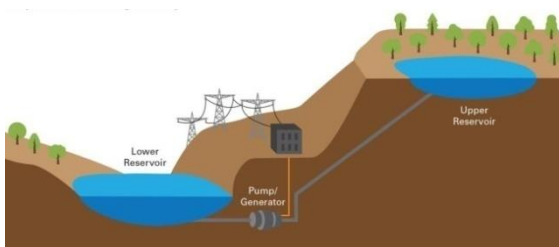
Pump storage merupakan system untuk menyimpan dan menghasilkan listrik melalui air dan gravitasi. Sistem ini terdiri dari dua waduk atau kolam yang terletak pada elevasi yang berbeda dengan contoh pump storage pada gambar 9. Saat ada kelebihan energi listrik dari sumber energi surya atau angin, energi tersebut digunakan untuk memompa air dari waduk rendah ke waduk tinggi. Ketika listrik dibutuhkan, air dari waduk yang berada di ketinggian dialirkan ke waduk yang lebih rendah menggunakan turbin guna menghasilkan listrik[11]. Adapun kelebihan dan kekurangan dari Pump Storage yaitu sebagai berikut:

Kelebihan:

- Memiliki tingkat keekonomian yang baik.
- Lebih praktis dan cepat dimanfaatkan sebagai sumber energi ketika terjadi peningkatan kebutuhan listrik.
- Dampak terhadap lingkungan relatif kecil karena memanfaatkan bendungan yang sudah tersedia.
- Tidak menghasilkan limbah maupun polusi.
- Memiliki prospek yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang tinggi dalam jangka panjang melalui manajemen sisi suplai.

Kekurangan:

- Membutuhkan biaya pembangunan yang cukup besar.
- Air yang sudah digunakan tidak bisa dimanfaatkan untuk keperluan lain, kecuali dipompa kembali.
- Masih bergantung pada unit pembangkit listrik lainnya.



Gambar 9. Pump Storage

G. Tandon Air

Tandon air adalah salah satu alat penting yang kini hampir semua orang dan lembaga memilikinya sebagai tempat penyimpanan air bersih untuk kebutuhan sehari-hari. Air tanah yang tersimpan di bawah permukaan atau di dalam sumur memerlukan bantuan pompa agar dapat dialirkan ke berbagai tempat pemakaian. Sementara itu, tandon air yang berada di atap / tower membutuhkan pompa untuk mengisi air dan sebagai sarana distribusinya memanfaatkan energi gravitasi agar air dapat mengalir ke beberapa lokasi penggunaannya, sehingga tandon air yang terletak di atas lebih sering dipilih untuk menghindari kemungkinan yang tidak diinginkan seperti pemadaman listrik[12].

Adapun rumus menghitung kapasitas atau volume tandon air, terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti dimensi fisik tandon dan bentuknya. Umumnya, tandon air memiliki bentuk silinder yaitu pada gambar 10 (a) atau persegi panjang pada gambar 10 (b). Berikut adalah rumus umum yang dapat digunakan untuk menghitung volume tandon air:

Untuk tandon air silinder:

$$Volume (V) = \pi \times r^2 \times h \quad (5)$$

Dimana:

- V : Volume tandon air (m^3 atau liter)
 π : Nilai Phi (3.14)
 r : Jari-jari Silinder (m)
 h : Tinggi Silinder (m)

Untuk tandon persegi panjang:

$$Volume (V) = P \times L \times T \quad (6)$$

Dimana:

- V : Volume tandon air (m^3 atau liter)
 P : Panjang tandon (m)
 L : Lebar tandon (m)
 T : Tinggi tandon (m)



(a)



(b)

Gambar 10. (a) Tandon air silinder

(b) Tandon air persegi panjang

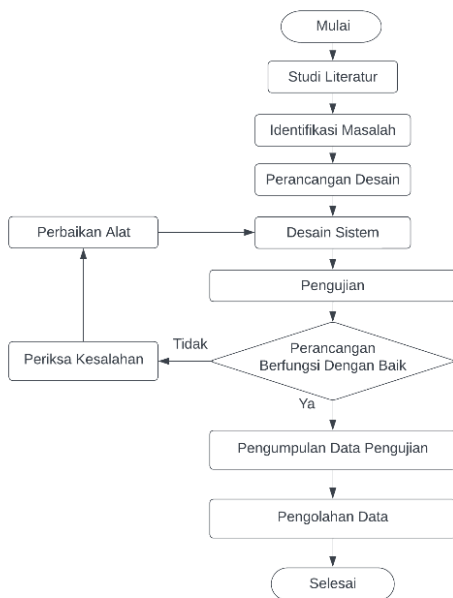
III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada area laboratorium energy terbarukan dalam waktu 4 bulan yaitu dimulai pada bulan September 2024 hingga Desember 2024. Peralatan dan bahan yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Tang	Panel Surya 2 buah
Obeng	Buck Konverter
Gergaji	Pompa Air
Tachometer	Flow Meter
Timbangan	Pipa Air
Span Skrup	Tandon 2 Buah
Buck Konverter	Tali
	Pulley

A. Diagram Alir Penelitian

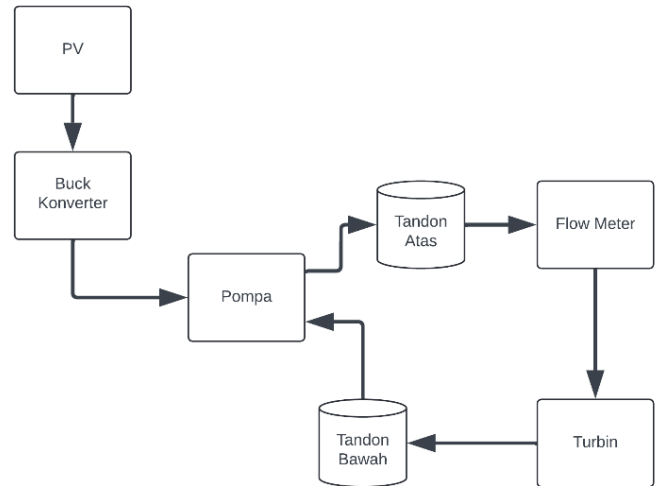


Gambar 11. Alur Penelitian

Keterangan:

1. Mulai
2. Menemukan makalah literatur yang sesuai dengan topik penelitian.
3. Identifikasi masalah jika sudah merumuskan masalah pada penelitian.
4. Melakukan pengujian pada alat.
5. Jika perancangan berfungsi dengan baik ?
 - 5.1 Tidak, Maka periksa kesalahan pada desain sistem lalu melakukan perbaikan pada alat setelah itu melakukan pengujian.
 - 5.2 Ya, Maka lakukan pengambilan data.
6. Melakukan pengolahan data dari hasil data-data yang telah didapatkan saat pengambilan data.
7. Selesai.

B. Blok Diagram Alat



Gambar 12. Blok Diagram Keseluruhan Sistem

Keterangan:

1. Matahari menyinari panel surya yang dimana tegangan dan arus yang dihasilkan masuk ke buck konverter.
2. Selanjutnya tegangan serta arus yang dibangkitkan oleh panel surya masuk ke buck konverter yang dimana buck konverter telah disetting keluarannya sebesar 14V dimana akan digunakan sebagai sumber untuk menyalakan pompa DC.
3. Setelah pompa air DC menyala pompa akan akan menaikkan air dengan kapasitas aliran air yang dapat dipompa sebesar 16L/menit dari tandon bawah yang memiliki kapasitas 200 liter menuju tandon atas.
4. Terakhir jika tandon atas sudah terisi sebanyak 200 liter maka tandon atas akan menurunkan air menuju flow meter lalu ke turbin guna untuk memutar turbin.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Percobaan

Table 2. Data Hasil Percobaan

Percobaan	Rpm	Gaya (N)	Debit Aliran Air
1	390	0	22,4
2	292	30	
3	270	70	
4	264	140	
5	237	160	
6	209	215	
7	182	300	
8	151	350	
9	115	400	
10	89	459	
11	74	480	

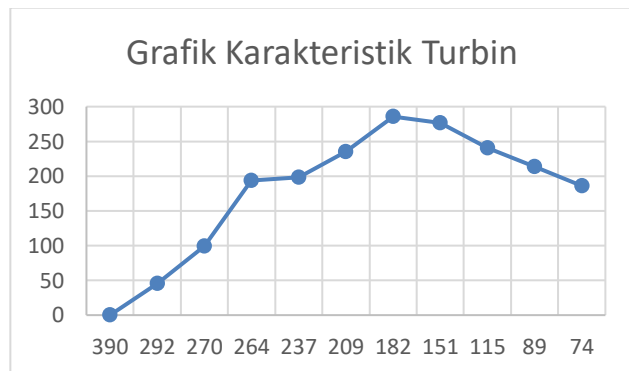
Berdasarkan tabel 2 hasil percobaan yang dilakukan hingga 11 kali percobaan diperoleh debit air yang sama yaitu 22,4 L/m.

B. Data Hasil Perhitungan

Table 3. Data Hasil Perhitungan

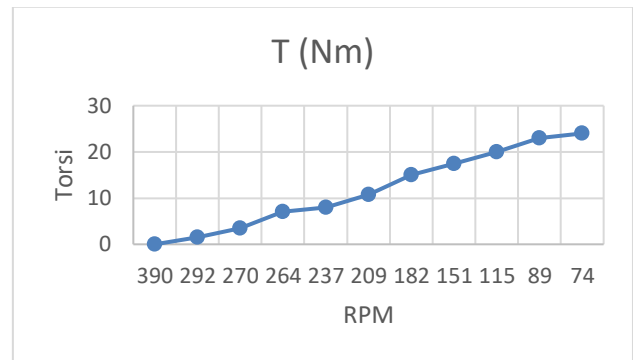
No	Rpm	Gaya (N)	r (m)	ω (Rad/Sec)	T (Nm)	Daya Turbin (P)
1	390	0	0,05	40,82	0	0
2	292	30	0,05	30,6	1,5	45,9
3	270	70	0,05	28,26	3,5	98,91
4	264	140	0,05	27,63	7	193,41
5	237	160	0,05	24,8	8	198,4
6	209	215	0,05	21,9	10,75	235,42
7	182	300	0,05	19,04	15	285,6
8	151	350	0,05	15,8	17,5	276,5
9	115	400	0,05	12,03	20	240,6
10	89	459	0,05	9,31	22,95	213,7
11	74	480	0,05	7,74	24	185,8
Total Daya						1974,24
Rata – Rata						179,47

Berdasarkan tabel 2 data dari hasil perhitungan diperoleh garfik dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Karateristik Turbin

Berdasarkan gambar 13, menunjukkan bahwa daya tertinggi pada ROM 182 dengan daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar 285.6 Watt.



Gambar 14. Grafik Torsi Pada Turbin

Berdasarkan gambar 14, menunjukkan bahwa torsi tertinggi pada RPM 74 dengan torsi yang dihasilkan oleh turbin sebesar 24 Nm. Adapun energy yang data dihasilkan oleh turbin dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{v}{q} \quad (7)$$

$$t = \frac{7,973 \text{ m}^3}{0,0224 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$= 355,93 \text{ detik}$$

Dimana:

V : Volume air (m³)

Q : Debit aliran air (m³/s)

Diperoleh nilai t yaitu 355.93 detik yang diubah dalam satuan jam, sehingga diperoleh:

$$\frac{355,93 \text{ detik}}{3600 \text{ detik}} = 0,08357 \text{ jam (5 menit 56 detik)}$$

Daya maksimal turbin adalah 285.6 Watt dan energy yang didapatkan adalah:

$$E = p. t \quad (8)$$

$$E = 285,6 \text{ watt} \times 0,08357 \text{ jam}$$

$$E = 23.9 \text{ Wh}$$

Jadi energy yang dihasilkan oleh turbin selama 5 menit 56 detik adalah 23.9 Wh. Dan untuk menghitung efisiensi pada turbin adalah menghitung Pin dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pin = \rho. Q. g. H \quad (9)$$

$$Pin = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,0224 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \times 5$$

$$= 1098,72 \text{ Watt}$$

Dimana:

ρ = Densitas air (1000kg/m³)

Q = Debit aliran air (m³/s)

g = Percepatan gravitasi (9,81m/s)

H = Tinggi jatuh air efektif (m)

Dikarenakan nilai Pout sudah didapatkan yaitu 285.6 Watt, maka mencari efisiensi pada turbin dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

$$\eta = \frac{285,6 \text{ Watt}}{1098,72 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$= 25,99\%$$

Dimana:

η = Efisiensi turbin (%)

Pout = Daya keluaran (output power) dari turbin (dalam watt)

Pin = Daya masukan (input power) dari energi potensial air (dalam watt)

Jadi, efisiensi yang didapatkan oleh turbin air pada penelitian ini adalah 25.99%

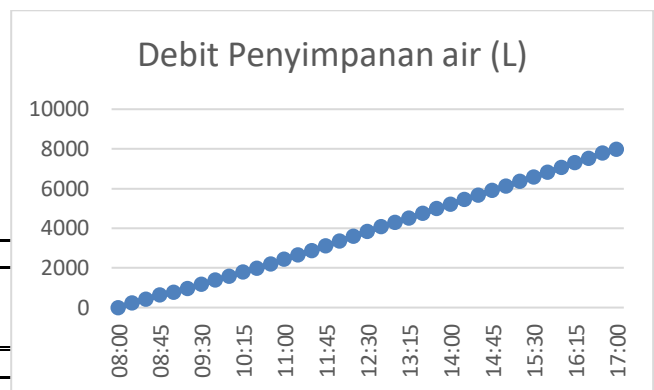
C. DATA PLTS

Data yang didapatkan pada percobaan ini terdapat pada tabel dibawah ini:

Table 4. Data Hasil Perhitungan PV dan Debit Air

No	Waktu (Jam)	PV		Debit Air (L)	
		Tegangan (V)	Arus (I)	Debit Aliran Air (L/m)	Volume Penyimpanan Air (L)
1	08:00	13,9	7,8	15,7	0
2	08:15	13,8	7,8	15,9	223
3	08:30	13,8	8,1	15,8	428
4	08:45	13,9	8	16,1	637
5	09:00	14,1	7,9	16,1	769
6	09:15	14	8,1	15,9	960
7	09:30	13,9	8,2	16,1	1.165
8	09:45	13,8	8	15,9	1.375
9	10:00	14,2	8,2	15,7	1.577
10	10:15	14,1	7,9	16,2	1.785
11	10:30	14,1	8,1	15,6	1.986
12	10:45	14,3	8,1	15,8	2.195
13	11:00	14,3	8,2	15,8	2.425
14	11:15	14,2	7,8	15,7	2.650
15	11:30	14,4	8,1	15,9	2.880
16	11:45	14,2	7,9	16,1	3.105
17	12:00	14,3	8,2	16,2	3.355
18	12:15	14,1	8	16,5	3.595
19	12:30	14,3	8,1	16,1	3.835
20	12:45	14,1	8,1	16,1	4.065
21	13:00	14,2	8	16,2	4.290
22	13:15	14,3	8,2	16,5	4.520
23	13:30	14,2	8,1	16,3	4.760
24	13:45	14,3	8,2	16,4	4.995
25	14:00	14,1	7,8	15,8	5.220
26	14:15	13,9	7,9	15,7	5.446
27	14:30	13,8	8,1	16,1	5.675
28	14:45	13,9	7,9	15,8	5.895
29	15:00	13,8	7,9	15,8	6.130
30	15:15	14,2	8	16,1	6.355
31	15:30	14	8,1	16,3	6.580
32	15:45	13,9	7,9	15,7	6.830
33	16:00	13,9	7,9	15,8	7.056
34	16:15	14,1	8	16,1	7.293
35	16:30	14	7,8	15,9	7.525
36	16:45	13,9	8,1	16,3	7.784
37	17:00	13,9	7,8	16,2	7.973

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4, ditampilkan data mengenai tegangan (V), arus (I), debit aliran (L), serta volume penyimpanan (L) dalam rentang waktu 08.00 hingga 17.00. Dari tabel tersebut terlihat bahwa panel surya menghasilkan tegangan yang stabil antara 13,8 hingga 14,2 volt, sementara arus berada pada kisaran 7,8 hingga 8,2 ampere. Kondisi tegangan dan arus yang stabil tersebut memungkinkan pompa beroperasi secara efisien, dengan debit aliran yang dicapai berkisar antara 15,7 hingga 16,2 L/menit. Hal ini berdampak pada peningkatan volume penyimpanan secara bertahap, yaitu dari 0 L pada pukul 08.00 hingga mencapai 7.973 L pada pukul 17.00. Temuan ini menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya mampu menunjang kinerja pompa secara optimal.



Gambar 15. Grafik Volume Penyimpanan Atas

Berdasarkan Gambar 15, dapat diamati bahwa volume penyimpanan mengalami peningkatan secara bertahap sejak pukul 08.00 hingga 17.00, dengan total air yang terdistribusi mencapai 7.973 liter pada akhir periode pengamatan. Proses pengisian berlangsung secara konstan tanpa menunjukkan adanya gangguan maupun fluktuasi signifikan selama pengumpulan data. Fenomena ini mengindikasikan bahwa kinerja pompa berada dalam kondisi stabil.

D. DAYA PLTS

Daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat di hitung menggunakan persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (11)$$

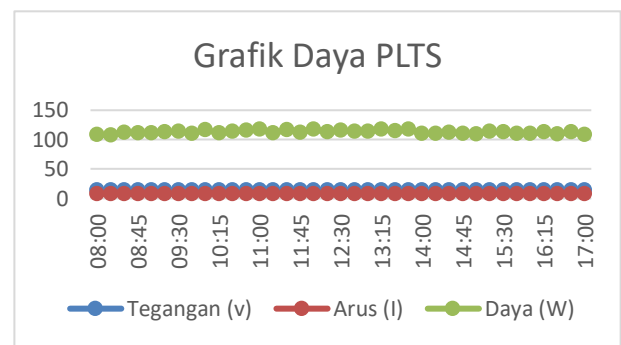
Daya yang di hasilkan oleh panel surya dapat di lihat pada tabel berikut:

Table 5. Data Panel Surya

No	Waktu (Jam)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	08:00	13,9	7,8	108,42
2	08:15	13,8	7,8	107,64
3	08:30	13,8	8,1	111,78
4	08:45	13,9	8	111,2
5	09:00	14,1	7,9	111,39
6	09:15	14	8,1	113,4

7	09:30	13,9	8,2	113,98
8	09:45	13,8	8	110,4
9	10:00	14,2	8,2	116,44
10	10:15	14,1	7,9	111,39
11	10:30	14,1	8,1	114,21
12	10:45	14,3	8,1	115,83
13	11:00	14,3	8,2	117,26
14	11:15	14,2	7,8	110,76
15	11:30	14,4	8,1	116,64
16	11:45	14,2	7,9	112,18
17	12:00	14,3	8,2	117,26
18	12:15	14,1	8	112,8
19	12:30	14,3	8,1	115,83
20	12:45	14,1	8,1	114,21
21	13:00	14,2	8	113,6
22	13:15	14,3	8,2	117,26
23	13:30	14,2	8,1	115,02
24	13:45	14,3	8,2	117,26
25	14:00	14,1	7,8	109,98
26	14:15	13,9	7,9	109,81
27	14:30	13,8	8,1	111,78
28	14:45	13,9	7,9	109,81
29	15:00	13,8	7,9	109,02
30	15:15	14,2	8	113,6
31	15:30	14	8,1	113,4
32	15:45	13,9	7,9	109,81
33	16:00	13,9	7,9	109,81
34	16:15	14,1	8	112,8
35	16:30	14	7,8	109,2
36	16:45	13,9	8,1	112,59
37	17:00	13,9	7,8	108,42
Total Daya				4166,19
Rata Rata Daya				112,60

Berdasarkan Tabel 5, ditunjukkan data tegangan (V), arus (I), dan daya (W) yang dihasilkan oleh sistem PLTS. Daya keluaran panel surya tercatat stabil pada kisaran 107,64 hingga 117,26 W. Secara keseluruhan, total energi yang dihasilkan mencapai 4.166,19 W dengan nilai rata-rata daya sebesar 112,60 W.



Gambar 16. Grafik Daya PLTS

Pada Gambar 16 ditampilkan profil daya keluaran panel surya. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa daya yang dihasilkan tidak mengalami fluktuasi yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa output daya panel surya berada dalam kondisi stabil.

E. Perhitungan *Duty Cycle* (D) dari Buck Konverter

Didapatkan hasil dari *duty cycle* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$D = \frac{14}{16} = 0.875 = 87.5\%$$

Jadi hasil switch pada buck converter ialah 87.5%. Yangdimana switch pada buck converter aktif (ON) selama 87,5% dari satu siklus PWM.

F. Efisiensi Kedua Pembangkit

Didapatkan hasil dari kedua pembangkit ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Efisiensi \eta = \frac{Daya PLTS}{Daya Pikohidro} \times 100\%$$

$$Efisiensi \eta = \frac{112,60}{179,47} \times 100\%$$

$$Efisiensi \eta = 62,74\%$$

Jadi didapatkan hasil dari kedua pembangkit pada penelitian ini adalah 62,74%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembuatan pembangkit listrik berskala pikohidro yang digunakan untuk menggerakkan turbin yang disambungkan dengan pulley diperoleh daya maksimal berdasarkan olah data yang dilakukan adalah sebesar 285,6Watt pada RPM 182.
2. Penerapan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh) sebagai sumber energi listrik ramah lingkungan diharapkan mampu memberikan kontribusi positif terhadap upaya pembangunan dan

pengembangan kemandirian energi. Hal ini didasarkan pada sejumlah keunggulan PLTPH dibandingkan jenis pembangkit lainnya, antara lain bersifat ramah lingkungan, termasuk dalam kategori energi terbarukan, tidak boros dalam penggunaan air, memiliki umur operasional yang relatif panjang, biaya operasional yang lebih rendah, serta sesuai untuk diaplikasikan di wilayah terpencil. Selain itu, aspek pemeliharaan mekanik maupun elektrik pada PLTPH relatif lebih ekonomis..

3. Pada penelitian ini digunakan dua jenis pembangkit listrik, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi kedua sistem tersebut menghasilkan efisiensi sebesar 62,74%.

Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan:

1. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan peningkatan pada efisiensi sistem pompa dan turbin. Saran ke depan adalah menggunakan komponen dengan efisiensi lebih tinggi, seperti pompa air dengan efisiensi diatas 50%.
2. Menggunakan baterai tambahan dikarenakan sistem yang digunakan pada penelitian ini menggunakan PLTS tanpa baterai (off-grid). Untuk menjaga ketersediaan energi saat kondisi iradiasi rendah, disarankan penggunaan baterai lithium atau superkapasitor agar pompa tetap beroperasi stabil saat cuaca mendung atau malam hari.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, M. L., (2022), Analisa Penggunaa Hydrofoil Naca 6515 Dengan Variasi Sudut Penyempitan Aliran Air Terhadap Performa Dan Efisiensi Pada Turbin Air Vortex, Skripsi thesis, ITN MALANG.
- [2] Rizaldi, F.R., Suhartanto, E., Harisuseno, D., (2014), Analisis Debit Andalan Dan Simulasi Tampungan Untuk Pengembangan PLTA PUMPED STORAGE Di Pintu Air Tulungagung Selatan.
- [3] Chen, J., Yang, H. X., Liu, C. P., Lau, C. H., & Lo, M. (2013). A novel vertical axis water turbine for power generation from water pipelines. *Energy*, 54 (November), 184–193.
- [4] Yahya, S., Tahtawi, A. R. A., Jadmiko, S.W., dan Wijayanto, K., (2022), MPPT Fuzzy Logic dengan Pengendali PI Pada Generator Sinkron Magnet Permanen Untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Pikohidro, vol. 10, No. 1, pp. 146-161.
- [5] Rahmanta, M. A., (2022), Analisis PASTEL dan SWOT Pemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower Untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan Di Indonesia, Vol. 6 (1), pp. 1-13.

- [6] E. M. Krieger, J. Cannarella, and C. B. Arnold, (2013), "A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications," *Energy*, vol. 60, pp. 492–500, doi: 10.1016/j.energy.2013.08.029.
- [7] Halimatussadiyah, A., Amanda, A., & Maulia, R. F. (2020). *Unlocking Renewable Energy Potential in Indonesia: Assessment on Project Viability*. July, 1–10.
- [8] Habsari, K. M., Ningrum, H. N. K., Haryo, R. J. K., Kuncoro, F. R., (2022), Rancang Bangun Sistem Charging dan Monitoring Baterai pada PLTPH Berbasis IoT, *SinarFe7-5*, pp. 49-56.
- [9] Amirudin, T., & Widyartono, M. (2023). Rancang BangunPembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Berbasis Motor DC Pada Penerapan Metode Light Trap. *JURNAL TEKNIKELEKTRO*, 12(3), 27-67.
- [10] R. Alfita, K. Joni, and F. D. Darmawan, "Design of Monitoring Battery Solar Power Plant and Load Control System based Internet of Things," *TEKNIK*, vol. 42, no. 1, pp. 35–44, May 2021, doi: 10.14710/teknik.v42i1.29687.
- [11] Armaliany, T., Krismadinata, 2022, Rancang Bangun Intrumentasi Konverter Buck dengan Graphical User Interface, *MSI Transaction On Education*, Vol. 3(3), pp. 141-152.
- [12] Javed, M. S., Ma, T., Jurasz, J., Amin, M. Y., (2020), Solar and wind power generation systems with pumped hydro storage: Review and future perspectives, *Renewable Energi*, Vol. 148, pp. 176-192.

VII. BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan pada tanggal 13 Agustus 2000 di Mataram, Kabupaten Mataram. Penulis bernama Teguh Permana Putra yang merupakan anak ke-3 dari 3 bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Mataram angkatan 2013-2016 dan melanjutkan pendidikan di sekolah menengah kejuruan di SMKN 3 Mataram angkatan 206-2019. Kemudian penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang Jurusan Teknik Elektro dengan jenjang pendidikan Strata-1. Penulis memilih konsentrasi teknik energi listrik dengan judul skripsi: SISTEM PENYIMPANAN ENERGI BERBASIS PUMP STORAGE DAN PIKOHIDRO YANG DI DUKUNG PLTS.