



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Dampak Pertambahan Beban pada Kestabilan Tegangan dalam Model Sistem Hybrid Generator

Ubaidah*, D Despa dan T Septiana

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 11/11/2024
Direvisi 13/01/2024
Dipublish 22/05/2025

Kata kunci:
Hybrid generator
Keseimbangan
Pertambahan Beban
Stabilitas Tegangan

ABSTRAK

Peningkatan permintaan energi listrik dan integrasi sumber energi terbarukan ke dalam sistem *hybrid generator* menghadirkan tantangan baru dalam menjaga stabilitas tegangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak peningkatan beban terhadap stabilitas tegangan dalam model sistem *hybrid generator* serta mengevaluasi respons sistem terhadap berbagai kondisi beban. Simulasi yang dilakukan menghasilkan profil tegangan dalam sistem untuk berbagai tingkat beban, dengan fokus pada beban industrial dan residensial. Dalam kasus ini, perubahan beban residensial menunjukkan bahwa semakin bertambahnya beban dari 10 MW, 15 MW, hingga 20 MW menyebabkan ketidakstabilan tegangan, yang berdampak pada daya PQ di bus beban tidak stabil. Ketidakstabilan ini dapat merusak komponen peralatan listrik atau bahkan komponen sistem kelistrikan secara keseluruhan, yang berpotensi menyebabkan *blackout*.

1. Pendahuluan

Permintaan energi listrik yang terus meningkat mendorong transisi menuju energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) sebagai sumber energi yang lebih berkelanjutan. Sistem hybrid generator yang menggabungkan PLTS dan PLTB dengan pembangkit konvensional menjadi solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan keandalan dan keberlanjutan pasokan energi (Kumar & Rathore, 2023).

Namun, integrasi PLTS dan PLTB ke dalam sistem *hybrid generator* menghadirkan tantangan baru dalam menjaga stabilitas tegangan. (Mulyadi et al., n.d., 2022)

Fluktuasi daya dari sumber energi terbarukan dan perubahan beban dapat memengaruhi stabilitas tegangan dalam sistem. Hal ini dapat menyebabkan fluktuasi tegangan, penurunan tegangan, dan potensi

kehilangan tegangan, yang dapat berdampak pada kualitas daya dan keandalan system. (Pawar, R., Dalsania, 2024)

Ketidakstabilan tegangan dalam sistem tenaga listrik dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam jangka pendek, hal ini bisa menyebabkan gangguan pada peralatan listrik yang sensitif, mengurangi efisiensi operasional, dan meningkatkan risiko pemadaman listrik akibat respons proteksi otomatis. Sementara itu, dalam jangka panjang, ketidakstabilan tegangan dapat menyebabkan degradasi peralatan listrik, meningkatkan kerugian energi, menurunkan kualitas listrik yang disuplai, dan bahkan berpotensi merusak komponen penting dalam sistem tenaga listrik seperti transformator dan generator.

Dari beberapa hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai dampak pertambahan beban

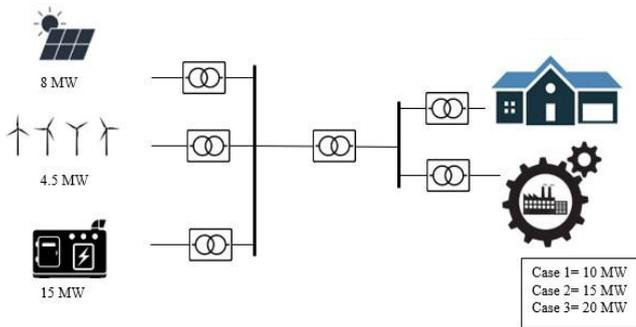
* Penulis korespondensi
E-mail: ubaidah@eng.unila.ac.id

terhadap stabilitas tegangan dalam sistem *hybrid generator*. Penelitian ini penting untuk memahami bagaimana penambahan beban memengaruhi stabilitas tegangan dan mengembangkan strategi operasi dan kontrol yang efektif untuk menjaga stabilitas tegangan dalam sistem *hybrid generator*.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental. Metode eksperimental dipilih untuk menguji pengaruh penambahan beban terhadap stabilitas tegangan dalam pemodelan hybrid generator secara langsung melalui simulasi dan analisis data.

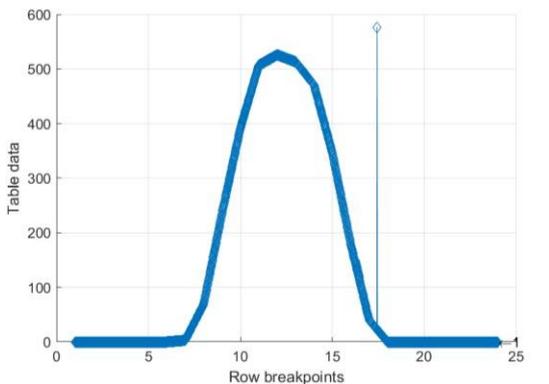
Berikut merupakan desain system yang digunakan dalam penelitian ini.



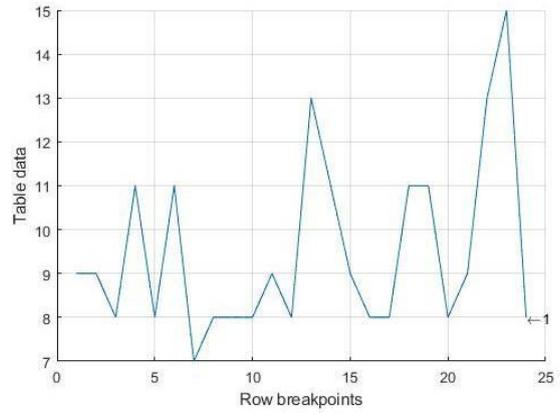
Gambar 1. Desain sistem.

Penelitian ini menggunakan tiga jenis generator yaitu angin, *Photovoltaic (PV)* dan diesel dengan beban residensial dan industrial. Skema penelitian ini adalah menganalisa dampak perubahan beban terhadap kestabilan tegangan. Terdapat tiga skema penelitian, yang pertama beban normal 10 MW kemudian pada case 2 beban ditambah menjadi 15 MW dan case 3 beban ditambah menjadi 20 MW. Dari penambahan beban tersebut ditinjau dampak kestabilan tegangan pada bus beban.

Dalam memodelkan *photovoltaic (PV)* terdapat *irradiance* dan profil angin yang ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3 berikut



Gambar 2. Irradiance photovoltaic (PV).



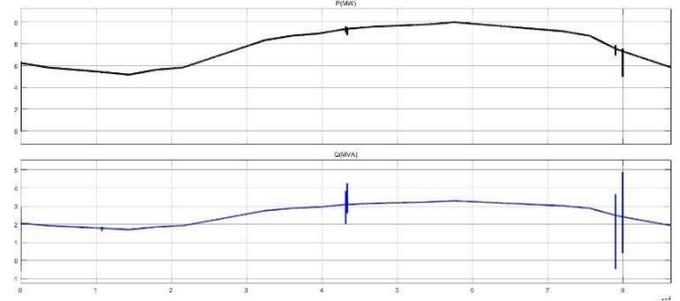
Gambar 3. Profil angin pada turbin angin.

Irradiance atau intensitas radiasi matahari memiliki pengaruh yang signifikan terhadap berbagai aspek kinerja panel surya.

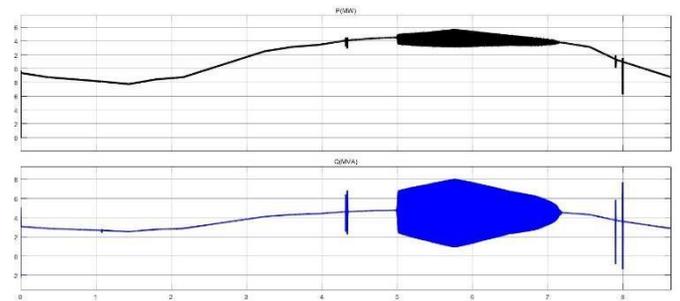
Kecepatan angin adalah faktor utama yang menentukan seberapa banyak energi yang dapat dihasilkan oleh turbin. Variasi kecepatan angin atau turbulensi dapat memengaruhi stabilitas dan efisiensi turbin.

3. Hasil dan pembahasan

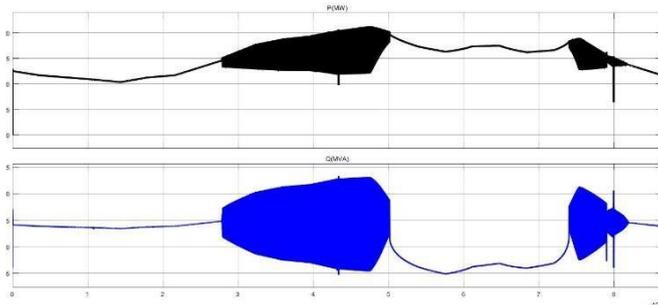
3.1 Daya PQ pada beban residensial



Gambar 4. Daya PQ pada beban residensial 10 MW.



Gambar 5. Daya PQ pada beban residensial 15 MW.

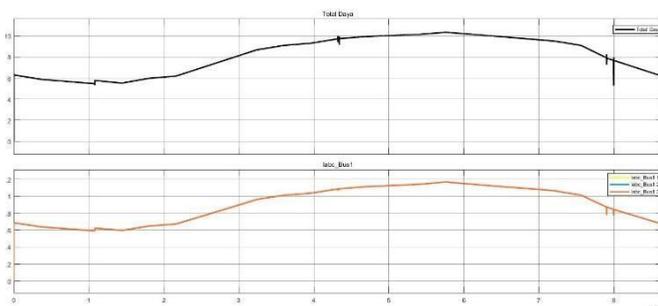


Gambar 6. Daya PQ pada beban residensial 20 MW.

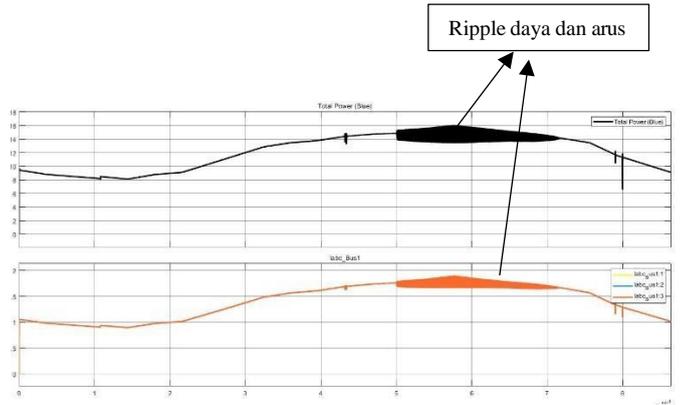
Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bagaimana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) berperilaku pada beban residensial dengan variasi beban 10 MW, 15 MW, dan 20 MW. Pada beban 10 MW, daya aktif dan daya reaktif mengalami osilasi yang relatif kecil, menandakan bahwa sistem tenaga listrik berada dalam kondisi yang stabil. Namun, ketika beban meningkat menjadi 15 MW, terlihat adanya peningkatan osilasi baik pada daya aktif maupun daya reaktif. Osilasi ini mulai menimbulkan indikasi awal ketidakstabilan sistem. Pada beban yang lebih tinggi, yaitu 20 MW, osilasi dalam daya aktif dan daya reaktif menjadi sangat signifikan, yang mengindikasikan bahwa sistem semakin mendekati atau bahkan memasuki kondisi tidak stabil. Dari ketiga kondisi beban ini, dapat disimpulkan bahwa semakin besar perubahan beban yang diterapkan pada sistem, semakin besar pula osilasi yang terjadi pada daya aktif dan daya reaktif. Hal ini menunjukkan potensi ketidakstabilan dalam sistem tenaga listrik, yang memerlukan perhatian khusus untuk memastikan bahwa sistem tetap beroperasi secara aman dan efisien.

Semakin besar perubahan beban pada sistem tenaga listrik, semakin besar osilasi yang terjadi pada daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Hal ini bisa menyebabkan ketidakstabilan dalam sistem tenaga listrik, yang jika tidak ditangani dengan baik, dapat berujung pada gangguan atau bahkan kegagalan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk memantau dan mengontrol osilasi ini, terutama saat sistem bekerja pada beban yang lebih tinggi.

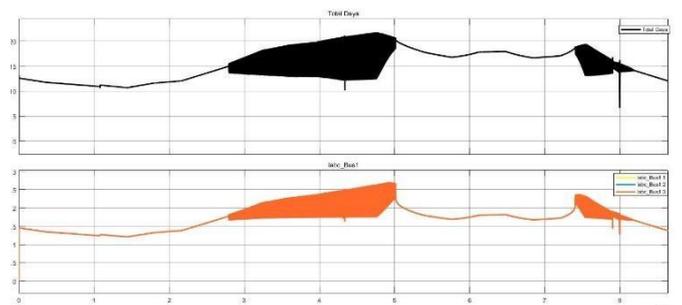
3.2 Daya dan arus pada bus beban



Gambar 7. Daya (P) dan arus (i) di bus beban saat beban residensial 10 MW.



Gambar 8. Daya (P) dan arus (i) di bus beban saat beban residensial 15 MW.

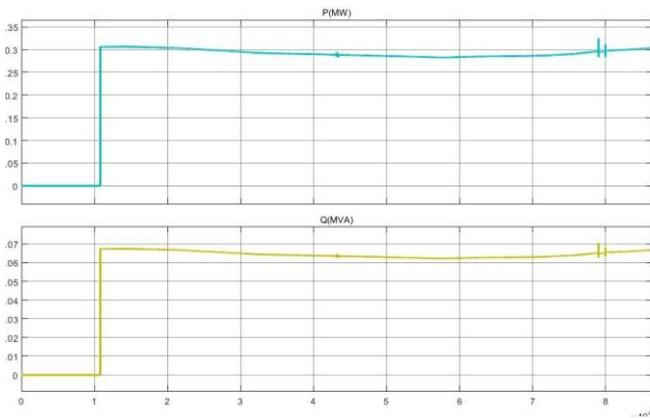


Gambar 9. Daya (P) dan arus (i) di bus beban saat beban residensial 20 MW.

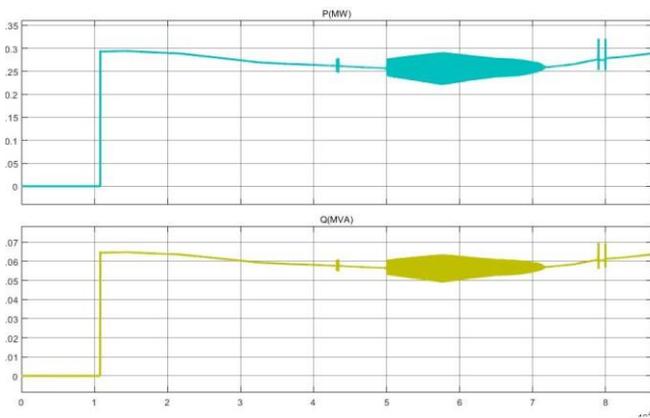
Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara daya (P) dan arus (I) di bus beban pada tiga skenario beban residensial: 10 MW, 15 MW, dan 20 MW. Berdasarkan data yang terlihat, peningkatan beban secara signifikan mempengaruhi stabilitas arus di bus beban, di mana terjadi fluktuasi yang semakin besar seiring dengan bertambahnya beban. Ketidakstabilan arus ini dapat mengakibatkan tegangan yang tidak stabil pada bus beban, yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang terhubung, seperti motor, transformator, dan perangkat elektronik sensitif lainnya. Fluktuasi arus yang signifikan juga dapat menginduksi pemanasan berlebih pada kabel dan komponen sistem tenaga listrik, yang tidak hanya mengurangi umur operasional tetapi juga meningkatkan risiko kerusakan serius.

Dengan demikian, peningkatan beban residensial tanpa disertai dengan pengaturan atau peningkatan kapasitas sistem yang memadai dapat menimbulkan risiko ketidakstabilan arus yang berdampak negatif pada keandalan dan keselamatan operasi sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan langkah-langkah yang dapat memastikan stabilitas arus, seperti peningkatan kapasitas sistem atau pemasangan perangkat stabilisasi, guna mencegah kerusakan yang tidak diinginkan pada infrastruktur kelistrikan.

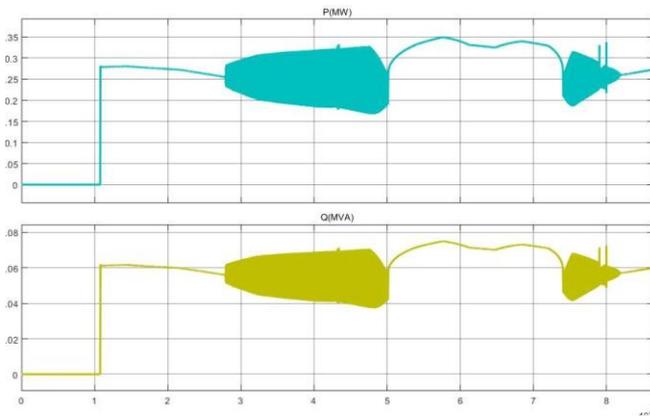
3.3 Daya PQ pada beban industrial



Gambar 10. Daya PQ di beban industrial saat beban 10 MW.



Gambar 11. Daya PQ di beban industrial saat beban 15 MW.



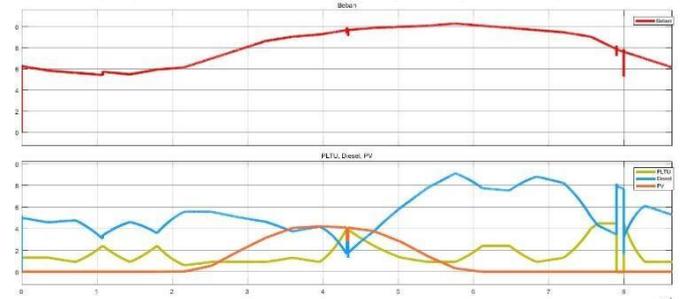
Gambar 12. Daya PQ di beban industrial saat beban 20 MW.

Gambar yang ditampilkan menggambarkan hubungan antara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada beban industrial dengan variasi beban 10 MW, 15 MW, dan 20 MW. Pada saat beban berada di 10 MW, baik daya aktif maupun daya reaktif menunjukkan lonjakan awal yang signifikan sebelum stabil pada nilai tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa pada beban rendah, sistem relatif stabil, meskipun tetap menunjukkan sedikit penurunan pada daya yang dikonsumsi. Seiring peningkatan beban menjadi 15 MW, terjadi peningkatan dalam fluktuasi daya aktif dan daya reaktif. Kurva yang

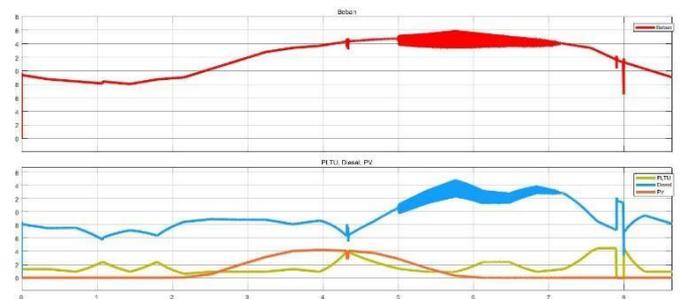
terbentuk semakin lebar, mencerminkan ketidakstabilan yang lebih besar di dalam sistem. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tenaga listrik harus bekerja lebih keras untuk menjaga keseimbangan daya dan tegangan.

Pada beban 20 MW, fluktuasi pada daya aktif dan daya reaktif menjadi semakin signifikan. Kurva yang semakin menyimpang dari garis stabil menunjukkan bahwa sistem mengalami lebih banyak gangguan, baik dari sisi stabilitas daya aktif maupun daya reaktif. Peningkatan beban ini menyebabkan kebutuhan daya reaktif yang lebih besar, yang pada akhirnya dapat membahayakan stabilitas tegangan dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, peningkatan beban pada sistem industrial berdampak negatif terhadap stabilitas dan efisiensi sistem tenaga listrik, dengan fluktuasi yang lebih besar mengindikasikan peningkatan kerugian daya dan kebutuhan akan intervensi untuk menjaga stabilitas sistem. Peningkatan beban yang terus menerus tanpa pengelolaan yang tepat dapat mengakibatkan penurunan kinerja sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

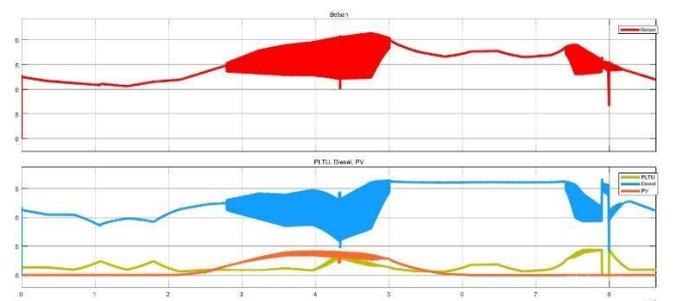
3.4 Daya pada beban dan daya pada pembangkit



Gambar 13. Total daya beban dan daya pembangkit PLTB, PLTS serta PV saat beban residensial 10 MW.



Gambar 14. Total daya beban dan daya pembangkit PLTB, PLTS serta PV saat beban residensial 15 MW.



Gambar 15. Total daya beban dan daya pembangkit PLTB, PLTS serta PV saat beban residensial 20 MW.

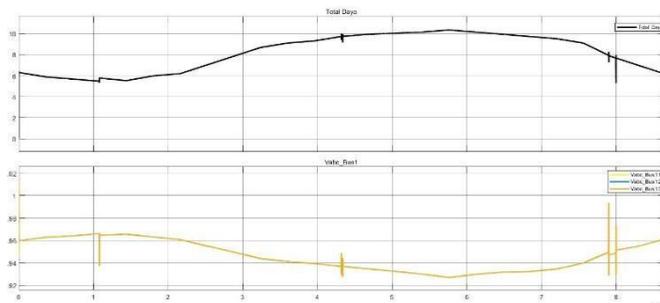
Grafik daya pembangkit pada grafik daya beban dan pembangkit menunjukkan kontribusi masing-masing pembangkit (PLTB, Diesel, dan PV) dalam memenuhi permintaan energi dari beban residensial.

Pada beban 10 MW, 5 ahaya pembangkit menunjukkan kinerja yang stabil. PLTB beroperasi pada kapasitas yang konstan, sementara pembangkit Diesel memberikan respon terhadap perubahan beban kecil dengan menyesuaikan output dayanya secara cepat. PV juga berkontribusi, meskipun dalam jumlah yang bahaya ke kecil.

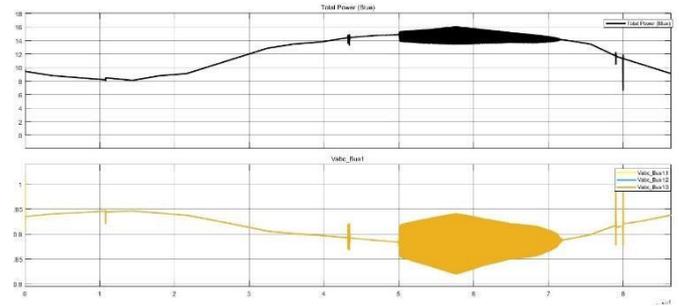
Ketika beban meningkat menjadi 15 MW, terlihat bahwa pembangkit Diesel mulai mengambil peran yang lebih besar dalam menjaga kestabilan daya. Hal ini disebabkan oleh sifat ramp rate dari pembangkit Diesel yang memungkinkan penyesuaian daya secara cepat sesuai dengan kebutuhan beban. PLTB tetap beroperasi dengan kapasitas stabil, sementara kontribusi PV cenderung menurun, yang mungkin disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan seperti intensitas 5ahaya matahari yang berkurang.

Pada beban 20 MW, beban mencapai titik puncak, yang memaksa pembangkit Diesel untuk bekerja lebih keras dalam memenuhi permintaan daya. Peningkatan kontribusi Diesel terlihat signifikan, menunjukkan bahwa beban yang meningkat memerlukan penyesuaian daya yang cepat. Pada saat yang sama, PLTB mempertahankan operasi pada kapasitasnya, sementara PV menunjukkan penurunan yang tajam dalam kontribusinya, kemungkinan karena waktu operasional PV yang terbatas (seperti waktu siang yang berkurang).

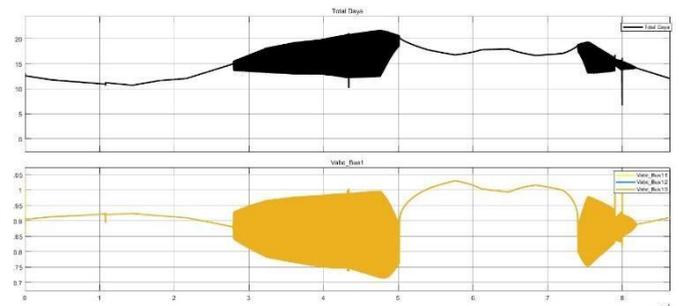
3.5 Daya dan tegangan pada bus beban



Gambar 16. Daya pembangkit dan tegangan bus beban saat beban 10 MW.



Gambar 17. Daya pembangkit dan tegangan bus beban saat beban 15 MW.



Gambar 18. Daya pembangkit dan tegangan bus beban saat beban 20 MW.

Pertambahan beban dalam sistem tenaga listrik memiliki pengaruh signifikan terhadap total daya pembangkit dan tegangan pada bus. Dari analisis grafik daya pembangkit dan tegangan pada berbagai tingkat beban (10 MW, 15 MW, dan 20 MW), terlihat bahwa peningkatan beban menyebabkan peningkatan total daya pembangkit, yang disertai dengan fluktuasi yang semakin besar, terutama pada beban 20 MW. Ini menunjukkan bahwa sistem tenaga listrik berusaha menyesuaikan dengan kenaikan beban, namun juga mencerminkan potensi stres yang dialami sistem pembangkit. Sementara itu, tegangan pada bus menunjukkan penurunan seiring dengan meningkatnya beban. Pada beban 10 MW, tegangan masih relatif stabil, namun mulai menurun secara signifikan pada beban 15 MW dan semakin tajam pada beban 20 MW, menunjukkan kesulitan sistem dalam mempertahankan tegangan pada level yang aman saat beban tinggi.

Ketidakstabilan tegangan dalam sistem tenaga listrik, baik dalam jangka pendek maupun panjang, dapat menimbulkan berbagai dampak negatif. Dalam jangka pendek, ketidakstabilan ini dapat menyebabkan gangguan pada peralatan listrik yang sensitif, mengurangi efisiensi operasional, dan meningkatkan risiko pemadaman listrik akibat respons proteksi otomatis. Dalam jangka panjang, ketidakstabilan tegangan dapat menyebabkan degradasi peralatan listrik, meningkatkan kerugian energi, menurunkan kualitas listrik yang disuplai, dan bahkan berpotensi merusak komponen penting dalam sistem tenaga listrik seperti transformator dan generator.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variasi beban yang signifikan memiliki dampak langsung terhadap stabilitas sistem tenaga listrik, terutama dalam hal osilasi daya aktif dan reaktif, fluktuasi arus, serta penurunan tegangan pada bus beban. Pada skenario dengan peningkatan beban dari 10 MW hingga 20 MW, terlihat bahwa semakin besar beban yang diterapkan, semakin besar pula potensi ketidakstabilan yang terjadi dalam sistem. Hal ini terlihat dari peningkatan osilasi dalam daya aktif dan reaktif, yang pada akhirnya mengindikasikan kemungkinan gangguan yang lebih besar pada sistem jika beban tidak diatur dengan tepat. Osilasi yang meningkat ini menunjukkan bahwa sistem tenaga listrik harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan kestabilan, terutama ketika beban mencapai level yang lebih tinggi. Ketidakstabilan ini bukan hanya mengancam keandalan sistem, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan serius pada komponen penting seperti motor, transformator, dan perangkat elektronik lainnya yang terhubung ke sistem.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut. Peningkatan beban dari 10 MW hingga 20 MW secara signifikan meningkatkan osilasi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), serta fluktuasi arus pada bus beban, yang mengarah pada ketidakstabilan sistem tenaga listrik. Peningkatan beban juga menyebabkan penurunan tegangan pada bus beban, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik dan menurunkan efisiensi operasional sistem. Sistem menunjukkan ketergantungan tinggi pada pembangkit Diesel untuk menstabilkan daya, terutama pada beban tinggi, yang meningkatkan risiko kelebihan beban dan penurunan efisiensi pembangkit. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan sistem Photovoltaic (PV) beroperasi dengan stabil pada beban rendah, namun kontribusi PV menurun secara signifikan pada beban tinggi akibat variabilitas *irradiance*. Ketidakstabilan yang diakibatkan oleh beban tinggi tanpa peningkatan kapasitas atau diversifikasi sumber energi berpotensi menimbulkan gangguan serius pada keandalan dan keamanan operasi sistem tenaga listrik.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan pada LPPM Unila melalui DIPA Fakultas Teknik yang telah mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill.
- Kundur, P., Paserba, J., & Ajibola, T. (2013). *Power System Dynamics and Stability*. Wiley-IEEE Press.
- Kundur, P. (2012). *The Role of Renewable Energy in Power Systems*. Wiley-IEEE Press.
- K. S. and R. K. , "Renewable Energy for Sustainable Development Goal of Clean and Affordable Energy," *International Journal of Materials Manufacturing and Sustainable Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 1-15, 2023.pp 77-82.
- Mulyadi et al., n.d., (2022). *Automatic Transfer Switth Pengatur Hibrid Plts-Pltb Dan Pln Sebagai Sumber Listrik Motor Bldc Kincir Aerator*. Prosiding 6th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2022
- Pawar, R., Dalsania, K. P., Sircar, A., Yadav, K., & Bist, N. (2024). *Renewable energy hybridization: a comprehensive review of integration strategies for efficient and sustainable power generation*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 29(3), 281-299.
- Mansouri, A., El Magri, A., Lajouad, R., Giri, F., & Watil, A. (2023). *Optimization strategies and nonlinear control for hybrid renewable energy conversion system*. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 21, 3796-3803.
- Talaat, M., Elkholy, M. H., Alblawi, A., & Said, T. (2023). *Artificial intelligence applications for microgrids integration and management of hybrid renewable energy sources*. *Artificial Intelligence Review*, 56, 10557-10611.
- Perera, A. T. D., Madusanka, A. N., Attalage, R. A., & Perera, K. K. C. K. (2022). *Dynamic performance evaluation of grid-connected hybrid renewable energy-based power generation for stability and power quality enhancement in smart grid*. *Frontiers in Energy Research*, 10, 861282.