

ANALISIS PEMILIHAN NILAI KAPASITOR PADA GENERATOR INDUKSI TEREKSTIASI SENDIRI TIGA FASA UNTUK BEBAN RESISTIF

ANALYSIS OF CAPACITOR VALUE ON THREE PHASE SELF-EXCITED INDUCTION GENERATOR OF RESISTIVE LOAD

Mahdi Syukri¹, Raden Saleh¹, Rakhmad Syafutra Lubis¹

¹Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jln. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Kopelma Darussalam Kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh,
Provinsi Aceh, Indonesia, 23111
¹radenparinduri@gmail.com

Abstrak —Indonesia memiliki banyak wilayah terpencil yang sebahagiannya belum mendapatkan aliran daya listrik. Salah satu penyebabnya adalah biaya yang dibutuhkan untuk pengiriman daya listrik ke daerah terpencil sangat besar. Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut dengan menggunakan pembangkit energi listrik jenis generator induksi tereksitasi sendiri yang sering disebut *Self Excited Induction Generator* (SEIG) pada daerah terpencil tersebut. Syarat yang harus dipenuhi pada pengoperasian generator induksi tereksitasi sendiri adalah perlunya kapasitor eksitasi yang berfungsi sebagai penyuplai daya reaktif pada generator. Syarat berikutnya adalah mengharuskan kecepatan rotor harus lebih besar dari kecepatan sinkronnya atau slipnya bernilai negatif. Berdasarkan analisis yang dilakukan untuk menjadikan motor induksi dengan spesifikasi 5.4 HP (4 KW), 400 Volt, 50 Hz, 1,430 RPM sebagai generator induksi tereksitasi sendiri dibutuhkan kapasitas dari kapasitor sebesar 60 μF . Hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software matlab simulink* diperoleh hasil tegangan antar saluran (V_{LL}) dan arus saluran (I_L) masing-masing adalah 449 Volt dan 7.2 A untuk beban resistif 3.200 Watt.

Kata Kunci: Kapasitor, Generator Induksi, Matlab

Abstract — Indonesia has many remote areas, some of which do not have electricity. One of the reasons is that the costs involved in delivering electrical power to remote areas are very large. One solution to overcome this problem is to use a self-excited induction generator type electric energy generator which is often called a Self Excited Induction Generator (SEIG) in these remote areas. The condition that must be met in the operation of the self-excited induction generator is the need for an excitation capacitor that functions as a reactive power supplier to the generator. The next condition is that the rotor speed must be greater than the synchronous speed or the slip is negative. Based on the analysis carried out to make an induction motor with specifications of 5.4 HP (4 KW), 400 Volt, 50 Hz, 1,430 RPM as a self-excited induction generator, a capacitor capacity of 60 F is required. The simulation results that have been carried out using the matlab simulink software show that the inter-channel voltage (V_{LL}) and line current (I_L) are 449 Volts and 7.2 A for a resistive load of 3,200 Watts, respectively.

Kata Kunci: Capacitor, Induction Generator, Matlab.

PENDAHULUAN

Indonesia suatu negara memiliki banyak wilayah terpencil yang sebahagiannya belum mendapatkan aliran daya listrik. Salah satu penyebabnya adalah biaya yang dibutuhkan untuk pengiriman daya listrik ke daerah terpencil sangat besar. Untuk mendapatkan energi dibutuhkan teknologi agar dapat mengkonversikan sumber energi lain menjadi energi listrik. Salah satu cara yang digunakan adalah menggunakan generator induksi. Generator induksi memiliki beberapa kelebihan yang diantaranya biaya operasional yang rendah, pemeliharaan tidak secara berkala serta sangat cocok digunakan untuk sumber energi terbarukan[1]. Generator induksi ini dibagi menjadi dua jenis salah satunya adalah generator induksi yang terhubung dengan grid atau *Doubly Fed Induction Generator (DFIG)* dan generator induksi tereksitasi sendiri atau *self excited induction generator (SEIG)*. Diantara keduanya *SEIG* lebih murah dibandingkan dengan *DFIG*. Karena *SEIG* memiliki sitem eksitasi mandiri yang terhubung langsung dengan generator tanpa terhubung dengan grid[2].

Mesin induksi tiga fasa yang digunakan sebagai generator induksi tereksitasi sendiri (SEIG) agar dapat menghasilkan tegangan pada terminal harus membutuhkan daya reaktif atau daya magnetisasi. Syarat yang harus dipenuhi generator induksi tereksitasi sendiri yaitu perlunya kapasitor eksitasi yang berfungsi sebagai penyuplai daya reaktif pada generator. Namun untuk eksitasi ini didapatkan dengan memasang suatu kapasitor eksitasi pada terminal kumparan stator. Pada penelitian sebelumnya mengenai tentang generator induksi sudah dilakukan oleh Dinesh Kumar Mallik dan Jesif Ahmed yang berjudul "Analysis of Self Excited Induction Generator for Standalone Micro-Hydro Scheme" penelitian ini menggunakan inverter sumber tegangan kontrol arus[3].

Permasalahan yang muncul dari penelitian ini bagaimana pemilihan nilai kapasitor eksitasi pada generator induksi sangat menentukan besar tegangan dan arus yang dibangkitkan oleh generator induksi tereksitasi sendiri. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang membahas tentang

analisis pemilihan nilai kapasitor pada generator induksi tereksitasi sendiri tiga fasa.

A. Motor Induksi

Motor induksi adalah jenis mesin listrik yang banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini disebabkan motor induksi dilihat dari kontruksi lebih sederhana, harganya relatif murah serta perawatannya yang mudah. Adapun kelemahan dari mesin induksi ini adalah pengaturan motor induksi lebih rumit dari pada motor dc. Karena motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda[4].

Pada dasarnya motor induksi dioperasikan pada kecepatan yang konstan, jika beban berubah maka kecepatan motor juga akan berubah. Karena itu untuk mempertahankan agar kecepatan tetap konstan maka tegangan dan frekuensi harus diatur. Namun untuk mengatur tegangan agar didapatkan unjuk kerja yang diharapkan perlu mengatur ulang jumlah kutub stator dan cara lainnya adalah dengan mengubah frekuensi jaringan yang men-supply motor tersebut. Namun dalam prinsip kerja motor induksi apabila kecepatan putar stator sama dengan kecepatan putar rotor ($n_s=n_r$) maka tegangan keluaran tidak ada yang terinduksikan ke stator maupun ke rotor. Dan apabila kecepatan rotor lebih besar dari kecepatan stator maka tegangan akan terinduksikan ke stator sehingga motor induksi akan beroperasi sebagai generator. Namun ketika kecepatan stator lebih besar dari kecepatan putar rotor maka tegangan akan terinduksikan ke rotor sehingga motor induksi akan bekerja sebagai motor listrik[5]. Selanjutnya untuk menghitung nilai N_s dan slip dari motor induksi dapat dilihat pada persamaan berikut ini;

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2.1)$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.2)$$

Dimana;

N_s : kecepatan sinkron (RPM)

f : frekuensi (Hz)

p : jumlah kutub

S : Slip

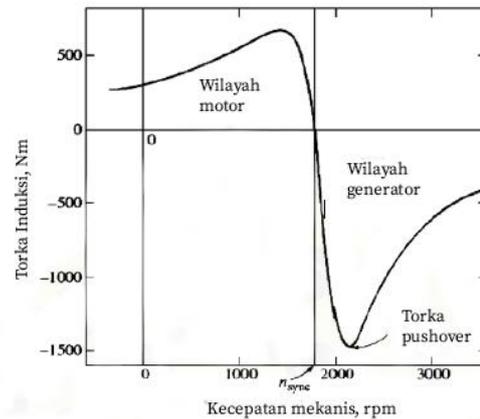
B. Generator Induksi

Generator Induksi juga dikenal sebagai Generator Asinkron. Mesin Induksi terkadang digunakan sebagai generator. Awalnya, generator induksi atau mesin dimulai sebagai motor. Pada awalnya, mesin menarik volt ampere reaktif tertinggal dari suplai utama. Kecepatan mesin ditingkatkan di atas kecepatan sinkron oleh penggerak utama eksternal. Kecepatan dinaikkan ke arah yang sama dengan bidang putar yang dihasilkan oleh belitan stator. Mesin induksi akan beroperasi sebagai generator induksi dan akan mulai menghasilkan torsi pembangkitan. Torsi pembangkitan ini berlawanan dengan arah putaran rotor. Pada kondisi ini, slip bernilai negatif dan generator induksi mulai mengalirkan energi ke suplai utama.

Pada karakteristik generator induksi terdapat pada gambar 2.1 dapat diketahui, bahwa motor induksi ketika diputar kecepatan lebih besar dari kecepatan sinkron maka motor induksi akan menjadi generator induksi. Besar daya yang dihasilkan generator induksi akan bertambah seiring bertambahnya torka yang diberikan pada penggerak awal pada porosnya. Gambar 2.2 diperlihatkan, bahwa nilai dari torka induksi maksimum pada mode operasi generator. Namun, ketika torka pushover melebihi dari penggerak mula yang diberikan kepada poros maka generator akan overspeed[6].

Adapun mesin induksi juga dikenal sebagai Asynchronous Machines, yaitu berputar di bawah kecepatan sinkron saat digunakan sebagai motor, dan di atas kecepatan sinkron saat digunakan sebagai generator. Jadi ketika diputar lebih cepat dari kecepatan operasi normal atau tanpa beban, generator induksi menghasilkan listrik AC. Karena generator induksi bersinkronisasi langsung dengan jaringan utilitas utama yaitu, menghasilkan listrik pada frekuensi dan tegangan yang sama dan tidak diperlukan penyearah atau inverter. Namun, generator induksi dapat menyediakan daya yang diperlukan langsung ke jaringan utilitas utama, tetapi juga membutuhkan daya reaktif untuk suplai yang disediakan oleh jaringan utilitas. Pengoperasian generator induksi yang berdiri sendiri (off-grid) juga dimungkinkan, tetapi kerugiannya di sini adalah bahwa generator

memerlukan kapasitor tambahan yang terhubung ke belitannya untuk eksitasi sendiri[7].



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Karakteristik Generator Induksi

Adapun efisiensi dari generator induksi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini;

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_{in}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana;

η : efisiensi generator (%)

p_{out} : Daya Output Generator Induksi

p_{in} : Daya Input Generator Induksi

Maka besar daya output dari generator dapat dihitung dengan persamaan berikut ini;

$$p_{out} = V \times I \quad (2.4)$$

Dimana;

V : Tegangan Keluaran Generator (Volt)

I : Arus Yang Dihasilkan Generator (Ampere)

Adapun dengan faktor daya dari generator induksi ini dapat dihitung dengan persamaan berikut ini;

$$\cos \varphi = \frac{p_o}{VI} \quad (2.5)$$

Dimana;

p_o : Daya Keluaran Motor Induksi

V : Tegangan Terminal (Volt)

I : Arus Listrik Yang Diserap Oleh Motor untuk menghitung besar daya aktif, daya semu dan daya reaktifnya berikut adalah persamaannya.

$$P = V \times I \cos \varphi \sqrt{3} \quad (2.6)$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (2.7)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (2.8)$$

Keterangan

P : Daya Aktif (Watt)

S : Daya Semu (VA)

Q : Daya Reaktif (VAR)

C. Kapasitor Eksitasi

Untuk menentukan kapasitor eksitasi minimumnya dari generator induksi yaitu grafik karakteristik magnetisasi dari mesin induksi saat beroperasi sebagai motor induksi. Karakteristik magnetisasi diperoleh dengan mengoperasikan motor induksi pada saat beban nol. Maka arus yang mengalir pada kapasitor (I_c) akan sama dengan arus magnetisasinya (I_m). Dan tegangan akan meningkat secara linear hingga mencapai saturasi sehingga memperoleh titik stabilnya[8].

$$\begin{aligned} \frac{I_m}{V} &= \frac{I_c}{V} \\ \frac{X_m}{V} &= \frac{X_c}{V} \\ X_m &= X_c \end{aligned}$$

Dalam kondisi beban nol motor induksi dapat dihitung besar reaktansi (X_m) dengan memberikan catu tegangan (V).

$$X_m = \frac{V}{I_m} \quad (2.9)$$

$$X_m = X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.10)$$

Selanjutnya mensubstitusikan persamaan 2.9 ke dalam persamaan 2.10.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$I = 2\pi f C V$$

$$C = \frac{I}{2\pi f V} \quad (2.11)$$

Persamaan 2.11 adalah persamaan kapasitor yang dihubungkan dengan hubungan bintang [9]. Untuk menentukan I_{fasa} , V_{fasa} dan Q_{fasa} berikut adalah persamaanya.

$$I_{fasa} = \frac{Q_{fasa}}{V_{fasa}} \quad ; \quad Q_{fasa} = \frac{Q}{fasa} \quad ; \quad V_{fasa} = \frac{V}{\sqrt{3}} \quad (2.12)$$

Dimana;

V_n : Tegangan Nominal (Volt)

I : Arus (Ampere)

C : Kapasitor (Farad)

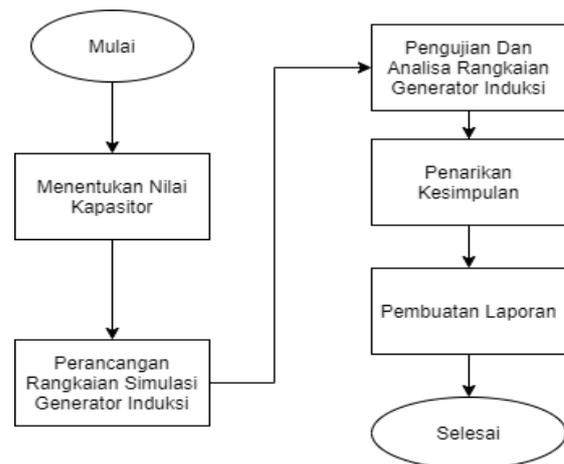
f : Frekuensi (Hz)

Q : Daya reaktif (VAR)

S : Daya Semu (VA)

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini menentukan nilai kapasitor eksitasi yang digunakan pada motor induksi yang digunakan sebagai generator. Persiapan awalnya adalah dengan mencari dan menentukan nilai parameter yaitu nilai kapasitor yang digunakan pada proses penelitian. Kemudian setelah parameter sudah ditetapkan dalam proses perancangan simulasi simulink. Simulasi yang dilakukan adalah untuk pembuatan rangkaian generator induksi tereksitasi sendiri. Setelah pengujian berjalan sesuai yang diharapkan, dilakukan pengujian keluaran gelombang pemakaian kapasitor terhadap tegangan keluarannya. Serta dilakukan analisis dari hasil yang diperoleh sehingga dapat ditarik kesimpulan dari apa saja yang dilakukan pada penelitian dan pembuatan laporan penelitian. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 3. Alur penelitian

D. Menentukan Nilai Kapasitor

Perhitungan pemilihan nilai kapasitor yang digunakan saat dilakukan penelitian. Kebutuhan kapasitor sebagai pemberi daya reaktif pada generator induksi. Dimana pada generator induksi terdapat parameter yang akan digunakan. Berikut adalah parameter yang digunakan pada generator induksi yaitu motor induksi 3 fasa. Berikut spesifikasi motor induksi sebagai generator induksi.

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor Induksi

Power (HP)	5.4 (4 KW)
Voltage	400 V
Phase	3
Nominal Speed	1430 rpm
Frequency	50 Hz
No. of pole pair	4
Power Factor	0.8

Berdasarkan dari persamaan sebelumnya yang terdapat pada persamaan (2.6 hingga 2.8) Selanjutnya untuk penentuan nilai kapasitor yang akan digunakan yang pertama dilakukan mencari nilai daya reaktif yang dibutuhkan motor induksi sebagai generator. Dari persamaan 2.7 untuk mencari nilai daya semu terlebih dahulu.

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= 0.8 \\ P &: 4000 \text{ Watt} \\ f &= 50 \text{ Hz} \\ S &= \frac{P}{\cos \varphi} \\ S &= \frac{4000}{0.8} \\ S &= 5000 \text{ VA} \end{aligned}$$

Setelah memperoleh besaran nilai daya semu dapat menentukan besaran nilai daya reaktif dari persamaan 2.8 berikut.

$$\begin{aligned} \varphi &= \arccos 0.8 = 37^\circ \\ \sin \varphi &= 0.6 \\ Q &= S \sin \varphi \\ Q &= 5000 \times 0.6 \\ Q &= 3000 \text{ VAR} \\ Q_{\text{fasa}} &= \frac{Q}{\text{fasa}} \\ Q_{\text{fasa}} &= \frac{3000}{3} \\ Q_{\text{fasa}} &= 1000 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Setelah besaran nilai daya reaktif diperoleh selanjutnya mencari nilai arus dan tegangan perfasanya dengan menggunakan persamaan 2.12 berikut.

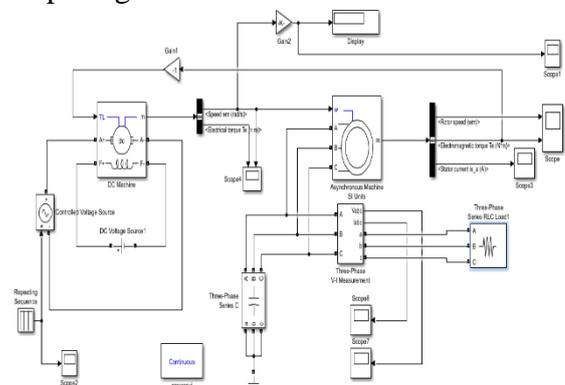
$$\begin{aligned} V_{\text{fasa}} &= \frac{V}{\sqrt{3}} \\ V_{\text{fasa}} &= \frac{400}{\sqrt{3}} \\ V_{\text{fasa}} &= 230 \text{ V} \\ I_{\text{fasa}} &= \frac{Q_{\text{fasa}}}{V_{\text{fasa}}} \\ I_{\text{fasa}} &= \frac{1000}{230} \\ I_{\text{fasa}} &= 4.35 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari nilai arus perfasa dan tegangan perfasa yang diperoleh maka dapat mencari nilai kapasitor minimum eksitasinya dengan menggunakan persamaan 2.11 berikut.

$$\begin{aligned} C &= \frac{I}{2\pi fV} \\ C &= \frac{4.35 \text{ A}}{2 \times 3.14 \times 50 \times 230} \\ C &= 60 \mu\text{f} \end{aligned}$$

E. Rancangan Simulasi Generator Induksi

Untuk mencapai hasil yang sesuai pada saat melakukan proses simulasi maka diperoleh rangkaian kapasitor pada generator induksi tereksitasi sendiri tiga fasa. Dengan adanya rangkaian simulasi dapat menganalisa pengaruh kapasitor pada generator induksi. Berikut adalah desain rangkaian yang digunakan pada saat menjalankan simulasi di matlab simulink seperti pada gambar 2.3.

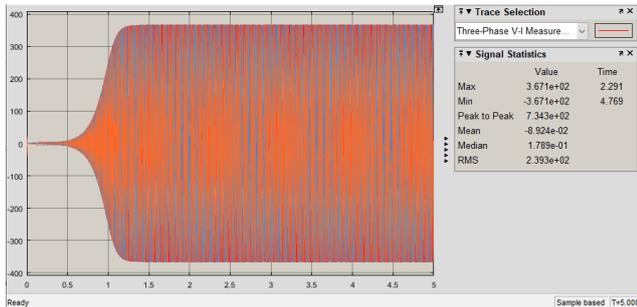


Gambar 2. Error! No text of specified style in document..2 Rangkaian Generator Induksi

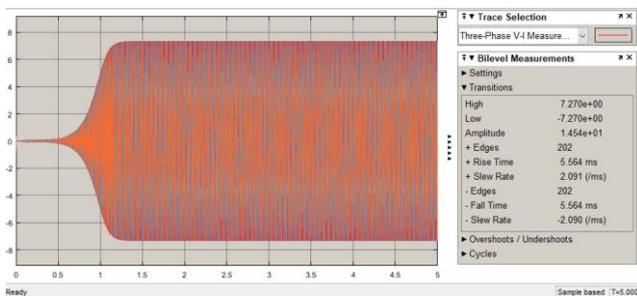
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari kapasitor yang digunakan pada generator induksi 3 fasa motor induksi 3 fasa, dengan spesifikasi mesin induksi adalah 5.4 HP (4 KW), 400 V, 50 Hz, 1430 RPM, dan faktor daya 0,8. Pada pengujian ini digunakan juga bebannya seperti beban resistif bernilai 3200 Watt. Setelah dilakukan perhitungan nilai kapasitor yang akan digunakan adalah sebesar C: 60µf . Pada pengujian generator induksi tereksitasi sendiri diperoleh tegangan dan arus dalam bentuk keluarannya berupa gelombang sinusoidal. Berikut adalah bentuk keluaran

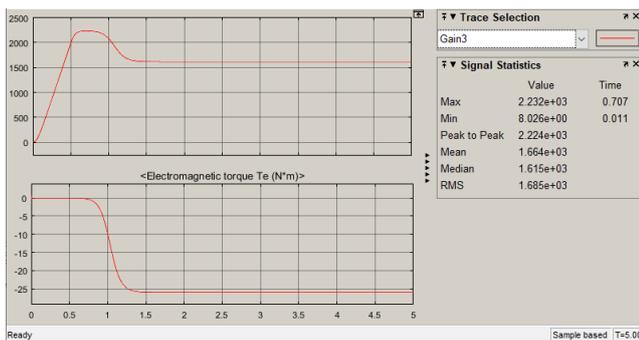
gelombang yang dihasilkan dari sistem. Berikut adalah keluaran dari generator induksi pada gambar 3.1.



Gambar 3.3 Keluaran Tegangan Dari Generator Induksi



Gambar 3.4 Keluaran Arus Dari Generator Induksi



Gambar 3.3 Grafik Kecepatan Putar Dan Torsi Elektromagnetik Generator Induksi

Dari hasil pengujian sistem generator induksi tereksitasi sendiri 3 fasa, akan dilihat pengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan oleh generator induksi. Diberikan kecepatan putar sebesar 1,615 RPM dari sebuah motor dc untuk menggerakkan generator induksi sedangkan untuk kecepatan sinkron sebesar 1,500 RPM. Pada pengujian ini motor dc adalah sebagai sumber untuk kecepatan putar generator induksi dengan diberikan kecepatan putar 1,615 RPM. Hal ini dikarenakan kapasitor eksitasi dapat menghasilkan daya reaktif, sehingga generator induksi dapat

mengonsumsi daya reaktif karena generator induksi tidak dapat menghasilkan daya reaktif. Dimana dari hasil pengujian simulasi matlab diperoleh tegangan 367 V yaitu tegangan line ke netral dan untuk pada arus juga dipeoleh 7.2 A untuk arus sefasa. Hal ini terjadi kenaikan tegangan yang dikarenakan adanya eksitasi terhadap generator induksi dan dari hasil tegangan keluarannya adalah pengukuran dari line ke netral. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini ketika waktu 0 hingga 0.5 detik tegangan yang dihasilkan oleh generator induksi masih sangat kecil. Tetapi pada saat waktu 0.5 hingga 5 detik perlahan-lahan terjadi peningkatan tegangan hingga nilai besaran tegangannya mencapai dalam keadaan tunak yaitu 367 V.

Berdasarkan dari grafik kecepatan putar pada gambar 3.1 ketika motor dc digunakan sebagai penggerak yang berupa kecepatan putar terhadap generator induksi, sehingga dapat mempengaruhi torsi elektromagnetik generator induksi. Karena pada pengujian ini kapasitor dapat menghasilkan daya reaktif untuk dikonsumsi oleh generator induksi tereksitasi sendiri. Daya reaktif yang dihasilkan dari kapasitor terhubung dengan bagian stator dari generator induksi hingga menghasilkan ggl yang di induksikan ke medan stator. Apabila daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor semakin besar maka arus pada generator induksi juga semakin besar. Sebaliknya, ketika daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor berkurang maka arus pada generator induksi juga akan berkurang. Perubahan arus tersebut dapat juga mempengaruhi torsi elektromagnetik dari generator induksi tereksitasi sendiri. Demikian pula apabila besar arus bertambah maka torsi elektromagnetik juga bertambah.

SIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan Hasi pengujian dengan menggunakan software matlab simulink diperoleh hasil tegangan antar saluran (V_{LL})

- dan arus saluran (I_L) masing-masing adalah 449 Volt dan 7.2 A.
- Kecepatan putar yang di berikan motor dc untuk menggerakkan generator induksi yaitu 1615 rpm hingga menghasilkan tegangan dan arus.
 - Penggunaan kapasitor untuk generator induksi disini sebagai eksitasi agar menghasilkan daya reaktif dengan besar nilai $60 \mu f$.
 - Pada simulasi untuk mencapai keadaan tunak tegangan dan arus keluaran generator induksi yaitu memerlukan waktu sekitar 1,3 detik, hal ini dikarenakan masih terjadi pembangkitan tegangan dan arus pada generator induksi

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- D. Sianturi, "UNIVERSITAS SUMATERA UTARA Poliklinik UNIVERSITAS SUMATERA UTARA," *J. Pembang. Wil. Kota*, vol. 1, no. 3, pp. 82–91, 2021.
- D. A. Saputro, "Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Tegangan dan Frekuensi Generator Induksi 1 Fasa 6 Kutub," 2016.
- N. I. Pertiwi, "Optimisasi Nilai Kapasitor Pada Self Excited Induction Generator (Seig) Tiga Fasa Untuk Menyuplai Beban Satu Fasa Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (Pso) Optimization Of Excitation Capacitor Values Of A Three Phase Self Excited Induction Generator (Seig) To Supply Single Phase Load Using Particle Swarm," 2015.
- M. I. Fasa, "BAB II MOTOR INDUKSI 3 FASA - PDF.pdf," pp. 6–18, 1993.
- R. Berlianti, A. Multi, and B. A. P, "Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi," *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 26, no. 2, pp. 33–41, 2020, doi: 10.37277/stch.v26i2.508.
- P. G. Chamdareno and E. Dermawan, "Peningkatan Efisiensi Generator Induksi Dengan Beban Kapasitif," vol. 17, pp. 1–5, 2018.
- T. Pustaka, "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1," pp. 1–64, 2002.
- I. Nur, "Departemen teknik elektro fakultas teknik universitas indonesia genap 2007/2008," Univ. Stuttgart, 2008.