



Simulasi Pengaruh Pertambahan Beban Terhadap Kestabilan Tegangan dan Frekuensi pada PLTMH Off-Grid 85 kVA Menggunakan MATLAB Simulink 2018a

Rendy Wisnu Prayoga^a, Yanu Shalahuddin^b, Fajar Yumono^c

Teknik Elektro, Universitas Islam Kediri, Indonesia

^a r.wisnuprayoga@gmail.com

^b yanu@uniska-kediri.ac.id

^c fajaryumono@uniska-kediri.ac.id

Kata Kunci:

PLTMH
Pertambahan beban
Stabilitas tegangan
Stabilitas frekuensi
AVR
Governor
MATLAB Simulink

ABSTRAK

Frekuensi dan tegangan PLTMH terdampak oleh adanya perubahan beban Listrik. Penelitian ini membahas analisis dampak perubahan beban listrik dan merancang strategi kendali melalui simulasi menggunakan MATLAB/Simulink untuk menstabilkan sistem. Pemodelan PLTMH kapasitas 85 kVA dengan variasi beban 5–60 kW. Simulasi dilakukan dalam tiga skenario: tanpa kendali, dengan Automatic Voltage Regulator (AVR) dan Governor berbasis PID, serta dengan penambahan kapasitor bank. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pertambahan beban menyebabkan ketidakstabilan signifikan pada tegangan dan frekuensi. Implementasi AVR dan Governor berhasil menstabilkan tegangan pada 220 V dan frekuensi pada 50 Hz dengan settling time <1 detik. Integrasi kapasitor bank lebih lanjut meningkatkan kualitas daya dengan menaikkan PF hingga 0.9, mengurangi rugi-rugi daya, dan mengoptimalkan kinerja generator. Penelitian ini membuktikan efektivitas kombinasi kontrol PID dan kompensasi reaktif dalam meningkatkan keandalan PLTMH off-grid.

The frequency and voltage of the Micro Hydro Power Plant (MHP) are affected by changes in the electrical load. This research discusses the analysis of the impact of electrical load changes and designs a control strategy through simulation using MATLAB/Simulink to stabilize the system. The modeling is based on an 85 kVA MHP with load variations of 5–60 kW. Simulations were conducted under three scenarios: without control, with a PID-based Automatic Voltage Regulator (AVR) and Governor, and with the addition of a capacitor bank. The simulation results show that load increases cause significant instability in voltage and frequency. The implementation of the AVR and Governor successfully stabilized the voltage at 220 V and the frequency at 50 Hz with a settling time of <1 second.

The integration of the capacitor bank further improved power quality by increasing the PF to 0.9, reducing power losses, and optimizing generator performance. This study proves the effectiveness of combining PID control and reactive power compensation in enhancing the reliability of off-grid MHP systems.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas kehidupan dan pertumbuhan ekonomi Indonesia dan keterbatasan dalam penyediaan energi Listrik dapat menghambat pertumbuhan dan kemajuan masyarakat, khususnya di wilayah pedesaan (Dimiyati, 2020). PLTMH off-grid dapat menjadi solusi berkelanjutan elektrifikasi daerah terpencil, dengan sumber daya air melimpah. Beberapa daerah sekitar pegunungan mempunyai potensi tenaga air yang cukup melimpah tetapi terisolasi dari jaringan Listrik PLN (Ang et al., 2022). 72% PLTMH beroperasi pada rentang kapasitas 50-100 kVA (Hadiyanto, 2023). Sistem PLTMH 85 kVA sering menjadi solusi optimal. Namun, ketergantungan pada generator sinkron dalam konfigurasi PLTMH membuat sistem ini rentan terhadap fluktuasi tegangan dan frekuensi akibat perubahan beban. Ketidakstabilan ini berdampak langsung pada keandalan pasokan listrik dan umur peralatan, menghambat pemanfaatan optimal sumber energi terbarukan ini (Pratiwi & Isdiyato, 2019).

PLTMH off-grid rentan terhadap ketidakstabilan akibat fluktuasi beban, menyebabkan voltage sag dan deviasi frekuensi (Deng et al., 2021). Dibuktikan bahwa penambahan beban 20% pada PLTMH 50 kW dapat menyebabkan voltage drop hingga 12% dan frequency deviation 1.8 Hz dalam waktu 0.5 detik (Cassano & Sossan, 2022). Fenomena ini diperparah oleh karakteristik generator sinkron salient pole yang rentan terhadap osilasi sudut rotor saat transien beban. Studi lapangan di Batang Bayang mengonfirmasi bahwa 67% PLTMH mengalami gangguan peralatan akibat fluktuasi tegangan di luar batas SNI 61850-1:2019 ($\pm 10\%$) selama operasi beban puncak (Hadiyanto, 2023). Dampak teknis ini tidak hanya mengurangi umur peralatan tetapi juga meningkatkan biaya pemeliharaan sistem.

Solusi canggih seperti Model Predictive Control (MPC) memang meningkatkan performa 40%, tetapi implementasinya memerlukan prosesor high-end yang tidak terjangkau untuk PLTMH pedesaan (Reigstad & Uhlen, 2021). Solusi alternatif lain yaitu BESS hibrida juga terkendala biaya tinggi (\$280/kWh) dan degradasi kapasitas 5%/tahun (Cassano & Sossan, 2022).

Berkembangnya teknik kontrol PID menawarkan solusi dinamis. Namun, implementasi pada PLTMH off-grid berskala 50–100 kVA masih terbatas. Penelitian terdahulu cenderung fokus pada simulasi komponen tunggal (misalnya, AVR atau governor), bukan sistem terpadu. Celah ini diperparah oleh minimnya pemodelan interaksi antara kompensasi kapasitif dan dinamika beban bertahap (5 kW–60 kW) dalam lingkungan off-grid (Shahverdi et al., 2024).

Penelitian ini mengusung tiga kebaruan utama. Yang pertama Adalah Pemodelan PLTMH Off-Grid 85 kVA dengan Integrasi Generator Sinkron Salient pole, Governor PID, AVR PID,

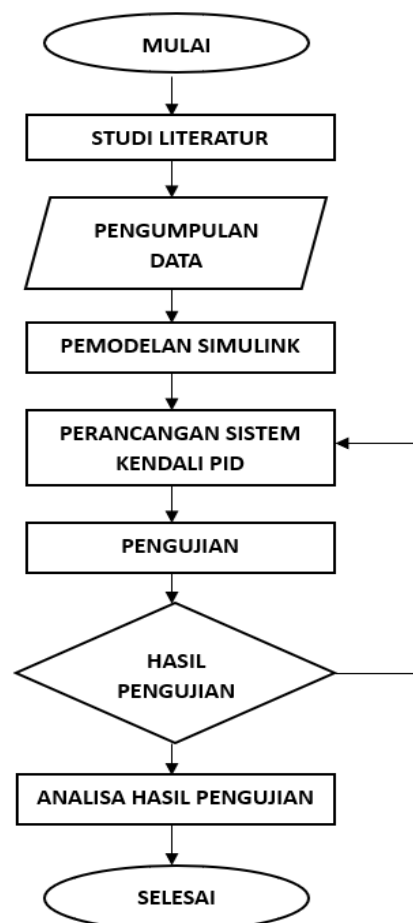
capacitor bank, dan beban bertahap dalam satu lingkungan Simulink MATLAB 2018a. Yang kedua Adalah Analisis Simbiosis Kapasitor Bank-PID (AVR dan Governor) Dimana Kuantifikasi sinergi antara kompensasi reaktif dan kontrol umpan balik dalam menekan voltage drop dan frequency deviation. Yang ketiga Adalah dimana penelitian ini menjawab keterbatasan model statis terdahulu dengan mensimulasikan dinamika real-time.

Tujuan penelitian ini Adalah untuk Memodelkan sistem PLTMH off-grid 85 kVA 400V/50Hz dengan turbin 1500 RPM menggunakan Simulink, mencakup generator, governor PID, AVR PID, kapasitor bank, dan beban (5 kW, 20 kW, 30 kW, 40 kW, 60 kW) dan Melakukan analisis pengaruh pertambahan beban terhadap voltage regulation (%VR) dan frequency deviation (Δf) melalui simulasi dinamis. Penelitian ini juga bertujuan untuk Mengevaluasi kinerja kapasitor bank dalam meningkatkan stabilitas tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya reaktif.

2. METODE

2.1. Alur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan frekuensi dan tegangan pada PLTMH Off-Grid 85 kVA menggunakan metode simulasi berbasis model menggunakan MATLAB Simulink 2018a. Alur penelitian yang dilakukan digambarkan pada **Gambar 1** berikut ini.

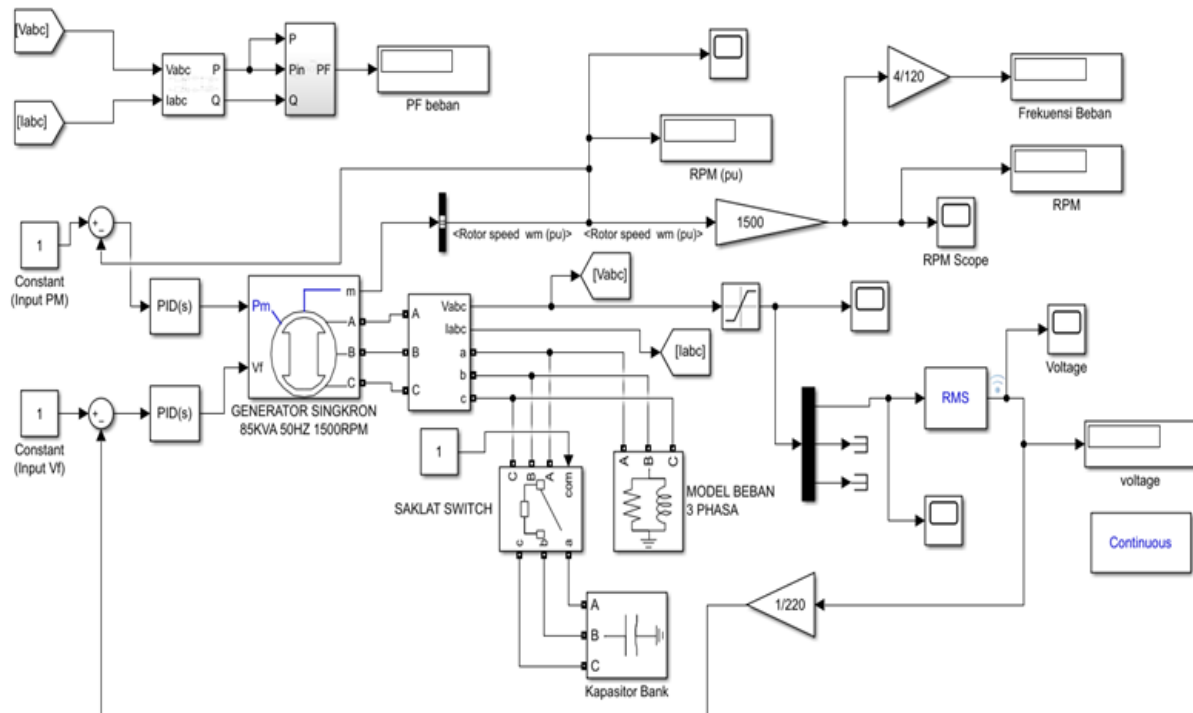


Gambar 1. Diagram alur penelitian

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data. Ini mencakup data teknis tentang spesifikasi generator, turbin, governor, AVR, dan profil beban yang umum digunakan dalam rancang bangun PLTMH. Setelah itu, perancangan dan pemodelan sistem PLTMH di lingkungan MATLAB Simulink digunakan berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Setelah itu, model yang telah dibangun disimulasikan dan diuji dalam tiga skenario. Hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dan kontrol. Terakhir, hasil ditarik dan disarankan untuk penelitian lebih lanjut.

2.2. PEMODELAN PLTMH

Penelitian ini mengadopsi pendekatan model-based systems engineering (MBSE) dengan MATLAB Simulink 2018a sebagai platform utama (Jadhav et al., 2025). Model sistem PLTMH dirancang dengan komponen utama berupa generator sinkron silent pole 85 kVA, 400 V, 50 Hz, dan 1500 rpm. Untuk mensimulasikan fluktuasi beban harian, digunakan blok Three-Phase Parallel RLC Load dengan variasi daya aktif (5 kW, 20 kW, 30 kW, 40 kW, dan 60 kW) dan daya reaktif induktif (QL) pada dua skenario ekstrem, yaitu 10% dan 95% dari daya aktif, guna merepresentasikan variasi power factor (PF) beban yang ekstrem dalam operasi nyata (Tessal¹ et al., 2024). Hasil pemodelan sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Gambar hasil pemodelan PLTMH

2.3. Prinsip kerja pemodelan

Pemodelan sistem PLTMH 85 kVA dalam Simulink MATLAB 2018a bekerja berdasarkan integrasi dinamika elektromekanikal dan kontrol. Energi hidroliks diubah menjadi energi mekanis oleh turbin untuk memutar generator. Governor PID berfungsi mengatur bukaan valve turbin berdasarkan error kecepatan rotor (deviasi dari 50 Hz) untuk menjaga frekuensi output generator tetap stabil pada 50 Hz. Sementara itu, AVR PID bekerja dengan cara mengatur arus eksitasi generator berdasarkan error tegangan output (deviasi dari 220 V phase-to-ground) untuk menjaga tegangan pada nominal 220 V. Kapasitor bank diaktifkan melalui sebuah switch untuk memberikan kompensasi daya reaktif, mengurangi beban reaktif induktif pada generator.

Beban listrik dimodelkan dengan blok RLC load yang dapat divariasikan nilainya. Seluruh interaksi dinamis antar komponen ini disimulasikan untuk menganalisis Pengaruh Pertambahan Beban terhadap Kestabilan Tegangan dan Frekuensi pada PLTMH Off-Grid 85 kVA.

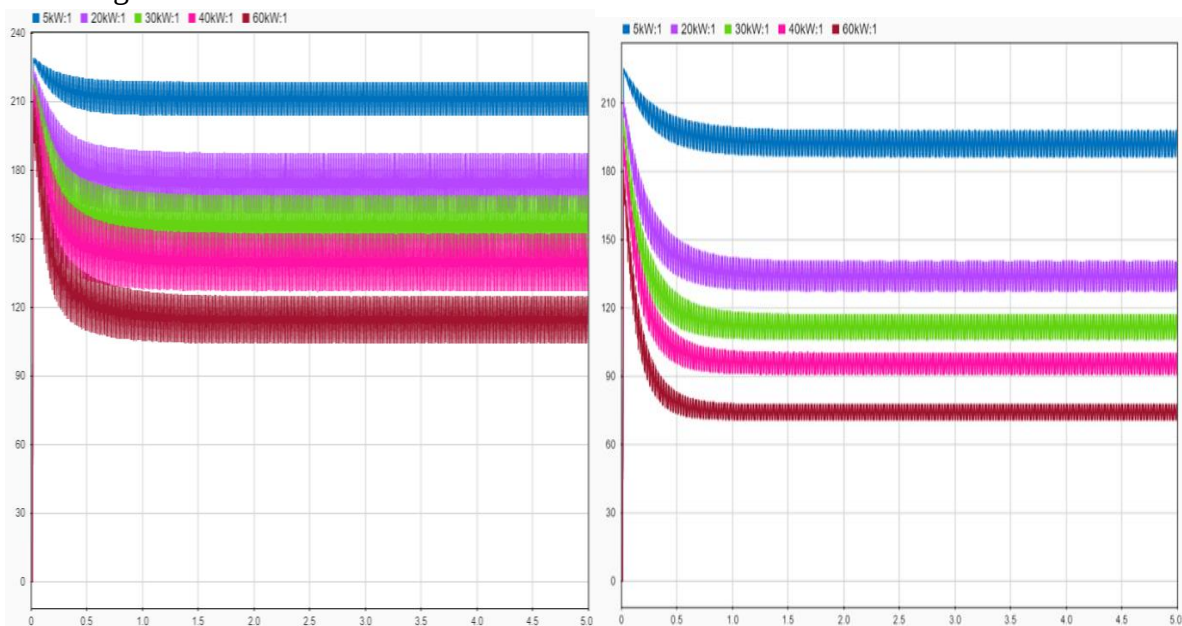
2.4. Prosedur pengujian

Pengujian dilakukan dengan 3 jenis skenario pengujian yang komprehensif. Skenario pengujian yang pertama Adalah pengujian simulasi PLTMH dengan variasi beban dan tanpa AVR dan Governor (Tanpa kontrol). Tujuan skenario pengujian ini adalah untuk mengamati respon alami sistem dan mengidentifikasi karakteristik dinamika serta masalah ketidakstabilan yang terjadi. Skenario yang kedua Adalah pengujian simulasi PLTMH dengan Variasi beban Dengan AVR dan Governor berbasis PID. Tujuan skenario pengujian ini adalah untuk melihat kemampuan sistem kontrol dalam menstabilkan tegangan dan frekuensi terhadap perubahan beban. Skenario yang ketiga Adalah pengujian simulasi PLTMH dengan variasi beban Dengan AVR, Governor, dan Kapasitor Bank, khususnya untuk kondisi beban dengan QL 95%. Tujuan skenario ini adalah untuk mengevaluasi manfaat penambahan kompensasi reaktif dalam meningkatkan faktor daya (PF) menjadi 0.9 dan meningkatkan stabilitas sistem.

3. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Respons Sistem PLTMH terhadap Beban Tanpa AVR dan Governor

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi respon alami sistem PLTMH dan Mengidentifikasi karakteristik dinamika. Dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa hasil pengujian membuktikan bahwa penambahan beban dapat mempengaruhi kestabilan tegangan dan frekuensi, terutama saat beban berat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jika beban naik, tegangan akan turun dan jika beban turun, tegangan akan naik. Data kuantitatif dari pengujian ini dirangkum dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2**.



Gambar 3. Grafik tegangan Hasil pengujian tanpa AVR dan Governor dengan beban dan nominal QL (Inductive reactive power) 10% dan 95%

Tabel 1. Respons Sistem terhadap Beban (QL=10%) tanpa AVR dan Governor

Nominal Beban	Tegangan	Frekuensi	PF (Power factor)
5 Kw	215 V	46,6 Hz	0.9
20 Kw	190 V	42,4 Hz	0.9
30 Kw	170 V	41,1 Hz	0.9
40 Kw	145 V	40,6 Hz	0.9
60 Kw	120 V	40,4 Hz	0.9

Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk beban dengan QL 10% (PF ~0.9), penambahan beban dari 5 kW ke 60 kW menyebabkan frekuensi dan tegangan turun dari 46.6 Hz ke 40.4 Hz dan 215 V ke 120 V, ini jauh di bawah standar 220V dan 50 Hz.

Tabel 2. Respons Sistem terhadap Beban (QL=95%) tanpa AVR dan Governor

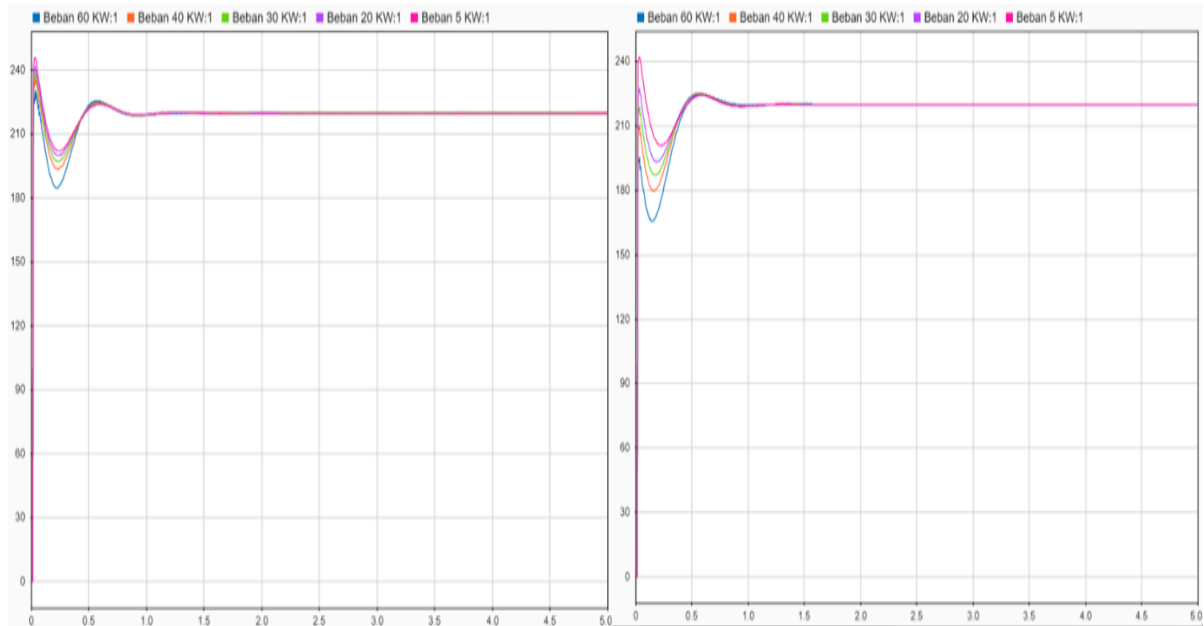
Nominal Beban	Tegangan	Frekuensi	PF (Power factor)
5 Kw	190 V	47 Hz	0.7
20 Kw	135 V	45,2 Hz	0.7
30 Kw	115 V	45.1Hz	0.7
40 Kw	105 V	45 Hz	0.7
60 Kw	80 V	44,8 Hz	0.7

Dengan QL 95% (PF ~0.7), hasil kondisi beban ditunjukkan dalam **Tabel 2**. Deviasi frekuensi sedikit meningkat (dari 47 Hz ke 44.8 Hz), tetapi ini karena sebagian besar penambahan daya adalah daya reaktif, yang tidak membebani turbin sebanyak daya aktif. Namun, faktor daya yang rendah (0.7) menunjukkan inefisiensi sistem yang sangat rendah, karena hanya 70% daya semu yang diubah menjadi daya aktif. Hasil ini sejalan dengan temuan (Cassano & Sossan, 2022) dan (Pratiwi & Isdiyato, 2019), yang menyoroti kerentanan PLTMH terhadap fluktuasi beban. Ketidakstabilan seperti ini dapat merusak peralatan pelanggan dan mengurangi umur generator, seperti yang dilaporkan dalam studi lapangan oleh (Hadiyanto, 2023).

3.2. Respons Sistem PLTMH terhadap Beban dengan AVR dan Governor

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menjaga stabilitas tegangan dan frekuensi, hanya mengandalkan kemampuan regulasi tegangan dari AVR dan Governor, tanpa kapasitor bank. **Gambar 4** menunjukkan bahwa sistem ini memiliki respons yang baik dan mampu mencapai kondisi tunak tanpa kesalahan ($E_{ss} = 0$). Meskipun demikian, Overshoot yang relatif tinggi masih terjadi pada beban rendah (5kW) sebesar 9,1% dan 11%. Nilai Overshoot tersebut masih dalam batas yang diperbolehkan berdasarkan standar IEEE 1547-2018 yaitu <138% dan 0,2 detik (Committee, 2016). Untuk Voltage dip pada beban Terbesar yaitu 60kW dengan QL 10% dan 95% menunjukkan nilai 84% dan 75%. Nilai ini juga masih dalam batas wajar karena termasuk dalam kategori Voltage dip ringan: 80–90% dan Voltage dip sedang: 40–80% menurut standar IEC 61000-4-30 (ISO 5167-2:2003(E), 2021). Untuk frekuensi dari keseluruhan pengujian ini menunjukkan nominal stabil (50 Hz), namun untuk

nominal Pf pada pengujian QL 95% menunjukkan nilai 0,7. Ini Menunjukkan bahwa Efisiensi penggunaan daya rendah karena Hanya 70% daya semu yang benar-benar jadi daya aktif. untuk itu dibutuhkan Pengaplikasian kapasitor Bank untuk mengkompensasi daya reactive untuk menaikkan PF. Untuk lebih lengkapnya, Hasil kuantitatif pengujian dengan AVR dan Governor tercantum dalam **Tabel 3** dan **Tabel 4**.



Gambar 4. Grafik tegangan Hasil pengujian dengan AVR dan Governor dengan beban dan nominal QL (Inductive reactive power) 10% dan 95%

Tabel 3. Respons Sistem terhadap Beban (QL=10%) dengan AVR dan Governor

Nominal Beban	Tegangan	ESS	Frekuensi	PF (Power factor)
5 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
20 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
30 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
40 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
60 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9

Tabel 4. Respons Sistem terhadap Beban (QL=95%) dengan AVR dan Governor

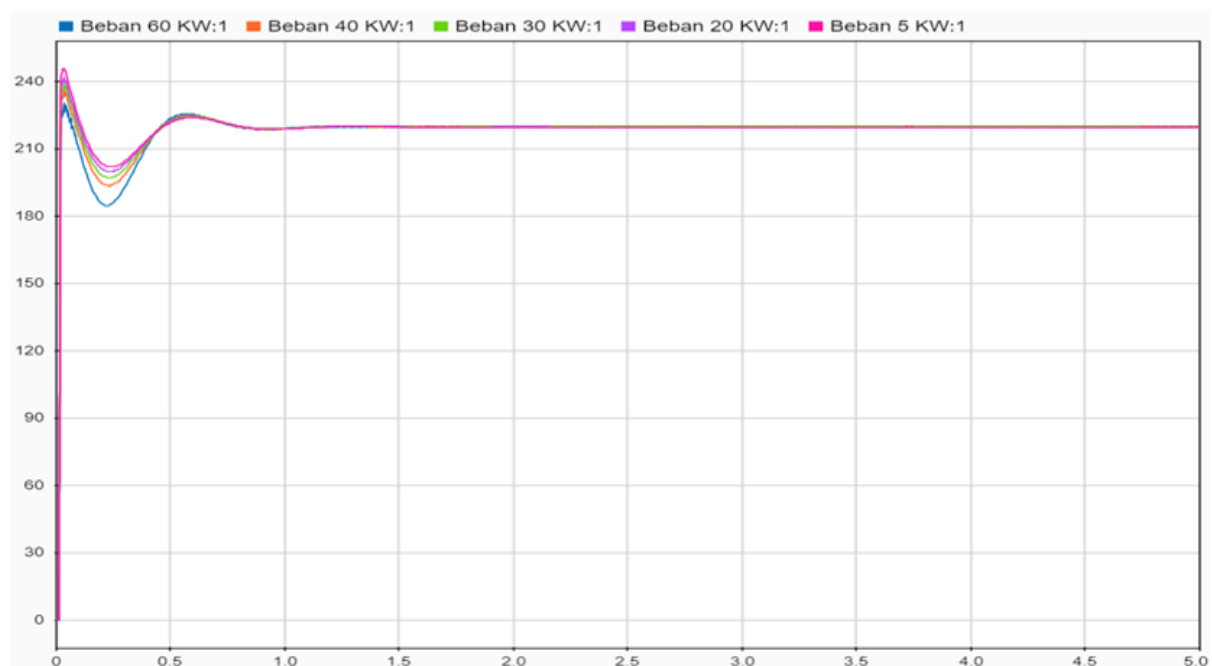
Nominal Beban	Tegangan	ESS	Frekuensi	PF (Power factor)
5 Kw	220 V	0	50 Hz	0.7
20 Kw	220 V	0	50 Hz	0.7
30 Kw	220 V	0	50 Hz	0.7
40 Kw	220 V	0	50 Hz	0.7
60 Kw	220 V	0	50 Hz	0.7

Hasil yang ditunjukkan dalam **Tabel 3** dan **Tabel 4**, menunjukkan bahwa kombinasi AVR dan pengatur berhasil menstabilkan tegangan dan frekuensi pada 220 V dan 50 Hz untuk semua variasi beban, dengan

steady-state error (E_{ss}) = 0. Ini menunjukkan bahwa kontrol PID berhasil mengatasi masalah sistem. Namun, dari **Tabel 4** terlihat bahwa meskipun tegangan dan frekuensi stabil, nilai faktor daya untuk kondisi QL 95% tetap rendah, yaitu 0.7. Ini menunjukkan bahwa sistem kontrol PID berhasil mengatasi masalah stabilitas namun tidak mengatasi masalah efisiensi akibat beban reaktif yang tinggi.

3.3. Respons Sistem PLTMH terhadap Beban dengan AVR, Governor, Dan Kapasitorbank

Pengujian ini dilakukan dengan mengaplikasikan kapasitorbank pada pengujian yang QL (Induktive Reactive power) 95% dari nominal beban, untuk meningkatkan faktor daya sehingga rugi-rugi daya pada sistem dapat dikurangi dan hal itu menyebabkan efisiensi penyaluran energi listrik menjadi lebih baik. **Gambar 5** menunjukkan grafik tegangan selama pengujian. Kinerja sistem tetap stabil dengan adanya kapasitor bank dan penerapan kapasitor bank berhasil menaikkan nominal PF dari yang semula 0.7 menjadi 0,9 yang juga berarti menaikkan nilai efisiensi pada Pemodelan PLTMH ini



Gambar 5. Grafik tegangan Hasil pengujian dengan AVR, Governor, dan Kapasitorbank dengan beban dan nominal QL (Inductive reactive power) 95%

Tabel 5. Respons Sistem terhadap Beban (QL=95%) dengan AVR, Governor, Kapasitorbank

Nominal Beban	Tegangan	ESS	Frekuensi	PF (Power factor)
5 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
20 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
30 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
40 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9
60 Kw	220 V	0	50 Hz	0.9

Hasil yang paling signifikan ditunjukkan dalam **Tabel 5**. Dengan diterapkannya kapasitor bank, faktor daya berhasil dinaikkan dari 0.7 menjadi 0.9 untuk semua tingkat beban, sementara tegangan dan frekuensi tetap stabil pada 220 V dan 50 Hz tanpa error. Peningkatan PF hingga

0.9 ini memiliki implikasi penting yang pertama untuk mengurangi rugi-rugi daya, yang kedua Adalah untuk mengoptimalkan Kapasitas Generator sehingga Generator dapat melayani lebih banyak beban aktif karena beban reaktifnya telah dikompensasi, yang ketiga Adalah untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Secara keseluruhan dan Kombinasi antara kontrol PID untuk stabilitas dan kapasitor bank untuk efisiensi ini membentuk solusi yang komprehensif dan efektif untuk operasi PLTMH off-grid, seperti yang diusulkan dalam penelitian ini.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Bedasarkan hasil simulasi MATLAB Simulink pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), dapat disimpulkan beberapa hal. Yang pertama Pemodelan PLTMH menggunakan Simulink Matlab dapat berkerja dan berfungsi dengan baik untuk mengetahui pengaruh penambahan beban terhadap kestabilan Tegangan dan Frekuensi, Kesimpulan itu berasal dari hasil pengujian respon alami PLTMH yang menunjukkan jika beban dinaikan maka Tegangan dan Frekuensi akan turun dan Jika beban Diturunkan maka frekuensi dan Tegangan akan naik. Yang kedua Adalah Respon kendali Sistem terhadap Perubahan Beban menunjukkan bahwa sistem kontrol (seperti Governor, AVR, dan kapasitor bank) terbukti dapat menstabilkan tegangan (220V), frekuensi (50Hz), dan PF (0.9). Namun, respon sistem tidak selalu instan. Terdapat delay sebelum tegangan kembali stabil. Yang ketiga Adalah Peran Simulasi MATLAB Simulink dalam penelitian ini terbukti efektif dalam memodelkan dinamika PLTMH dan menganalisis dampak penambahan beban. Hasil simulasi memberikan gambaran visual yang jelas mengenai hubungan antara beban, kecepatan turbin, dan tegangan generator.

4.2. Saran

Setelah pengujian dilakukan, ada beberapa rekomendasi yang bisa dipertimbangkan untuk pengembangan lanjutan. Yang pertama Adalah Peningkatan Model Simulasi, Penelitian ini menggunakan model sederhana dalam MATLAB Simulink. Untuk analisis yang lebih akurat, disarankan untuk mempertimbangkan faktor dinamis tambahan seperti transient response jaringan distribusi dan karakteristik non-linier turbin. Yang kedua Adalah integrasi dengan alat simulasi lain (seperti ETAP atau DigSILENT) dapat dilakukan untuk validasi hasil secara lebih komprehensif. Yang ketiga Adalah dalam Optimasi Sistem Kontrol, dalam hal ini masih Perlu untuk dieksplorasi dengan menerapkan metode kontrol yang lebih canggih (misalnya Fuzzy Logic Control, Adaptive Control, atau PID dengan tuning algoritma cerdas) untuk meningkatkan respon sistem terhadap fluktuasi beban. Yang keempat Adalah Implementasi Hardware-in-the-Loop (HIL) Agar hasil simulasi lebih mendekati kondisi riil, disarankan untuk melakukan uji coba dengan Hardware-in-the-Loop menggunakan mikrokontroler (seperti Arduino atau PLC) yang terintegrasi dengan Simulink. Dari 4 saran tersebut dapat disimpulkan bahwa penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan PLTMH yang lebih stabil dan efisien, baik melalui pendekatan simulasi maupun implementasi teknis di lapangan.

Daftar Pustaka

- Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43(August), 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
- Cassano, S., & Sossan, F. (2022). Model predictive control for a medium-head hydropower plant hybridized with battery energy storage to reduce penstock fatigue. *Electric Power Systems Research*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108545>
- Committee, I. S. C. (2016). IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. In *IEEE Std 1547-2018 (Revision of IEEE Std 1547-2003)* (Issue February).
- Deng, H., Li, Q., Wu, J., Zheng, R., & Li, P. (2021). Research on the method of observing the safety level of the grid cascading trip based on node injection power. *Electric Power Systems Research*, 199, 107456. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107456>
- Dimiyati, A. M. (2020). Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Setren Kecamatan Slogoimo Kabupaten Wonogiri. *Emitor*, 15(02), 1–10.
- Hadiyanto, D. (2023). Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Energi Listrik PLTMH Off Grid Pada DAS Batang Bayang Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 108–117. <https://doi.org/10.30999/jpkm.v13i3.2935>
- ISO 5167-2:2003(E). (2021). International Standard IEC 61000-4-30. 61010-1 © Iec:2001, 2003, 13.
- Jadhav, N. S., Raval, S. D., Kabade, A. R., Kadam, K. R., & Kale, K. A. (2025). *Power Grid Stability Analysis using MATLAB*.
- Pratiwi, N. D., & Isdiyato, I. (2019). Analisis Ketidakstabilan Tegangan dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Soko Kembang. *Energi & Kelistrikan*, 11(2), 129–137. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i2.864>
- Reigstad, T. I., & Uhlen, K. (2021). Variable Speed Hydropower for Provision of Fast Frequency Reserves in the Nordic Grid. *IEEE Transactions on Power Systems*, 36(6), 5476–5485. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3078098>
- Shahverdi, K., Noorali, A., Ghodousi, H., & Berndtsson, R. (2024). Developing Internal and External Proportional Integral Derivative Water Surface Controller in HEC-RAS. *Water (Switzerland)*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/w16121699>
- Tessal¹, D., Candra², J., Manab, A., & Corio, D. (2024). Electron : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Assessing Voltage and Frequency Instability in Renah Kemumu's Micro Hydro Power Plant. *Elektron: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1), 1–6.