

## RANCANG BANGUN SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO MENGGUNAKAN *VARIABLE SPEED DRIVE* SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN PUTARAN

Oleh : Adeguna Ridlo Pramurti<sup>1</sup>, Daeng Supriyadi Pasisarha<sup>2</sup>, Juwarta<sup>3</sup>, Fariz Saefullah Rasyid<sup>4</sup>, Lintang Rifqi Cahyanuddin<sup>5</sup>, Mila Rosantia<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Jurusan Teknik Elektro Polines  
Jl. Prof. Sudarto Tembalang Semarang 50271  
[adegunapramurti@polines.ac.id](mailto:adegunapramurti@polines.ac.id)

### Abstrak

*Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) potensial digunakan sebagai pembangkit listrik terbarukan yang dapat dimanfaatkan oleh pengguna listrik skala rumah tangga maupun UMKM. PLTPH memiliki keterbatasan dikarenakan debit aliran air pada sungai yang fluktuatif. Tujuan penelitian ini adalah merancang simulator PLTPH dan menganalisis potensi daya yang dapat dibangkitkan. Penelitian ini menggunakan pompa booster untuk menambah debit aliran sebagai penggerak turbin. Motor listrik tiga fasa digunakan untuk menambah putaran turbin pada simulator PLTPH. Sumber energi listrik dari PLN digunakan untuk mensuplai daya pompa booster dan motor listrik tiga fasa pada simulator. Penelitian ini mengusulkan penggunaan variable speed drive (VSD) untuk mengendalikan kecepatan putaran pompa booster dan motor listrik. Pengujian simulator PLTPH menunjukkan bahwa frekuensi VSD berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor, turbin, dan generator. Kecepatan putaran maksimal generator sebesar 3432 rpm. Potensi debit aliran yang dihasilkan adalah 64,8 lpm dan potensi daya yang dapat dibangkitkan sebesar 15,08 W.*

**Kata kunci :** *Pembangkit listrik tenaga pikohidro, PLC, turbin, SCADA, variable speed drive*

### Abstract

*Picohydro power plants (PLTPH) have the potential to be used as renewable energy that can be utilized by household customers and UMKM. PLTPH has problems due to fluctuating river or channel water flows. The aim of this research is to design a PLTPH simulator and analyze the potential power that can be generated. This research uses a booster pump to increase the flow rate to drive the turbine. A three-phase electric motor is used to increase the turbine rotation in the PLTPH simulator. Electrical energy sources from PLN are used to supply power to the booster pump and three-phase electric motor in the simulator. This research proposes the use of a variable speed drive (VSD) to control the rotation speed of booster pumps and electric motors. PLTPH simulator testing shows that the VSD frequency is directly proportional to the rotation speed of the motor, turbine and generator. The maximum rotation speed of the generator is 3432 rpm. The potential flow rate produced is 64,8 lpm and the potential power that can be generated is 15,08 W*

**Keywords :** *PLC, picohydro power plant, turbine, SCADA, variable speed drive*

## 1. Pendahuluan

Energi listrik adalah kebutuhan dasar di dunia modern (Lenzen, 2010). Di Indonesia, pembangkitan energi listrik masih didominasi oleh sumber energi fosil (Setyono, 2021). Ekstraksi bahan bakar fosil dapat berdampak secara langsung pada lingkungan. Jika pemanfaatan bahan bakar fosil tidak diminimalkan, keseimbangan lingkungan akan terancam (Molla et al., 2024; Shamooun et al., 2022). Pemanfaatan sumber energi terbarukan adalah solusi dari masalah tersebut (Rahman et al., 2022).

Ada beberapa sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia (Halimatussadiyah et al., 2020; Langer et al., 2021; Paundra & Nurdin, 2022). Sumber energi air adalah salah satunya. Potensi sumber energi air di Indonesia bisa mencapai 94 GW, tetapi baru sekitar 6% yang dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik (Taufiqurrahman & Windarta, 2020).

Investasi awal pembangkit listrik tenaga air membutuhkan biaya yang besar sehingga menjadi masalah dalam pengembangannya (Ismail & Supriono, 2013). Besarnya daya yang dibangkitkan berbanding lurus dengan biaya konstruksi dan investasi awal yang dibutuhkan (Zakir et al., 2019). Pembangkit listrik tenaga air dikategorikan berdasarkan skala daya yang dibangkitkan. Salah satu jenisnya adalah pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) yang merupakan pembangkit listrik tenaga air dengan daya keluaran yang paling rendah, yaitu kurang dari 5 MW (Tkáč, 2018). PLTPH potensial digunakan sebagai pembangkit listrik terbarukan yang dapat dimanfaatkan oleh pelanggan rumah tangga maupun UMKM. Namun, PLTPH memiliki keterbatasan dikarenakan debit aliran air pada sungai yang fluktuatif (Badrus Soleh et al., 2020; Bandri et al., 2021; Mufidah et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan merancang simulator PLTPH dan menganalisis potensi daya yang dapat dibangkitkan. Potensi daya keluaran yang dihasilkan oleh PLTPH salah

satunya dipengaruhi oleh debit aliran saluran (Marwani et al., 2021a). Simulasi untuk menciptakan debit aliran saluran di penelitian ini adalah mengalirkan air dari tandon menuju turbin. Penelitian ini menggunakan pompa *booster* untuk menambah debit aliran sebagai penggerak turbin. Motor listrik tiga fasa digunakan untuk menambah putaran turbin pada simulator PLTPH. Sumber energi listrik dari PLN digunakan untuk mensuplai daya pompa *booster* dan motor listrik tiga fasa pada simulator.

Kecepatan putaran turbin dan generator berbanding lurus dengan besarnya daya yang dibangkitkan (Marwani et al., 2021b). Kecepatan putaran turbin pada simulator PLTPH dipengaruhi oleh debit aliran dari pompa *booster* dan kecepatan putaran motor listrik. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *variable speed drive* (VSD) diaplikasikan untuk mengendalikan putaran motor listrik (Aripriharta, 2023; Ramadhan et al., 2022; Tanjung, 2018). Penelitian ini mengusulkan penggunaan VSD untuk mengendalikan kecepatan putaran pompa *booster* dan motor listrik.

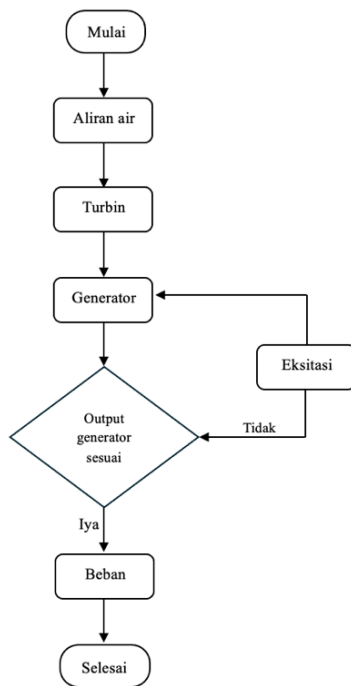
## 2. Metode

Penelitian ini terdiri dari rancangan simulator PLTPH dan analisis potensi debit air dan daya output generator yang mampu dibangkitkan oleh sistem. PLTPH digunakan untuk membangkitkan generator tanpa beban dan dengan beban lampu pijar 10 W. Penelitian ini meliputi perancangan sistem dan pengujian PLTPH. Perancangan sistem meliputi, perancangan simulator PLTPH, perancangan sistem kendali menggunakan PLC, dan perancangan sistem pemantauan berbasis SCADA. Pengujian dilakukan dengan mengatur frekuensi VSD sebagai frekuensi masukan untuk mengetahui nilai debit air, kecepatan putaran turbin, kecepatan putaran generator, kecepatan putaran motor, dan daya keluaran generator.

$$Q = V/t \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan hubungan debit aliran ( $Q$ ), volume aliran ( $V$ ), dan waktu ( $t$ ). Debit aliran satuannya adalah meter kubik per detik, dapat juga dinyatakan sebagai liter per menit (lpm). Debit aliran didefinisikan sebagai besarnya aliran air per meter kubik yang mengalir di suatu saluran per satuan detik (Singh, 2017). Potensi daya listrik yang dibangkitkan ditunjukkan pada Persamaan (2). Hal ini dipengaruhi oleh debit aliran ( $Q$ ), efisiensi peralatan ( $\eta$ ), percepatan gravitasi ( $g$ ), tinggi jatuhnya air ( $h$ ), dan massa jenis air ( $\rho$ ) (Ramos, 1999). Diagram alir proses pembangkitan energi listrik ditunjukkan pada Gambar 1.

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



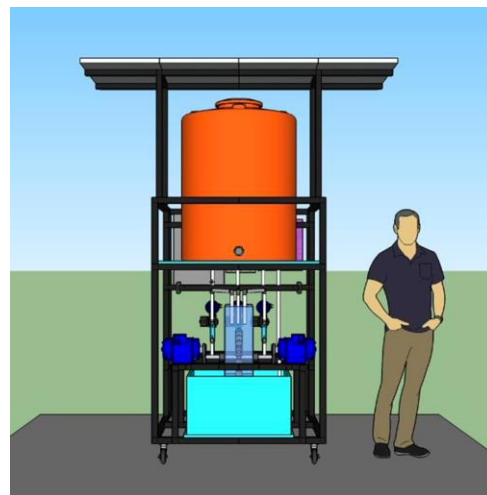
Gambar 1. Diagram alir cara kerja PLTPH

### 2.1. Perancangan Simulator PLTPH

Desain simulator PLTPH ditunjukkan pada Gambar 2. Tandon digunakan untuk penampungan air. Tinggi jatuhnya air tandon adalah 1,5 m dan diposisikan di bagian atas untuk menghasilkan energi potensial. Pompa booster digunakan untuk menghasilkan aliran air pada simulator PLTPH. Aliran air digunakan untuk memutar turbin. Motor listrik tiga fasa dengan sumber PLN digunakan untuk menambah putaran turbin ketika diperlukan. Turbin dikopel dengan

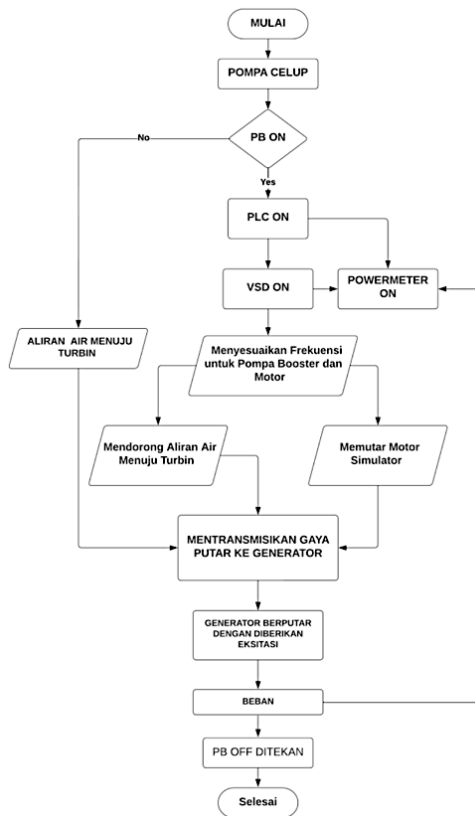
generator, dan energi listrik dihasilkan dari konversi energi oleh generator. Hasil konversi energi digunakan untuk mensuplai kebutuhan beban.

Air yang telah jatuh ke bak penampungan dikembalikan lagi ke tandon atas. Pompa *submersible* digunakan untuk untuk mendorong atau mensuplai air dari bak penampungan menuju ke tandon. Pompa *submersible* bekerja secara otomatis menggunakan *floating switch* sebagai masukan. Pompa *submersible* akan beroperasi pada saat volume air pada bak penampungan mencapai batas tertentu. Saat air telah kembali ke tandon, air dapat digunakan kembali untuk memutar turbin.



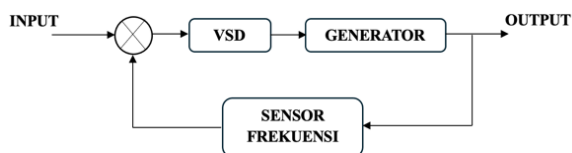
Gambar 2. Desain simulator PLTPH

Diagram alir simulator PLTPH ditunjukkan Gambar 3. Penelitian ini menggunakan PLC sebagai pengontrol sistem yang akan dioperasikan. VSD digunakan untuk mengendalikan pompa *booster* untuk memompa air dari bak atas ke turbin. Air akan terjun dari bak atas menuju turbin. Turbin mentransmisikan gaya putar pada generator melalui *pulley*. Motor digunakan untuk memberikan tambahan kecepatan putaran pada turbin. Perbandingan rasio *pulley* antara motor dan turbin adalah 5:8. Perbandingan rasio *pulley* antara turbin dan generator adalah 4:1.



Gambar 3. Diagram alir simulator PLTPH

Diagram blok sistem kendali PLTPH ditunjukkan pada Gambar 4. Pengaturan frekuensi pada VSD digunakan untuk mengendalikan pompa *booster* dan motor listrik 3 fasa. Standar frekuensi menurut SPLN adalah 49,5 – 50,5 Hz (Purwanto et al., 2013). Jika frekuensi keluaran dari generator di bawah nilai standar, sensor frekuensi pada VSD akan merespon dan menaikkan tegangan pada motor sehingga kecepatan putarannya bertambah. Sebaliknya, jika frekuensi keluaran generator melebihi nilai standar, tegangan motor akan diturunkan. VSD yang digunakan pada penelitian ini adalah VSD ATV12H075M2.



Gambar 4. Diagram blok sistem kendali PLTPH

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi generator yang digunakan pada penelitian ini. Generator mengkonversi energi mekanik

menjadi energi listrik. Energi listrik dihasilkan dari adanya induksi elektromagnetik karena putaran rotor terhadap stator. Putaran tersebut tegak lurus terhadap garis fluks (Eismin, 2019).

Tabel 1. Spesifikasi Generator

Spesifikasi Generator	
Jenis	PSW
Daya keluaran (W)	150
Frekuensi (Hz)	50
Tegangan (V)	220
Jumlah kutub	2
Kecepatan putaran (rpm)	3000

Tabel 2 menunjukkan spesifikasi turbin yang digunakan pada rancangan simulator PLTPH. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin pelton. Turbin pelton memanfaatkan energi kinetik dari jatuhnya air (Solemslie & Dahlhaug, 2014).

Tabel 2. Spesifikasi Turbin

Spesifikasi Turbin	
Jenis	Pelton
Diameter runner (cm)	32
Jumlah sudu	20 sudu, sudut 18°
Tebal sudu	1,4

Tabel 3 menunjukkan spesifikasi pompa *booster* dan pompa *submersible*. Pompa *booster* yang digunakan memiliki spesifikasi arus maksimal 0,5 A. Pompa *booster* difungsikan sebagai pompa pendorong. Pompa *submersible* digunakan sebagai pompa penghisap.

Tabel 3. Spesifikasi Pompa *Booster* dan Pompa *Submersible*

Spesifikasi Pompa <i>Booster</i>	
Merk	Wasser pump
Tipe	PB-60EA
Arus maksimal (A)	0,5
Pipa <i>input</i> (inch)	0,75
Pipa <i>output</i> (inch)	0,75
Dimensi (p x l x t) (mm)	175 x 130 x 160
Massa (kg)	3
Spesifikasi Pompa <i>Submersible</i>	
Merk	Wasser pump
Tipe	WD-200EA
Arus maksimal (A)	1,4
Kapasitas (lpm)	141, 96, 33
Dimensi (p x l x t) (mm)	190 x 145 x 320
Diamter pipa (inch)	1,25
Massa (kg)	5

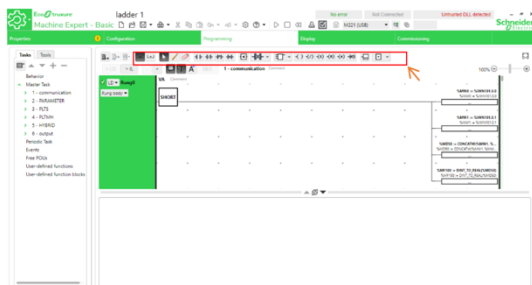
Spesifikasi motor listrik 3 fasa yang digunakan pada simulator PLTPH ditunjukkan pada Tabel 4. Kecepatan motor listrik yang tertulis di *name plate* adalah 1380 rpm. Motor listrik menggunakan prinsip induksi magnetik. Bagian rotor berputar dengan kecepatan konstan dan berbanding lurus dengan frekuensi masukan (Bird & Chivers, 1993; Shultz, 2012).

Tabel 4. Spesifikasi Motor Listrik 3 Fasa

Spesifikasi Motor Listrik 3 Fasa	
Merk	ADK
Jenis	FL-71B-4
Kecepatan putaran (rpm)	1380
Tegangan (V)	220/380
Frekuensi (Hz)	50
Daya	33
Diameter pipa (inch)	1,25
Daya pancar (m)	7

## 2.2. Perancangan Sistem Kendali

Penelitian ini menggunakan PLC Modicon TM221CE24T sebagai sistem kendalian. Rancangan ladder diagram menggunakan perangkat lunak EcoStruxure Machine Expert Basic V1.2 SP1. Pemograman ladder diagram adalah untuk mengatur kinerja keseluruhan sistem yang terdiri dari beberapa peralatan yang digunakan. Tampilan ladder diagram di perangkat lunak EcoStruxure Machine Expert Basic V1.2 SP1 ditunjukkan pada Gambar 4. Panah berwarna merah menunjukkan tools yang tersedia untuk membuat rancangan ladder diagram. Alamat input dan output program ditunjukkan pada Tabel 5.



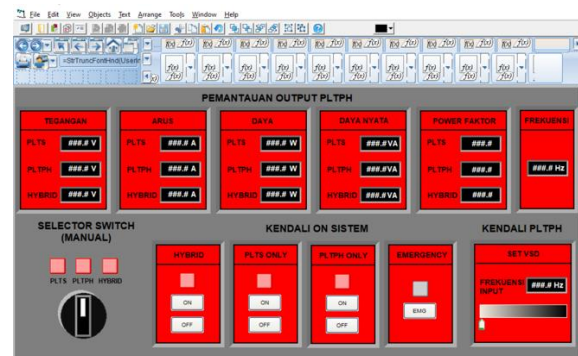
Gambar 4. Tampilan ladder diagram di perangkat lunak EcoStruxure Machine Expert Basic V1.2 SP1

Tabel 5. Alamat I/O Program

Alamat I/O Program	
I/O	Fungsi
%M11	Mode sistem PLTPH
%M121	On PLTPH
%M151	Off PLTPH
%M161	Indikator PLTPH
%M163	Indikator Emergency
%M170	Emergency
%MW152	Voltmeter
%MW158	Amperemeter

## 2.3 Perancangan SCADA

Penelitian ini menggunakan Vijeo Citect 7.20 sebagai perangkat lunak yang digunakan untuk membuat program SCADA. Rancangan SCADA digunakan untuk memantau dan mengontrol peralatan yang digunakan. Gambar 7 menunjukkan tampilan layar dari *layout pages* rancangan SCADA pada penelitian ini.



Gambar 7. Tampilan layar dari layout pages SCADA

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian meliputi pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban lampu pijar 10 W. Gambar 8 menunjukkan konstruksi simulator PLTPH.





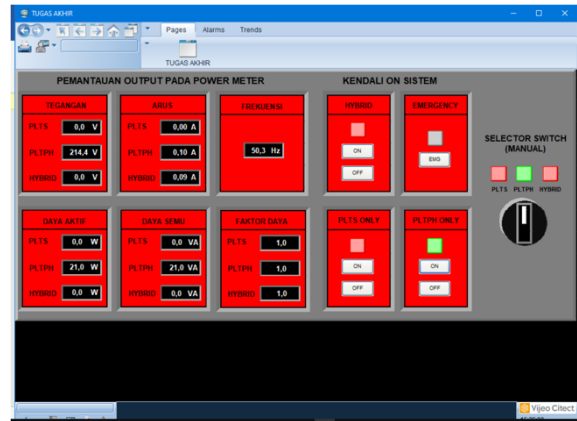
Gambar 8. Desain konstruksi simulator PLTPH

### 3.1. Hasil Pengujian Tanpa Beban

Hasil pengujian tanpa beban meliputi pengujian kecepatan putaran dan keluaran generator. Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian kecepatan putaran yang meliputi parameter frekuensi, kecepatan putaran motor, turbin, dan generator tanpa beban. Pengukuran kecepatan putaran menggunakan tachometer.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kecepatan Putaran Tanpa Beban

Frekuensi VSD (Hz)	Frekuensi Power meter (Hz)	Kecepatan Putaran (rpm)		
		Motor	Turbin	Generator
15	16,6	361,6	226	904
20	22,06	524	327,5	1310
25	28,5	553,9	346,2	1384,8
30	34,93	757	473,3	1893,2
35	41,36	846,4	529	2116
40	47,6	1059	662	2648
42	50	1163,2	727	2908
45	54,06	1193	745,9	2983
50	60,38	1372,8	858	3432



Gambar 9. Hasil pembacaan SCADA

Tabel 6 menunjukkan bahwa makin besar frekuensi masukan (VSD) akan menambah kecepatan putaran motor, turbin, dan generator. Hal ini dikarenakan besarnya kecepatan putaran berbanding lurus dengan frekuensi masukan. Perbedaan kecepatan putaran motor, turbin, dan generator disebabkan adanya perbedaan rasio *pulley*. Kecepatan putaran motor adalah 1,6 kali kecepatan putaran turbin dan kecepatan putaran pada generator adalah 4 kali kecepatan putaran turbin. Perbedaan selisih kecepatan motor, turbin, dan generator dikarenakan adanya perbedaan rasio *pulley* di antara ketiganya.

Tabel 8. Hasil Pengujian Keluaran Generator Tanpa Beban

Frekuensi VSD (Hz)	Debit Air (lpm)	Keluaran Generator		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)
15	24	68,5	0	16,6
20	36,6	97,15	0	22,06
25	45,6	125,5	0	28,5
30	55,2	153,7	0	34,93
35	61,8	181,4	0,015	41,36
40	68,4	208,1	0,18	47,6
42	74,4	218	0,019	50
45	78	234,3	0,020	54,06
50	81	263,7	0,021	60,38

Gambar 9 menunjukkan hasil pembacaan melalui SCADA. Hasil pengujian keluaran generator ditunjukkan Tabel 7 dan Tabel 8. Data hasil pengujian meliputi debit air, tegangan keluaran, arus, dan frekuensi ditunjukkan Tabel 7. Tegangan generator sebesar 218 – 234,3 V dicapai pada saat frekuensi VSD 42 – 45 Hz.

Frekuensi generator tepat menunjukkan 50 Hz pada saat frekuensi VSD 42 Hz. Debit aliran maksimal adalah 81 lpm.

Hasil pengujian daya keluaran generator ditunjukkan Tabel 8. Terdapat tiga parameter daya, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Nilai daya aktif dan daya semu adalah sama. Daya keluaran yang dihasilkan PLTPH adalah karena pembebanan dari saluran instalasi.

Tabel 8. Hasil Pengujian Daya Keluaran Generator Tanpa Beban

Frekuensi VSD (Hz)	Debit Air (lpm)	Daya Output Generator		
		Daya aktif (W)	Daya reaktif (VAR)	Daya semu (VA)
15	24	0	0	0
20	36,6	0	0	0
25	45,6	0	0	0
30	55,2	0	0	0
35	61,8	0	0	0
40	68,4	3	0	3
42	74,4	3	0	3
45	78	4	0	4
50	81	5	1	5

### 3.2 Hasil Pengujian Berbeban

Beban yang digunakan pada pengujian adalah lampu pijar 10 W ditunjukkan Tabel 9. Hasil pengujian berbeban meliputi kecepatan putaran dan keluaran generator. Tabel 10 menunjukkan hasil pengujian kecepatan putaran motor, turbin, dan generator dengan beban lampu pijar 10 W. Kecepatan putaran pada pengujian berbeban dan tanpa beban menunjukkan hasil yang hamper sama. Kecepatan putaran ini dipengaruhi oleh frekuensi masukan dari VSD, sedangkan perbedaan kecepatan putaran motor, turbin, dan generator dipengaruhi oleh rasio *pulley*.

Tabel 9. Hasil Pengujian Kecepatan Putaran dengan Beban Lampu Pijar 10 W

Frekuensi VSD (Hz)	Frekuensi Power meter (Hz)	Kecepatan Putaran (rpm)		
		Motor	Turbin	Generator
15	16,6	360,8	225,5	902
20	22,06	525,1	328,2	1312,8
25	28,9	551,2	344,5	1378
30	35	754,4	471,5	1886
35	41	848,6	530,4	2121,6

Frekuensi VSD (Hz)	Frekuensi Power meter (Hz)	Kecepatan Putaran (rpm)		
		Motor	Turbin	Generator
40	46,5	1060,8	663	2652
42	50	1161,8	726,1	2904,4
45	52,3	1193,3	745,8	2983,2
50	58	1368	855	3432

Tabel 10 menunjukkan bahwa pada saat frekuensi VSD pada rentang 15 – 35 Hz, nilai arus adalah 0 A, artinya tidak arus yang mengalir ke sistem atau pun beban. Arus terdeteksi saat VSD beroperasi pada rentang frekuensi 40 – 45 Hz. Hal ini disebabkan oleh frekuensi yang dihasilkan generator pada kisaran 50 Hz dapat dicapai saat frekuensi VSD 40 – 45 Hz. Kedipan lampu pijar 10 W dengan frekuensi rendah dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada mata. Ketika frekuensi VSD sebesar 50 Hz, terjadi penurunan arus menjadi 0,02 Ampere yang menyebabkan beban tidak menyala. Beban *off* Ketika frekuensi masukan kurang dari 40 Hz dan lebih dari 45 Hz. Kecepatan putaran generator adalah 3420 rpm, tegangan sebesar 211,3 V, dan menghasilkan frekuensi keluaran sebesar 50 Hz pada saat frekuensi masukan sebesar 42 Hz.

Tabel 10. Hasil Pengujian Keluaran Generator Berbeban

Frekuensi VSD (Hz)	Debit Air (lpm)	Keluaran Generator		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)
15	30	69,6	0	16,6
20	37,8	98	0	22,06
25	42,6	126	0	28,5
30	51	154	0	34,93
35	57	180	0	41,36
40	61,8	194	0,09	47,6
42	64,8	211,3	0,1	50
45	67,8	216	0,1	54,06
50	68,4	250	0,02	60,38

Pengujian daya keluaran generator dengan beban lampu pijar 10 W ditunjukkan Tabel 11. Terdapat tiga parameter daya, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Daya aktif dan daya semu menunjukkan kenaikan nilai yang signifikan pada saat frekuensi VSD sebesar 40 – 45 Hz.

Tabel 11. Hasil Pengujian Daya Keluaran Generator Berbeban

Frekuensi VSD (Hz)	Debit Air (lpm)	Daya Output Generator		
		Daya aktif (W)	Daya reaktif (VAR)	Daya semu (VA)
15	30	0	0	0
20	37,8	0	0	0
25	42,6	0	0	0
30	51	0	0	0
35	57	0	0	0
40	61,8	17	0	17
42	64,8	21	0	21
45	67,8	21	0	21
50	68,4	5	0	4

Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan bahwa tegangan sebesar 211,3 V, arus sebesar 0,1 A, frekuensi sebesar 50 Hz, dan daya aktif sebesar 21 W pada frekuensi masukan 42 Hz. Frekuensi input dan debit air berbanding lurus dengan keluaran generator. Daya keluaran mulai ada pada frekuensi masukan sebesar 40 Hz. Ketika frekuensi masukan pada set point 50 Hz, daya yang dihasilkan sebesar 4 W dengan tegangan sebesar 250 V dan frekuensi keluaran sebesar 58 Hz.

Berdasarkan Persamaan (2) dan data pada Tabel 11, potensi daya yang dapat dibangkitkan adalah 15,08 W. Nilai tersebut mengacu pada debit aliran 64,8 lpm dan frekuensi output sebesar 50 Hz. Daya tersebut dapat tercapai dikarenakan adanya tambahan putaran dari motor listrik. Pada PLTPH yang sebenarnya, putaran turbin hanya mengandalkan debit aliran saluran.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan rancangan dan hasil pengujian simulator PLTPH, didapatkan bahwa:

- Frekuensi VSD berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor, turbin, dan generator. Pada kondisi tanpa beban dan berbeban, kecepatan putaran maksimal generator sebesar 3432 rpm dapat tercapai saat frekuensi VSD sebesar 50 Hz.
- Simulator PLTPH dapat membangkitkan beban lampu pijar 10 W pada rentang

- frekuensi masukan sebesar 40 – 45 Hz. Beban lampu akan menyala pada saat frekuensi generator mencapai nilai 50 Hz.
- Debit aliran yang dihasilkan adalah 64,8 lpm dan potensi daya yang dapat dibangkitkan sebesar 15,08 W.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aripriharta, A. (2023). Perancangan Kendali Motor Induksi Menggunakan Variable Speed Drive. *Journal Kajian Teknik Elektro*, 8(1), 1–6.
- Badrus Soleh, A., Supriyanto, A., Ahmad Pauzi, G., & Arif Surtono, dan. (2020). Analisis Potensi Energi Listrik Piko hidro dari Sumber Air Pegunungan Serta Upaya Peningkatan Daya Listrik dengan Memanfaatkan Rangkaian Joule Thief. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 1(3), 91–102. <https://doi.org/10.23960/JEMIT.V1I3.32>
- Bandri, S., Premadi, A., & Andari, R. (2021). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Pico hidro (PLTPH) Rumah Tangga. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 21(1).
- Bird, J. O., & Chivers, P. J. (1993). *Newnes engineering and physical science pocket book*. Newnes. <http://www.sciencedirect.com/5070/book/9780750616836/newnes-engineering-and-physical-science-pocket-book>
- Eismin, T. K. (2019). *Aircraft Electricity and Electronics*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260108217>
- Halimatussadiyah, A., Amanda Siregar, A., & Farah Maulia, R. (2020). *Unlocking Renewable Energy Potential in Indonesia: Assessment on Project Viability*. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2020/01/10/>



- Ismail, & Supriono. (2013). Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun (Desa Meragun, Kec. Nanga Taman, Kab. Sekadau). *Jurnal ELKHA*, 5(1).
- Langer, J., Quist, J., Blok, K., Ulgiati, S., Schnitzer, H., & Santagata, R. (2021). Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System. *Energies 2021, Vol. 14, Page 7033, 14(21), 7033*. <https://doi.org/10.3390/EN14217033>
- Lenzen, M. (2010). Current State of Development of Electricity-Generating Technologies: A Literature Review. *Energies 2010, Vol. 3, Pages 462-591, 3(3), 462–591*. <https://doi.org/10.3390/EN3030462>
- Marwani, M., Kadir, M. Z., & Putra, R. E. (2021a). Investigation Performance of Pico Hydro Water Pipe Turbine. *Indonesian Journal of Engineering and Science*, 2(3), 051–058. <https://doi.org/10.51630/ijes.v2i3.27>
- Molla, S., Farrok, O., & Alam, M. J. (2024). Electrical energy and the environment: Prospects and upcoming challenges of the World's top leading countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114177. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2023.114177>
- Mufidah, Albetris, & Johar, L. W. (2021). Efisiensi Pakan dengan Pembangkit Listrik Pico Hydro dan Digitalisasi Pemasaran di Desa Lopak Alai. *ABDIMAS EKODIKSOSIORA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Ekonomi, Pendidikan, Dan Sosial Humaniora (e-ISSN: 2809-3917)*, 1(1), 74–80. <https://doi.org/10.37859/ABDIMASEKODIKSOSIORA.V1I1.3352>
- Paundra, F., & Nurdin, A. (2022). STUDY OF THE POTENTIAL AND DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY POWER IN INDONESIA : A REVIEW. In *Technology, Education And Mechanical Engineering* (Vol. 10, Issue 2).
- Purwanto, S. A., Suyono, H., & Hasanah, R. N. (2013). Strategi Interkoneksi Suplai Daya 2 Pembangkit di PT Ajinomoto Indonesia, Mojokerto Factory. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 1(1). <http://elektro.studentjournal.ub.ac.id/index.php/teub/article/view/28>
- Rahman, A., Farrok, O., & Haque, M. M. (2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112279. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112279>
- Ramadhan, B. N., Pratama, D. A., & Rasyad, S. (2022). Analysis Control Speed Of Frequency Changes In Three Phase Induction Motor Based On VSD. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, 2(2), 70–77. <https://doi.org/10.57152/IJEERE.V2I2.395>
- Ramos, H. (1999). *Guidelines for Design of Small Hydropower Plants*. Western Reg. Energy Agency & Network. [https://books.google.co.id/books/about/Guidelines\\_for\\_Design\\_of\\_Small\\_Hydropowe.html?id=kBRt0AEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.co.id/books/about/Guidelines_for_Design_of_Small_Hydropowe.html?id=kBRt0AEACAAJ&redir_esc=y)
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>

- Shamoon, A., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Bala Garg, S., Chandmal Sharma, R., & Garg, J. (2022). Environmental impact of energy production and extraction of materials - a review. *Materials Today: Proceedings*, 57, 936–941.  
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.03.159>
- Shultz, G. P. (2012). Transformers and motors: A single-source reference for electricians. *Transformers and Motors: A Single-Source Reference for Electricians*, 1–320.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051958-6.50001-9>
- Solemslie, B. W., & Dahlhaug, O. G. (2014). A reference pelton turbine - Design and efficiency measurements. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 22.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/22/1/012004>
- Tanjung, A. (2018). ANALISIS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE (VSD). *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, 2(2), 52–59.
- Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 124–132.  
<https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10036>
- Tkáč, Š. (2018). Hydro power plants, an overview of the current types and technology. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 13(s1), 115–126.  
<https://doi.org/10.1515/SSPJCE-2018-0011>
- Singh, V. P. (2017). Handbook of Applied Hydrology, Second Edition. In *Chow's Handbook of Applied Hydrology* (Issue November). McGraw-Hill Education.  
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071835091>
- Zakir, L. M. H., Windarta, J., Saptadi, S., & Rinaldo, D. (2019). Analysis of planning for utilization of East Borneo hydro power with techno economy principle. *AIP Conference Proceedings*, 2202(1).  
<https://doi.org/10.1063/1.5141729/962446>