

Disain dan Analisis Generator Induksi Eksitasi Sendiri pada Perubahan Nilai Kapasitor dan Kecepatan Penggerak Mula

Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Jakarta

Koresponden email: setiyono@staff.gunadarma.ac.id

Diterima: 2 Februari 2025

Disetujui: 6 Februari 2025

Abstract

This paper presents an analysis of the influence of changes in excitation capacitors and prime mover speed on the performance of power plants using three-phase induction generators. The objective is to determine the output parameters of voltage, current, active power, reactive power and torque of the induction generator when the generator is rotated by the prime mover at variable speed. The method used is to build a self-excited three-phase induction generator by installing three capacitors in parallel on the stator coil through modeling simulation using the Matlab Simulink tool. The simulation results show that changes in the capacitor and generator drive speed have an effect on the reactive power value produced by the generator.

Keywords: *induction generator, prime mover, self-excitation*

Abstrak

Paper ini memaparkan tentang analisis pengaruh perubahan kapasitor eksitasi dan kecepatan penggerak mula terhadap performa pembangkit listrik menggunakan generator induksi tiga fasa. Tujuannya adalah untuk mengetahui besaran parameter keluaran dari tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif dan torsi generator induksi ketika generator diputar oleh penggerak mula pada kecepatan variabel. Metode yang digunakan adalah membangun eksitasi diri generator induksi tiga fasa dengan memasang tiga buah kapasitor yang disusun secara paralel pada kumparan stator melalui simulasi pemodelan menggunakan tools matlab simulink. Hasil simulasi menunjukkan perubahan kapasitor dan kecepatan penggerak generator berpengaruh pada nilai daya reaktif yang di hasilkan oleh generator.

Kata Kunci: *generator induksi, penggerak mula, eksitasi diri*

1. Pendahuluan

Krisis energi dan isu pemanasan global telah menjadi masalah bersama diberbagai negara. Saat ini pemakaian batu bara dan minyak sebagai bahan bakar pembangkit listrik telah menimbulkan dampak yang begitu besar terhadap lingkungan antara lain pencemaran udara akibat emisi karbon, kerusakan ekosistem. Untuk itu pemerintah telah mencanangkan mengganti peran batu bara dan minyak beralih pada penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT). Beberapa kelompok pembangkit listrik ini antara lain tenaga angin, dan mikrohidro. Disisi lain pembangkit listrik skala besar (konvensional) menggunakan mesin sinkron atau mesin serempak, namun untuk pembangkit listrik skala kecil penggunaan mesin asinkron (induksi) merupakan pilihan yang tepat, beberapa alasan diantaranya adalah disamping harganya yang murah dibanding dengan mesin listrik lain mesin ini juga mudah didapatkan di pasaran. Mesin jenis ini sering dipakai untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro maupun pembangkit listrik tenaga bayu.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja pembangkit listrik yang menggunakan generator induksi dengan pemasangan kapasitor sebagai eksitasi diri. Penelitian ini akan mengukur berbagai parameter, yaitu kecepatan putar, tegangan keluaran, arus stator, arus rotor, dan torsi mesin induksi. Pengukuran dilakukan dengan pengamatan hasil simulasi pemodelan menggunakan matlab simulink yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh kapasitor terhadap kinerja generator induksi dalam menghasilkan daya listrik. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan hubungan antara parameter-parameter tersebut dan pengaruhnya terhadap efisiensi serta stabilitas operasi generator induksi.

Generator Induksi

Mesin asinkron atau yang lebih dikenal dengan mesin induksi banyak digunakan oleh masyarakat sebagai motor penggerak seperti pompa air, mesin cuci, kipas angin, kompresor, penyedot debu, konveyor dan lain sebagainya. Mesin jenis ini menawarkan keuntungan antara lain memiliki bentuk yang sederhana, kokoh, secara ekonomi harganya relatif murah, biaya *maintenance* yang rendah. Namun disamping keunggulan yang melekat pada perangkat ini juga memiliki beberapa kelemahan antara lain

kecepatan putarnya sulit dikendalikan , torsi awal yang rendah, arus start yang cukup tinggi, faktor daya rendah pada beban ringan sehingga mengakibatkan efisiensi turun . Beberapa solusi mengatasi permasalahan diatas antara lain kecepatan putar dapat dikendalikan dengan mengatur frekuensi masukan, mengatur fluks medan stator [1]. Disamping berperan sebagai motor mesin ini juga dapat dialih fungsikan sebagai generator. Secara elektrik generator induksi dapat dilihat pada prinsip kerja motor induksi didasarkan pada gaya Lorentz, apabila kumparan stator disuplai arus tiga fasa maka akan timbul medan magnet berputar atau fluks tetap dengan kecepatan sinkron (N_s) pada stator:

$$N_s = \frac{120f}{p}$$

Dimana N_s adalah kecepatan sinkron stator, f adalah frekuensi dan p adalah jumlah kutub rotor.

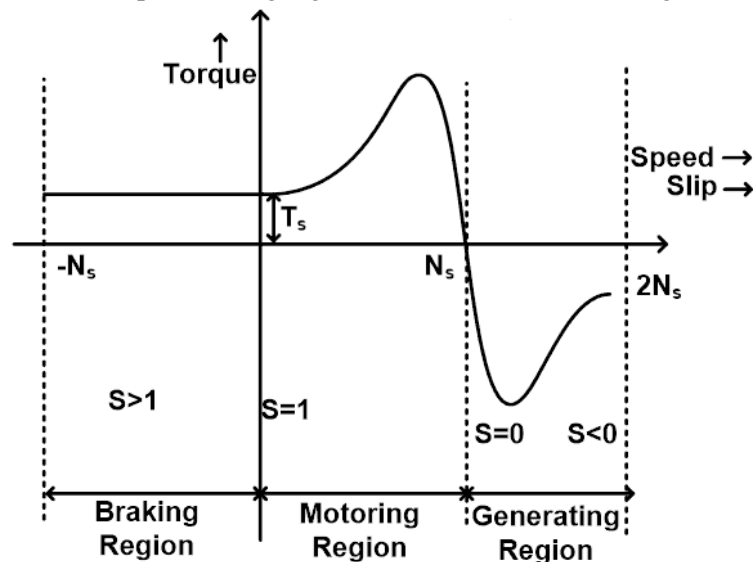
Slip merupakan perbedaan kecepatan antara fluks magnet putar dengan kecepatan putar rotor (N_r) . Dan dapat didefinisikan sebagai :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

Torsi mesin Induksi [2]:

$$T_m = \frac{P_m}{n/60} Nm$$

Nilai slip berada pada $0 < s < 1$. Namun ketika rotor diputar lebih cepat dari kecepatan sinkronnya maka mesin akan berada pada mode operasi sebagai generator dan torsi bernilai negatif.



Gambar 1. Nilai slip pada berbagai mode

Gambar 1 merupakan kurva hubungan antara slip dan torsi dimana tampak pada saat kecepatan rotor lebih kecil dari kecepatan stator, putaran medan magnet pada rotor naik , sehingga arus pada kumparan rotor menaikkan lebih banyak torsi. Saat ini mesin induksi berperan sebagai motor, nilai slip berkisar antara $0 < s < 1$. Generator sinkron pada awalnya menjadi pilihan utama sebagai pembangkit tenaga listrik karena mesin jenis ini tidak memiliki slip sehingga mudah untuk mengatur frekuensi dan tegangan keluaran [2]. Namun belakangan ini muncul generator induksi yang lebih aplikatif dalam bidang energi terbarukan. Generator induksi banyak digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin [3].

Terdapat tiga jenis generator yang digunakan dalam sistem energi angin yaitu Self Excited Induction Generator (SEIG), Double Fed Induction Generator (DFIG) dan Switched Reluctance Generator (SRG) dan saat ini sebagian besar menggunakan tipe SEIG (squirrel cage) karena rentang kecepatan, konstruksi yang lebar, tanpa sikat, sederhana, dan biaya perawatan yang rendah [4][5] [6][7]. Untuk memperoleh generator induksi, perlu dilakukan perubahan motor induksi menjadi generator dengan cara memutar rotor motor lebih cepat dari kecepatan sinkron [8]. Generator induksi ini hanya menghasilkan daya aktif P (watt) [9] dengan torsi negatif [10]. Untuk itu diperlukan tambahan daya reaktif untuk memperoleh tegangan keluaran bolak-balik dengan menambahkan kapasitor yang berfungsi sebagai pembangkit arus eksitasi [11][12]. Arus eksitasi merupakan suplai listrik DC untuk memperkuat medan magnet [13] pada generator

sehingga generator mampu menghasilkan energi listrik dimana tegangan keluaran generator bergantung pada nilai arus eksitasi [14]. Namun tegangan generator akan menurun ketika impedansi beban meningkat sehingga menyulitkan pengaturan tegangan keluaran[15]. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang konstan, perlu dilakukan pengaturan beban resistif dan kapasitansi[16]. Di sisi lain, pengendalian tegangan dan frekuensi keluaran dapat ditingkatkan dengan konverter berbasis elektronika daya yang disebut pengontrol beban elektronik (ELC)[17].

Beberapa penelitian sebelumnya Ermanu, mengatakan bahwa untuk mengendalikan tegangan generator induksi agar konstan dapat menggunakan Electronic Load Controller [18]. Ashish Sharma , dalam penelitiannya mengatakan tegangan keluaran generator dapat di lakukan dengan cara mengatur daya reaktif untuk pada beban = daya reaktif yang disuplai oleh kapasitor[19]. *Madjid Sibrahim* , membuat eksperimen sebuah generator induksi dengan kecepatan putaran tertentu untuk menentukan nilai kapasitor minimum sehingga mesin tersebut dapat beroperasi dengan baik[20]. Perhitungan Nilai reaktansi kapasitansi minimum dan maksimum dapat diketahui dengan menggunakan metode nodal [21].

Penelitian ini dilatar belakangi oleh beberapa karakter dari mesin induksi yang dapat dimanfaatkan atau difungsikan sebagai generator atau pembangkit listrik skala kecil. Riset ini dilakukan dengan membuat simulasi pemodelan sistem menggunakan tools matlab simulink.

Menentukan Daya Reaktif dan Kapasitor Minimum

Daya reaktif dari generator induksi dapat dicari dari parameter teknis generator (**Tabell**).

Untuk $P_{3\phi} = 5 \text{ HP}$ ($5 \times 746 \text{ W} = 3.73 \text{ kW}$) , $\cos \theta = 0,8$ sehingga

$$\begin{aligned} S_{3\phi} &= V_{3\phi} I_{1\phi} \sqrt{3} \\ &= 380.65.1,73 \\ &= 42.731 \text{ VA} \end{aligned}$$

Untuk $P_{3\phi} = V_{3\phi} I_{1\phi} \sqrt{3} \cos \theta$

$$\begin{aligned} &= 380.65.1,73.0,8 \\ &= 34.184,8 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan demikian $Q_{3\phi} = \sqrt{S_{3\phi}^2 - P_{3\phi}^2}$

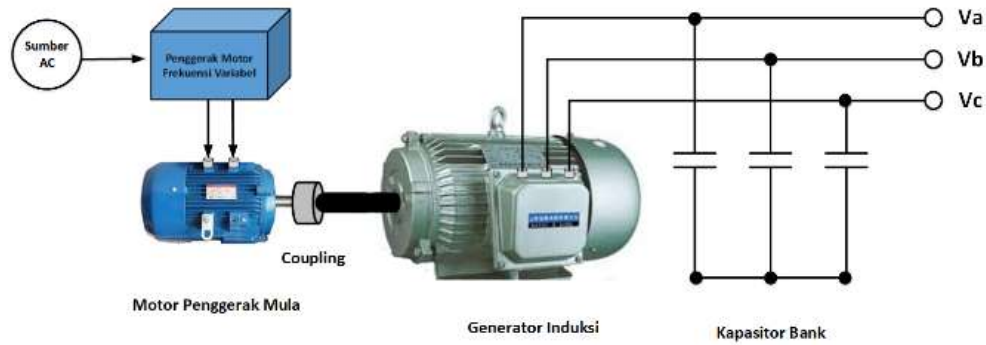
$$\begin{aligned} Q_{3\phi} &= \sqrt{(42.731)^2 - (34.184,8)^2} \\ Q_{3\phi} &= 25.638,6 \text{ VAR} \\ Q_{1\phi} &= \frac{Q_{3\phi}}{3} = 8.546,19 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Sedangkan arus perfasanya dapat diperoleh dengan

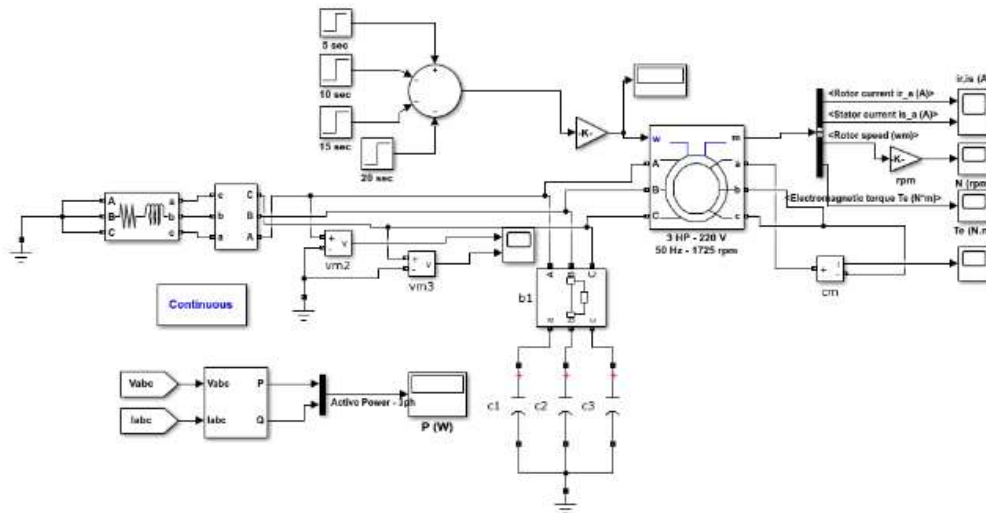
$$I_{1\phi} = \frac{Q_{1\phi}}{V_{1\phi}} = \frac{8.546,19}{220} = 38,84 \text{ A}$$

Maka nilai kapasitor eksitasi dapat diperoleh dengan

$$C = \frac{I_{1\phi}}{2\pi f V_{1\phi}} = \frac{38,84}{2.3,14.50.220} = 562 \mu F$$



Gambar 2. Disain three phase Self Excitation Induction Generator (SEIG)



Gambar 3. Pemodelan disain sistem menggunakan tools matlab simulink

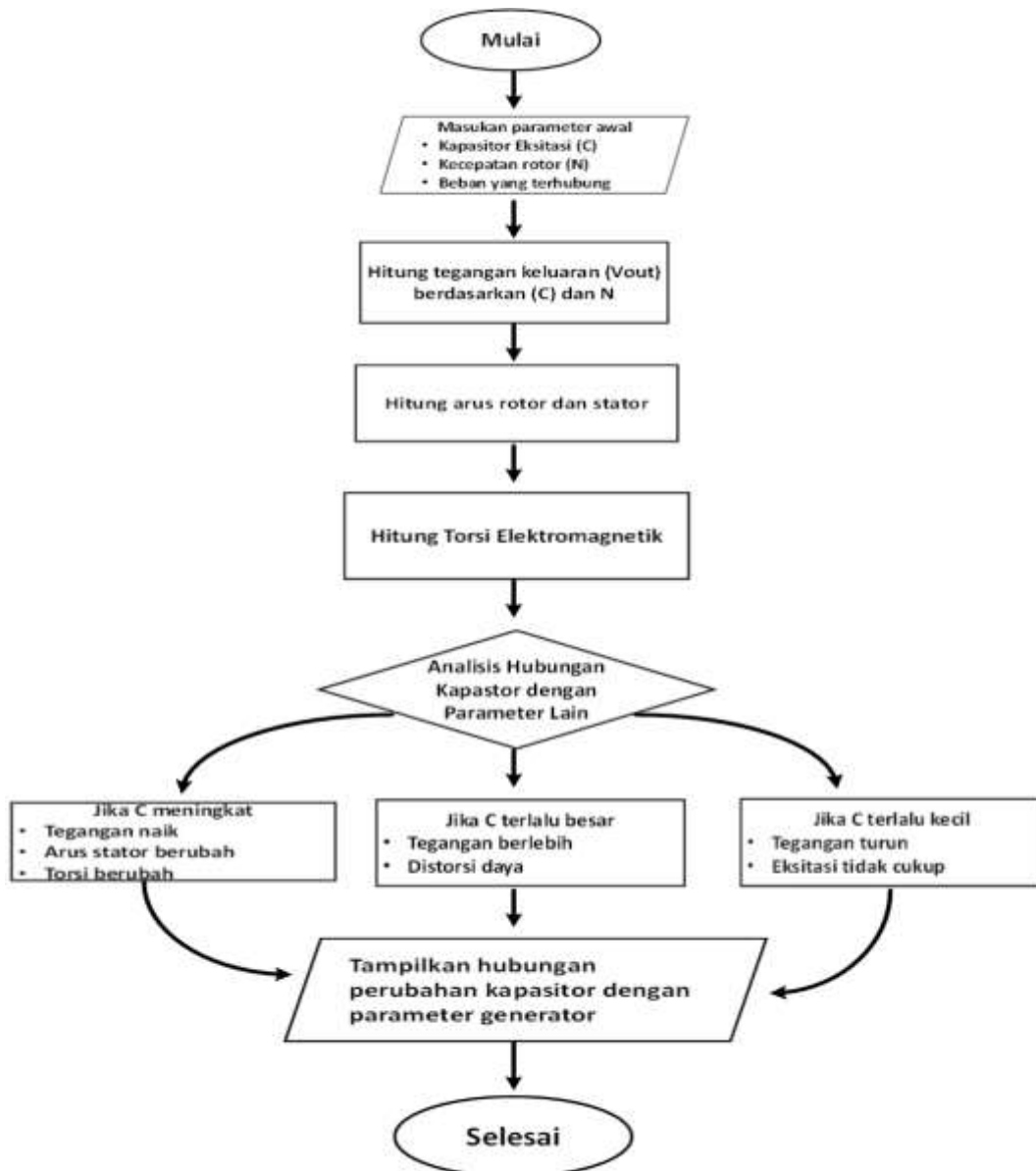
Gambar 2 menjelaskan rancangan sistem pembangkit listrik eksitasi sendiri menggunakan generator induksi tiga fasa secara keseluruhan. Sumber tegangan satu fasa sebagai tegangan catu 220 V dengan frekuensi tetap 50 Hz diubah menjadi tegangan DC untuk diolah kembali menjadi tegangan AC frekuensi variable (0-50Hz) oleh rangkaian Variabel Speed Motor Driver VSD. Tegangan ini digunakan untuk menjalankan motor penggerak mula dengan kecepatan yang diatur berdasarkan perubahan frekuensi. Poros penggerak mula dihubungkan dengan sebuah coupling (penghubung) untuk memutar generator induksi tiga fasa. Pada kondisi awal Generator induksi ini tidak dapat membangkitkan tegangan keluaran AC karena tidak ada arus magentasi pada kumparan medan . Fluks sisa pada generator akan memberikan eksitasi awal. Daya rekatif dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan keluaran generator, daya ini dapat diperoleh dengan memasang kapasitor (C1,C2 dan C3) pada rangkaian stator untuk memberikan arus penguatan medan stator. Pembangkitan tegangan awal ini diperoleh saat arus sisa diperkuat oleh kapasitansi kapasitor sehingga kapasitor ini disebut sebagai penguatan sendiri bagi generator. Tegangan keluaran Va,Vb dan Vc berupa tegangan AC yang memiliki beda fasa 120° dengan tegangan dan frekuensi bergantung pada nilai kapasitas kapasitor. Gambar 3 merupakan model dari sistem yang dibangun menggunakan tools matlab simulink. Sementara Tabel 1 adalah data teknis dari parameter sistem yang dibangun.

Tabel 1. Parameter Disain Sistem

Tegangan Sumber	Penggerak Mula	Pengatur Kecepatan Motor	Generator	Kapasitor $C_1=C_2=C_3$
220/380 V, 50 Hz	Motor induksi 3 Fasa ½ HP	3 Phase Inverter (0-50 Hz) 3 HP	Mesin Induksi 3 Fasa 4kW $\cos\theta$ 0.8	1000 uF 400 V

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membuat pemodelan simulasi disain sistem pembangkit listrik menggunakan generator. Gambar 4 merupakan alur kerja dari metode penelitian yang menggambarkan proses pembangkitan listrik menggunakan generator induksi dengan eksitasi diri menggunakan kapasitor, serta bagaimana perubahan nilai kapasitor memengaruhi parameter utama seperti kecepatan, tegangan keluaran, arus stator, arus rotor, dan torsi generator induksi melalui simulasi pemodelan menggunakan matlab simulink. Setelah model sistem dijalankan kemudian diamati parameter parameter seperti tegangan keluaran, arus stator dan rotor, torsi, kecepatan dan kemudian dianalisis untuk diambil kesimpulan dari data pengamatan.

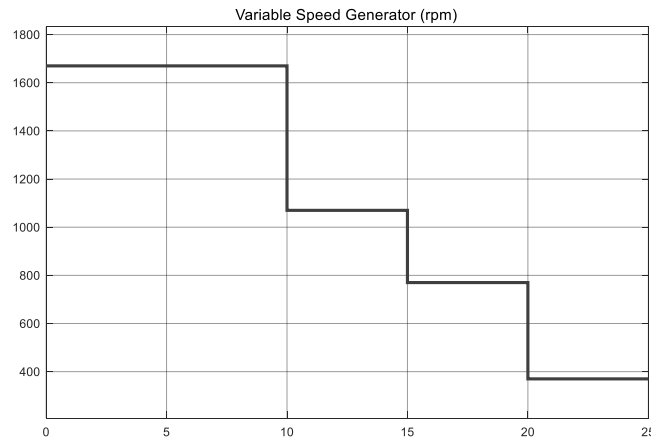


Gambar 4. Diagram alur kerja penelitian

Simulasi dan variasi kapasitor dilakukan dengan beberapa skenario nilai kapasitor yang berbeda untuk menganalisis pengaruhnya terhadap parameter keluaran generator induksi. Nilai kapasitor yang digunakan dalam simulasi divariasikan dalam rentang tertentu untuk mengamati perubahan karakteristik operasi generator. Hasil simulasi dianalisis dengan membandingkan perubahan parameter seperti tegangan keluaran, arus stator, arus rotor, torsi, dan kecepatan terhadap variasi kapasitor yang digunakan. Grafik dan tabel hasil simulasi digunakan untuk menginterpretasikan hubungan antara kapasitor dengan parameter kinerja generator. Dengan metode ini, diharapkan penelitian dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai pengaruh kapasitor dalam sistem eksitasi diri generator induksi serta implikasinya terhadap performa pembangkit listrik yang menggunakan teknologi ini.

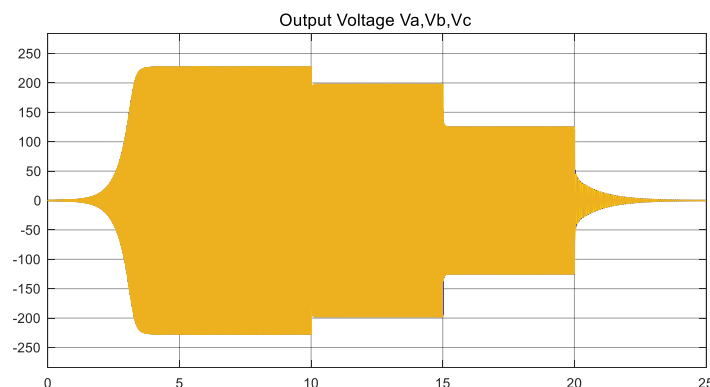
3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan gambar hasil pengamatan yang diperoleh dari simulasi yang telah dijalankan dan analisa yang dapat diperoleh.



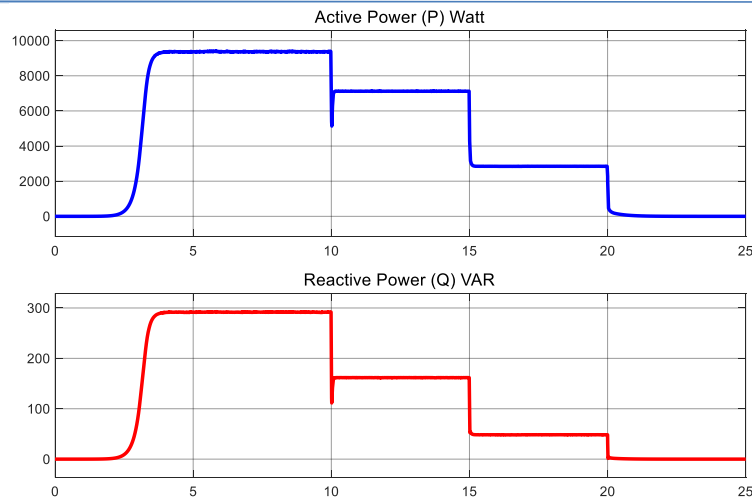
Gambar 5. Kurva Perubahan kecepatan putar penggerak mula

Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan kecepatan putar penggerak mula yang diatur menurun dari kecepatan maksimum 1670 rpm sampai dengan 370 rpm. Penurunan kecepatan pertama diset sebesar 600 rpm sehingga menjadi 1070 rpm, kemudian diturunkan lagi sebesar 300 rpm menjadi 770 rpm dan terakhir diturunkan sebesar 400 rpm menjadi 370 rpm. Penurunan dilakukan dengan deviasi waktu sebesar 5 secon.



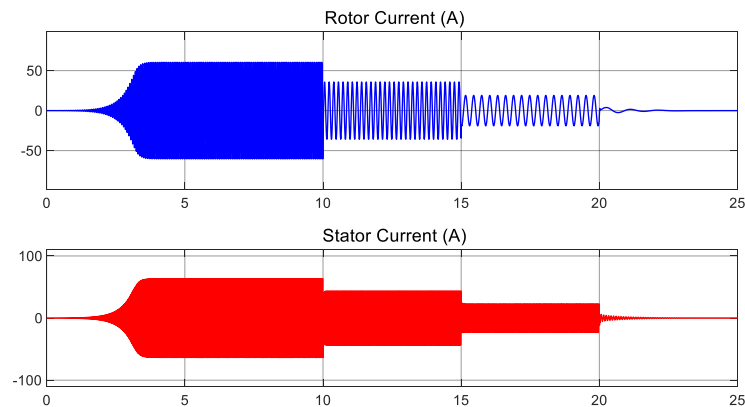
Gambar 6. Perubahan kecepatan putar penggerak mula terhadap Tegangan keluaran generator induksi

Gambar 6 menerangkan besar tegangan keluaran yang dibangkitkan generator induksi maksimum sebesar 223 V diperoleh ketika kecepatan putar penggerak mula sebesar 1670 rpm dengan kapasitas kapasitor 1000 uF. Pada waktu 0 hingga 3 detik tegangan keluaran generator induksi masih relatif kecil. Namun ketika waktu antara 3 hingga 5 detik terjadi kenaikan mencapai keadaan stasioner sebesar 227 V. Ketika kecepatan penggerak mula turun dengan rentang waktu 5 secon pada level 1070 rpm, 770 rpm dan 370 rpm , tegangan keluaran juga mengalami penurunan pada level 197.5V, 125 V dan menurun menuju 0 Volt ketika $t = 20$ s pada kecepatan 370 rpm.



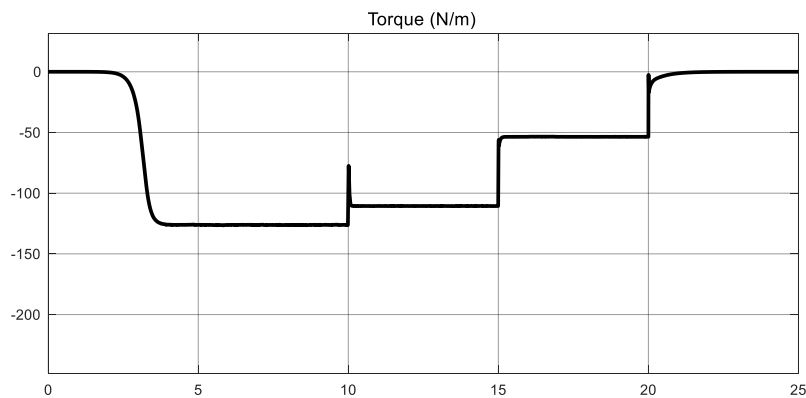
Gambar 7. Grafik perubahan kecepatan putar generator terhadap daya aktif dan reaktif

Gambar 7 menjelaskan kurva perubahan nilai daya aktif dan reaktif generator induksi ketika kecepatan penggerak mula diset berubah tiap 5 secon . Daya aktif rekatif maksimum diperoleh sebesar 9400 W dan 291 VAR. Sedangkan nilai minimum keduanya adalah 0



Gambar 8. Kurva perubahan kecepatan putar generator terhadap arus stator dan rotor

Gambar 8 menunjukkan pola perubahan arus stator dan rotor ketika generator mengalami penurunan kecepatan putar dengan deviasi waktu sebesar 5 second. Pola ini menyerupai dengan bentuk tegangan keluaran generator induksi pada **Gambar 6**.



Gambar 9. Kurva Perubahan torsi elektromagnetik generator induksi

Gambar 9 menjelaskan bahwa torsi berada dibawah nilai 0 atau bernilai negatif hal ini menunjukkan bahwa mesin tersebut berfungsi sebagai generator. Torsi maksimum sebesar -126 Nm (tanda minus berarti mesin berperan sebagai generator) berada ketika kecepatan 1670 rpm dan torsi minimum 0 Nm berada pada kecepatan 370 rpm. Ketika genetaror induksi diberi beban seimbang pada $R = 8.23 \text{ ohm}$, $L = 1 \text{ mH}$ pada $C_1=C_2=C_3 = 1000 \text{ uF}$ 400 V.

Tabel 2. Pengaruh kecepatan putar terhadap nilai Torsi daya aktif dan reaktif

N (rpm)	P (Watt)	Q (VAR)	$V_a=V_b=V_c$ (V)	Torsi (N.m)	Irotor (A)
1670	1542	398	227	-220.1	60.6
1070	6900	130	207	-109.9	35.9
770	2944	41.68	140	-22.9	19.1
370	0	0	0	0	0

Tabel 2 menunjukkan pengaruh perubahan kecepatan putar generator induksi terhadap daya aktif dan reaktif serta tegangan keluaran generator induksi. Tegangan 227 V diperoleh ketika putaran generator sebesar 1670 rpm dan tegangan ini merupakan tegangan kerja peralatan listrik ($\approx 220 \text{ V}$). Ketika putaran generator turun hingga 370 rpm generator ini tidak dapat memberikan tegangan keluaran karena putaran terlalu rendah sehingga belum mampu membangkitkan medan magnet. Torsi bernilai negatif ini menunjukkan bahwa mesin induksi bekerja sebagai generator.

Tabel 3. Pengaruh Perubahan Impedansi Beban terhadap tegangan keluaran

	R1 (1-7 ohm)	R2 (8 -8,7 ohm)	R3 (10 ohm)	R4 (15 ohm)	R5 (20 ohm)	R6 (30 ohm)
$V_a=V_b=V_c$ (Volt)	0	220,1	320,7	383,67	409,7	424,8

Tabel 3 menunjukkan pengaruh perubahan beban terhadap tegangan keluaran generator induksi. Tampak bahwa semakin besar impedansi beban maka tegangan yang dihasilkan juga akan meningkat. Nilai impedansi minimum ketika generator menghasilkan energi listrik dengan tegangan 220 V diperoleh pada saat nilai resistansi beban sebesar 8 ohm.

Tabel 4. Pengaruh perubahan kapasitor terhadap V,P,Q dan Torque

$C_1=C_2=C_3$ (uF)	V (Volt)	P (Watt)	Q (VAR)	Torque (N.m)
1000	227.4	9357	291.3	-126
900	257.2	1216×10^4	388.7	-151.4
800	276.3	1384×10^4	453.7	-159.1
700	282.1	1446×10^4	486.5	-153.5
600	275	1377×10^4	474.5	-135.1
500	252.3	1158×10^4	406.4	-105.4
400	225.2	7450	268.3	-63.2
300	0	0	0	0

Tabel 4 menjelaskan bahwa pengaruh perubahan kapasitor terhadap nilai daya aktif reaktif tegangan keluaran dan Torque generator induksi. Terlihat bahwa untuk tegangan kerja 227.4 V diperoleh saat $C_1=C_2=C_3$ sebesar 1000 uF dan nilai kapasitor minimum yang dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan keluaran sebesar 400 uF.

4. Kesimpulan

Kompensasi daya reaktif sebuah generator asinkron diperoleh dari kapasitor yang ditempatkan pada sisi terminal outputnya , dimana elemen ini diperlukan untuk menimbulkan tegangan awal dan selanjutnya digunakan untuk pembangkitan tegangan selanjutnya. Besarnya kapasitor terpasang harus lebih besar dari nilai minimum kapasitor yang dibutuhkan untuk proses eksitasi. Proses eksitasi berkaitan erat dengan dan kecepatan minimum dan pada proses simulasi kecepatan minimum generator berada pada nilai 400 rpm. Jika kecepatan putar generator induksi naik maka torsi yang dihasilkan semakin besar dan bernilai negatif tegangan yang dihasilkan juga akan naik. Demikian juga sebaliknya jika kecepatan generator induksi turun

maka tegangan keluaran dan torsi generator akan berkurang. Tegangan keluaran 227 V dan frekuensi 50 Hz diperoleh ketika kecepatan putar generator pada 1670 rpm. Dan kapasitor minimum yang diperlukan sebesar 1000 uF. Perubahan arus stator dan rotor juga dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Nilai perubahan beban akan mempengaruhi tegangan keluaran generator induksi dimana impedan beban yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan kerja 220 V adalah 8 ohm.

5. Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, Alvin Tri, and Yuliyanto Agung Prabowo. "Pengaturan Torsi Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Direct Torque Control." *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)* 7.1 (2022): 16-23.
- [2] A. Febrian, Y. S. Handayani, and I. Priyadi, "Studi Analisis Eksitasi Untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator Dan Governor Untuk Mengatur Beban Pada Unit 3 Di ULPTA Tes PT PLN Indonesia Power," *J. Andalas Rekayasa dan Penerapan Teknol. ISSN 2797-9024 Stud.*, vol. 2, pp. 10–15, 2023, doi: 10.25077/jarpet.v3i2.62.
- [3] S. Ratheesh and J. V. M., "Control of self-excited induction generator based wind turbine using current and voltage control approaches," *Al-Qadisiyah J. Eng. Sci. J. homepage <https://qjes.qu.edu.iq>* *Control*, vol. 16, pp. 209–217, 2023, doi: 10.30772/qjes.2023.143509.1033.
- [4] S. Wees, "Self-Regulated Single-phase Induction Generator for Variable Speed," *Intell. Autom. Soft Comput.*, vol. 28, no. 3, pp. 715–727, 2021, doi: 10.32604/iasc.2021.017534.
- [5] B. Kim, M. Pietrzak-david, P. Maussion, B. Kim, M. Pietrzak-david, and P. Maussion, "Novel configuration of a three-phase induction generator for single-phase load: simulations and experimentations To cite this version : HAL Id : hal-03113732," *HAL open Sci.*, pp. 5807–5813, 2021, doi: /10.1109/IECON.2019.8927218 To.
- [6] D. K. Mallik and J. Ahmed, "Analysis of Self Excited Induction Generator for Standalone Micro-Hydro Scheme," *ADBU J. Electr. Electron. Eng. /*, vol. 2, no. 2, pp. 22–31, 2018.
- [7] K. Teng, Z. Lu, J. Long, Y. Wang, and A. P. Roskilly, "Voltage Build-Up Analysis of Self-Excited Induction Generator with Multi-Timescale Reduced-Order Model," *IEEE Access*, vol. 3536, no. c, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902977.
- [8] M. Syukri, A. Syuhada, and R. H. Siregar, "Analysis of using capacitors in 3-phase induction generators to get constant voltage Analisa pemakaian kapasitor pada generator induksi 3 fasa untuk mendapatkan tegangan yang konstan," *J. Geuthèè Penelit. Multidisiplin (Multidiciplinary Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2023, doi: 10.52626/jg.v%vi%i.208.
- [9] H. Santoso, R. N. Hasanah, B. Mismail, and I. N. G. Wardana, "Self-Exciting Capacitor Circuit For A Low-Power , Low- Speed Single-Phase Induction Generator," *ARNP J. Eng. Appl. Sci. ISSN 1819-6608*, vol. 11, no. 7, pp. 4860–4864, 2016.
- [10] W. E. Vanço, "Capacitor Bank Sizing for Squirrel Cage Induction Generators Operating in Distributed Systems," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 27507–27515, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2971704.
- [11] A. S. Ghanim and A. N. B. Alsammak, "Modelling And Simulation Of Self- Excited Induction Generator Driven," *East. Eur. J. Enterp. Technol. ISSN 1729-3774*, vol. 8, no. 6, pp. 6–16, 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.213246.
- [12] M. A. Özçelik, "Operating the Induction Motor as a Generator Mode by Supplying DC Voltage and Investigation of the End Voltage Depending on the Excitation Current and RPM," *Int. J. Energy Res.*, vol. 2023, pp. 1–8, 2023, doi: 10.1155/2023/9967218.
- [13] M. S. Al Amin, "Pembangkitan Generator," *J. AMPERE P-ISSN 2477-2755 E-ISSN 2622-2981*, vol. 3, no. 2, pp. 176–186, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i2.2398.
- [14] P. Harahap and K. U. Putra, "Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu)," *R E L E (Rekayasa Elektr. dan Energi J. Tek. Elektro U) ISSN 2622 – 7002*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.30596/rele.v1i1.3647.
- [15] A. Chatterjee, "Analysis of a Self-excited Induction Generator with Fuzzy PI Controller for Supporting Domestic Loads in a Microgrid," *J. Fuzzy Syst. Control ISSN 2986-6537*, vol. 1, no. 2, pp. 61–65, 2023, doi: 10.59247/jfsc.v1i2.42.
- [16] M. Syukri, R. Saleh, and R. S. Lubis, "Analisis Pemilihan Nilai Kapasitor Pada Generator Induksi Tereksitasi Sendiri Tiga Fasa Untuk Beban Resistif," vol. 05, no. 01, pp. 72–78, 2022.
- [17] C. P. Ion, "A Comprehensive Overview of Single – Phase Self-Excited Induction Generators," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 197420–197430, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034291.

- [18] E. A. Hakim, R. Pandunengsih, D. Suhardi, and N. Setyawan, "Kontrol Tegangan Self-Excited Induction Generator dengan Electronic Load Controller Terkontrol PID-GA," *Indones. J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 41–52, 2020, doi: 10.22146/ijeis.54197.
- [19] A. Sharma and G. Kaur, "Assessment of Capacitance for Self-Excited Induction Generator in Sustaining Constant Air-Gap Voltage under Variable Speed and Load," *energies*, vol. 11, pp. 2–16, 2018, doi: 10.3390/en11102509.
- [20] M. Sibrahim, S. Aissou, R. Rouas, S. Haddad, and N. Benamrouche, "Experimental determination of minimum capacitor for self-excitation of induction generators," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 109–116, 2024, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i1.pp109-116.
- [21] V. P. Chandran and S. Vadhera, "Capacitance Requirements of Self Excited Induction Generator for Different Operating Conditions," *2011 Int. Conf. Energy, Autom. Signal*, no. December 2011, 2022, doi: 10.1109/ICEAS.2011.6147177.