

Optimalisasi Efisiensi Poros Turbin pada Unit Mikrohidro *Portable* menggunakan Model Turbin Sekrup

Optimizing Turbine Shaft Efficiency in Portable Microhydro Units using Screw Turbine Models

Samsurizal^{1*}, Ilham Saifudin², M Mucklis Aula Rohman³, Andi Makkulau⁴

^{1,3,4}Teknik Elektro Institut Teknologi PLN

^{1,2}Teknik Elektro dan Informatika Universitas Negeri Malang

²Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Jember

^{1,3,4}Menara PLN, Jl. Lkr. Luar Barat, Duri Kosambi, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11750

^{1,2}Jl. Cakrawala No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145

²Jl. Karimata No. 49 Jember, Jawa Timur

samsurizal@itpln.ac.id^{1*}, ilham.saifudin@unmuhjember.ac.id², mucklis2211091@itpln.ac.id³, andi.mk@itpln.ac.id⁴

Abstrak – Pemanfaatan energi terbarukan menjadi semakin penting untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) jenis mikrohidro. Mikrohidro portable merupakan salah satu solusi inovatif yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan air yang tersedia di sekitar kita, seperti sungai atau aliran air kecil. Penelitian ini merancang sebuah mikrohidro portable dan melakukan pemodelan yang efisien dengan mengetahui pengaruh sudut kemiringan turbin dalam mikrohidro portable terhadap kinerja dan efisiensi konversi energi. Metode dalam penelitian ini ialah kuantitatif korelasi dan menggunakan regresi. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran debit air, tegangan dan arus pada setiap sudut kemiringan yang diuji. Hasil pengukuran dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi dan daya listrik yang dihasilkan dalam berbagai kondisi dengan menggunakan pemodelan python. Dari hasil pengujian diperoleh hasil dalam pengujian tiap 1 jam nilai efisiensi sebenar 88, 24%. Selain itu diperoleh juga pengaruh kinerja dari generator yang digunakan, sudut kemiringan yang optimal diangka 20°. Sedangkan hasil pemodelan dengan variasi sudut untuk kenaikan 5° memiliki tingkat akurasi terbaik dengan nilai Adj. R-squared 0,995 yang berarti sangat kuat pengaruhnya sudut turbin dengan efisiensi yang dihasilkan.

Kata Kunci: mikrohidro, poros turbin, turbin ulir, efisiensi.

Abstract – The use of renewable energy is becoming increasingly important to meet sustainable energy needs, one of which is a micro-hydro hydroelectric power plant. Portable micro-hydro is one of the innovative solutions that can produce electrical energy by utilizing the water available around us, such as rivers or small water streams. This study designs a portable microhydro and conducts efficient modeling by determining the effect of the turbine tilt angle in the portable microhydro on the performance and efficiency of energy conversion. The method in this study is quantitative correlation and using regression. Testing is carried out by measuring water discharge, voltage and current at each angle of inclination tested. The measurement results were analyzed to evaluate the energy conversion efficiency and electrical power generated under various conditions using Python modeling. From the test results, the results in the test every 1 hour were obtained with a real efficiency value of 88.24%. In addition, the performance influence of the generator used was also obtained, the optimal tilt angle was 20°. Meanwhile, the modeling results

with angular variation for increments of 5° have the best level of accuracy with an Adj. R-squared value of 0.995 means that the influence of the turbine angle is powerful with the efficiency produced.

Keywords: microhydro, turbine shaft, screw turbine, efficiency.

1. Pendahuluan

Salah satu kebutuhan vital yang sulit dipisahkan dari kehidupan manusia adalah energi listrik, hampir semua kegiatan manusia membutuhkan energi listrik sebagai sumber energi utama untuk mendukung kegiatan. Menurut data terbaru dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Indonesia pada tahun 2021 [1], terdapat sekitar 12.783 desa di Indonesia yang belum tersambung dengan jaringan listrik PLN. Sebagian dari mereka tinggal di daerah terisolir. Di daerah terisolir, sulitnya akses energi listrik menjadi masalah yang sangat serius. Kebutuhan energi listrik yang sangat penting untuk mendukung aktivitas studi penelitian, riset dilapangan ataupun rekreasi di daerah-daerah terisolir seringkali sulit terpenuhi karena terbatasnya akses jaringan listrik utama [2]. Hal ini menyebabkan manusia mengalami kesulitan dalam hal pencahayaan, sumber energi ataupun sinyal komunikasi yang digunakan.

Listrik berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat pedesaan atau terpencil [3] [4]. Elektrifikasi di daerah pedesaan dan terpencil meningkatkan waktu penerangan (meningkatkan produktivitas selama jam kerja), sehingga mendorong berkembangnya dunia usaha di wilayah tersebut [5]. Oleh karena itu, keberadaan listrik di daerah pedesaan dan terpencil merupakan salah satu bentuk dorongan untuk meningkatkan produktivitas perekonomian [6]. Dalam mengatasi permasalahan sulitnya akses listrik tersebut, salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan memanfaatkan potensi sumber energi yang banyak terdapat di desa/wilayah. Salah satunya adalah air, pembuatan pembangkit listrik tenaga air *portable* menjadi salah satu yang bisa dijadikan solusi dalam mengatasi kesulitan akan akses listrik. Pembangkit listrik yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan teknologi yang sederhana dan mudah dibawa ke lokasi yang sulit dijangkau, kita sering menyebutnya sebagai pembangkit listrik mikrohidro [2] [4]. Salah satu komponen terpenting pada pembangkit listrik mikrohidro adalah turbin yang berfungsi sebagai poros penggerak generator atau alternator. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian terukur, pada penelitian ini dengan fokus pada sudut poros turbin ulir. Turbin ulir ini penting karena dapat menimbulkan efek dinamis yang lebih ringan saat memutar sudu-sudu turbin air, atau justru malah sebaliknya [7][8] [9].

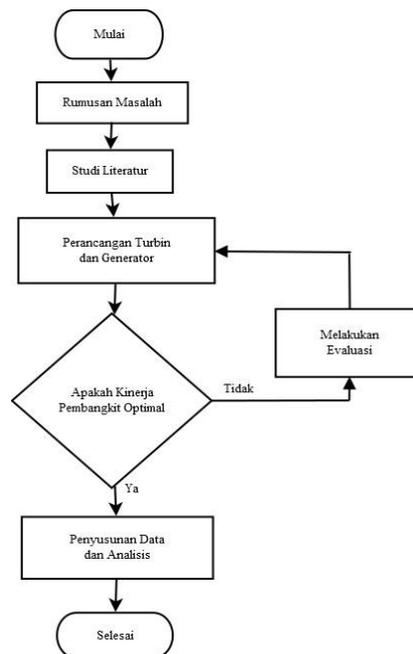
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengatasi permasalahan di daerah terisolir dalam sulitnya akses energi listrik. Permasalahan tersebut mengakibatkan berbagai dampak baik itu terhadap masyarakat maupun lingkungan daerah tersebut. Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti melakukan kajian dengan membuat pembangkit listrik mikrohidro yang diharapkan pembangkit listrik mikrohidro ini bisa menjadi solusi [10]. Untuk mendapatkan daya yang optimal, maka sistem pembangkit ini didesain sedemikian rupa sehingga meminimalisir kehilangan tekanan maksimal 10% dari *head bruto* [10][11]. Dalam suatu sistem pembangkit listrik dengan tenaga air, turbin air merupakan salah satu peralatan utama selain generator. Turbin air berfungsi mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang terjadi pada poros turbin ini kemudian akan memutar generator sehingga dari generator tersebut menghasilkan energi listrik [12][13]. Pemilihan turbin pada suatu pembangkit didasarkan pada beberapa pertimbangan antara lain *head* dari lokasi yang bersangkutan, daya yang ingin dibangkitkan, variasi debit air yang mengalir, serta kecepatan putaran turbin yang diinginkan untuk memutar generator *portable*, menguji dan menganalisis efisiensi poros turbin dalam aplikasi mikrohidro dengan model turbin ulir *portable* [14][15]. Untuk memastikan pembangkit listrik mikrohidro yang akan diterapkan perlu dilakukan pemodelan untuk memprediksi sesuatu yang paling mungkin terjadi serta meminimal kesalahan (selisih antara sesuatu yang telah terjadi dengan hasil perkiraan) [15].

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode analisis data secara kuantitatif dan analisis kinerja alat, yaitu dengan melakukan pengujian performansi turbin ulir dengan memvariasikan sudut kemiringan turbin terhadap *turbin screw*. Pengujian dilakukan tiap 1 jam dengan memperhatikan kapasitas/spesifikasi dari generator, untuk melihat debit air tiap jamnya dan pengaruhnya terhadap kinerja dari mikrohidro. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan *phyton* untuk mendapatkan efisiensi yang optimal dengan memvariasikan sudut kemiringan turbin.

2.1. Desain Penelitian

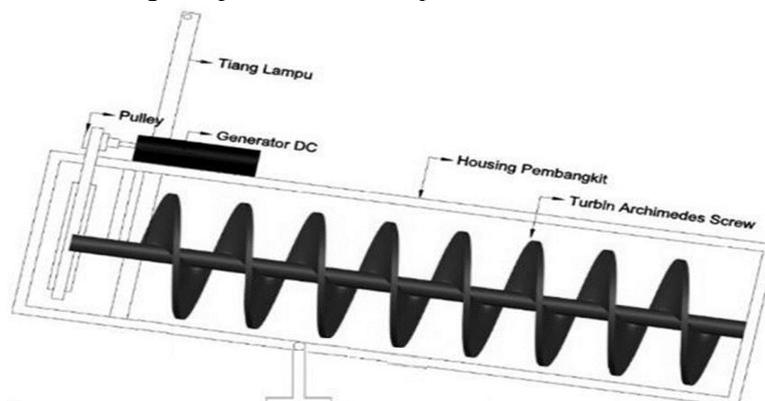
Desain penelitian yang dilakukan dilihat pada diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.2. Desain Penelitian

Alat pembangkit listrik tenaga air *portable* ini dibuat berdasarkan hasil perencanaan dan perancangan peneliti dengan memperhatikan berbagai aspek baik itu ukuran, kekuatan bahan yang digunakan, estetika maupun berbagai aspek lainnya. Hasil dari tahap pembuatan rancangan alat pembangkit listrik tenaga air *portable* terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain mikrohidro *portable*.

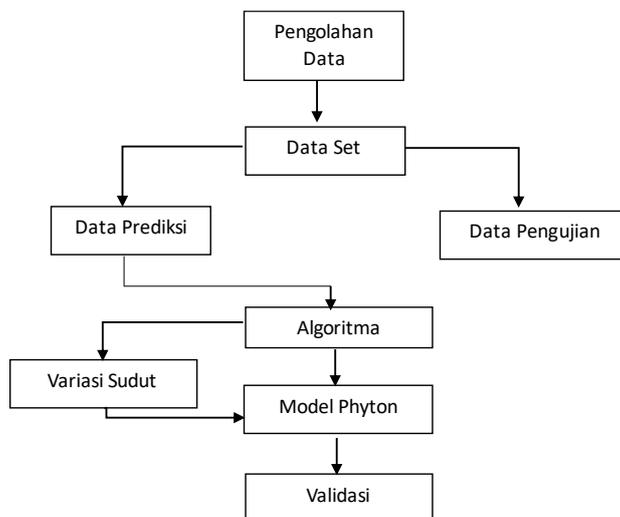
Hasil rancangan ini menggambarkan acuan untuk pembuatan. Desain memperhitungkan ukuran agar *portable* dan fungsional. Ukuran akhir adalah 30 cm x 15 cm dan berbentuk kotak galvanis. Alat ini bisa dibawa ke tempat dengan aliran air sungai yang cukup untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik.

2.3. Desain Pengujian dan Analisis

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu pengujian, pengumpulan data dan *preprocessing*. Pengujian alat dilakukan untuk melakukan pemeriksaan dan analisis pada kinerja alat tersebut. Pengujian ini mencakup dua aspek, yaitu pengujian hasil *output* generator tanpa menggunakan beban seperti lampu, dan pengujian hasil *output* generator ketika menggunakan beban. Tahap selanjutnya penelitian diimplementasikan ke dalam bentuk pemrograman *python* untuk mendapatkan prediksi efisiensi yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan menghitung nilai akurasi yang akan dihasilkan dari pemrograman, kemudian dibandingkan dengan keterangan hasil *dataset* yang didapat [6]. Nilai daya terbesar dari variasi sudut terhadap laju air tersebut dengan menggunakan persamaan (1):

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times H \quad (1)$$

Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan *Python*, untuk melihat sejauh mana akurasi yang dihasilkan dari pengujian yang telah dilakukan. Pemodelan daya turbin mikrohidro dengan *Python* merupakan cara yang efektif untuk mengilustrasikan hubungan antara berbagai parameter, seperti putaran turbin, tinggi jatuh, debit air, dan efisiensi sistem. Kerangka alur penelitian ini digambarkan pada Gambar 1. Model optimasi efisiensi yang akan dibangun dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur klasifikasi pemodelan dengan variasi sudut.

Adapun alur yang dibangun pada penelitian ini selanjutnya dilakukan variasi sudut dari data uji. Apabila nilai akurasi sudut yang dihasilkan terhadap besarnya efisiensi yang didapat mendekati 1 hasilnya dianggap baik. Apabila nilai akurasinya lebih rendah maka pengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan tidak saling berpengaruh.

3. Hasil dan Pembahasan

Peneliti terlebih dahulu melakukan pengukuran debit air pada sungai yang akan digunakan untuk menguji alat pembangkit listrik tenaga air portable. Setelah mendapatkan nilai debit air, peneliti melakukan pengambilan data besarnya nilai arus dan tegangan. Pengambilan data penelitian pada besar nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator diambil secara

bersamaan dengan melakukan variasi sudut kemiringan 20° secara konstan dengan 13 kali percobaan, sudut kemiringan kelipatan 5° , dan kenaikan sudut kemiringan tiap 3° . Adapun pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian dengan kemiringan 20° .

Data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan tiap 1 jam, didapatkan nilai debit air, dan putaran turbin. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan dua kondisi, yaitu dalam keadaan berbeban dan tidak berbeban sehingga didapatkan daya pada masing-masing kondisi pengujian dan efisiensi dari mikrohidro yang dibangun. Pengaturan kemiringan sudut 20° untuk mengetahui besar putaran yang dihasilkan. Pengujian tanpa beban dilakukan untuk mengetahui perbedaan tegangan sebelum dan setelah diberikan beban. Adapun data hasil pengujian yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian.

Waktu Pengujian	Pengujian Debit Air l/s	Putaran (rpm)	Tanpa Beban			Beban			Efisiensi %
			Tegangan (V)	Arus (A)	P (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	P (Watt)	
07.00	7,93	416,00	10,00	2,63	26,30	8,00	2,10	16,80	63,88
08.00	9,52	499,20	10,10	3,02	30,55	8,09	2,42	19,53	63,94
09.00	11,42	599,04	10,20	3,48	35,48	8,90	2,78	24,71	69,64
10.00	13,70	718,85	10,30	4,00	41,21	8,99	3,19	28,70	69,64
11.00	16,44	862,62	10,41	4,60	47,87	9,12	3,67	33,50	69,98
12.00	19,73	1035,14	10,51	5,29	55,60	9,27	4,22	39,14	70,40
13.00	21,71	1242,17	10,62	6,08	64,58	9,42	4,86	45,78	70,89
14.00	23,88	1490,60	10,72	7,00	75,01	9,59	5,59	53,59	71,45
15.00	26,26	1788,72	10,83	8,05	87,12	9,78	6,42	62,80	72,09
16.00	28,89	2146,47	10,94	9,25	101,19	9,97	7,39	73,63	72,76
17.00	31,78	2575,76	11,05	10,64	117,53	10,16	8,50	86,36	73,48
18.00	34,96	3090,91	11,16	12,24	136,51	10,37	9,77	101,30	74,20
19.00	38,45	3709,10	11,27	14,07	158,56	12,45	11,24	139,91	88,24

Berdasarkan data pada Tabel 1 didapatkan bahwa efisiensi hasil pengujian mikrohidro yang terbesar 88,24 %. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan *python* untuk melihat akurasi hasil pengujian dan prediksi dengan merubah sudut kemiringan turbin, serta melihat sejauh mana daya serta efisiensi yang dihasilkan. Hasil pemodelan dilakukan dengan sudut kemiringan 20° secara

konstan dengan 13 kali percobaan, sudut kemiringan kelipatan 5° , dan kenaikan sudut kemiringan tiap 3° . Proses *coding* dengan bahasa pemrograman *python* dapat dilihat pada Gambar 5.

```
# Definisikan variabel independen (X) dan dependen (y)
X = df[['Debit', 'Putaran', 'Tegangan Tanpa Beban', 'Arus Tanpa Beban', 'Watt Tanpa Beban', 'Tegangan Dengan Beban', 'Arus Dengan Beban', 'Watt Dengan Beban', 'Sudut Elevasi']]
y = df['Efisiensi']

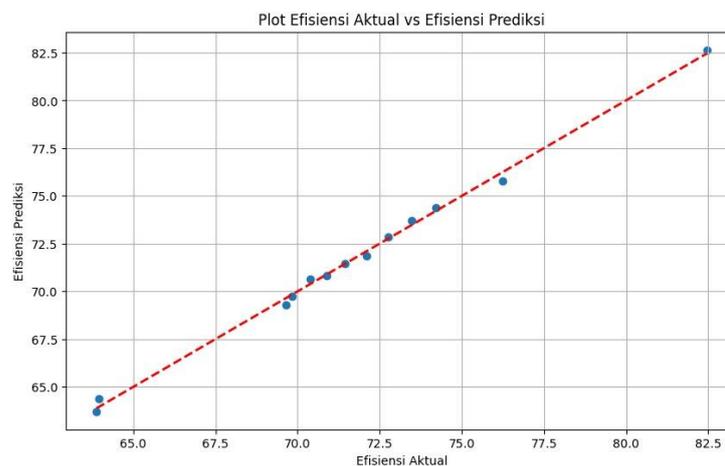
# Tambahkan konstanta (intercept) ke variabel independen
X = sm.add_constant(X)

# Buat model regresi dan fit data
model = sm.OLS(y, X).fit()

# Prediksi nilai efisiensi berdasarkan model regresi
predictions = model.predict(X)
```

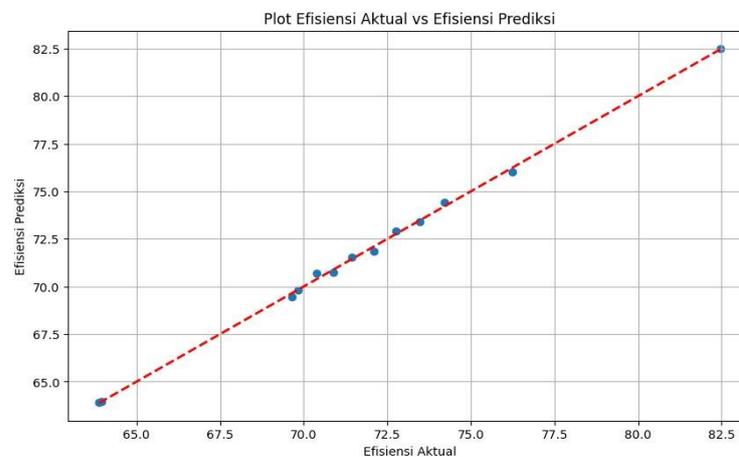
Gambar 5. Implementasi *python*.

Proses *dataset* yang telah dilakukan selanjutnya kemudian memasukkan persamaan yang digunakan. Kemudian ketika program di-*run*, didapatkan grafik efisiensi hasil prediksi dari pemodelan dengan memvariasikan sudut kemiringan untuk mendapatkan efisiensi terbaik. Hasil yang didapat dari pemodelan sudut kemiringan 20° ditunjukkan pada Gambar 6.



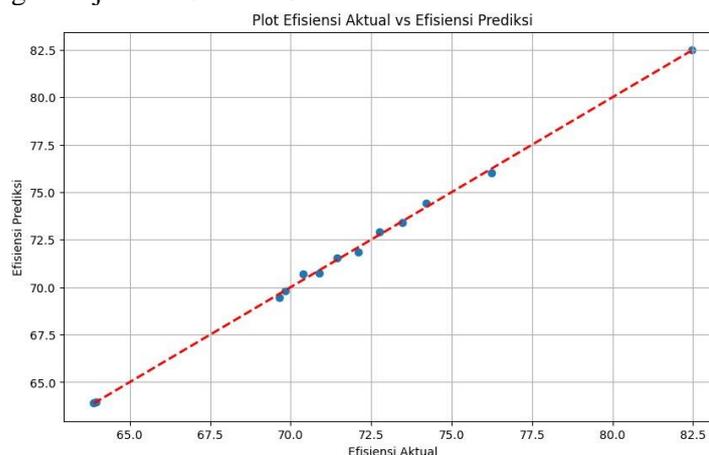
Gambar 6. Pemodelan efisiensi yang dihasilkan dengan sudut 20° .

Untuk pemodelan dengan sudut kemiringan mengalami kenaikan tiap 3° didapatkan hasil yang ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan efisiensi yang dihasilkan dengan sudut kenaikan tiap 3° .

Sedangkan untuk pemodelan dengan sudut kemiringan mengalami kenaikan kelipatan 5° didapatkan hasil yang ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan efisiensi yang dihasilkan dengan sudut kelipatan 5° .

Hasil efisiensi yang diperoleh antara aktual dan prediksi dengan memvariasikan sudut kemiringan pada 3 kali simulasi secara hasil menunjukkan pengaruh korelasi yang sangat kuat. Hal tersebut dapat dilihat dari besarnya nilai *R-squared* yang mendekati 1. Secara rinci hasil yang didapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil regresi.

Sudut Turbit	Nilai <i>R-squared</i>	Nilai <i>Adj. R-squared</i>	<i>Log- Likelihood</i>	<i>Skew</i>	<i>Kurtosis</i>
Sudut 20° konstan	0.997	0.992	-0.099178	0.241	2.235
Sudut kenaikan tiap 3°	0.999	0.995	4.9975	-0.144	1.997
Sudut kelipatan 5°	0.999	0.995	4.9975	-0.144	1.997

Dari hasil pemodelan dan hasil regresi pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa memvariasikan sudut kemiringan menggunakan metode kuantitatif korelasi dan menggunakan regresi memperoleh nilai $R = 0,995$ dengan menghasilkan daya keluaran yang optimal.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pemodelan menggunakan *python* mikrohidro *portable* untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan aliran air kecil, seperti sungai untuk mendapatkan hasil yang optimal. Tujuan utamanya dari penelitian ini adalah untuk mengukur pengaruh sudut kemiringan turbin terhadap kinerja dan efisiensi konversi energi. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan korelasi dan regresi. Pengujian dilakukan melalui pengukuran debit air, tegangan, dan arus pada berbagai sudut kemiringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimalisasi efisiensi poros turbin hasil konversi energi mencapai 88,24% dalam pengujian tiap 1 jam, dan sudut kemiringan optimal untuk kinerja terbaik adalah 20° . Pemodelan yang dihasilkan dengan variasi sudut menunjukkan akurasi tinggi, dengan nilai *Adj. R-squared* sebesar 0,995, yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara sudut turbin dan efisiensi yang dihasilkan.

Referensi

- [1] L. Agustine, A. Gunadhi, D. L. Antonia, W. A. Weliamto, P. R. Angka, R. Sitepu and A. F. Miyata, "Pemanfaatan energi terbarukan dalam upaya swasembada listrik di kawasan wisata edukasi pedesaan," *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMA)*, vol. 4, no. 3, pp. 451-464, 2021.
- [2] D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, Jakarta: Erlangga, 2005.

- [3] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power System 2nd Edition*, New York: Plenum Press, 1996.
- [4] M. Abid, Khalid, Kamran, Rasheed, Masood and T. Murtaza, "Design and optimization of the micro-hydro power system for remote areas of Pakistan," *International Journal of Smart Grid-ij SmartGrid*, vol. 4, no. 3, pp. 125-138, 2020.
- [5] K. ESDM, "Kenaikan harga bahan bakar," *Kompas*, Bandung, 2022.
- [6] M. A. Khattak, N. M. Ali, N. Z. Abidin, N. S. Azhar and M. H. Omar, "Common Type of Turbines in Power Plant: A Review," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 77-100, 2016.
- [7] J. Rohmer, D. Knittel, G. Sturtzer, D. Flieller and J. Renaud, "Modeling and experimental results of an archimedes screw," *Renewable Energy*, vol. 94, pp. 136-146, 2016.
- [8] C. Rosly, U. Jamaludin, N. Azahari, M. Mu'tasim, A. Oumer and N. Rao, "Parametric study on efficiency of archimedes screw turbine," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 18, pp. 10904-10908, 2016.
- [9] Y. Noori, A. Teymourash and B. Zafarmand, "Use of random vortex method in simulating non-newtonian fluid flow in a tjunction for various reynolds numbers and power-law indexes," *International Journal of Engineering, Transaction B; Applications*, vol. 35, no. 5, pp. 954-966, 2022.
- [10] O. Patty, *Tenaga Air*, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [11] A. Kadir, *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*, Jakarta: UI Edisi Ke 3/ Revisi, 2010.
- [12] A. Kadir, *Transformator*, Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 2010.
- [13] Rencana Umum Energi Nasional 2017, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-umum-energi-nasional-ruen.pdf>.
- [14] Samsurizal, A. Makkulau, M. Fikri, J. Haidi and H. Hestiawan, "Study of Designing Electrical Energy Plants With Feedback Method From Generator Output," *Eksergi*, vol. 18, no. 3, pp. 163-167, 2022.
- [15] Harma, S., & Sai'in. A, "Kajian Eksperimental pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 17 no. 1, pp. 95-102, 2022.