

Respon Dinamik *Micro Gas Turbine* Terhadap Gangguan Simetris dan Asimetris pada Sistem *On Grid* dengan *Simulink* MATLAB

Khairudin¹, Toha Hilpan Hamim², Noer Soedjarwanto³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹khairudin@eng.unila.ac.id

Intisari — Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Untuk memenuhi permintaan energi listrik yang terus meningkat tersebut dibutuhkan banyak pembangkit yang handal dan mampu menyuplai daya dalam keadaan gangguan maupun tidak ada gangguan. Pada penelitian ini disimulasikan pembangkit listrik dengan bahan bakar gas skala micro terhadap gangguan simetris dan asimetris pada saat terhubung ke grid untuk mengetahui respon dari micro gas turbine tersebut terhadap gangguan simetris dan asimetris. *Micro gas turbine* terkopel dengan generator permanen magnet dan memiliki putaran yang sangat tinggi sehingga frekuensi yang dihasilkan oleh generator juga tinggi sekitar 1.4 KHz. Oleh karena itu diperlukan *back to back* converter untuk menghasilkan frekuensi yang diinginkan yaitu 50 Hz. Pemodelan yang digunakan menggunakan *Simulink* Matlab 2020a. Pada simulasi yang dilakukan adalah melihat respon yang terjadi pada sisi grid dan sisi generator. Berdasarkan hasil simulasi terdapat perubahan tegangan dan arus pada sisi grid sedangkan pada sisi generator tidak terjadi perubahan putaran pada rotor genertor.

Kata kunci — *Micro Gas Turbine*, *Simulink* Matlab, Dinamik.

Abstract — Electrical energy is energy that is needed in everyday life. To meet the increasing demand for electrical energy, many reliable generators are needed and can supply power in a state of disturbance or without interference. In this study, a power plant with micro-scale gas fuel was simulated against symmetrical and asymmetrical disturbances when connected to the grid to determine the response of the micro gas turbine to symmetrical and asymmetrical disturbances. The micro gas turbine is coupled to a permanent magnet generator and has a very high rotation so that the frequency produced by the generator is also high at around 1.4 kHz. Therefore, a back-to-back converter is needed to produce the desired frequency of 50 Hz. The modeling used in *Simulink* Matlab 2020a. the simulation carried out is to see the response that occurs on the grid side and the generator side. Based on the simulation results, there is a change in voltage and current on the grid side, while on the generator side there is no change in rotation of the generator rotor.

Keywords — *Micro Gas Turbine*, *Simulink* Matlab, Dynamic.

I. PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu kebutuhan energi terus meningkat. Energi listrik merupakan energi yang sangat signifikan pertumbuhannya. Untuk memenuhi permintaan energi listrik yang terus meningkat tersebut dibutuhkan banyak pembangkit yang handal dan mampu menyuplai daya dalam keadaan gangguan maupun tidak ada gangguan.

Kenaikan beban yang semakin meningkat selalu diiringi dengan pertumbuhan pembangkit tenaga listrik. Pembangkit memiliki banyak jenis baik konvensional yang menggunakan mesin pembangkitan dalam seperti turbine uap dan turbine gas maupun terbarukan seperti *photovoltaic* (PV) dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB).

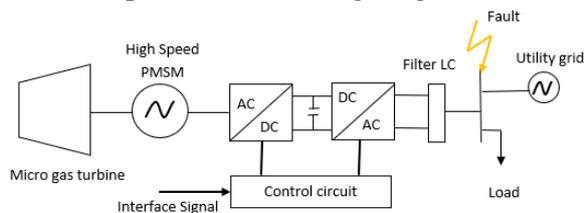
Dari berbagai jenis pembangkit tidak semuanya dikembangkan oleh perusahaan listrik negara (PLN). Terdapat juga pembangkit listrik yang dikembangkan oleh perusahaan dan perseorangan. *Micro gas turbine* merupakan pembangkit yang sangat berpotensi untuk dikembangkan baik dari PLN maupun perusahaan karena menggunakan bahan bakar gas alam yang ramah lingkungan dan mudah didistribusikan.

Pengembangan pembangkit yang banyak menyebabkan sumber energi listrik tidak hanya berasal dari satu arah (one way) melainkan dari dua arah baik itu dari sisi beban (pengguna) maupun dari sisi pembangkit PLN. Interkoneksi seperti ini membutuhkan suatu system yang pintar untuk mengaturnya yang lebih dikenal dengan istilah *smart grid*.

System yang handal harus mampu mengatasi berbagai macam gangguan baik itu gangguan internal maupun eksternal. Gangguan simetris dan asimetris merupakan gangguan ekstrenal yang sering terjadi pada suatu system. Pada penelitian ini akan disimulasikan pembangkit listrik dengan bahan bakar gas skala micro terhadap gangguan simetris dan asimetris untuk mengetahui respon dari *micro gas turbine* tersebut terhadap gangguan simetris dan asimetris.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi pada aplikasi *Simulink* dari perangkat lunak *Matlab* untuk melihat respon sistem pembangkit listrik *micro gas turbine* terhadap perubahan gangguan simetris dan asimetris pada saat terhubung ke grid.



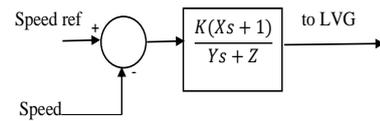
Gbr 1. Pemodelan Micro Gasturbine Terhubung ke Grid

A. Microturbine

Pemodelan micro gas turbine terdiri dari beberapa bagian utama yaitu speed controller, fuel control, dan *compressor turbine*.

1. Speed controller

Kontrol kecepatan diklasifikasikan sebagai kontrol isochronous atau droop. Kontrol isochronous diterapkan untuk sistem yang terisolasi sedangkan kontrol droop diterapkan untuk sistem yang terhubung ke jaringan. Kontrol kecepatan bekerja pada kesalahan kecepatan antara kecepatan referensi dan kecepatan rotor. Kontrol kecepatan dapat dimodelkan dengan pengontrol PID atau pengontrol fase maju dan penundaan (Lead (Lag) compensator). Pada penelitian ini kontrol fase maju dan penundaan digunakan untuk memodelkan kontrol kecepatan

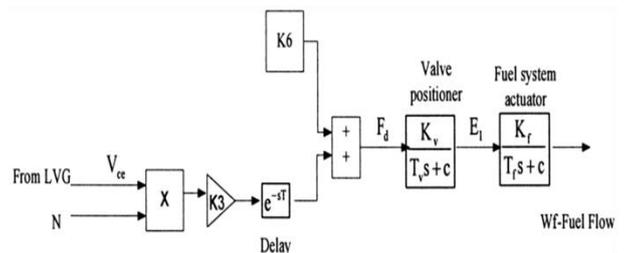


Gbr 2. Speed controller

Dimana K adalah konstanta pengontrol, T_1 dan T_2 masing-masing konstanta waktu yang mengacu pada pengontrol maju dan penundaan, dan Z menunjukkan mode operasi yang digunakan (Droop atau Isochronous).

2. Fuel control

Fuel control terdiri dari 2 bagian yaitu valve positioner dan fuel system actuator

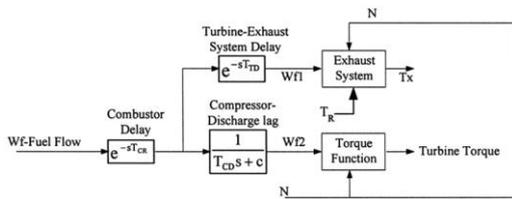


Gbr 3. Fuel control

$K_3 = 1 - K_6$, di mana K_3 adalah penguatan bertahap untuk sinyal V_{ce} , K_6 adalah jumlah minimum aliran bahan bakar saat turbin beroperasi tanpa beban, K_v dan K_f adalah konstanta posisi katup dan aktuator, sedangkan T_v dan T_f adalah konstanta waktu katup dan aktuator dan W_f merupakan kebutuhan bahan bakar untuk pengoperasian turbin mikro.

3. Compressor turbine

Kompresor turbin merupakan jantung dari turbin mikro. Turbin pada dasarnya adalah perangkat non-dinamis linier, sedangkan kompresor adalah perangkat dinamis dengan jeda waktu (T_{CD}) yang terkait dengan volume pelepasan kompresor. Hal ini dikarenakan keluaran dari kompresor tidak dapat berubah secara instan bila ada perubahan masukannya. Ada juga penundaan waktu kecil (T_{CR}) yang terkait dengan reaksi pembakaran dan penundaan transportasi (T_{TD}) yang terkait dengan pengangkutan gas dari sistem pembakaran melalui turbin.

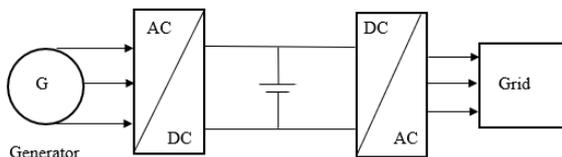


Gbr 4. Compressor turbine

B. Komponen Elektronika Daya

Micro gas turbine memiliki putaran yang tinggi sehingga mengakibatkan putaran yang dihasilkan oleh generator yang dikopel dengan turbin tersebut tinggi juga. Pada micro gas turbine putaran yang dihasilkan berkisar 45.000 rpm – 120.000 rpm. Putaran yang tinggi ini membuat frekuensi yang dihasilkan oleh generator juga tinggi yaitu 1.400 Hz – 4.000 Hz.

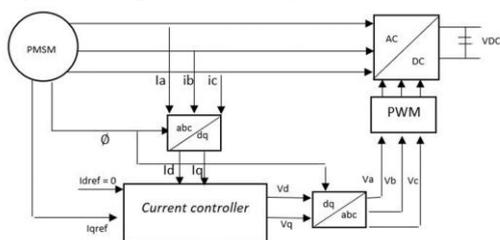
Untuk dapat dihubungkan ke grid maka generator harus disinkronisasi terlebih dahulu. Salah satu syarat dalam sinkronisasi generator adalah frekuensinya harus sama antara generator dengan grid. Oleh sebab itu untuk memperoleh frekuensi yang sama dengan grid (50 Hz) maka keluaran generator yang memiliki frekuensi yang tinggi harus melalui rangkaian elektronika daya terlebih dahulu (back to back converter) yang terdiri dari penyearah (rectifier) dan inverter.



Gbr 5. Rangkaian Bact To Back Converter

1. Blok machine side converter control

Tujuan utama dari blok ini adalah untuk menjaga level tegangan dan kecepatan generator sinkron magnet permanen yang digunakan pada micro gas turbine.



Gbr 6. Skema Machine Side Converter Control

Dimana K_{pw} dan K_{iw} adalah proporsional dan integral. Persamaan matematis dari current controller adalah sebagai berikut.

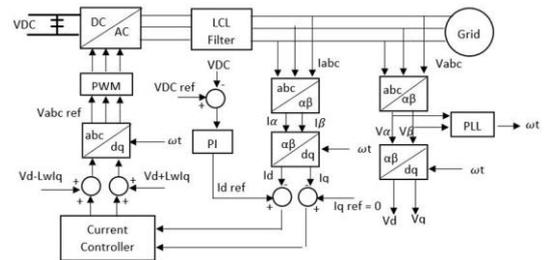
$$I_{qref} = K_{pw} \cdot e_w + K_{iw} \int e_w \quad (1)$$

$$V_d = K_{pi} \cdot e_d + K_{ii} \int e_d dt - \omega_r L_q i_q \quad (2)$$

$$V_q = K_{pi} \cdot e_q + K_{ii} \int e_q dt - \omega_r L_d i_d \quad (3)$$

2. Blok line side converter control

Tujuan utama dari blok ini adalah untuk menjaga level tegangan DC dan menjaga tegangan sisi beban.



Gbr 7. Skema Line Side Converter Control

C. Generator Permanen Magnet

Generator permanen magnet merupakan mesin listrik yang terkopel dengan turbin untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Berikut ini spesifikasi dari generator permanen magnet yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Parameter Generator Magnet Permanen

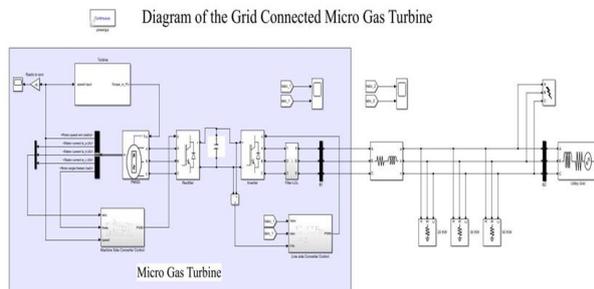
Parameter	Value
F	0.001 N.m.s
J	0.0008 Kg.m ²
Lq, Ld	0.6875 mH
P	2
R	0.7 Ω
λ	0.0534 wb

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Micro gas turbine yang ditinjau dalam studi ini memiliki 60 kW, tegangan 400 V, dan frekuensi 50 Hz. Dalam pemodelan ini micro gas turbine terhubung ke beban sebesar 20 kW, 30 kW, dan 60 kW dan terhubung ke grid.

Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu micro gas turbine terhubung ke grid dan ke beban resistif. Kemudian pada

skenario tersebut dilakukan pengujian terhadap gangguan simetris dan asimetris. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah ada pengaruh putaran turbine terhadap gangguan simetris dan asimetris.

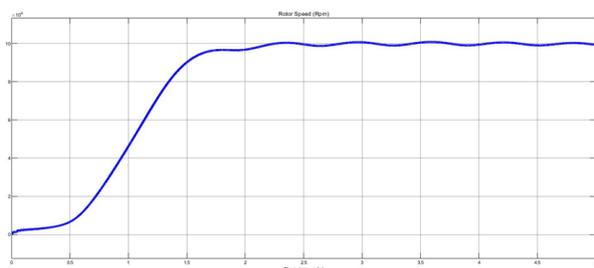


Gbr 8. Skenario Saat Terjadi Gangguan

A. Hasil skenario micro gas turbin saat terhubung ke grid dengan gangguan satu fasa ke tanah

1. Kecepatan putaran rotor

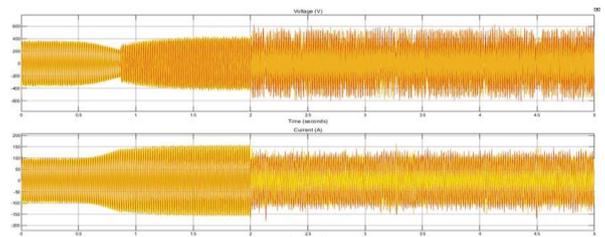
Kecepatan rotor pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan kenaikan putaran 96.000 rpm pada waktu 1,5 detik kemudian meningkat 100.000 rpm pada waktu 2 detik.



Gbr 9. Kecepatan Rotor Saat Terjadi Gangguan Satu Fasa ke Tanah

2. Output *micro gas turbine*

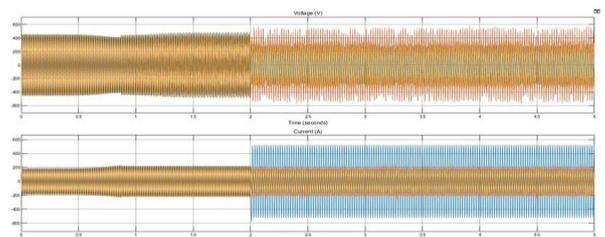
Output *micro gas turbine* pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan nilai tegangan 380 V kemudian menurun menjadi 200 V pada waktu 0.8 detik, setelah itu kembali naik sampai 400 V. Arus keluaran *micro gas turbine* menunjukkan nilai 100 A kemudian mengalami kenaikan sebesar 150 V pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan satu fasa ke tanah dimana tegangan mengalami kenaikan dan arus mengalami penurunan.



Gbr 10. Output *Micro Gas Turbine* Saat Terjadi Gangguan Satu Fasa ke Tanah

3. Grid

Output tegangan pada sisi grid menunjukkan 480 V kemudian terjadi penurunan menjadi 400 V pada waktu 0.8 detik setelah itu kembali naik menjadi 480 V. Output arus menunjukkan nilai sebesar 200 A kemudian mengalami kenaikan menjadi 230 A pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan satu fasa ke tanah dan terjadi perubahan tegangan dan arus dimana arus mengalami kenaikan dan tegangan mengalami penurunan.

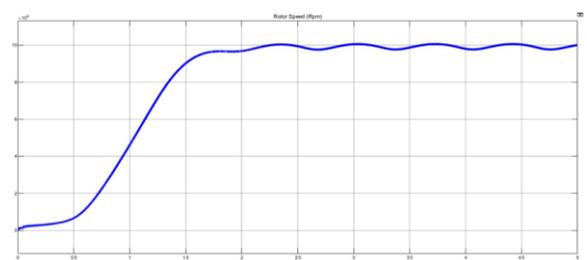


Gbr 11. Nilai Tegangan Dan Arus Pada Sisi Grid Saat Terjadi Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

B. Hasil skenario micro gas turbin saat terhubung ke grid dengan gangguan dua fasa ke tanah.

1. Kecepatan putaran rotor

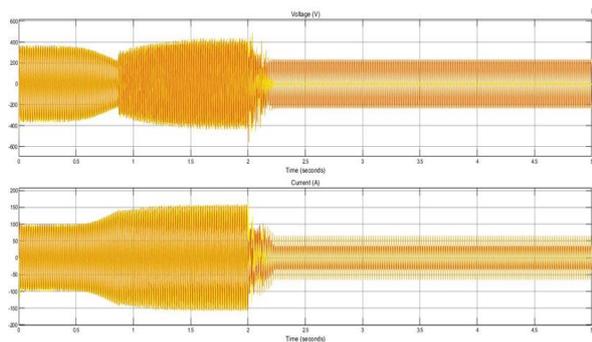
Kecepatan rotor pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan kenaikan putaran 96.000 rpm pada waktu 1,5 detik kemudian meningkat 100.000 rpm pada waktu 2 detik.



Gbr 12. Kecepatan Rotor Saat Terjadi Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

2. Output *micro gas turbine*

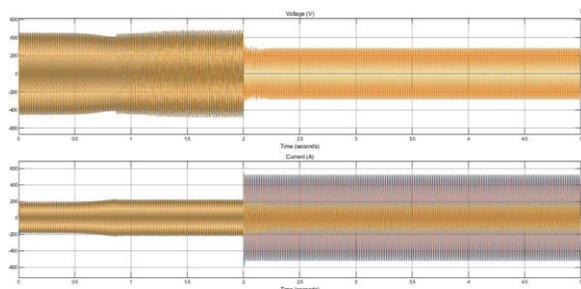
Output *micro gas turbine* pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan nilai tegangan 380 V kemudian menurun menjadi 200 V pada waktu 0.8 detik, setelah itu kembali naik sampai 400 V. Arus keluaran *micro gas turbine* menunjukkan nilai 100 A kemudian mengalami kenaikan sebesar 150 V pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan dua fasa ke tanah dimana tegangan dan arus mengalami penurunan.



Gbr 13. Output *Micro Gas Turbine* Saat Terjadi Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

3. Grid

Output tegangan pada sisi grid menunjukkan 480 V kemudian terjadi penurunan menjadi 400 V pada waktu 0.8 detik setelah itu kembali naik menjadi 480 V. Output arus menunjukkan nilai sebesar 200 A kemudian mengalami kenaikan menjadi 230 A pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan dua fasa ke tanah dan terjadi perubahan tegangan dan arus dimana arus mengalami kenaikan dan tegangan mengalami penurunan.

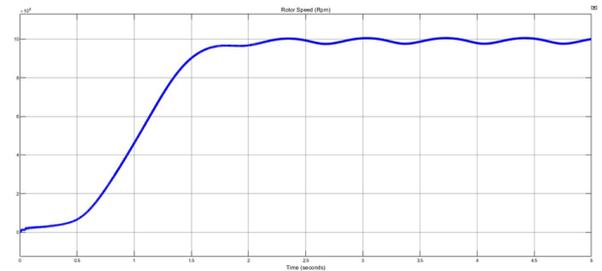


Gbr 14. Nilai Tegangan Dan Arus Pada Sisi Grid Saat Terjadi Gangguan Dua Fasa Ke Tanah.

C. Hasil skenario *micro gas turbin* saat terhubung ke grid dengan gangguan fasa ke fasa

1. Kecepatan putaran rotor

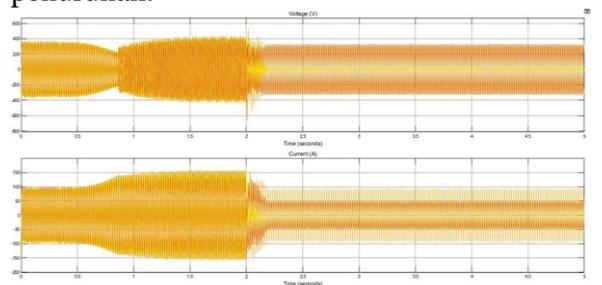
Kecepatan rotor pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan kenaikan putaran 96.000 rpm pada waktu 1,5 detik kemudian meningkat 100.000 rpm pada waktu 2 detik.



Gbr 15. Kecepatan Rotor Saat Terjadi Gangguan Fasa Ke Fasa

2. Output *micro gas turbine*

Output *micro gas turbine* pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan nilai tegangan 380 V kemudian menurun menjadi 200 V pada waktu 0.8 detik, setelah itu kembali naik sampai 400 V. Arus keluaran *micro gas turbine* menunjukkan nilai 100 A kemudian mengalami kenaikan sebesar 150 V pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan fasa ke fasa dimana tegangan dan arus mengalami penurunan.

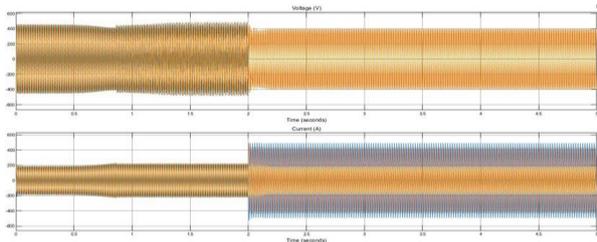


Gbr16. Output *Micro Gas Turbine* Saat Terjadi Gangguan Fasa Ke Fasa.

3. Grid

Output tegangan pada sisi grid menunjukkan 480 V kemudian terjadi penurunan menjadi 400 V pada waktu 0.8 detik setelah itu kembali naik menjadi 480 V. Output arus menunjukkan nilai sebesar 200 A kemudian mengalami kenaikan menjadi 230 A pada waktu 0.8 detik.

Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan fasa ke fasa dan terjadi perubahan tegangan dan arus dimana arus mengalami kenaikan dan tegangan mengalami penurunan.

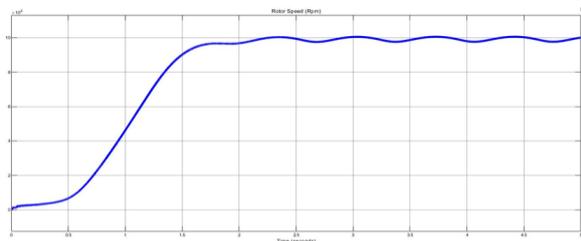


Gbr 17. Nilai Tegangan Dan Arus Pada Sisi Grid Saat Terjadi Gangguan Fasa Ke Fasa

D. Hasil skenario micro gas turbin saat terhubung ke grid dengan gangguan tiga fasa

1. Kecepatan putaran rotor

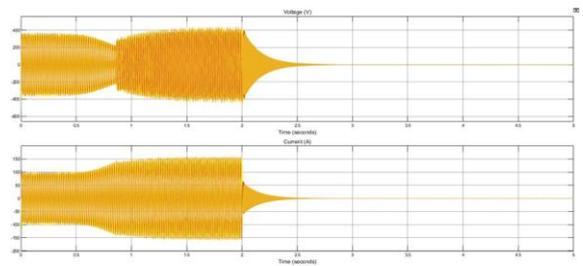
Kecepatan rotor pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan kenaikan putaran 96.000 rpm pada waktu 1,5 detik kemudian meningkat 100.000 rpm pada waktu 2 detik.



Gbr 18. Kecepatan Rotor Saat Terjadi Gangguan Tiga Fasa

2. Output *micro gas turbine*

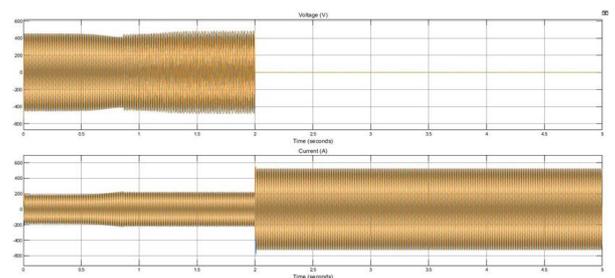
Output *micro gas turbine* pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan nilai tegangan 380 V kemudian menurun menjadi 200 V pada waktu 0.8 detik, setelah itu kembali naik sampai 400 V. Arus keluaran *micro gas turbine* menunjukkan nilai 100 A kemudian mengalami kenaikan sebesar 150 V pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan tiga fasa dimana tegangan dan arus mengalami penurunan.



Gbr 19. Output *Micro Gas Turbine* Saat Terjadi Gangguan Tiga Fasa

3. Grid

Output tegangan pada sisi grid menunjukkan 480 V kemudian terjadi penurunan menjadi 400 V pada waktu 0.8 detik setelah itu kembali naik menjadi 480 V. Output arus menunjukkan nilai sebesar 200 A kemudian mengalami kenaikan menjadi 230 A pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan tiga fasa dan terjadi perubahan tegangan dan arus dimana arus mengalami kenaikan dan tegangan mengalami penurunan.

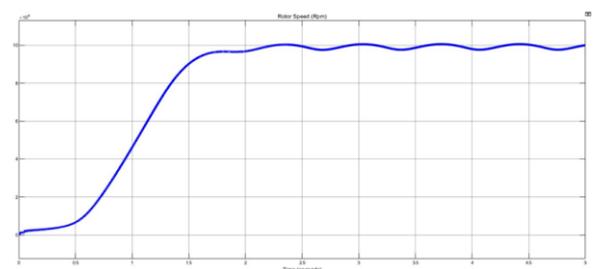


Gbr 20. Nilai Tegangan Dan Arus Pada Sisi Grid Saat Terjadi Gangguan Tiga Fasa

E. Hasil skenario micro gas turbin saat terhubung ke grid dengan gangguan tiga fasa ke tanah

1. Kecepatan putaran rotor

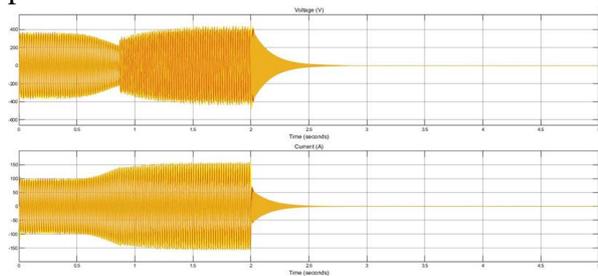
Kecepatan rotor pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan kenaikan putaran 96.000 rpm pada waktu 1,5 detik kemudian meningkat 100.000 rpm pada waktu 2 detik.



Gbr 21. Rotor Saat Terjadi Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah

2. Output *micro gas turbine*

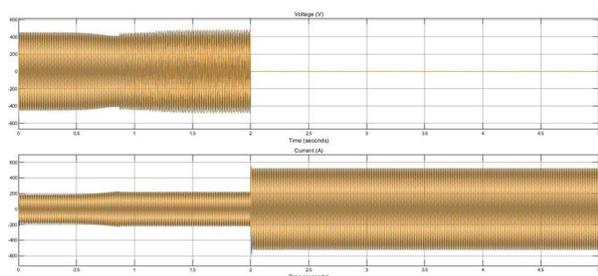
Output *micro gas turbine* pada saat tidak terjadi gangguan menunjukkan nilai tegangan 380 V kemudian menurun menjadi 200 V pada waktu 0.8 detik, setelah itu kembali naik sampai 400 V. Arus keluaran *micro gas turbine* menunjukkan nilai 100 A kemudian mengalami kenaikan sebesar 150 V pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan tiga fasa ke tanah dimana tegangan dan arus mengalami penurunan.



Gbr 22. Output *Micro Gas Turbine* Saat Terjadi Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah

3. Grid

Output tegangan pada sisi grid menunjukkan 480 V kemudian terjadi penurunan menjadi 400 V pada waktu 0.8 detik setelah itu kembali naik menjadi 480 V. Output arus menunjukkan nilai sebesar 200 A kemudian mengalami kenaikan menjadi 230 A pada waktu 0.8 detik. Kemudian pada detik ke 2 dilakukan simulasi gangguan tiga fasa ke tanah dan terjadi perubahan tegangan dan arus dimana arus mengalami kenaikan dan tegangan mengalami penurunan.



Gbr 23. Nilai Tegangan Dan Arus Pada Sisi Grid Saat Terjadi Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah

IV. KESIMPULAN

Pada saat terjadi gangguan nilai putaran rotor 96.000 rpm dalam waktu 1.5 detik dan terjadi kenaikan saat 2 detik menjadi 100.000 rpm dan sedikit beresilasi.

Pada setiap skenario percobaan yang dilakukan tidak terjadi perubahan putaran rotor, hal ini disebabkan oleh output generator dengan grid dipisahkan oleh back to back converter. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa setiap gangguan yang terjadi tidak mempengaruhi putaran rotor dari *micro gas turbine*.

REFERENSI

- [1] W. D. N. Silva, J. G. De Oliveira, B. H. Dias, and L. W. De Oliveira, "Gas Microturbines for Distributed Generation System," 2019 IEEE 15th Brazilian Power Electron. Conf. 5th IEEE South. Power Electron. Conf. COBEP/SPEC 2019, 2019, doi: 10.1109/COBEP/SPEC44138.2019.9065634.
- [2] K. S. Srikanth, K. Naresh, L. V. N. Rao, and V. Ramesh, "Matlab / Simulink Based Dynamic Modeling of Microturbine Generator for Grid and Islanding Modes of Operation Microturbine System Modeling," *Int. J. Power Syst.*, vol. 1, pp. 1–6, 2016.
- [3] L. Jun Jun, "Modeling and simulation of micro gas turbine generation system for grid connected operation," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, pp. 10–13, 2010, doi: 10.1109/APPEEC.2010.5449304.
- [4] E. Performance and E. Characteristics, "C200 MicroTurbine High-pressure Natural Gas World ' s largest air-bearing microturbine produces," vol. 2, no. 4, pp. 4–5.
- [5] H. Asgari and X. Chen, *Gas Turbines Modeling, Simulation, and Control*. 2015.
- [6] S. A. Shakour and S. S. Jain, "Micro-turbine generation using simulink," *Int. J. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 95–110, 2012.
- [7] W. Grainger, John J. D. Stevenson, JR, *Power System Analysis*. Singapore: McGraw-Hill, Inc. New.
- [8] T. Gonen, "Electric Power Distribution Engineering," *Electric Power Distribution Engineering*. 2015, doi: 10.1201/b16455.
- [9] W. I. Rowen, "Simplified Mathematical Representations of Heavy-Duty Gas Turbines," vol. 105, no. 83, pp. 865–869, 2013.

- [10] W. I. Rowen, “Simplified Mathematical Representations of Single Shaft Gas Turbines in Mechanical Drive Service,” 2016.
- [11] D. N. Gaonkar, R. N. Patel, and G. N. Pillai, “Dynamic model of microturbine generation system for grid connected/islanding operation,” *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 305–310, 2006, doi: 10.1109/ICIT.2006.372229.
- [12] G. J. Patel and S. S. Bohra, “Modeling and analysis of MTG based isolated and grid connected system,” 2011 Nirma Univ. Int. Conf. Eng. Curr. Trends Technol. NUiCONE 2011 - Conf. Proc., pp. 8–10, 2011, doi: 10.1109/NUiConE.2011.6153296.
- [13] S. R. Guda, C. Wang, and M. H. Nehrir, “Modeling of microturbine power generation systems,” *Electr. Power Components Syst.*, vol. 34, no. 9, pp. 1027–1041, 2006, doi: 10.1080/15325000600596767.
- [14] A. Al-Hinai and A. Feliachi, “Dynamic model of a microturbine used as a distributed generator,” *Proc. Annu. Southeast. Symp. Syst. Theory*, vol. 2002-Janua, pp. 209–213, 2002, doi: 10.1109/SSST.2002.1027036.