

Simulasi PLTMH Rimba Lestari Desa Gunung Halu dengan Simulink

1st Inne Rineko Putri

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

innerinekoputri@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Kharisma Bani Adam

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

kharismaadam@telkomuniversity.ac.id

3rd Bandiyah Sri Aprillia

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

bandiyah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Listrik menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari, baik di rumah tangga maupun industri. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik secara berkelanjutan, dikembangkan pembangkit listrik menggunakan sumber energi terbarukan seperti air, surya, *biofuel*, biomassa, *geothermal*, angin, dan gelombang laut. Teknologi mikro hidro, contohnya PLTMH Rimba Lestari di Desa Tangsin Jaya, Jawa Barat, memanfaatkan energi mekanik air untuk menghasilkan listrik. Simulasi PLTMH menggunakan Matlab/Simulink digunakan sebagai representasi cara kerja sebenarnya dari sistem tersebut. PLTMH Gunung Halu dengan spesifikasi turbin *crossflow* dan generator sinkron 3 fasa, menggunakan sungai Ciputri dengan debit air 0,4 m³/s dan *head* 8 meter. Simulasi menghasilkan keluaran daya, tegangan, arus, dan kecepatan rotor, serta mengukur pengaruh beban elektronika terhadap gelombang daya.

Kata kunci— PLTMH, simulasi, simulink

I. PENDAHULUAN

Energi listrik dimanfaatkan untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Pemanfaatan listrik dalam kehidupan sehari-hari diantaranya kegiatan rumah tangga, kegiatan industri, dan sebagainya. Kegiatan dengan memanfaatkan energi listrik mengharuskan ketersediaan energi listrik selalu terpenuhi. Salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut dengan membangun pembangkit listrik menggunakan energi terbarukan, seperti energi air, energi surya, energi *biofuel*, energi biomassa, energi *geothermal*, energi angin, dan energi gelombang laut

Teknologi mikro hidro memanfaatkan energi mekanik air yang terdapat di lokasi setempat untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan listrik[1]. Energi listrik yang dihasilkan dari PLTMH berkisar 5kW sampai dengan 100kW per unit.[2].

Di Dusun Tangsin Jaya, Desa Gunung Halu, Bandung barat, Jawa Barat karena topografi yang berbukit-bukit dan berada disekitaran hutan membuat dusun tersebut sulit mendapat akses listrik dari PLN. Desa Gunung Halu memanfaatkan potensi air sebagai sumber pembangkit listrik dengan jumlah debit air sebesar 400 L/s yang dapat menerangi 80 rumah, 3 masjid, dan 1 sekolah. PLTMH

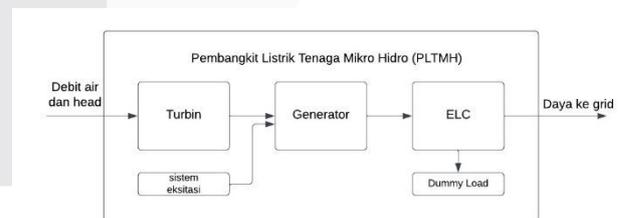
Rimba Lestari dapat memproduksi listrik mencapai 18kW perharinya.

Walaupun sudah tersedia PLTMH sesungguhnya, namun tidak dapat mengetahui perilaku dari PLTMH tersebut tanpa mendatangi PLTMH secara langsung. Oleh karena itu, jurnal ini akan menyajikan model simulasi PLTMH yang diimplementasikan dengan Matlab/Simulink. Simulasi ini digunakan sebagai satu media yang menyerupai cara kerja sesungguhnya sehingga dapat mengetahui bagaimana perilaku PLTMH tanpa harus datang ke rumah pembangkit[3].

II. METODE

A. Rancangan Sistem Simulasi PLTMH

PLTMH merupakan pembangkit yang beroperasi dengan memanfaatkan potensi air dan gaya gravitasi[4]. PLTMH merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang banyak dikembangkan, terutama di daerah-daerah yang sulit dijangkau dan belum mendapatkan aliran listrik dari PLN. PLTMH dapat menghasilkan energi listrik kurang dari 100 kW[2]. Daya yang dihasilkan oleh PLTMH bergantung pada tinggi jatuh air (*head*) dan debit air.



GAMBAR 1
Diagram Blok Simulasi PLTMH

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan Matlab/Simulink berdasarkan gambar 1 terdiri dari turbin, generator, ELC, *dummy load*, dan eksitasi. Berdasarkan gambar 1 air yang memiliki energi potensial berupa aliran air akan menggerakkan turbin. Kemudian turbin akan menghasilkan energi mekanik yang nantinya akan diubah oleh generator menjadi energi listrik. Generator yang digunakan adalah generator sinkron 3 fasa. Generator 3 fasa menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC). Sistem eksitasi

berfungsi sebagai amplifier, dimana sejumlah kecil daya dapat mengontrol sejumlah daya yang besar. Sistem eksitasi mengontrol tegangan keluaran generator saat tegangan eksitasi turun maka arus eksitasi harus ditambah, dan sebaliknya[4].

Generator sinkron memiliki pengaturan frekuensi yang kurang baik akibat variasi beban konsumen. Saat beban konsumen menurun, frekuensi akan menaik ,karena rotor pada generator berputar dengan cepat. . *Electronic Load Control* (ELC) berperan sebagai pengontrol daya keluaran dan frekuensi pada sistem PLTMH dengan mempertahankan beban konstan pada generator. Jenis kontrol yang digunakan adalah kontrol *proposional* dan *integral* (PI), yang dapat mengontrol kecepatan rotor generator sesuai dengan *set point* yang diinginkan saat beban berganti-ganti. Energi yang tidak terpakai ketika konsumsi beban kecil maka energi akan dibuang ke *dummy load*[5][6][7].

Pada simulasi Matlab/Simulink akan menghasilkan keluaran berupa daya pembangkit, daya beban, tegangan, arus sumber, arus beban, dan kecepatan rotor yang akan ditampilkan oleh *scope*.

B. Perhitungan Matematis PLTMH

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan PLTMH dapat menggunakan rumus matematis, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut[8] :

$$P = g Q H \tag{1}$$

$$P_t = \rho g H \eta_t \tag{2}$$

$$P_g = \rho g H \eta_g \tag{3}$$

Dimana,

- P : Daya potensi yang dihasilkan
- P_t : Daya yang dihasilkan turbin
- P_g : Daya yang dihasilkan generator
- ρ : Massa jenis air
- g : Gravitasi bumi
- Q : Debit air
- H : *Head*/ketinggian
- η_t : Efisiensi turbin
- η_g :Efisiensi generator

Kemudian untuk dijadikan sebagai masukkan simulasi P referens (P_{ref}) besar daya akan dihitung menggunakan rumus matematis dan berubah menjadi *power unit* (pu) begitu pula dengan kecepatan sudut referensi (w_{ref}) ([9]:

$$w_{ref} (pu) = \frac{w \text{ diinginkan } (rpm)}{w \text{ putaran base } (rpm)} \tag{4}$$

$$P_{ref} = \frac{\text{Daya yang diinginkan } (Watt)}{\text{Daya pada base } (Watt)} \tag{5}$$

Keluaran jenis daya pada simulasi berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) untuk memperoleh daya semu dapat menggunakan persamaan berikut :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{6}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

PLTMH yang dijadikan sebagai referensi adalah PLTMH Gunung Halu yang terdapat di Desa Tangsin Jaya, Desa Gunung Halu, Bandung. Memiliki potensi alam berupa sungai yang terus mengalir setiap tahunnya. Melihat dari letak grafis Desa Gunung Halu seperti gambar 2 yang berada diantara perbukitan membuat desa tersebut kesulitan dipasang aliran PLN.



GAMBAR 2 Lokasi Gunung Halu

TABEL 1 Spesifikasi PLTMH Gunung Halu

Items	Keterangan
Nama Sungai	Sungai Ciputri
Desain ketinggian <i>Head</i>	8 meter
Debit air	0,4 m ³ /s
Daya Keluaran	18,6 kW
Tahun pembuatan	2007
Mekanikal elektrik	Turbin crossflow T-14, synchronous 3 phase, ELC dengan beban ballas penghangat udara
Efisiensi turbin	74%
Efisiensi generator	84%
Beban	Konsumsi : lampu, TV, dan radio

Dari spesifikasi diatas diperoleh data debit air dari Sungai Ciputri sebesar 0,4 m³/s dan memiliki *head* sepanjang 8 m. Dengan debit dan *head* menggunakan persamaan (1) diperoleh daya sebesar:

$$P = \rho g Q H \tag{1}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ m/s}^2)(0,4 \text{ m}^3/\text{s})(8 \text{ m}) = 31.360 \text{ W} \tag{7}$$

Diketahui turbin yang digunakan adalah turbin crossflow menggunakan persamaan (2) diperoleh daya turbin sebesar:

$$P_t = \rho g Q H \eta_t \tag{2}$$

$$P_t = (31.360 \text{ W})(0,74) = 23.206,4 \text{ W} \tag{8}$$

Dari hasil perhitungan persamaan (3) diperoleh daya generator sebesar:

$$P_g = \rho g Q H \eta_t \eta_g \tag{3}$$

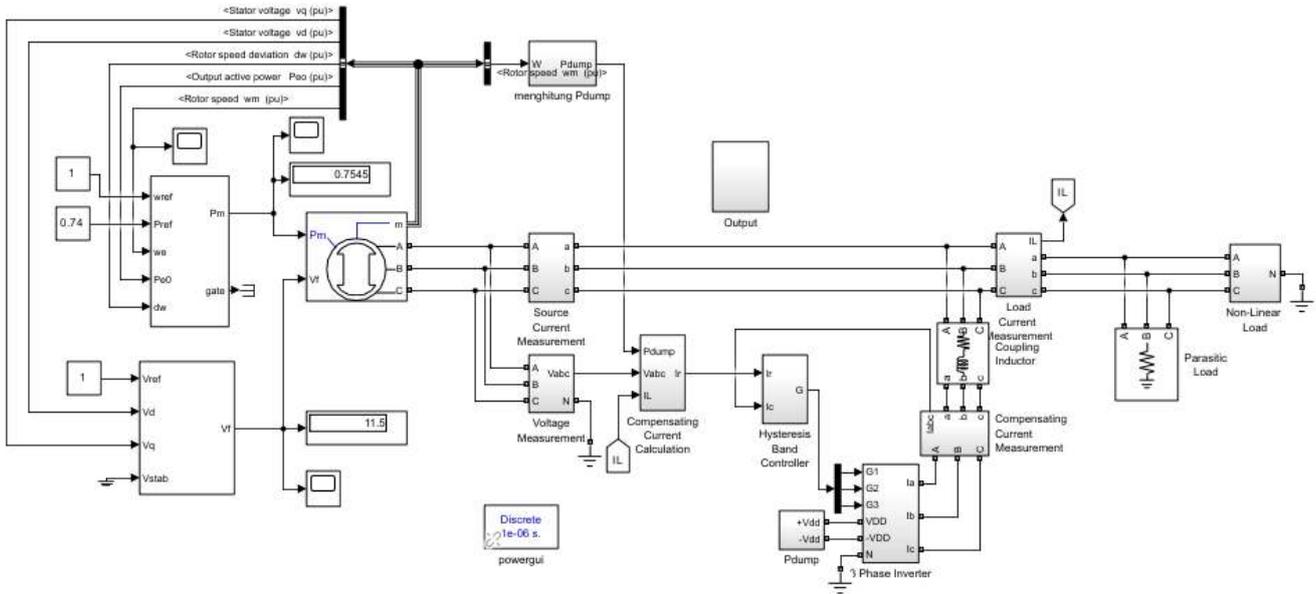
$$P_{ge} = (23.206,4 \text{ W}) (0,84) = 19.493,376 \text{ W} \quad (9)$$

Daya Turbin	23.206,4 W
Daya Generator	19.493,376 W

TABEL 2
Hasil Perhitungan Matematis PLTMH
Data PLTMH Gunung Halu

Daya yang dihasilkan	31.360 W
----------------------	----------

Pada tabel 2 menjelaskan daya yang diperoleh dari data pada tabel 3.1 diperoleh daya sebesar 31.360 W, daya turbin sebesar 23.206,4 W, dan daya generator sebesar 19.493,376 W menurut perhitungan persamaan (7), (8), dan (9).



GAMBAR 3
Simulasi PLTMH dengan Matlab/Simulink

Gambar 3 menunjukkan rangkaian simulasi PLTMH dengan Matlab/Simulink. Pada *Hydro Turbine and Governor* (HTG) terdapat masukan berupa P_{ref} dan W_{ref} . P_{ref} merupakan daya referensi dan W_{ref} merupakan kecepatan referensi. P_{ref} diperoleh dari daya turbin dari persamaan (7) sebesar 23.206,4 W dibagi dengan daya generator dan W_{ref} diperoleh dari kecepatan maksimum generator sinkron dibagi dengan kecepatan maksimum rotor generator.

Pada generator terdapat masukan P_m dan V_f . P_m diperoleh dari keluaran turbin dan V_f diperoleh dari sistem eksitasi. Sistem eksitasi berfungsi untuk mengontrol masukan tegangan dengan menggerakkan rotor generator sinkron akibat dari medan elektromagnetik. Masukan P_m dan V_f dari HTG dan sistem ekstraksi akan menghasilkan daya sebesar 19.000 W.

TABEL 3
Spesifikasi Generator 3 Fasa

Nama	Generator Sinkron 3 fasa
Daya	31,3 kVa
Tegangan	230/400 V
Frekuensi	50 Hz
Kecepatan Putaran	1500 rpm
Faktor Daya	0,8
Efisiensi	84%

Tabel 3 menjelaskan spesifikasi dari generator yang digunakan PLTMH. Dari spesifikasi tersebut dapat diperoleh

nilai masukan P_{ref} dan W_{ref} dengan menggunakan persamaan (4) dan (5).

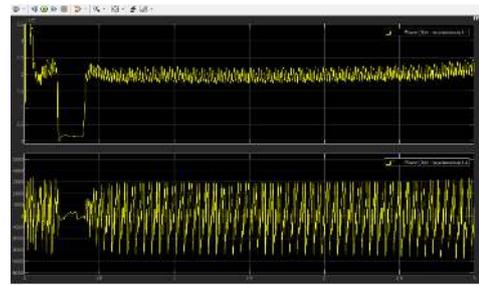
$$W_{ref} (pu) = \frac{w \text{ diinginkan (rpm)}}{w \text{ putaran base (rpm)}} \quad (4)$$

$$W_{ref} (pu) = \frac{1.500}{1.500} = 1 \text{ pu} \quad (10)$$

$$P_{ref} = \frac{\text{Daya yang diinginkan (Watt)}}{\text{Daya pada base (Watt)}} \quad (5)$$

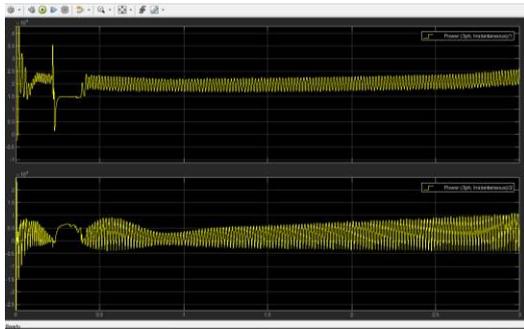
$$P_{ref} = \frac{23.206,4}{31.100} = 0,74 \text{ pu} \quad (11)$$

Berdasarkan persamaan (10) dan (11) diperoleh masukan P_{ref} sebesar 1 pu dan W_{ref} sebesar 0,74 pu.



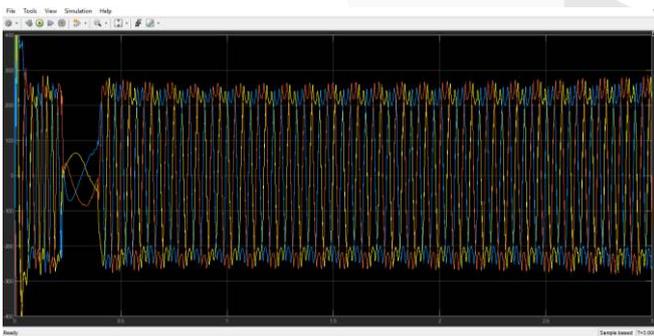
GAMBAR 4
Keluaran Daya Beban P-Q

Pada gambar 4 menunjukkan grafik keluaran daya PQ pada beban sebesar 20 kW. Grafik bagian atas adalah grafik keluaran daya P (kW) pada beban dan grafik bagian bawah adalah grafik keluaran daya Q (VAR) pada beban. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai maksimum daya aktif (P) sebesar 24,9 kW dan nilai minimum sebesar 18 kW. Nilai maksimum daya reaktif (Q) sebesar 3 kVAR dan nilai minimum sebesar -3 kVAR. Dengan menggunakan persamaan (6) diperoleh daya semu maksimum sebesar 25.080,07 Va dan daya semu minimum sebesar 18.248,2 Va. Dengan sumbu vertikal menunjukkan tegangan daya dan sumbu horizontal menunjukkan waktu (s).



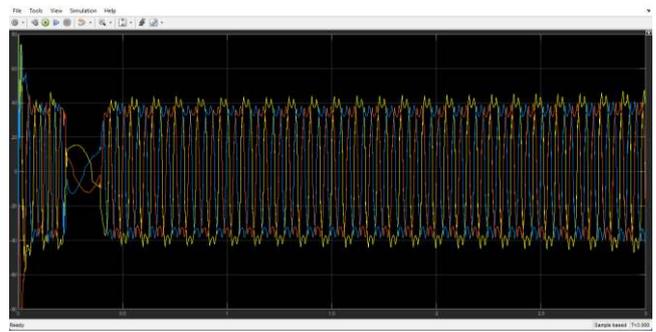
GAMBAR 5
Keluaran Daya Sumber P-Q

Pada gambar 5 menunjukkan grafik keluaran daya PQ pada sumber. Grafik bagian atas adalah grafik keluaran daya P (kW) pada sumber dan grafik bagian bawah adalah grafik keluaran daya Q (VAR) pada sumber. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai maksimum daya aktif (P) sebesar 25 kW dan nilai minimum sebesar 16 kW. Nilai maksimum daya reaktif (Q) sebesar 10 kVAR dan nilai minimum sebesar -500 VAR. Dengan menggunakan persamaan (6) diperoleh daya semu maksimum sebesar 26.925,82 Va dan nilai minimum sebesar 16.007,8 Va. Dengan sumbu vertikal menunjukkan tegangan daya dan sumbu horizontal menunjukkan waktu (s).



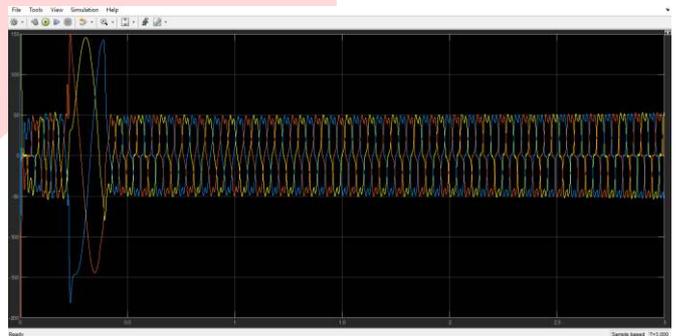
GAMBAR 6
Keluaran Vabc

Pada gambar 6 menunjukkan grafik keluaran Vabc pada pembangkit. Tegangan yang dihasilkan berdasarkan gambar 6 sebesar 200 v sampai 265 V. Dengan sumbu vertikal menunjukkan tegangan (V) dan sumbu horizontal menunjukkan waktu (s).



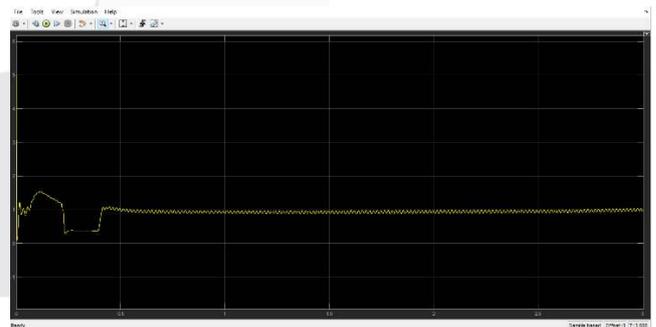
GAMBAR 7
Keluaran Iabc Beban

Pada gambar 7 menunjukkan grafik keluaran Iabc yang mengalir pada beban. Kuat arus AC yang dihasilkan berdasarkan gambar 7 sebesar 32 A sampai 42 A. Dengan sumbu vertikal menunjukkan kuat arus (A) dan sumbu horizontal menunjukkan waktu (s).



GAMBAR 8
Keluaran Iabc Sumber

Pada gambar 8 menunjukkan grafik keluaran Iabc yang dihasilkan oleh generator. Kuat arus AC yang dihasilkan berdasarkan gambar 8 sebesar 45 A sampai 50 A. Dengan sumbu vertikal menunjukkan kuat arus (A) dan sumbu horizontal menunjukkan waktu (s).



GAMBAR 9
Keluaran Frekuensi

Pada gambar 9 menunjukkan grafik keluaran frekuensi yang cukup stabil namun terdapat *ripple* yang timbul akibat beban elektronika yang digunakan, *ripple* akan mengakibatkan perubahan pada bentuk gelombang yang mempengaruhi daya hasil yang akan disalurkan[10]. Frekuensi *steady state* di 1 pu pada waktu ke 0,4 s. Dengan sumbu vertikal menunjukkan kecepatan (pu) dan sumbu horizontal menunjukkan waktu (s).

IV. KESIMPULAN

Pada data spesifikasi PLTMH Gunung Halu daya keluaran sebesar 18,6 kW. Pada simulasi PLTMH dengan Matlab/Simulink menampilkan keluaran daya, tegangan, kuat arus, dan frekuensi. Dengan debit air sebesar 0,4 m³/s dan ketinggian 8 m menggunakan perhitungan matematis diperoleh daya turbin dan generator sebesar 23.206,4 W dan 19.493,376 W. Menurut hasil simulasi diperoleh daya keluaran beban maksimum sebesar 24,9 kW dan minimum sebesar 18 kW. Keluaran tegangan sebesar 200 V sampai 265 V. Keluaran kuat arus sebesar 32 A sampai 42 V. Dengan frekuensi generator *steady state* di 1 pu. Dapat disimpulkan simulasi PLTMH Gunung Halu dengan menggunakan Matlab/Simulink sudah cukup merepresentasikan PLTMH Gunung Halu sesungguhnya, namun hasil yang diperoleh tidak begitu akurat.

REFERENSI

- [1] B. dari Koperasi Mekar Sari, "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) SEBUAH PILIHAN."
- [2] Y. R. Pasalli and A. B. Rehiara, "Design Planning of Micro-hydro Power Plant in Hink River," *Procedia Environ Sci*, vol. 20, pp. 55–63, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.009.
- [3] Erinofiardi *et al.*, "A Review on Micro Hydropower in Indonesia," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 316–321. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.146.
- [4] Suwignyo, Ali Mokhtar, Diding Suhardi, Machmud Eff, and Khoirin Nissa, *Pembangkit Listrik Tenaga Mini dan Mikro Hidro (PLTM & PLTMH)*, 1st ed. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang, 2022.
- [5] R. A. Ofosu, E. Normanyo, K. K. Kaberere, S. I. Kamau, and E. K. Otu, "Design of an Electronic Load Controller for Micro Hydro Power Plant Using Fuzzy-PI Controller." *Cogent Eng*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.1080/23311916.2022.2057115.
- [6] A. Ali, Arshad, H. Akhtar, M. U. R. Siddiqi, and M. Kamran, "An efficient and novel technique for electronic load controller to compensate the current and voltage harmonics," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 23, no. 5, pp. 1042–1057, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jestch.2019.11.009.
- [7] W. Ali *et al.*, "PID vs PI Control of Speed Governor for Synchronous Generator Based Grid Connected Micro Hydro Power Plant PID VS PI CONTROL OF SPEED GOVERNOR FOR SYNCHRONOUS GENERATOR BASED GRID CONNECTED MICRO HYDRO POWER PLANT *1 1 2 1 1," 2017. [Online]. Available: www.pu.edu.pk/journals/index.php/jfet/index
- [8] S. Simanjuntak, L. Ode, and M. Firman, "ANALISIS PERHITUNGAN DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)."
- [9] M. Tariq, "SIMULINK BASED MODELING, ANALYSIS AND SIMULATION OF SELF EXCITED INDUCTION GENERATOR FOR USE IN REMOTE AREAS," 2013.
- [10] Muhamad Luthfi, Harry Soekotjo Dachlan, and Wijono, "Analisis Ripple Masukan dan Keluaran PWM AC Chopper 3-Fasa pada Beban Motor Induksi 3-Fasa," *Jurnal EECCIS*, vol. 7, pp. 141–146, Dec. 2013.