

VIRTUAL SYNCHRONOUS GENERATOR UNTUK KOMPENSASI INERSIA PADA SISTEM MICROGRID

Alfandi Wicaksono^{1*}, Khairudin², Noer Soedjarwanto³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung

Riwayat artikel:

Received: 27 Februari 2022

Accepted: 11 Maret 2022

Published: 10 April 2022

Keywords:

Distributed generation, virtual synchronous generator, frekuensi, inersia, microgrid.

Correspondent Email:

alfandiwicak12@gmail.com

How to cite this article:

Alfandi (2022). Virtual Synchronous Generator Untuk Kompensasi Inersia Pada Sistem Microgrid. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(2)

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Semakin banyak pembangkit listrik terbarukan berbasis elektronika daya yang terintegrasi ke dalam jaringan listrik berakibat kurangnya total inersia sistem. Sistem dengan inersia yang rendah akan rentan terhadap kehilangan kestabilan ketika terjadi usikan dalam sistem meskipun mungkin hanya berupa gangguan kecil. Konsep *virtual synchronous generator* dikembangkan untuk menambahkan inersia buatan menggunakan *energy storage* serta inverter pada *distributed generation*. Pada *virtual synchronous generator*, pengaturan frekuensi dapat dilakukan dengan mengatur besarnya daya yang melayani beban melalui *energy storage*. Pengaturan dilakukan dengan menerima input berupa selisih antara frekuensi yang terukur dan frekuensi nominal, kemudian memberikan respon daya pada *microgrid* melalui *energy storage*. Hasil penelitian menunjukkan, ketika beban lepas dari *microgrid* mengakibatkan frekuensi mengalami *overshoot* sesaat sehingga *vsg* merespon dengan menyimpan daya yang disuplai menggunakan *energy storage* dan ketika beban masuk ke *microgrid* mengakibatkan frekuensi mengalami *drop* sesaat sehingga *vsg* merespon dengan memberikan daya tambahan melalui *energy storage*.

Abstract. With a lot renewable power plants based on power electronics are integrated into the power grid, resulting in less total inertia. Systems with low inertia will be prone to loss of stability when there is a disturbance in the system even though it may be only a small disturbance. The concept of virtual synchronous generator was developed to add artificial inertia using energy storage and inverter in distributed generation. In a virtual synchronous generator, frequency settings can be done by adjusting the amount of power that serves the load through energy storage. The setting is done by receiving input in the form of the difference between the measured frequency and the nominal frequency, then providing a power response to the microgrid via energy storage. The results show that when the load is removed from the microgrid, the frequency will experience an overshoot momentarily so that *vsg* responds by saving the power supplied using energy storage and when the load enters the microgrid it causes the frequency to drop momentarily so that *vsg* responds by providing additional power through energy storage.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan gas rumah kaca disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil yang berdampak pada meningkatnya polusi

lingkungan. Berdasarkan masalah tersebut, untuk mengurangi efek dari gas rumah kaca dilakukan dengan menggunakan sumber energi terbarukan [1]. Sumber energi terbarukan

merupakan bagian dari *distributed generation* yang disatukan pada sistem saling berhubungan. Dalam proses penetrasi *distributed generation* ke dalam sistem tenaga terdapat masalah yaitu tidak adanya inersia [2]. Masalah tersebut mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan antara permintaan daya dan pembangkitan listrik sehingga berakibat pada ketidakstabilan frekuensi pada sistem [3]. Konsep *virtual synchronous generator* merupakan kontrol yang berguna memberikan inersia buatan menggunakan *energy storage* dan inverter elektronika daya pada *distributed generation*. Konsep *virtual synchronous generator* diaplikasikan di jaringan *microgrid*. Jaringan *microgrid* merupakan sistem tenaga di sekelompok beban yang saling terhubung dengan pembangkit terdistribusi yang mampu bekerja untuk mengatur penyimpanan energi dan beroperasi secara mandiri.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkompensasi total inersia yang kurang dari sistem akibat pembangkit listrik terbaru berbasis elektronika daya. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengatasi masalah ketidakstabilan frekuensi akibat perubahan daya pada sisi beban di sistem *microgrid*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Virtual Synchronous Generator

Ide *virtual synchronous generator* awalnya didasarkan pada sifat dinamis generator sinkron untuk unit *distributed generation* berbasis elektronika daya. *Virtual synchronous generator* merupakan kombinasi antara kontrol, *distributed generation*, *energy storage source*, dan komponen elektronika daya yang berfungsi untuk menambahkan inersia agar meningkatkan stabilitas frekuensi sistem [4]. Inersia dalam gerak rotasi menyatakan ukuran kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan sudut.

Dalam sistem tenaga konvensional bergantung kinerja dinamis generator sinkron. Berdasarkan hal tersebut didapatkan persamaan ayunan sebagai berikut.

$$P_m - P_e = J\omega \frac{d\omega}{dt} + D\Delta\omega$$

Dimana J adalah momen inersia, ω adalah kecepatan sudut rotor sinkron, $\Delta\omega$ adalah perubahan kecepatan sudut, $\frac{d\Delta\omega}{dt}$ adalah laju

perubahan kecepatan sudut, P_m dan P_e berarti daya mekanik dan listrik untuk generator [5].

Dalam penelitian dilakukan teknik kendali turunan agar menentukan laju perubahan frekuensi. Selama perubahan tersebut, terjadinya selisih frekuensi yang berguna untuk masukan kontrol *vsg*. Pada kontrol *vsg* digunakan untuk menyuplai dan menyimpan daya ke beban, jika sistem dalam keadaan tidak stabil maka dilakukan perbaikan frekuensi [6].

2.2 Microgrid

Microgrid didefinisikan sebagai kumpulan beban, *distributed generation*, dan *energy storage* yang saling berhubungan. *Microgrid* dapat menghubungkan dan memutus jaringan listrik untuk dijalankan baik dalam mode *grid connected* maupun *islanded* [7]. Tujuan *microgrid* adalah untuk menyalurkan listrik secara berkelanjutan, ekonomis, dan aman dengan teknologi pemantauan, kontrol, dan *recovery* yang cerdas [8].

Microgrid bekerja sama dengan sistem daya, sistem informasi, dan mampu memberikan daya kembali ke jaringan yang lebih besar selama kegagalan jaringan atau pemadaman listrik. Jaringan *microgrid* menjadi lebih sensitif disebabkan kekurangan inersia, maka ketika perubahan beban dapat mengakibatkan penyimpangan frekuensi sehingga dapat memperburuk stabilitas *microgrid* [9].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Review

Tahapan *review* bertujuan untuk mempelajari dan mengumpulkan literatur [10], mengenai pemodelan dan simulasi terkait *virtual synchronous generator*. Terdapat beberapa acuan dalam penelitian ini yang membahas *virtual synchronous generator*, penelitian oleh Kenichi Sakimoto *et al* [11] yaitu mengevaluasi metode simulasi karakteristik transien generator sinkron menggunakan persamaan osilasi untuk mesin berputar dengan menggunakan inverter. Penelitian oleh Zhang Xiaolin [12] yaitu metode pengujian untuk inersia berputar dan

redaman generator sinkron *virtual* PV berdasarkan fungsi transfer frekuensi daya.

3.1.1. Gambar dan tabel

Parameter VSG yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter Virtual Synchronous Generator

Parameter	Nilai
<i>Energy Storage</i>	400 kW
L	930 μH
C	10 μF
Beban Resistif	50 kW, 100 kW, 150 kW
Inersia	12 kg/m ³

3.1.2. Rumus Matematika

Persamaan matematika untuk membuat *virtual synchronous generator* terdiri dari *swing equation*, *frekuensi power controller*, *voltage regulator* seperti ditunjukkan berikut.

3.1.2.1 Swing equation

Fungsi rotor digambarkan dalam persamaan berikut.

$$P_m - P_e = J\omega \frac{d\Delta\omega}{dt} + D\Delta\omega \quad (1)$$

3.1.2.2 Frequency control equation

Persamaan matematikanya adalah sebagai berikut.

$$(f_{ref} - f)k_p = P_m \quad (2)$$

3.1.2.3 Voltage regulator

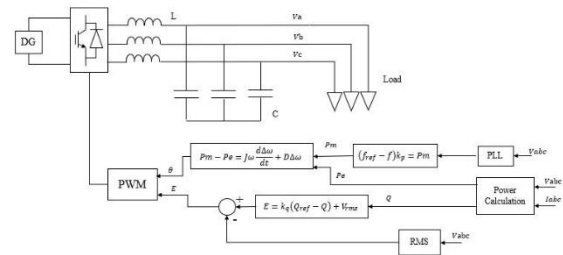
Persamaan matematikanya adalah sebagai berikut.

$$E = k_q(Q_{ref} - Q) + V_{rms} \quad (3)$$

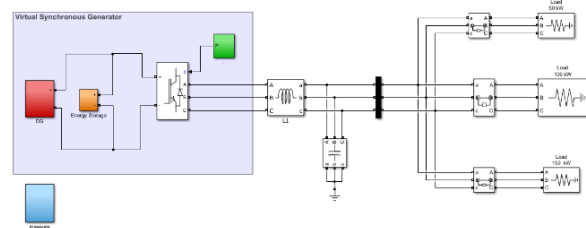
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Struktur Sistem

Model sistem pengujian dibangun di Matlab/Simulink. Berikut model sistem pengujian ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



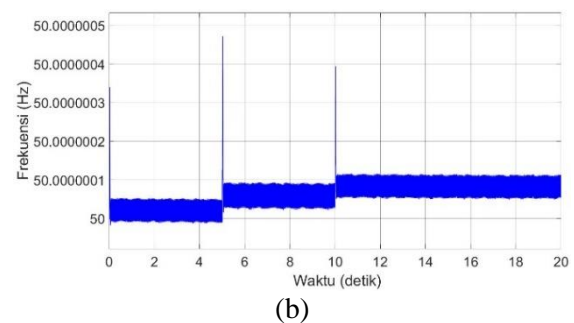
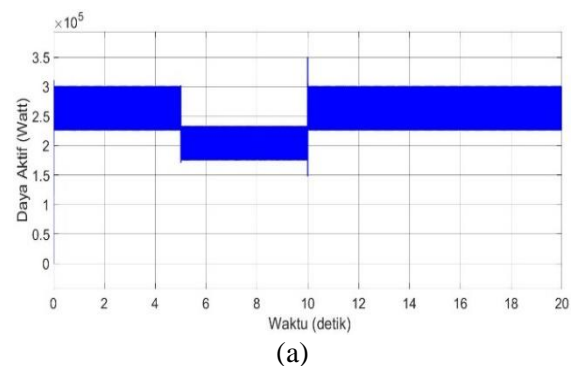
Gambar. 2 Subsistem VSG



Gambar. 3 Model keseluruhan sistem di Matlab/Simulink

4.2 Studi Kasus

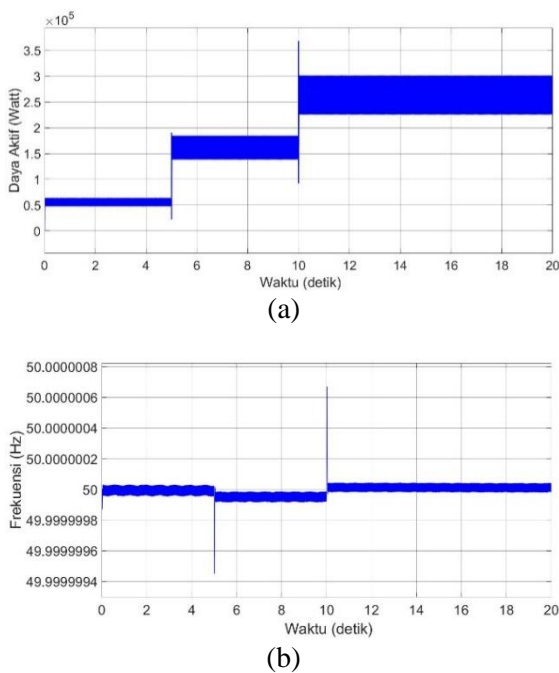
4.2.1 Skenario beban lepas sebesar 100 kW dan beban masuk sebesar 100 kW



Gambarr. 4 Skenario beban lepas sebesar 100 kW dan beban masuk sebesar 100 kW (a) Daya Aktif (b) Frekuensi.

Skenario pertama menunjukkan dalam kondisi *steady state* pada *microgrid islanded*. Dalam hal ini ketika DG melayani beban penuh sebesar 300 kW lalu pada waktu detik ke-5 beban lepas sebesar 100 kW dan saat waktu detik ke-10 beban terhubung kembali sebesar 100 kW. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 5, terjadi perubahan frekuensi yang diakibatkan perubahan kenaikan beban saat detik ke-5 sebesar 100 kW mengakibatkan frekuensi overshoot sesaat selama 0,05 detik dari nilai frekuensi 50 Hz menjadi 50,00000008 Hz dan detik ke-10 ketika beban masuk sebesar 100 kW mengakibatkan frekuensi sesaat selama 0,06 detik dari nilai frekuensi 50,00000008 Hz menjadi 50,00000001 Hz.

4.2.2 Skenario beban masuk sebesar 100 kW dan beban masuk sebesar 150 kW

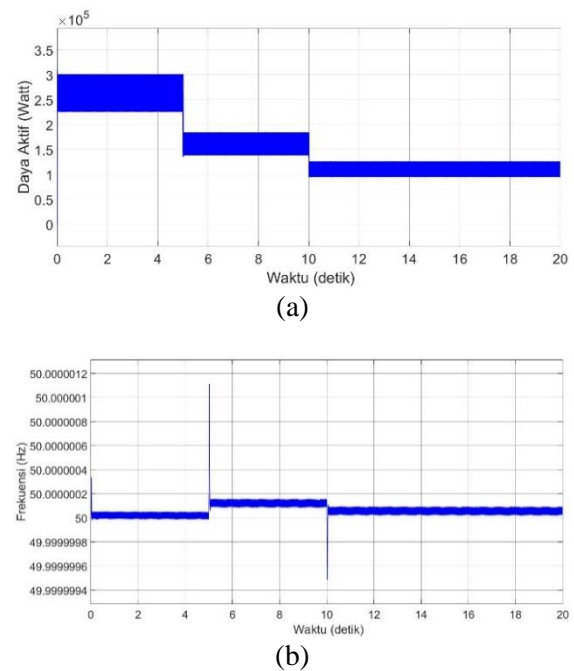


Gambar. 5 Skenario beban masuk sebesar 100 kW dan beban masuk sebesar 150 kW (a) Daya Aktif (b) Frekuensi.

Skenario kedua menunjukkan dalam kondisi *steady state* pada *microgrid islanded*. Saat kondisi awal DG melayani beban sebesar 50 kW menjadi 100 kW, saat waktu 5 detik sampai 10 detik, lalu terjadi penambahan beban kembali saat detik 10 sebesar 150 kW. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 6, terjadi perubahan frekuensi yang diakibatkan perubahan kenaikan

beban saat detik ke-5 sebesar 100 kW mengakibatkan frekuensi jatuh sesaat selama 0,05 detik dari nilai frekuensi 50 Hz menjadi 49,999999 Hz dan detik ke-10 ketika beban masuk sebesar 150 kW mengakibatkan frekuensi overshoot sesaat selama 0,07 detik dari nilai frekuensi 49,999999 Hz menjadi 50 Hz.

4.2.3 Skenario beban lepas sebesar 150 kW dan beban lepas sebesar 50 kW



Gambar. 6 Skenario beban lepas sebesar 150 kW dan beban lepas sebesar 50 kW (a) Daya Aktif (b) Frekuensi.

Skenario kedua menunjukkan dalam kondisi *steady state* pada *microgrid islanded*. Saat kondisi awal DG melayani beban sebesar 300 kW menjadi 150 kW saat waktu 5 detik sampai 10 detik. Lalu saat detik ke-10 beban sebesar 50 kW kembali lepas dari sistem menjadi 100 kW beban yang dilayani. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 7, terjadi perubahan frekuensi yang diakibatkan pelepasan beban sebesar 150 kW saat detik ke-5 sehingga mengakibatkan frekuensi overshoot sesaat selama 0,08 detik dari nilai frekuensi 50 Hz menjadi 50,00000015 Hz dan saat detik ke-10 terjadi pelepasan kembali sebesar 50 kW mengakibatkan

frekuensi drop selama 0,06 detik dari nilai 50,00000015 Hz menjadi 50,0000001 Hz.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

Virtual synchronous generator mampu mengkompensasi kekurangan inersia ketika terjadi beban lepas atau beban masuk pada sistem *microgrid* dengan cara memberikan daya ketika kekurangan atau menyimpan daya ketika kelebihan melalui *energy storage*. Ketika keseimbangan antara permintaan dan pembangkitan sesuai maka kestabilan frekuensi sistem dapat tercapai.

DAFTAR PUSTAKA (REFERENCE)

- [1] S. S. Thale, R. G. Wandhare, and V. Agarwal, "A Novel Reconfigurable Microgrid Architecture With Renewable Energy Sources and Storage," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 2, pp. 1805–1816, 2015, doi: 10.1109/TIA.2014.2350083.
- [2] B. Benjamin, B. Johnson, P. Denholm, and B. Hodge, "Achieving a 100% Renewable Grid," no. April, pp. 61–73, 2017.
- [3] K. R. Vasudevan, V. K. Ramachandaramurthy, T. S. Babu, and A. Pouryekta, "Synchronverter: A Comprehensive Review of Modifications, Stability Assessment, Applications and Future Perspectives," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 131565–131589, 2020.
- [4] H. Bevrani, T. Ise, and Y. Miura, "Virtual synchronous generators: A survey and new perspectives," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 54, pp. 244–254, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.07.009.
- [5] P. Kundur, "Power System Stability And Control by Prabha Kundur," *McGraw-Hill, Inc.* McGraw-Hill, New York, 1994.
- [6] T. Kerdphol, M. Watanabe, K. Hongesombut, and Y. Mitani, "Self-Adaptive Virtual Inertia Control-Based Fuzzy Logic to Improve Frequency Stability of Microgrid with High Renewable Penetration," *IEEE Access*, vol. 7, no. June, pp. 76071–76083, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2920886.
- [7] B. Yu, J. Guo, C. Zhou, Z. Gan, J. Yu, and F. Lu, "A Review on Microgrid Technology with Distributed Energy," *IEEE Access*, no. May, pp. 143–146, 2017.
- [8] F. Katiraei and M. R. Iravani, "Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1821–1831, 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2006.879260.
- [9] J. Liu and Y. Miura, "Comparison of Dynamic Characteristics Between Virtual Synchronous Generator and Droop Control in Inverter-Based Distributed Generators," *IEEE Access*, no. May, 2016.
- [10] Putri, D. D., Nama, G. F., & Sulistiono, W. E. (2022). Analisis Sentimen Kinerja Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) Pada Twitter Menggunakan Metode Naive Bayes Classifier. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(1).
- [11] K. Sakimoto, Y. Miura, and T. Ise, "Stabilization of a power system including inverter-type distributed generators by a virtual synchronous generator," *Electr. Eng. Japan (English Transl. Denki Gakkai Ronbunshi)*, vol. 187, no. 3, pp. 7–17, 2014, doi: 10.1002/eej.22426.
- [12] X. Zhang, W. Dong, G. Yao, and J. Zhang, "Test Method for Inertia and Damping of Photovoltaic Virtual Synchronous Generator Based on Power Angle Transfer Function," *2nd IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. EI2 2018 - Proc.*, 2018.