

Rancang bangun PLTPH menggunakan turbin spiral sebagai pemanfaatan keluaran air tambak ikan

Dieta Wahyu Asry Ningtias^{1*}, Nurriza Kholifatulloh Hasanah²,
Feri Siswoyo Hadisantoso³, Ayu Fitriah Sapruddin⁴

¹Politeknik Negeri Semarang

Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, Indonesia

^{2,3}Politeknik Enjinering Indorama

Kembangkuning, Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat, Indonesia

⁴Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jalan Perintis Kemerdekaan KM.10, Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

^{1*}dieta.wahyu@polines.ac.id, ²nurriza@pei.ac.id, ³feri.siswoyo.h@pei.ac.id, ⁴afitriah12@poliupg.ac.id

ABSTRAK

Elektrifikasi dapat dicapai salah satunya dengan menciptakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi terbarukan. Pemilihan pembangkit listrik didasarkan pada lokasi, tujuan pembangkitan, dan potensi lingkungan. Pada Desa Mekargalih terdapat kolam tambak yang keluaran airnya terbuang sia-sia. Berdasarkan hasil observasi tempat penelitian, debit air bernilai kecil yaitu di bawah 10 liter/detik namun masih bisa menghasilkan energi listrik, sehingga dipilih jenis pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH). Perancangan pikohidro yang tepat dapat dibuktikan keberhasilannya melalui pengujian. Berdasarkan pengujian *tilt angle* dengan sudut 20°, 25°, dan 30° diperoleh hasil terbaik yaitu sudut 20° dengan kecepatan turbin 218 m/s dan kecepatan generator 268,4 m/s dalam keadaan berbeban. Performa PLTPH dengan sudut terbaik mendapatkan hasil keluaran generator sebesar 12,13 V dan 0,16 A. Secara keseluruhan sistem PLTPH bekerja dengan performa yang cukup baik dalam menjaga kestabilan tegangan meskipun terjadi peningkatan beban. Namun fluktuasi kecepatan pada turbin dan generator perlu dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan efisiensi sistem. PLTPH pada penelitian ini memiliki keunggulan yaitu fleksibilitas *case* turbin untuk merubah *tilt angle*, dapat memutar turbin dengan debit dan *head* yang rendah, dan dapat memanfaatkan keluaran air tambak yang terbuang sia-sia. Harapannya PLTPH menjadi pembangkit *off-grid* yang bermanfaat bagi masyarakat dan mendukung elektrifikasi Indonesia.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga pikohidro, *tilt angle*, fleksibel

ABSTRACT

Electrification can be achieved by creating power plants that utilize renewable energy. The selection of power plants is based on location, generation purpose, and environmental potential. In Mekargalih Village there are ponds whose water output is wasted. Based on the observation of the research site, the water discharge is of small value, which is below 10 liters/second but can still produce electrical energy, so a type of picohydro power plant (PLTPH) was chosen. The right design of picohydro can be proven successful through testing. Based on the tilt angle test with angles of 20°, 25°, and 30°, the best result is obtained at an angle of 20° with a turbine speed of 218 m/s and a generator speed of 268.4 m/s under load. The performance of PLTPH with the best angle gets a generator output of 12.13 V and 0.16 A. Overall, the PLTPH system works quite well in maintaining voltage stability despite the increase in load. However, speed fluctuations in turbines and generators need to be further evaluated to ensure system efficiency. The PLTPH in this study has the advantage of the flexibility of the turbine case to change the tilt angle, can rotate the turbine with low discharge and head, and can utilize the wasted pond water output. It is hoped that PLTPH will become an off-grid generator that is beneficial to the community and supports the electrification of Indonesia.

Keywords: picohydro power plant, tilt angle, flexible

1. PENDAHULUAN

Pemerintah khususnya Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menargetkan elektrifikasi 100% sebagai program pemenuhan akan kebutuhan listrik masyarakat [1]. Elektrifikasi dapat dipenuhi dengan adanya pembangkit energi listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Pembangkit Listrik

Tenaga Gas, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, Pembangkit Listrik Tenaga Air, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, dan lain-lain. Diutamakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi terbarukan untuk mendukung tercapainya target pemerintah EBT 31% di Tahun 2050 [2]. Pemilihan pembangkit listrik didasarkan pada lokasi, tujuan pembangkitan, dan potensi lingkungan [3]. Telah dilakukan observasi lingkungan tepatnya di Desa Mekargalih, Kecamatan Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat. Hasil observasi menunjukkan terdapat kolam atau tambak ikan nila. Air pada tambak tersebut mengalir terus menerus. Diawali dari pengisian tambak oleh sumber mata air. Kemudian pada sisi ujung tambak, aliran air keluar menuju sungai. Hasil observasi juga menunjukkan bahwa belum ada listrik di tambak tersebut, sedangkan listrik penting untuk operasional tambak. Tambak dapat memanfaatkan listrik sebagai penerangan, oksigenasi air atau aerasi, dan keamanan [4]. Bahkan teknologi *monitoring* ikan juga sudah banyak diterapkan [5]. Hal tersebut akan mempengaruhi hasil dari budidaya ikan. Potensi aliran air yang keluar dari tambak menuju sungai tersebut dapat dimanfaatkan sehingga tidak terbuang sia-sia. Aliran air tersebut dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik oleh pembangkit listrik tenaga air atau hidro. Pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan besar atau kapasitas listrik yang dihasilkan. Kapasitas lebih dari 100 MW disebut *large hydro*. Kapasitas 15-100 MW disebut *medium hydro*. Kapasitas 1-15 MW disebut *small hydro*. Kapasitas 100 kW-1 MW disebut *mini hydro*. Kapasitas 5-100 kW disebut *micro hydro*. Kapasitas di bawah 5 kW disebut *pico hydro* [6]. Berdasarkan hasil observasi tempat penelitian, debit air kecil dibawah 10 liter/detik yang dapat menghasilkan energi listrik yang kecil, sehingga dipilih jenis pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH).

PLTPH dapat diimplementasikan dengan studi kasus beragam seperti sebagai sumber energi listrik penyuplai Penerangan Jalan Umum, sanggar seni, daerah pedalaman. PLTPH juga dapat digunakan sebagai modul ajar. Penelitian yang menggunakan PLTPH dengan jenis turbin kincir. Penelitian tersebut memanfaatkan potensi aliran sungai untuk dikonversikan menjadi listrik yang menyuplai Penerangan Jalan Umum (PJU) sebanyak 15 tiang [7]. Penelitian dengan menggunakan PLTPH dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik di sanggar seni. Pada penelitian tersebut *head* atau ketinggian PLTPH cukup tinggi yaitu lebih dari 10 meter sehingga dapat menyuplai listrik dalam jumlah yang cukup besar [8]. PLTPH juga dimanfaatkan sebagai alat bahan ajar atau modul pembelajaran di perkuliahan. Penelitian menggunakan PLTPH dengan turbin kincir menghasilkan tegangan tertinggi 18 volt tanpa beban [9]. PLTPH tersebut membantu mahasiswa dalam mempelajari konversi energi listrik. PLTPH juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik di daerah pedalaman. Penelitian tersebut menggunakan turbin *cross flow* menghasilkan keluaran daya sebesar 5kW [10]. Hal tersebut membuktikan bahwa PLTPH cukup populer digunakan. Selain dikarenakan banyak diimplementasikan, PLTPH dipilih karena memiliki banyak keunggulan antara lain biaya yang relatif murah, material yang mudah didapatkan, ramah lingkungan, dapat diterapkan pada potensi air yang kecil, dan cocok digunakan pada daerah yang kurang terjangkau jaringan listrik [11], [12].

Terdapat penelitian lain yang berkaitan dengan penelitian penulis. Penelitian dengan menggunakan PLTPH namun tidak mempertimbangkan head atau jatuh air. Penelitian dengan memanfaatkan irigasi keluaran bendungan menuju sungai menggunakan PLTPH dengan jenis turbin *under shoot*. Pada penelitian tersebut turbin diletakkan sejajar dengan air tanpa adanya *head* dikarenakan memanfaatkan air yang mengalir dengan deras [13]. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini, PLTPH menggunakan *head* yang rendah berdasarkan kondisi lingkungan objek penelitian. Pemilihan jenis turbin yang digunakan menjadi faktor penting karena akan menentukan besarnya energi listrik yang dihasilkan. Untuk kondisi head yang rendah dan debit air kecil, dapat menggunakan turbin spiral atau *archimedes screw turbin* karena memiliki efisiensi yang baik pada head <10 m serta mampu bekerja secara optimal pada head rendah [14], [15]. Sebaliknya, turbin *crossflow* kurang cocok pada head rendah, turbin ini cocok digunakan untuk head 10-50 m dengan debit yang bervariasi [16]. Sedangkan turbin axial banyak digunakan pada head rendah hingga menengah, namun dengan debit air yang besar serta konstruksi yang kompleks [17]. Oleh karena itu, pemilihan turbin spiral dinilai paling sesuai dengan kondisi pada penelitian ini.

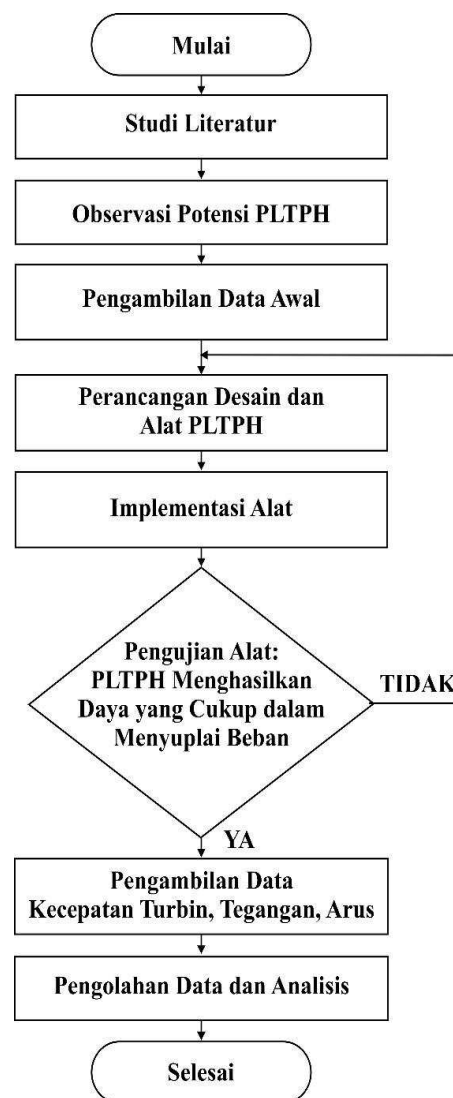
Selain pemilihan turbin yang tepat, permasalahan lain yang sering muncul pada PLTPH adalah ketidakstabilan tegangan yang dihasilkan akibat fluktuasi debit air dan perubahan kecepatan putaran turbin [18]. Kondisi ini berpotensi menurunkan kualitas daya serta mengurangi keandalan sistem ketika dihubungkan ke beban. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini menggunakan

konverter sebagai perangkat penstabil tegangan. Penelitian lain merekomendasikan bahwa PLTPH dapat dikembangkan berdasarkan karakteristik aliran air [19].

Tujuan penelitian ini yaitu merancang PLTPH yang diterapkan pada keluaran air tambak di Desa Mekargalih Purwakarta. PLTPH dirancang modular atau terpisah-pisah antara mekanik turbin, *case*, dan panel listriknya namun dapat dirakit menjadi satu. Pemilihan desain modular dikarenakan untuk mempermudah perakitan dan penggunaannya [20]. Selain modular, PLTPH juga memiliki keunggulan lain yaitu fleksibilitas *case* turbin untuk merubah *tilt angle*. Hal tersebut dikarenakan debit air masih rendah, padahal debit air sangat mempengaruhi produktivitas energi listrik [21]. Pemilihan *tilt angle* yang tepat mampu menjadikan PLTPH berfungsi optimal meskipun debit air dan *head* yang rendah [14]-[17]. PLTPH memanfaatkan keluaran air tambak yang terbuang sia-sia menjadi energi listrik. Harapannya PLTPH menjadi pembangkit *off-grid* yang bermanfaat bagi masyarakat dan mendukung elektrifikasi Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian bertujuan menganalisis hasil rancangan pembangkit listrik tenaga piko hidro dengan jenis turbin spiral atau *archimedes screw*. Dalam pembuatannya penulis melakukan langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji referensi terkait potensi Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Kemudian menganalisis untuk menentukan *research gap* dan menjadikan penelitian-penelitian yang terkait sebagai referensi dalam perancangan PLTPH.

2.2 Observasi Potensi PLTPH

Observasi potensi dibangunnya PLTPH dilakukan dengan tujuan memastikan bahwa desain hingga implementasi PLTPH sesuai dengan kondisi dan potensi air pada lokasi penelitian. Hal tersebut berkaitan dengan ketersediaan sumber aliran air. Dilakukan perhitungan debit air dan ketinggian jatuh air (*head*) sebagai potensi perancangan PLTPH. Pengukuran debit air diperoleh dengan metode tampung. Alat yang digunakan dalam metode pengukuran tersebut yaitu wadah air berkapasitas 22 liter, *stopwatch*, dan alat tulis. Prinsip kerja metode tersebut yaitu menghitung waktu yang dibutuhkan ketika pengisian penuh wadah tersebut.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Perhitungan debit air dengan metode tampung menggunakan rumus (1), Dimana Q merupakan debit air (m^3/s), sedangkan V merupakan volume air yang tertampung dalam wadah (m^3) dan t merupakan waktu yang diperlukan untuk mengisi wadah (detik). Data debit air yang diperoleh digunakan untuk menghitung potensi daya yang dihasilkan dengan menggunakan rumus (2).

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

Dimana daya keluaran (P) bergantung pada efisiensi system (η), massa jenis air (ρ) sebesar 1000 kg/m^3 , sedangkan untuk (g) percepatan gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$, debit air (Q) dalam m^3/s , serta tinggi jatuh air (H) dalam meter. Semakin besar debit air dan tinggi jatuh air, maka semakin besar pula energi potensial yang dapat dikonversi menjadi energi listrik [22], [23].

2.3 Pengambilan Data Awal

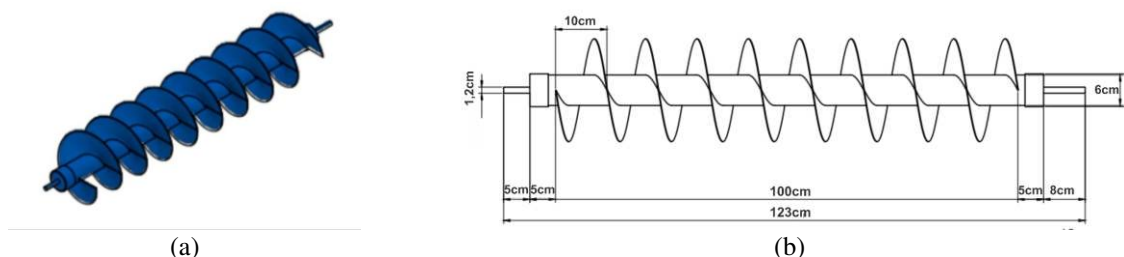
Penelitian dilakukan pada aliran keluaran kolam tambak ikan di Desa Mekar Galih, Kecamatan Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat. Data awal yang diambil yaitu debit air, ketinggian jatuh air, dan kondisi lingkungan. Perhitungan debit air mengacu pada (1) dan hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian pengisian wadah air

No	Kapasitas (Volume)	Waktu (detik)
1	22 liter	7,18
2	22 liter	7,13
3	22 liter	7,26
4	22 liter	7,45
5	22 liter	6,90
	Rata-rata	7,184

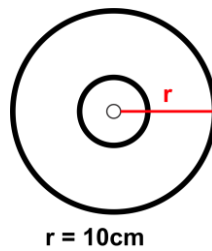
2.4 Perancangan Desain dan Alat PLTPH

PLTPH dirancang menggunakan jenis *Archimedes Screw* atau spiral. Hal tersebut sesuai dengan debit kondisi lingkungan yang tidak besar. Debit yang kecil masih bisa dimanfaatkan menggunakan turbin jenis spiral tersebut.



Gambar 2. (a) Desain turbin spiral; (b) Dimensi ukuran turbin spiral

Desain turbin dengan dimensi ukuran centimeter (cm) pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 (a) dan (b) dengan baling atau *blade* turbin ditunjukkan pada Gambar 3. Turbin spiral dengan panjang 100 cm atau 1 meter dengan jari-jari 10cm atau diameter 20 cm.



Gambar 3. Blade turbin spiral

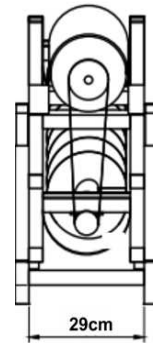
Turbin spiral tersebut dipasang pada *case* agar aliran air lebih terfokuskan melewati *blade* turbin. Desain turbin dan *case* PLTPH ditunjukkan pada Gambar 4. Apabila menggunakan rumus ketinggian turbin yaitu:

$$h = L \sin \theta \quad (3)$$

dan L 100cm, maka pada kemiringan sudut 0° ; 20° ; 25° ; 35° diperoleh ketinggian *case* turbin berturut-turut adalah 0cm; 34,20cm; 42,26cm; dan 57,36 cm.



(a)



(b)

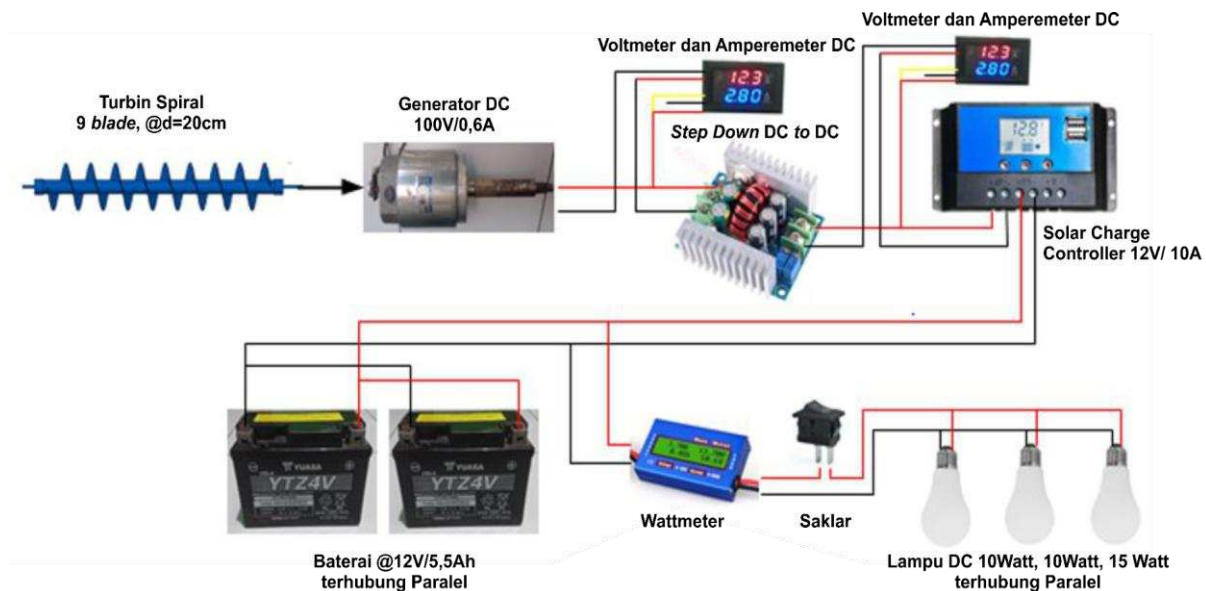
Gambar 4. (a) Desain turbin spiral dengan *case*; (b) Ukuran *case* PLTPH

Desain yang telah diciptakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, kemudian dirancang menjadi alat berwujud PLTPH. Alat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil perancangan PLPTH

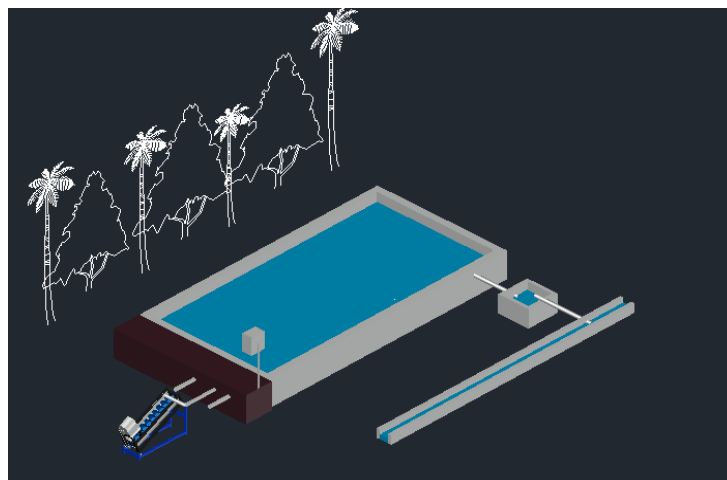
Desain elektrik atau *wiring* instalasi PLTPH ditunjukkan pada Gambar 6. Alat PLTPH memanfaatkan aliran air untuk memutar turbin yang kemudian mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik generator untuk menghasilkan energi listrik. Kemudian diukur tegangan dan arus keluarannya menggunakan alat ukur voltmeter dan amperemeter. Dilakukan kalibrasi alat ukur terlebih dahulu agar hasil pengukuran akurat [24]. Kemudian dilakukan penstabilan keluaran tegangan menggunakan konverter. Konverter DC to DC berfungsi untuk menstabilkan keluaran tegangan [25]. Kemudian dilakukan kontrol *charge discharge* ke baterai oleh *Solar Charge Controller*. Kemudian energi listrik disimpan di baterai dan diukur kembali tegangan, arus, dan daya. Kemudian dialirkan ke beban lampu DC.



Gambar 6. Desain elektrik PLTPH

2.5 Implementasi Alat

PLTPH diimplementasikan pada air keluaran kolam tambak ikan. Rancangan atau desain posisi peletakkan ditunjukkan oleh Gambar 7, sedangkan realisasi implementasi pada lapangan ditunjukkan pada Gambar 8. Kolam tambak mendapatkan sumber air dari irigasi yang terus menerus mengalir. Air tersebut harus dialirkan keluar agar air tambak terus terganti dan tidak penuh. Keluaran air tersebut sudah dipasang penyaring sehingga air yang mengalir keluar tidak ada gangguan objek lain. Keluaran air tersebut kemudian dimanfaatkan oleh PLTPH. PLTPH yang sedang beroperasi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 7. Desain penempatan PLTPH



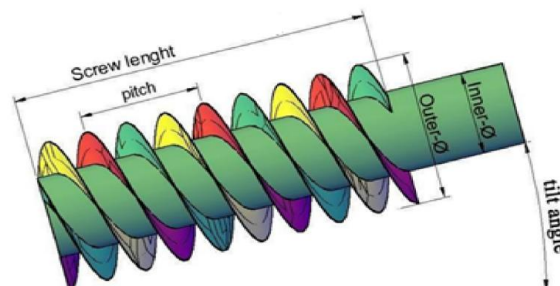
Gambar 8. Realisasi implementasi penempatan PLTPH



Gambar 9. PLPTH Penelitian

2.6 Pengujian Alat dan Pengambilan Data

Alat memiliki keunggulan berupa fleksibilitas kerangka atau *case* PLTPH. Fleksibilitas tersebut artinya mudah diubah-diubah *tilt angle* nya. *Tilt angle* adalah sudut kemiringan antara objek dengan bidang horizontal [26]. *Tilt angle* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 merupakan kemiringan laluan air. Dilakukan pengujian berupa pengaruh sudut kemiringan (*tilt angle*) terhadap putaran turbin. Tujuan pengujian yaitu mendapatkan sudut terbaik dengan keluaran putaran turbin terbaik. Setelah mendapatkan data terbaik tersebut kemudian dilakukan percobaan beberapa kali untuk dilakukan pengukuran kecepatan turbin, kecepatan generator, arus, tegangan, dan daya.



Gambar 10. Tilt angle PLTPH

2.7 Pengolahan Data dan Analisis

Data yang diperoleh kemudian diolah. Data yang telah diolah kemudian dianalisis. Analisis tersebut dikaitkan dengan kajian pustaka.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sudut Kemiringan Head Turbin

Kinerja turbin dipengaruhi beberapa parameter salah satunya yaitu kemiringan laluan air, yang akan mempengaruhi kecepatan aliran air yang menggerakkan turbin. Hasil gerakan ini akan menentukan kecepatan putaran turbin dan daya listrik yang dihasilkan. Pada penelitian dilakukan pengujian sudut kemiringan laluan air terhadap kecepatan putaran turbin. Pengujian dilakukan dengan 2 cara, yaitu sistem tanpa beban dan sistem berbeban.

Tabel 2. Pengujian tanpa beban

Sudut	Rpm Turbin	Rpm Generator	Tegangan (V)	Arus (A)
20°	161,7	233,8	-	-
25°	165,9	389,2	-	-
30°	118,5	209,5	-	-

Hasil pengujian sistem tanpa beban ditunjukkan pada Tabel 2, pengujian dilakukan dengan 3 perbedaan sudut, yaitu 20°, 25°, dan 30°. Dari data hasil pengujian ketika kemiringan sudut 20° ke 25°, kecepatan putaran turbin sedikit meningkat dari 161,7 rpm menjadi 165,9 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut ini, aliran air memberikan energi kinetik yang cukup untuk meningkatkan putaran turbin. Namun, ketika sudut kemiringan dinaikan 30°, kecepatan putaran turbin mengalami penurunan yang signifikan menjadi 118,5 rpm. Penurunan ini terjadi karena aliran air yang tidak terarah dengan baik pada sudut yang terlalu curam.

Sudut kemiringan laluan air memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja turbin dan generator dalam sistem PLTPH. Pengujian sistem berbeban ini menggunakan beban lampu DC 25 Watt, hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil pengujian ketika sudut 20° putaran turbin mencapai nilai tertinggi 218,3 rpm, sedangkan untuk kecepatan generator mencapai 268,4 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa sudut 20° memungkinkan aliran air menghasilkan putaran turbin dan generator yang optimal. Meski kecepatan putaran turbin dan generator tinggi, arus listrik yang dihasilkan kecil 0,6 A, yang menyebabkan daya listrik yang dihasilkan rendah.

Tabel 3. Pengujian Berbeban

Sudut	Rpm Turbin	Rpm Generator	Tegangan (V)	Arus (A)
20°	218,3	268,4	8,4	0,6
25°	169,3	127,7	8,5	0,7
30°	69,0	186,8	8,3	0,7

Ketika sudut ditingkatkan menjadi 25° putaran turbin menurun menjadi 169,3 rpm dan kecepatan generator turun drastis menjadi 127,7 rpm. Meskipun demikian, arus yang dihasilkan meningkat menjadi 0,7 A. Sedangkan pada 30° putaran turbin menurun drastis menjadi 69 rpm, sementara kecepatan generator mencapai 186,8 rpm. Kondisi ini menunjukkan bahwa sudut yang lebih curam, torsi yang dihasilkan oleh aliran air lebih besar, meskipun putaran turbin rendah. Untuk rata-rata tegangan untuk setiap sudut relatif stabil di rentang 8,3 – 8,5 V.

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian kecepatan putaran generator pada interval waktu tertentu tanpa beban. Pengujian dilakukan pada interval 0-5, 5-10 dan 10-15 menit dengan debit 0,00309 m³/detik. Pada interval 0-5 menit, menghasilkan kecepatan putaran generator sebesar 165,9 RPM dengan tegangan keluaran 31,3V. Selanjutnya, pada interval 5-10 menit putaran generator menjadi 167,0 RPM, sementara untuk tegangan naik menjadi 31,5 V. Sedangkan, untuk interval 10-15 menit putaran generator mengalami penurunan menjadi 166,8 RPM, dan untuk tegangan keluaran juga mengalami penurunan menjadi 31 V. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa debit air dan kecepatan putaran

generator memiliki pengaruh langsung terhadap tegangan yang dihasilkan, tetapi sistem tidak menghasilkan daya listrik karena arus bernilai nol. Hal ini terjadi karena sistem di uji tanpa beban.

Tabel 4. Pengujian generator tanpa beban

Waktu (menit)	Debit (m ³ / detik)	Rpm	Tegangan (V)	Arus (A)
0-5	0,00309	165,9	31,3	0
5-10		167,0	31,5	0
10-15		166,8	31	0

Tabel 5. Pengujian generator berbeban

Beban	Turbin (Rpm)	Generator (Rpm)			beban		P (Watt)
		Rpm	Tegangan (volt)	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	
0 Watt	165,6	384,6	11,43	0,33	0	0	0
10 Watt	332,8	96,3	10,21	0,1	10,21	0,16	1,63
15 Watt	122,7	202,7	11,5	0,39	10,11	0,24	2,5
10 Watt + 10 watt	135,6	162,1	12,13	0,16	10,27	0,51	5,3
10 Watt + 15 watt	169,1	127,8	11,06	0,11	10,03	0,35	3,5
10 Watt + 10 watt + 15 watt	162,2	182,9	11,7	0,17	11,94	0,81	9,73

Tabel 5 menyajikan hasil pengujian sistem berbeban. Berdasarkan data pada tabel, menunjukkan bahwa kecepatan turbin dan generator mengalami perubahan seiring dengan peningkatan beban. Pada beban 10 Watt, kecepatan turbin 332,8 RPM, sementara pada beban 15 Watt, kecepatan turbin menurun drastis menjadi 122,7 RPM. Pola yang sama juga terlihat pada generator, dimana kecepatannya menurun dari 384,6 rpm ketika tanpa beban menjadi 202,7 rpm pada beban 15 Watt. Penurunan kecepatan ini menunjukkan adanya beban tambahan yang memberikan resistansi lebih besar terhadap sistem.

Tegangan pada generator cenderung stabil meskipun beban bertambah, dengan nilai tegangan yang sedikit meningkat dari 11,43 V menjadi 12,13 V ketika beban kombinasi 10 W + 10 W. Arus yang dihasilkan juga mengalami peningkatan secara bertahap, dari 0,33 A pada kondisi berbeban hingga 0,81A pada kombinasi beban 10 W + 10 W + 15W. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar listrik, dimana arus akan meningkat seiring bertambahnya daya yang dibutuhkan oleh beban.

Keluaran daya listrik (P) meningkat secara bertahap dengan bertambahnya beban. Pada beban 10 W, daya yang dihasilkan yaitu 1,63 Watt, sedangkan pada kombinasi beban 10 W + 10 W + 15 W, daya yang dihasilkan mencapai 9,73 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu beradaptasi dengan baik terhadap perubahan beban, meskipun efisiensinya dapat berkurang pada beban yang lebih tinggi. Secara keseluruhan sistem PLTPH ini menunjukkan performa yang cukup baik dalam menjaga stabilitas tegangan meskipun terjadi peningkatan beban. Namun, fluktuasi kecepatan pada turbin dan generator perlu dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan efisiensi sistem.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa pengujian *tilt angle* dengan sudut 20°, 25°, dan 30° memperoleh hasil terbaik yaitu sudut 20° dengan kecepatan turbin 218 m/s dan kecepatan generator 268,4 m/s dalam keadaan berbeban. Performa PLTPH dengan hasil terbaik yaitu pada posisi sudut 20° mendapatkan keluaran generator sebesar 12,13 V dan 0,16 A. Secara keseluruhan sistem PLTPH bekerja dengan performa yang cukup baik dalam menjaga kestabilan tegangan meskipun terjadi peningkatan beban. Namun fluktuasi kecepatan pada turbin dan generator perlu dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan efisiensi sistem.

REFERENSI

- [1] A. C. Adi, “Kementerian ESDM Tuntaskan Program Elektrifikasi di Tahun 2024,” *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, 2024. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kementerian-esdm-tuntaskan-program-elektrifikasi-di-tahun-2024>.
- [2] R. Nurohmah, T. Tohir, and S. M. Ilman, “Desain Dan Implementasi Sistem PLTS Off-Grid Skema Hibrida Sebagai Alternatif Suplai Daya Listrik Beban Satu Fasa,” *JITET (Jurnal Informatika dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 12, no. 3, pp. 3471–3478, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.4959.
- [3] D. W. A. Ningtias, F. D. Wijaya, and L. P. Multanto, “Optimal Capacity and Location Wind Turbine to Minimize Power Losses Using NSGA-II,” *IJITEE (International J. Inf. Technol. Electr. Eng.)*, vol. 5, no. 4, p. 130, 2021, doi: 10.22146/ijitee.70161.
- [4] N. Wahyuni, Sudarti, and Yushardi, “Analisis Mekanisme Energi Angin Dalam Putaran Kincir Air Pada Tambak Udang Di Palukuning Kecamatan Muncar,” *J. Sains Ris.*, vol. 13, no. April 2023, pp. 9–14, 2023, doi: 10.47647/jsr.v10i12.
- [5] M. H. Modi, D. Atmajaya, and M. A. Asis, “Perancangan Prototype Sistem Pengontrol Otomatis Kadar Garam Menggunakan Arduino Uno,” *Lit. Inform. dan Komput.*, vol. 1, no. 3, pp. 217–222, 2024, doi: 10.33096/linier.v1i3.2498.
- [6] M. L. Hakim, N. Yuniarti, Sukir, and E. S. Damarwan, “Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 75–81, 2020, doi: 10.21831/je.v4i1.
- [7] H. Prasetyo, W. H. Purnomo, P. B. S., and Y. Haryanto, “Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Untuk Penerangan Jalan,” *J. Pengabd. Masy. Indones.*, vol. 4, no. 4, pp. 657–663, 2024.
- [8] M. I. Romadhon, W. P. Muljanto, and N. P. Agustini, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Desa Pendem ,Kec. Junrejo, Kota Batu,” *Magnetika*, vol. 08, pp. 245–259, 2024.
- [9] L. W. Johar, Myson, and F. E. Yandra, “Rancangan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) untuk Modul Ajar Pada Bengkel Teknik Listrik Universitas Batanghari,” *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 3, no. 5, pp. 243–255, 2024.
- [10] R. Lapisa *et al.*, “Rancang Bangun Piko-Hidro sebagai Sumber Energi Bagi Masyarakat di Daerah Pedalaman,” *VOMEK*, vol. 6, no. 2, pp. 109–113, 2024.
- [11] M. N. Hidayat, F. Ronilaya, I. H. Eryk, A. Setiawan, and E. Rohadi, “Application of the Cascade System to Increase the Capacity of a Pico-hydro Power Generation,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1073, no. 1, p. 012025, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1073/1/012025.
- [12] A. Olaniyan, S. Caux, C. Azzaro-Pantel, and P. Maussion, “Life Cycle Assessment of a Pico Hydro Generator Made of E-Waste Components Based on Frugal Innovation,” *IEEE 4th Int. Multidiscip. Conf. Eng. Technol. IMCET 2023*, pp. 75–80, 2023, doi: 10.1109/IMCET59736.2023.10368250.
- [13] A. Asral, W. Fatra, Y. Handika, and ..., “Pembangkit Listrik Tenaga Air Pikohidro untuk Kebutuhan Pengembangan Lokasi Wisata Bendungan Desa Menaming Rokan Hulu Riau,” *PengabdianMu*, vol. 9, no. 6, pp. 1091–1097, 2024, doi: 10.33084/pengabdianmu.v9i6.5894 Pembangkit.
- [14] R. Thakur *et al.*, “Potential of the Archimedes Screw to Generate Sustainable Green Energy for Mini, Micro, and Pico Hydro Turbine Power Stations: An extensive analysis,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 55, no. August, p. 101514, 2024, doi: 10.1016/j.esr.2024.101514.
- [15] A. Hiendro and R. Aldrian Wicaksono, “Analisis Pengaruh Jumlah Blade Turbin Air Terhadap Kinerja PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Terapung Archimedes Screw,” *Hiendro & Wicaksono*, vol. 4, no. 1, pp. 9–13, 2023.
- [16] M. F. Yahya, Y. Apriani, Z. Saleh, and A. Indah Lestari, “Evaluasi Kinerja Turbin Crossflow Dengan Jumlah Sudu 35,” *J. SINTA Sist. Inf. dan Teknol. Komputasi*, vol. 1, no. 1, pp. 41–48, 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i1.11.
- [17] K. Kananda, D. Corio, and E. M. S., “Simulation Turbines Design for Hidropower in Way Laai and Way Lami Pesisir Barat District Lampung Province,” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 7, no. 1, pp. 7–11, 2020, doi: 10.33019/ecotipe.v7i1.1388.
- [18] B. Edi, S. Atifoqymin, and M. Fitri, “Tinjauan Literatur : Kinerja Turbin Screw Archimedes Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Pada Aliran Air Dengan Head Rendah,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, pp. 102–113, 2024.
- [19] N. P. Ardiansyah, R. H. B. Ash Siddiq, and N. N. Suryaman, “Pengembangan pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan jenis turbin vertikal pada saluran terbuka dengan hambatan,” *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 4, no. 1, pp. 95–104, 2024, doi: 10.35313/jitel.v4.i1.2024.95-104.
- [20] Wijaya Kusuma, Rahman Azis Prasojjo, Ibrahim, Lukman Hakim, Muhammad Arief Furqon, and Mochammad Erfian Ramadhan, “Integrasi IoT pada Mesin Roasting Kopi Fluidized Bed,” *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 120–125, 2025, doi: 10.33795/elposys.v12i2.6990.
- [21] H. Permana, P. A. Nugroho, A. Aziz, and T. Farudin, “Pengaruh Debit Air Dan Curah Hujan Pada PLTA

- Way Besai Lampung Barat Terhadap Produktivitas Energi yang Dihasilkan,” *J. Baut dan Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 34–43, 2024.
- [22] M. Sofyan and I. M. Sudana, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik,” *J. List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 31–39, 2022, doi: 10.22146/juliet.v3i2.64410.
- [23] Y. Fitrawansyah, A. Purnama, and K. M. T. Negara, “Analisis Pengaruh Debit Air dan Ketinggian Air Terhadap Besar Daya yang Dihasilkan Oleh PLTMH Tepal I Pada Saat Musim Kemarau,” *J. SainTeka*, vol. 3, no. 3, pp. 20–26, 2022, doi: 10.58406/sainteka.v3i3.1036.
- [24] D. W. A. Ningtias, A. Y. Pratama, D. Usman, and H. N. A. Humaidi, “Analisis Standar Pencahayaan Studi Kasus Gedung Teknologi Listrik Politeknik Enjinering Indorama,” *Ramatekno*, vol. 4, no. 2, pp. 34–43, 2024, doi: 10.61713/jrt.v4i2.
- [25] P. T. Asmoro, D. W. A. Ningtias, and F. S. Hadisantoso, “Desain Dan Simulasi Rangkaian DC To DC Chopper Tipe Buck Converter Dengan Pengendali PI,” *Ramatekno*, vol. 4, no. 1, pp. 52–62, 2024, doi: 10.61713/jrt.v4i1.170.
- [26] A. Barbón, C. Bayón-Cueli, L. Bayón, and C. Rodríguez-Suanzes, “Analysis of the Tilt and Azimuth Angles of Photovoltaic Systems in Non-ideal Positions for Urban Applications,” *Appl. Energy*, vol. 305, no. June 2021, p. 117802, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117802.

