

PENENTUAN KAPASITAS MAKSIMUM PLTS PADA MICROGRID DENGAN MEMPERTIMBANGKAN RAMPING RATE GENERATOR KONVENSIONAL

Natasya Almira¹, Khairudin^{2*}, Lukmanul Hakim³

^{1,2,3}Universitas Lampung; Jl. Soemantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, Lampung 35145; 0721 704947

Received: 5 Agustus 2024
Accepted: 5 Oktober 2024
Published: 12 Oktober 2024

Keywords:

Microgrid;
Photovoltaic;
Ramping Rate;
Load Frequency Control.

Correspondent Email:

khairudin@eng.unila.ac.id

Abstrak. *Microgrid* mengintegrasikan berbagai *Distributed Energy Resource* (DER) salah satunya *photovoltaic* (PV). Namun, mengintegrasikan sistem PV ke dalam *microgrid* dapat menimbulkan resiko, terutama ketika menyesuaikan kinerja dan keandalan sistem. Maka dari itu *ramp rate* pada generator adalah faktor penting lainnya yang harus ditangani untuk memastikan operasi *microgrid* yang stabil. Studi ini bertujuan untuk menentukan kapasitas maksimum PV di *microgrid* menggunakan simulasi *Load Frequency Control* (LFC). Model simulasi mencakup komponen seperti *PID Controller*, *ramp rate*, area 1 PLTD, area 2 PLTU, dan PV. Dua skenario digunakan dalam simulasi: tanpa menggunakan *ramp rate* dan dengan menggunakan *ramp rate*. Pada hasil simulasi, sistem mampu menjaga frekuensi operasional dalam rentang 48Hz hingga 52Hz berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 20 tahun 2020, yaitu $50 \pm 5\%$ Hz. Ada dua perbedaan dalam hasil simulasi antara kedua skenario, LFC tanpa *ramp rate* kapasitas maksimum PV yang dihasilkan adalah 101.5MW sedangkan LFC menggunakan *ramp rate* kapasitas maksimum PV yang dihasilkan adalah 94.25MW.

Abstrak. The microgrid integrates a variety Distributed Energy Resources, one of it is photovoltaic. However, integrating PV systems into microgrids can pose risks, especially when adjusting system performance and reliability. From that ramp rate on the generator is another important factor that needs to be addressed to ensure stable microgrid operation. The study aims to determine the maximum PV capacity in the microgrid using the Load Frequency Control simulation. The simulation model includes component such as PID Controller, ramp rate, area 1 PLTD, area 2 PLTU, and PV. Two scenarios are used in the simulation: without using ramp rate and using ramp rate. On simulation results, the system is able to keep operating frequencies within 48Hz to 52Hz based on the Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources number 20 of 2020, was $50 \pm 5\%$ Hz. There are differences between the simulations, LFC without ramp rate the maximum capacity PV is 101.5MW whereas LFC with ramp rate the maximum PV is 94.25MW.

1. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya permintaan akan energi terbarukan dan kebutuhan pasokan listrik yang andal dan efisien, *microgrid* menjanjikan alternatif solusi untuk daerah terpencil atau di luar jaringan listrik utama. *Microgrid* mengintegrasikan berbagai jenis *Distributed Energy Resources* (DER) seperti *wind turbines*, sistem penyimpanan energi, dan *photovoltaic* (PV) untuk membentuk sistem daya mandiri. [1] Di antara DER ini, sistem PV telah menjadi salah satu opsi yang paling menjanjikan karena kesederhanaannya, persyaratan pemeliharaan yang rendah, dan kemampuan untuk menghasilkan daya dari sumber terbarukan.

Akan tetapi, mengintegrasikan sistem PV dalam *microgrid* dapat menimbulkan tantangan tersendiri, terutama ketika mempertimbangkan kualitas daya dan keandalan *microgrid* karena banyak faktor yang mempengaruhi salah satunya yaitu pertimbangan *ramping rate* pada generator konvensional.[2]

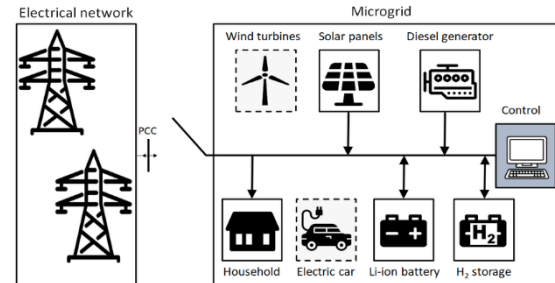
Untuk mengatasi masalah tersebut, makalah ini mengusulkan sebuah metode untuk pengoperasian *microgrid* yang stabil yaitu menentukan berapa kapasitas PV yang dibutuhkan dengan pertimbangan *ramp rate* dan total daya pada generator konvensional.[3] Karena jika kapasitas PV tidak mencukupi, dapat mengakibatkan pembangkitan listrik berlebih selama periode iradiasi tinggi, yang dapat melebihi *ramping-down* generator dan menyebabkan *over* pembangkitan begitupun sebaliknya saat terjadi periode iradiasi rendah.[4]

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Microgrid

Microgrid adalah jaringan listrik lokal dengan batas-batas listrik yang ditentukan, bertindak sebagai entitas tunggal dan dapat dikontrol. *Microgrid* dapat beroperasi dalam jaringan yang terhubung dan dalam mode pulau (*island mode*).[5] *Microgrid* yang berdiri sendiri atau *microgrid* terisolasi hanya beroperasi di luar jaringan dan tidak dapat dihubungkan ke sistem tenaga listrik yang lebih luas.[5] Definisi lain *microgrid* yaitu jaringan produksi dan distribusi energi lokal yang dapat

berfungsi secara independen ketika terputus dari jaringan listrik utama jika terjadi krisis



seperti pemadaman listrik.[6]

Gbr. 1 *Microgrid*

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu sistem untuk menyerap dan mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik.[3] Pada PLTS terdapat beberapa komponen utama, yaitu Panel Surya atau *Photovoltaic* (PV), *Solar Charge Controller*, *Inverter*, Baterai, Panel Listrik.[3] Terdapat beberapa jenis PLTS, yaitu PLTS *On-Grid*, PLTS *Off-Grid*, dan PLTS *Hybrid*. [7]

C. Ramp Rate

Ramp rate dapat diartikan sebagai kemampuan suatu pembangkit untuk menanggung fluktuasi beban secara cepat. Nilai *ramp rate* pada umumnya diukur berdasarkan persentase kapasitas pembangkit dalam kurun waktu tertentu (biasanya dalam menit). Dalam perencanaan sistem, nilai akumulasi *ramp rate* harus disesuaikan dengan karakteristik beban ataupun kombinasi pembangkit dalam sistem tersebut.[2]

Secara umum, pembangkit dengan turbin uap berbahan bakar batu bara mempunyai nilai *ramp rate* yang rendah. Hal tersebut disebabkan usaha membangkitkan daya gerak untuk memutar generator membutuhkan proses yang panjang mulai dari proses pembakaran batu bara, memanaskan air, *steam generating*, hingga dialirkan untuk memutar turbin. Panjangnya proses pembangkitan tersebut menyebabkan *response time* pembangkit batu bara menjadi lama dan hanya menghasilkan *ramp rate* yang kecil. Berbeda hal-nya dengan pembangkit seperti PLTD dikarenakan proses pembakaran bahan bakarnya begitu cepat maka

proses pembangkitan tenaga listrik dapat dengan cepat juga dihasilkan.[8]

D. Generator Diesel (PLTD)

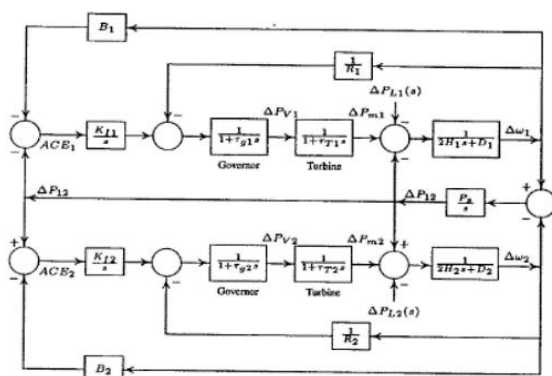
Generator diesel berarti sebuah mesin diesel yang berfungsi untuk menggerakkan generator/alternator sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar diesel atau yang biasa disebut solar.[9]

E. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan pembangkit yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik menggunakan bahan bakar batu bara dan air yang diproses menjadi uap panas sehingga menghasilkan energi listrik.[10] Yang dimana pengoperasiannya digerakan oleh penggerak turbin uap yang memanfaatkan uap panas (*steam*) dari hasil pemanasan air di dalam *boiler*. [11] Aliran uap panas tersebut digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga menghasilkan energi mekanis, dimana energi mekanis tersebut digunakan untuk menggerakkan generator yang terhubung langsung dengan turbin sehingga menghasilkan energi listrik.[11]

3. METODE PENELITIAN

Pemodelan simulasi dibuat dalam bentuk *Multiarea Power System* seperti pada Gambar 2 dibawah ini. Simulasi dilakukan di *Simulink* dengan menggunakan blok diagram *Load Frequency Control* (LFC)[12], yang dimana komponen-komponen simulasi terdiri dari PID Controller, *ramp rate*, area 1 PLTD (*diesel*



generator)[9], area 2 PLTU, dan PV. Dan terdapat dua skenario dalam pengujian simulasi ini yaitu tanpa menggunakan *ramp rate* dan dengan menggunakan *ramp rate*.

Gbr 2. *Multiarea Power System*

Dengan data parameter variabel nilai input[13] dan nilai *ramp rate*[14] yang digunakan terdapat pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai *Ramp Rate*

RAMP RATE AREA 1 (PLTD)	RAMP RATE AREA 2 (PLTU)
3.15 MW/min	3 MW/min

Tabel 2. Parameter Variabel Nilai Input

PARAMETER VARIABEL NILAI INPUT AREA 1 (PLTD)		
No.	Spesifikasi	Nilai
1	Governor Time Constant	0.3 s
2	Turbine Time Constant	0.6 s
3	Speed Regulation	0.0625
4	Damping (D)	0.9
5	Konstanta Inersia (H)	4
6	Frekuensi (Hz)	50 Hz
7	Base Power	100MVA
8	Daya Pembangkit	45 MW

PARAMETER VARIABEL NILAI INPUT AREA 2 (PLTU)		
No.	Spesifikasi	Nilai
1	Governor Time Constant	0.5 s
2	Turbine Time Constant	0.2 s
3	Speed Regulation	0.05
4	Damping (D)	0.6
5	Konstanta Inersia (H)	5
6	Frekuensi (Hz)	50 Hz
7	Base Power	100MVA
8	Daya Pembangkit	100 MW

Pada umumnya, *ramp rate* untuk PLTD berada di kisaran 5%-10% dari kapasitas

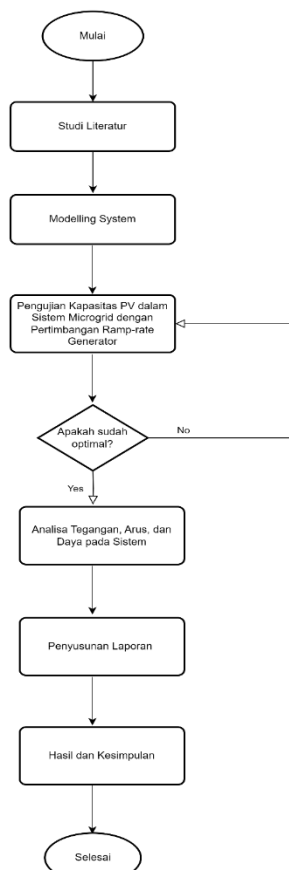
maksimum per menit[14] sedangkan *ramp rate* untuk PLTU berada di kisaran 1%-5% dari kapasitas maksimum per menit.[14] Maka dari itu, untuk perhitungan *ramp rate* pada makalah ini pada area 1 (PLTD) diasumsikan *ramp rate* nya 7% dari kapasitas maksimum per menit sedangkan pada area 2 (PLTU) diasumsikan *ramp rate* nya 3% dari kapasitas maksimum per menit. Pada persamaan berikut merupakan perhitungan nilai *ramp rate*.

$$RR = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Ramp rate area 1 (PLTD) (1)

$$RR = \frac{45MW}{0.07} = 3.15MW/min$$

Ramp rate area 2 (PLTU)



$$RR = \frac{100MW}{0.03} = 3.00MW/min$$

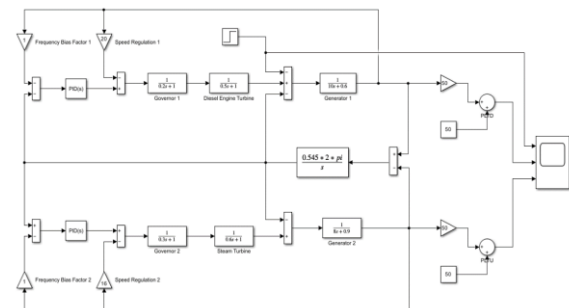
Alur analisis dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

Gbr 3. Alur Analisa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Blok Diagram *Load Frequency Control* (LFC) tanpa menggunakan *ramp rate*

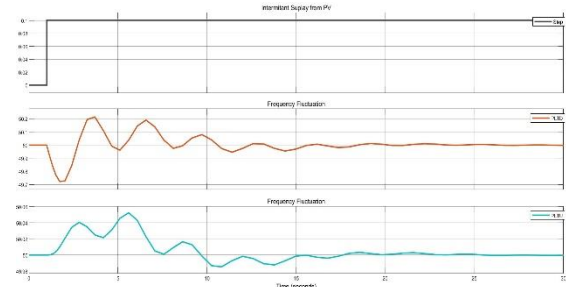
Simulasi *Load Frequency Control* (LFC) dikendalikan oleh *PID Controller* yang diperoleh dari *simulink*, pada Gambar 4 dibawah ini adalah model sistem blok diagram *load frequency control* (LFC) tanpa menggunakan *ramp rate*. Yang dimana nilai



variabel input terdapat pada Tabel 2, nilai *PID Controller* diatur sesuai dengan data variabel nilai *input* yang ada, dan diberi perubahan nilai *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.1 – 0.7p.u.

Gbr 4. Blok diagram LFC tanpa menggunakan *ramp rate*

Berdasarkan pengujian simulasi, maka



didapat hasilnya sebagai berikut.

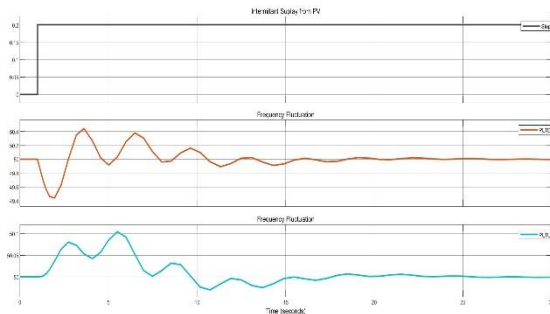
1. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.1p.u

Gbr 5. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.1p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD)

sebesar 50.2Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.04Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.1p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.1 \\ P_{PV} &= 14.5MW \end{aligned}$$

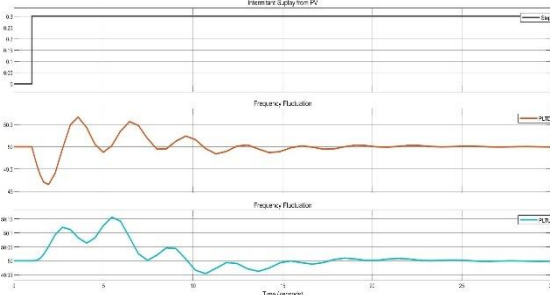


2. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.2p.u

Gbr 6. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.2p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.44Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.08Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.2p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.2 \\ P_{PV} &= 29MW \end{aligned} \quad (3)$$

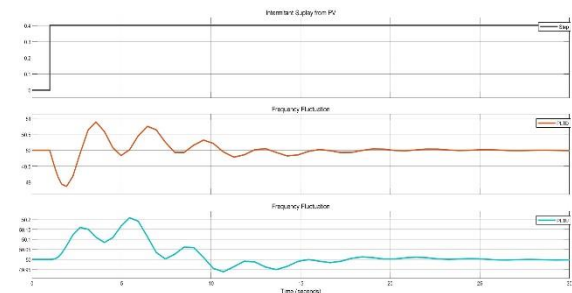


3. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.3p.u

Gbr 7. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.3p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.66Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.12Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.3p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.3 \\ P_{PV} &= 43.5MW \end{aligned} \quad (4)$$

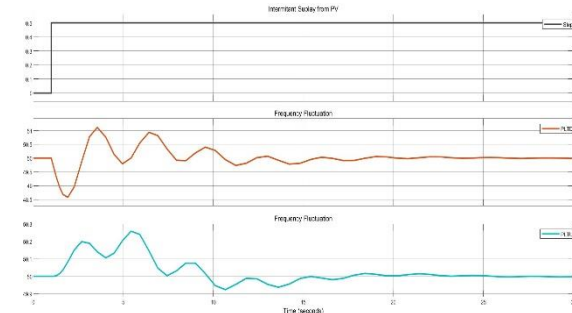


4. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.4p.u

Gbr 8. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.4p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.89Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.15Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.4p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.4 \\ P_{PV} &= 58MW \end{aligned} \quad (5)$$

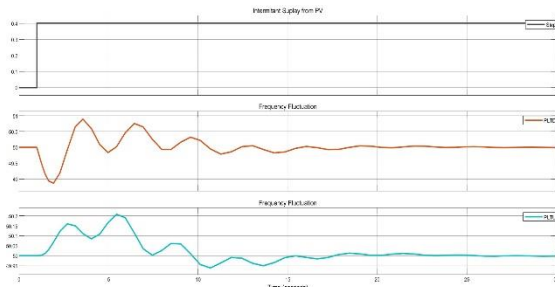


5. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.5p.u

Gbr 9. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.5p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 51.1Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.2Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.5p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.5 \\ P_{PV} &= 72.5MW \end{aligned} \quad (6)$$

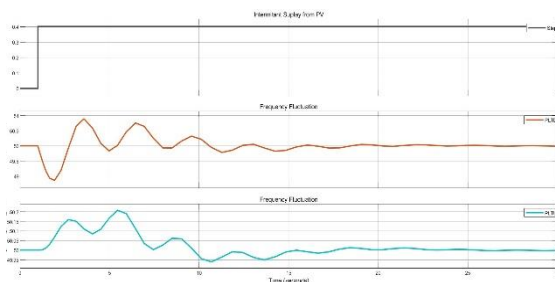


6. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.6p.u

Gbr 10. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.6p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 51.33Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.24Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.6p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.6 \\ P_{PV} &= 87MW \end{aligned} \quad (7)$$



7. Hasil pengujian LFC tanpa *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.7p.u

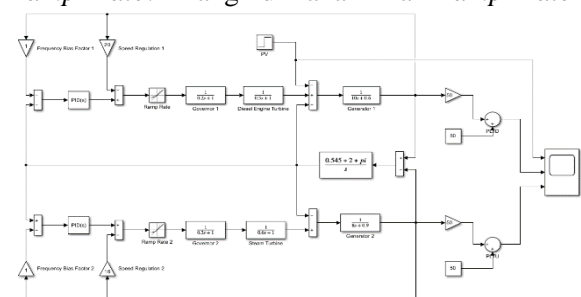
Gbr 11. Kurva hasil simulasi tanpa *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.7p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 51.5Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.27Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.7p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.7 \\ P_{PV} &= 101.5MW \end{aligned} \quad (8)$$

B. Pemodelan Blok Diagram Load Frequency Control (LFC) menggunakan *ramp rate*

Simulasi *Load Frequency Control* (LFC) dikendalikan oleh *PID Controller* yang diperoleh dari *simulink*, pada Gambar 12 dibawah ini adalah model sistem blok diagram *load frequency control* (LFC) menggunakan *ramp rate*. Yang dimana nilai *ramp rate*



terdapat pada Tabel 1 dan nilai variabel input terdapat pada Tabel 2, nilai *PID Controller* diatur sesuai dengan data variabel nilai *input* yang ada, dan diberi perubahan nilai *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.1 – 0.65p.u.

Gbr. 12 Blok diagram LFC menggunakan *ramp rate*

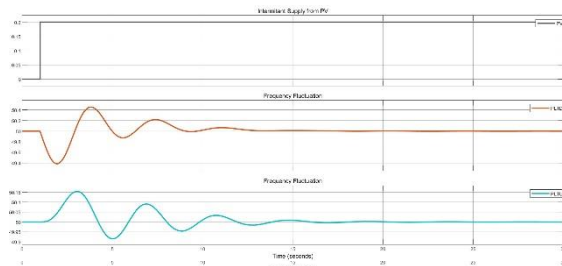
Berdasarkan pengujian simulasi, maka didapat hasilnya sebagai berikut.

- Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.1p.u

Gbr 13. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.1p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.22Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.07Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.1p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.1 \end{aligned} \quad (9)$$



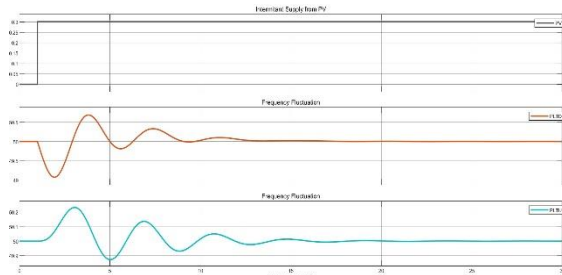
$$P_{PV} = 14.5MW$$

- Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.2p.u

Gbr 14. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.2p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.45Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.15Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.2p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.2 \end{aligned} \quad (10)$$



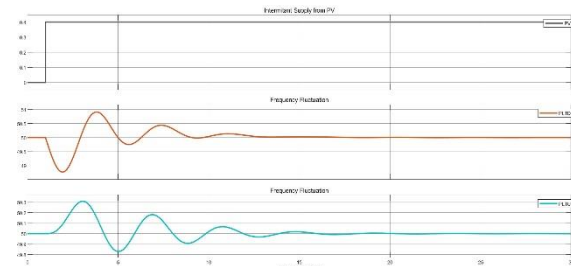
$$P_{PV} = 29MW$$

- Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.3p.u

Gbr 15. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.3p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.68Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.23Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.3p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.2 \end{aligned} \quad (11)$$



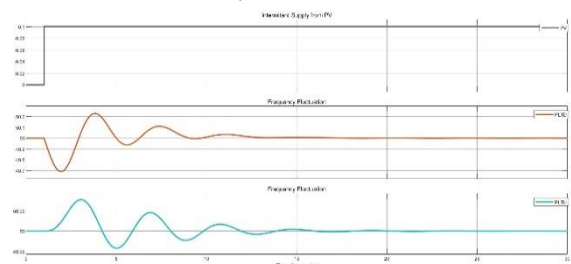
$$P_{PV} = 43.5MW$$

- Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.4p.u

Gbr 16. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.4p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 50.9Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.3Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.4p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.4 \\ P_{PV} &= 58MW \end{aligned} \quad (12)$$

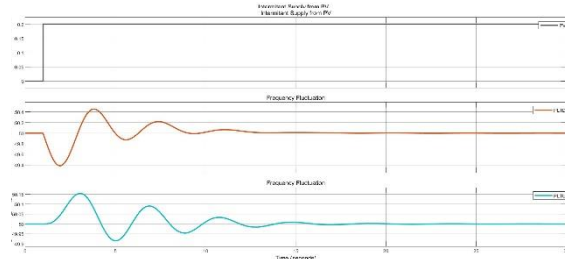


5. Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.5p.u

Gbr 17. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.5p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 51.13Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.4Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.5p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.5 \end{aligned} \quad (13)$$



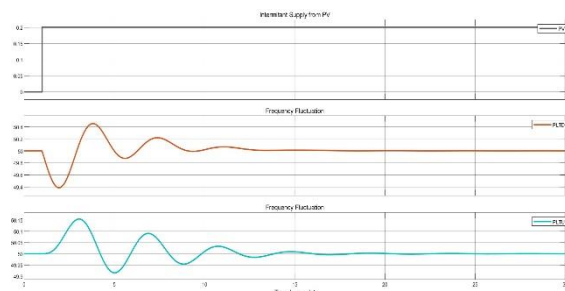
$$P_{PV} = 72.5MW$$

6. Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.6p.u

Gbr 18. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.6p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 51.36Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.46Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.6p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.6 \end{aligned} \quad (14)$$



$$P_{PV} = 87MW$$

7. Hasil pengujian LFC menggunakan *ramp rate* dengan *supply* radiasi matahari pada PV sebesar 0.65p.u

Gbr 19. Kurva hasil simulasi dengan *ramp rate* dengan nilai *supply* radiasi matahari 0.65p.u

Berdasarkan hasil pengujian selama 30s, frekuensi yang dihasilkan pada area 1 (PLTD) sebesar 51.5Hz dan pada area 2 (PLTU) sebesar 50.5Hz. Dan kapasitas PV yang dibutuhkan jika *supply* radiasi matahari sebesar 0.65p.u maka daya pasokan PV yang dibutuhkan dengan total daya mampu pembangkit sebesar 145 MW, yaitu:

$$\begin{aligned} P_{PV} &= \Delta P \times p.u \\ P_{PV} &= 145MW \times 0.65 \\ P_{PV} &= 94.25MW \end{aligned} \quad (15)$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan bahwa kapasitas maksimum *Photovoltaic* (PV)/PLTS pada *microgrid* dengan mempertimbangkan *ramping rate* generator konvensional yaitu saat *supply* radiasi matahari 0.65p.u \approx 65% terhadap total daya pembangkitan dalam sistem

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Zaki Diab, H. M. Sultan, I. S. Mohamed, N. Kuznetsov Oleg, and T. D. Do, "Application of different optimization algorithms for optimal sizing of pv/wind/diesel/battery storage stand-alone hybrid microgrid," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 119223–119245, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2936656.
- [2] R. F. Andriyanto, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Penerapan Batas Ramp-Rate dengan Menggunakan Kombinasi Metode FDP (Forward Dynamic Programming) dan QP (Quadratic Programming) Pada Unit Commitment-Economic Dispatch," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16181.
- [3] M. Gumintang, M. Sofyan, and I. Sulaeman, "Design and Control of PV Hybrid System in Practice," *Dtsch. Gesellschaft für Int. Zusammenarbeit*, pp. 1–122, 2020.
- [4] D. Ramasubramanian, "Importance of considering plant ramp rate limits for frequency control in zero inertia power systems," *IEEE Green Technol. Conf.*, vol. 2021-April, pp. 320–

- 322, 2021, doi: 10.1109/GreenTech48523.2021.00058.
- [5] E. T. Rahardjo, Annual IEEE Computer Conference, International Conference on QiR (Quality in Research) 13 2013.06.25-28 Yogyakarta, and QiR 13 2013.06.25-28 Yogyakarta, 2013 *International Conference on QiR (Quality in Research) 25-28 June 2013, Yogyakarta, Indonesia*.
- [6] “IET Renewable Power Gen - 2017 - Akram - Optimal sizing of a wind solar battery hybrid grid-connected microgrid system.pdf.”
- [7] Handrea Bernando Tambunan, *Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, 1st ed. Sleman, Yogyakarta: Deepublish Publisher, 2021.
- [8] N. Indriani and I. Garniwa, “Optimasi Battery Energy Storage System Dalam Mengatasi Renewable Energy Intermittency dan Load Leveling,” *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 4, no. 1, pp. 11–20, Mar. 2022, doi: 10.32528/elkom.v4i1.7216.
- [9] A. Mohammed, J. Pasupuleti, T. Khatib, and W. Elmenreich, “A review of process and operational system control of hybrid photovoltaic/diesel generator systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 436–446, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.12.035.
- [10] O. W. Irawan, L. S. Pratama, C. Insani, and A. L. Belakang, “Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW,” vol. 5, no. 3, pp. 109–118, 2021.
- [11] A. Sabir and J. Jiang, “Comparing the dynamic response of U-tube and helical coil steam generators in small modular reactor flexible operation,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 388, no. December 2021, 2022, doi: 10.1016/j.nucengdes.2021.111610.
- [12] M. D. Noviantara, I. N. Suweden, and I. M. Mataram, “Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Dengan Automatic Generation Control (AGC) Dua Area Menggunakan Fuzzy Logic Controller,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 263, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p15.
- [13] [Hadi_Saadat]_Power_System_Analysis(BookZa.org).pdf.
- [14] University of Wisconsin-Madison, “Active Power Ramp Rates,” no. 1, pp. 2–3, 2013.