

PENGATURAN TEGANGAN GENERATOR INDUKSI (GI) DENGAN TCR

Suprihardi¹, Yaman², Zamzami³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

email : ssuprihardi@yahoo.com¹, yaman_gayo@ymail.com², zamzami@pnl.ac.id³

Abstrak— Fluktuasi beban yang dilakukan pada sebuah motor induksi sebagai generator induksi (GI) akan mengakibatkan tegangan dan frekuensi generator induksi tidak akan pernah stabil. Akibatnya beban yang menerima kualitas daya tersebut tidak bekerja dengan baik dan efisiensi rendah. Permasalahannya yaitu bagaimana kemampuan TCR dalam menstabilkan tegangan, yang dihasilkan generator induksi 3 fasa 1 Kw-380 volt, 1500 Rpm akibat pembebanan yang berfluktuasi pada kapasitor tetap. Metode yang digunakan yaitu, melakukan pengukuran dan pengujian terhadap perancangan prototype untuk mendapatkan kemampuannya dalam menstabilkan tegangan. Hasil yang dicapai yaitu Parameter kendali yang sesuai untuk generator induksi 3 fasa 1 kW 4 kutub dengan prinsip pengalihan daya reaktif berdasarkan metode Ziegler-Nichols yaitu $K_p = 6$, dan $T_i 0,99$. Sistem kendali tegangan pada generator induksi 3 fasa ini menggunakan sistem pengalihan daya reaktif dengan pengaturan trigger TCR 3 fasa ke Reaktor 35 ohm dan induktansi $L = 6$ Henry. Respon yang dihasilkan oleh kendali PI pada generator induksi 3 fasa 1 kw 4 Kutub dengan beban normal 100 watt perfasanya. Lama respon selama 25 detik dalam menstabilkan tegangan pada tegangan 200 Volt, 50 Hz saat penambahan beban sebesar 60 Watt perfasanya, dan 12 detik saat pengurangan beban 25 watt perfasanya.

Kata kunci : Generator induksi, fluktuasi beban, tegangan

I. PENDAHULUAN

Generator induksi (GI) sangat membutuhkan daya reaktif pada saat beroperasi untuk membangkitkan tegangan [1]. Permasalahannya adalah bagaimana tegangandapat stabil, pada kapasitor statik dengan pengaturan sudut trigger TCR saat pembebanan berfluktuasi dan beban non linier. Kemudian berapa nilai kapasitor dan reaktor yang harus diberikan supaya tegangan tetap stabil. Untuk menjawab persoalan tersebut perlu dilakukan pengujian yaitu dengan langkah awal melakukan perhitungan dalam menentukan nilai kapasitor tetap sebagai pemberi daya reaktif dan nilai reaktor sebagai penyerap daya reaktif untuk menstabilkan tegangan. Selanjutnya perhitungan dan perancangan diwujudkan dalam bentuk prototype dan diuji kemampuannya. Besar penyerapan daya reaktif yang dilakukan oleh reaktor dengan mengatur besar reaktor.

Generator induksi banyak digunakan pada system pembangkit alternatif. Aplikasi penggunaannya pada pembangkit listrik tenaga angin dan mini/mikrohidro. Turbin yang memutar generator tidak mengharuskan pada kecepatan sinkronnya, maka daya yang dibangkitkan tidak akan memenuhi frekwensi dan tegangan tetap [22]. Mesin induksi berfungsi sebagai generator, jika mesin induksi bekerja pada slip negatif. Generator Induksi banyak digunakan karena lebih sederhana dibanding generator *synchronous*. Motor induksi lebih mudah dioperasikan, pemeliharaan, tidak mempunyai permasalahan sinkronisasi, murah dan hemat [2].

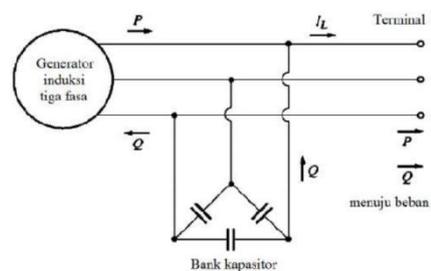
Pembangkitan tegangan akan terjadi bila pada rotor terdapat magnet sisa atau kapasitor yang masih menyimpan muatan yang dihubungkan ke generator induksi, dengan demikian akan mengalir arus pada rangkaian. Dengan adanya arus pada rangkaian tersebut maka akan menghasilkan fluks magnet pada celah udara antara kumparan stator dan rotor, sehingga pada kumparan stator akan membangkitkan tegangan induksi sebesar V_1 [3]. Tegangan V_1 selanjutnya akan mengakibatkan arus mengalir kembali ke kapasitor sebesar I_1 . Arus tersebut akan menambah besar magnet pada celah udara

sehingga tegangan kumparan stator akan meningkat terus sampai pada nilai tegangan generator induksi sama dengan tegangan kapasitor.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pemasangan Kapasitor

Pembangkitan tegangan generator induksi, nilai kapasitor yang dipasang harus lebih besar dari nilai kapasitor minimum yang diperlukan untuk proses eksitasi. Jika kapasitor yang dipasang lebih kecil dari kapasitor minimum yang diperlukan, maka proses pembangkitan tegangan tidak akan berhasil. Agar eksitasi sendiri dapat terjadi maka harus diperhatikan hubungan antara nilai kapasitansi dan kecepatan minimum [5]. Generator induksi yang bekerja stand alone diperlukan kapasitor untuk membangkitkan arus eksitasi [9-10]. Gambar 1 memperlihatkan diagram Rangkaian kapasitor pada motor induksi yang dioperasikan sebagai generator.



Gambar 1. Rangkaian kapasitor pada motor induksi sebagai generator [11]

Daya keluaran motor induksi sebagai generator adalah:

$$P_{msg} = \frac{P_{msg}}{P_{T1}} \times P_m \dots\dots\dots (1)$$

Konstanta k diperoleh dari grafik perbandingan antara daya generator dengan daya nominal motor $\frac{P_{msg}}{P_{T1}}$ dengan nilai antara 1,2 s/d 1,6 [1], sehingga daya maksimum generator yang diijinkan sesuai daya motor terhadap efisiensi motor. Daya

listrik masukan saat motor induksi berfungsi sebagai generator adalah:

$$P_{in} = \frac{P_n}{\gamma} \dots \dots \dots (2)$$

Daya reaktif motor pada saat beban nominal adalah:

$$Q_m = P_{in} \times \tan \alpha \dots \dots \dots (3)$$

Dengan menggunakan grafik [1] diketahui rasio antara kebutuhan daya reaktif motor dan generator yang diwakili oleh perbandingan $\sin \Phi$, yaitu:

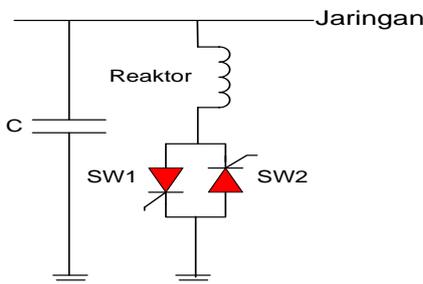
$$k = \frac{\sin \Phi_g}{\sin \Phi_m} \dots \dots \dots (4)$$

Kebutuhan daya reaktif generator adalah:

$$Q_g = k \times Q_m \dots \dots \dots (5)$$

B. Thyristor Controlled Reaktor (TCR)

Pada Gambar 2 merupakan skema statik kompensator menggunakan TCR [20]. Kapasitor dipasang dengan nilai tetap untuk memberikan daya reaktif pada generator induksi, kemudian TCR dihubungkan untuk mengatur arus reaktif ke reaktor dengan mengatur sudut triger. Kondisi pada kecepatan tetap kemudian penggerak utama (primeover) berfluktuasi, maka akan mengakibatkan gerak mekanik dan sistem kelistrikan juga ikut berfluktuasi. Fluktuasi penggerak utama menyebabkan tegangan generator juga berfluktuasi, sehingga mengakibatkan fluktuasi konsumsi daya reaktif. Metode mengatur tegangan dengan menggunakan thyristor controller reaktor (TCR) untuk mengatur kebutuhan kompensasi reaktif .



Gambar 2. Rangkaian pengaturan daya reaktif menggunakan TCR [18]

Komponen utama TCR terdiri dari reaktor dan thyristor switch SW1 dan SW2, kapasitor C tetap pemberi daya reaktif pada generator induksi dihubung langsung ke generator induksi [13,14,15]. Arus yang mengalir pada reaktor dinyatakan oleh persamaan berikut ini [12].

$$I = \frac{V_{rms}}{\pi \omega L} (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)$$

Dimana X_L adalah Reaktansi reaktor, α adalah Pergeseran sudut fasa, saat reaktor di switch, V_{rms} adalah Tegangan rms sistem, ω adalah kecepatan sudut, besar arus yang mengalir ke reaktor yaitu,

$$i_L = \frac{V dt}{L} = \frac{1}{L} V_m \int (-\cos \omega t) dt$$

Kapasitor tanpa reaktor, dimana Arus *inrush* kapasitor pada generator induksi sangat besar bisa mencapai 40 sampai 250 kali I nominal, sehingga perlu dikurangi supaya gangguan transien diperkecil. Pengurangan yang paling sederhana adalah menggunakan kumparan induktor (*coil*) yang akan menurunkan arus *inrush* hingga 1/4 nya bila dibandingkan dengan tanpa *coil*. Pemasangan Coil juga berfungsi meredam besarnya arus harmonisa yang terjadi akibat *switching* yang dilakukan thyristor [8]

C. Perhitungan Kapasitor

Kebutuhan kapasitor sebagai pemberi daya reaktif terhadap generator induksi (GI). Berdasarkan name plate motor induksi 3 fasa dengan daya 1 Kw, 380 volt, 50 Hz, efisiensi 80% dan faktor daya sebesar 0,76 maka, kebutuhan daya reaktif Q [1,10] yaitu;

$$P_{in} = \frac{1 \text{ kw}}{0,8} = 1,25 \text{ kw}$$

$$Q_m = P_{in} \cdot \tan \alpha = 1250 \cdot \tan 40,54^\circ = 1069,11 \text{ VAR}$$

$$Q_m \text{ per fasa} = 1069,11/3 = 356,37 \text{ VAR}$$

Nilai faktor pengali *k* diperoleh sebesar 1,47 berdasarkan daya motor 1 Kw Gambar 2.5 [1], sehingga kebutuhan daya reaktif generator adalah sebesar:

$$Q_g = 1,47 \times 356,37 = 523,864 \text{ VAR}$$

Reaktansi kapasitif hubungan bintang yaitu,

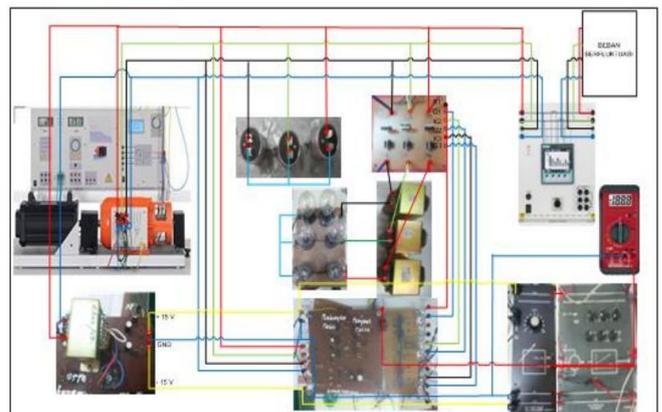
$$C = \frac{523,864}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 220^2} = 34,47 \mu F$$

Maka kebutuhan kapasitor per fasanya diambil sebesar 35 μF dihubungkan bintang.

Kebutuhan nilai parameter Reaktor pada TCR yang digunakan sebagai pengatur daya reaktif yaitu resistansi R = 35 ohm dan induktansi L = 6 Henry.

D. Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian dalam penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian pengujian GI dengan TCR dan induktor filter

Gambar 4. Respon Tegangan Saat Penambahan Beban

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Tegangan dan Frekuensi

Pengukuran tegangan dan frekuensi kondisi beban bertambah didapatkan data seperti pada tabel 1.

Tabel 1.
Pengukuran Tegangan Dan Frekuensi Kondisi Beban Bertambah

Beban (watt)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)
0	221	49.91
100	190	48.48
200	150	47.85
245	146	46.22

Apabila dilakukan penambahan beban pada GI, maka tegangan dan frekuensi akan menurun. Pengukuran tegangan dan frekuensi kondisi beban berkurang didapatkan data seperti pada tabel 2.

Tabel 2
Pengukuran tegangan dan frekuensi kondisi beban berkurang

Beban (watt)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)
245	146	46.22
200	150	47.85
100	190	48.48
0	221	49.91

Berdasarkan hasil pada Tabel 2, maka diperoleh apabila dilakukan pengurangan beban pada GI, maka tegangan dan frekuensi akan naik.

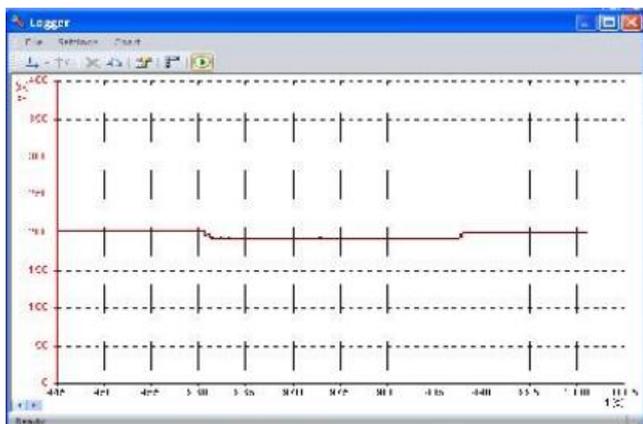
B. Pengaturan Tegangan dengan kendali PI

Parameter kendali PI didapat setelah dilakukan tuning. Parameter kendali PI yang tepat pada sistem pengendali tegangan, akan mempengaruhi keakurasian dan kecepatan respon. Parameter kontrol PI setelah dituning yaitu :

$$K_p = 0,9 \times 6,67 = 6$$

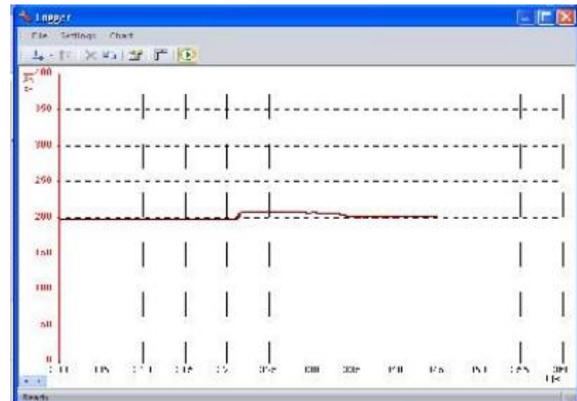
$$T_i = 3,3 \times 0,3 = 0,99 \text{ detik}$$

Pengujian respon kendali tegangan terhadap plant Generator induksi (GI) dengan sistem *close loop* saat penambahan beban. Respon kendali tegangan (GI) saat penambahan beban seperti Gambar 4.



Beban normal 100 watt perfasanya dengan tegangan 200 volt, frekuensi 50 Hz, kemudian dilakukan penambahan beban 60 watt perfasanya. Respon penambahan beban sebesar 60 watt perfasanya menurunkan tegangan mencapai 193 Volt dengan frekuensi tetap 50 Hz. Setelah 25 detik, tegangan kembali normal di 200 volt dengan frekuensi 50 Hz seperti terlihat pada gambar 4.

Pengujian respon kendali tegangan terhadap plant Generator induksi (GI) dengan sistem *close loop* saat pengurangan beban. Respon kendali tegangan (GI) saat pengurangan beban seperti Gambar 5.



Gambar 5. Respon tegangan saat pengurangan beban

Beban normal 125 watt perfasanya dengan tegangan 200 volt, frekuensi 50 Hz, kemudian dilakukan pengurangan beban 25 watt perfasanya. Respon pengurangan beban sebesar 25 watt perfasanya menaikkan tegangan mencapai 215 Volt dengan frekuensi tetap 50 Hz. Setelah 12 detik, tegangan kembali normal di 200 volt dengan frekuensi 50 Hz seperti terlihat pada gambar 5.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan:

Parameter kendali yang sesuai untuk generator induksi 3 fasa 1 kW 4 kutub dengan prinsip pengalihan daya reaktif berdasarkan metode *Ziegler-Nichols* yaitu $K_p = 6$, dan $T_i = 0,99$.

Sistem kendali tegangan pada generator induksi 3 fasa ini menggunakan sistem pengalihan daya reaktif yang dialihkan oleh penguatan trigger TCR 3 fasa ke Reaktor 35 ohm dan induktansi $L = 6$ Henry.

Respon yang dihasilkan oleh kendali PI pada generator induksi 3 fasa 1 kW 4 Kutub dengan beban normal 100 watt perfasanya. Lama respon selama 25 detik dalam menstabilkan tegangan pada tegangan 200 Volt, 50 Hz saat penambahan beban sebesar 60 Watt perfasanya, dan 12 detik saat pengurangan beban 25 watt perfasanya.

REFERENSI

[1] Machmud Effendy, 2009, Rancang Bangun Motor Induksi Sebagai Generator (Misg) Pada Pembangkit Listrik

- Tenaga Mikrohidro, TRANSMISI, Jurnal Teknik Elektro, Volume 11, Nomor 2, Juni 2009.
- [2] Bansal R.C., *Three-Phase Self-Excited Induction Generators, An Overview, Senior Member, IEEE*
- [3] Djoekardi, Djuhana, 1996, *Mesin-mesin Listrik Motor Induksi, Jakarta, Universitas Trisakti.*
- [4] Elena Giménez Romero, 2007, *Voltage Control in a Medium Voltage System with Distributed Wind Power Generation*, Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University Coden:Lutedx/(TEIE-5243)/1-68.
- [5] Erwin Dodu A.Y., 2009, *pemodelan sistem generator induksi tereksitasi sendiri (self-excited induction generator (seig))* JIMT, Vol. 6, No. 2,
- [6] Ghanshyam Vishwakarma and Nitin Saxena, 2013, *Enhancement of Voltage Profile by using Fixed Capacitor- Thyristor Controlled Reactor (FC-TCR), International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering* 2(2): 18-22(2013) ISSN No: 2277-2626
- [7] Harpreet Singh, Durga Sharma, 2015, *Reactive Compensation Capability Of Fixed Capacitor Thyristor Controlled Reactor For Load Power Faktor Improvement*, International Journal Of Scientific & Technology Research Volume 4, Issue 01, January 2015 Issn 2277-8616
- [8] Hendik Eko H S, Yahya Chusna Arif, dan Indhana Sudiharto, 2010, *Teknik Pengurangan Arus Inrush dan Pengurangan Harmonisa Pada Kapasitor Bank Untuk Beban Non Linier*, ISSN: 2088-0596 - Published by EEPIS
- [9] I Ketut perdana Putra, sasongko Pramono Hadi, T. Haryono, 2004, *Penggunaan kapasitor untuk perbaikan unjuk kerja motor induksi sebagai Generator*, Program studi Teknik Elektro Program pasca sarjana UGM Teknosains.
- [10] I ketut perdana putra, 2008, *Perbandingan analisis nilai kapasitor pada operasi motor induksi sebagai generator menggunakan metode BL theraja dan jean marc chapallaz*, jurnal penelitian unram, ISSN 085-0098 vol.2 no 13.
- [11] Jesús fraile-ardanuy, jesús fraile-mora, pedro a. Garcia-gutierrez, 2012, *Voltage control of isolated self-excited induction generator through series compensation*, przegląd elektrotechniczny (electrical review), ISSN 0033-2097, r. 88 nr 1a/technical university of Madrid.
- [12] Juan Dixon ,Luis Morán (F) José Rodríguez (SM), Ricardo Domke,, *Reactive Power Compensation Technologies*, State of the-Art Review
- [13] Kusum Arora, S.K. Agarwal, Narendra kumar, Dharam Vir, 2013, *Simulation Aspects of Thyristor Controlled Series Compensator in Power System*, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) e-ISSN: 2250-3021, p-ISSN: 2278-8719 Vol. 3, Issue 4 (April. 2013), ||V1 || PP 17-26
- [14] Ljubiša Spasojević, Boštjan Blažič, Igor Papič, 2011, *Application of a thyristor-controlled series reactor to reduce arc furnace flicker*, Elektrotehniški Vestnik 78(3): 112-117, 2011, Faculty of Electrical Engineering University of Ljubljana
- [15] Mosaad M.I., 2011, *Control of Self Excited Induction Generator using ANN based SVC*, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 23– No.5, June 2011