

# ANALISA PERBANDINGAN PENGARUH HUBUNGAN SHORT-SHUNT DAN LONG-SHUNT TERHADAP REGULASI TEGANGAN DAN EFISIENSI GENERATOR INDUKSI PENGUATAN SENDIRI

## ( APLIKASI PADA LABORATORIUM KONVERSI ENERGI LISTRIK FT – USU )

**Nur Yudha Utama Putra , Syamsul Amin**

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail: [nuryudhaup@ymail.com](mailto:nuryudhaup@ymail.com)

### Abstrak

Tulisan ini membahas pengaruh hubungan *short-shunt* dan *long-shunt* terhadap regulasi tegangan dan efisiensi yang dihasilkan generator induksi penguatan sendiri beban resistif. Dimana rotor yang digunakan adalah jenis rotor sangkar-tupai dengan sumber eksitasi generator induksi tersebut berupa kapasitor yang terhubung delta dirangkai secara paralel dengan sistem. Untuk kompensasi tegangan keluaran generator induksi menggunakan kapasitor dan dirangkai secara seri pada sistem. Pengujian ini dilakukan pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU dengan beban 120W , 240W , 360W , dan 480W dimana besar nilai kapasitor eksitasi dan kompensasi yang digunakan adalah sama besar dan konstan . Hasil yang diperoleh untuk regulasi tegangan generator induksi hubungan short-shunt adalah 4.08% , 7.37% , 10.57% , dan 16.57% sedangkan pada generator induksi hubungan long-shunt ialah 8.8% , 12.71% , 13.96% , dan 21.79%. Terhadap efisiensi hasil yang diperoleh dari generator induksi hubungan short-shunt ialah 25.04% , 32.73% , 36.39% , dan 40.69% sedangkan pada generator induksi hubungan long-shunt adalah 9.65% , 12.41% , 11.97% , dan 15.51%. Atas perolehan data-data tersebut dapat disimpulkan bahwa saat generator induksi dihubungkan short-shunt akan memiliki regulasi tegangan dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan saat dihubungkan long-shunt.

**Kata Kunci:** generator induksi , *short-shunt* , *long-shunt*

### 1. Pendahuluan

Mesin induksi pada umumnya dapat dioperasikan sebagai motor dan generator. Saat mesin induksi berperan sebagai generator yang terhubung ke beban, mesin induksi tersebut tidak mampu mengendalikan tegangan dan frekuensi keluaran yang dihasilkan, ukuran untuk mengetahui besarnya jatuh tegangan adalah regulasi tegangan. Namun dibalik kekurangannya itu mesin induksi mampu menghasilkan efisiensi yang bagus. Agar mesin induksi beroperasi sebagai generator maka harus disuplai dengan daya reaktif. Kebutuhan daya reaktif dapat diperoleh dengan memasang kapasitor (kapasitor eksitasi) yang dihubungkan secara paralel pada sistem.

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui perbandingan generator induksi hubungan short-shunt dan generator induksi hubungan long-shunt terhadap regulasi tegangan dan efisiensi yang dihasilkan.

Adapun batasan masalah dari percobaan yang dilakukan adalah:

1. Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa.
2. Rugi inti, gesek, dan angin diabaikan.
3. Analisa dilakukan dalam keadaan steady state.
4. Kapasitor sebagai sumber daya reaktif dihubung delta ( $\Delta$ ).
5. Tidak membahas gangguan yang terjadi pada generator.

- 6. Kondisi beban yang menjadi objek penelitian adalah beban yang bersifat resistif berupa lampu pijar.

**2. Generator Induksi**

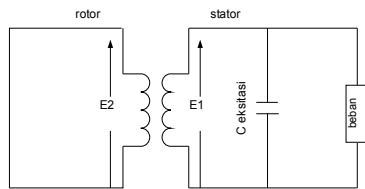
Prinsip kerja generator induksi adalah kebalikan daripada saat mesin induksi bekerja sebagai motor. Jika motor berfungsi sebagai generator, pada rotor motor diputar oleh sumber penggerak dengan kecepatan lebih besar daripada kecepatan sinkronnya. Bila suatu konduktor yang berputar didalam medan magnet (kumparan stator) akan membangkitkan tegangan sebesar [1].

$$e = B.l.v \tag{1}$$

Dimana

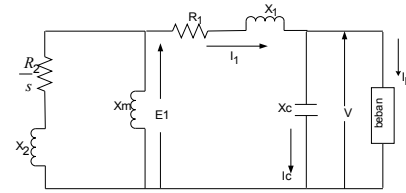
- e : tegangan induksi yang dihasilkan (volt)
- B : fluks magnetik (weber)
- l : panjang konduktor yang dilewati medan magnet (m)
- v : kecepatan medan magnet melewati konduktor (m/s)

Syarat utama terbangkitnya tegangan generator induksi adalah adanya remanensi di rotor atau kapasitor eksitasi yang digunakan harus mempunyai muatan listrik terlebih dahulu. Remanensi atau muatan kapasitor merupakan tegangan awal yang diperlukan untuk proses pembangkitan tegangan selanjutnya. Proses pembangkitan tegangan akan terjadi bila salah satu syarat di atas dipenuhi. Gambar 1 memperlihatkan rangkaian proses pembangkitan tegangan generator induksi [2].



Gambar 1. Rangkaian Proses Pembangkitan Tegangan [2]

Dari Gambar 1 dapat dibuat rangkaian ekuivalen per fasa generator induksi seperti Gambar 2



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Perfasa Generator Induksi [2]

Dimana

- R<sub>1</sub>: tahananstator
- X<sub>2</sub>: reaktansi rotor
- I<sub>1</sub>: arus beban
- X<sub>m</sub>: reaktansimagnetisasi
- R<sub>2</sub>: tahanan rotor
- s: slip
- X<sub>1</sub>: reaktansistator
- I<sub>1</sub>: arus stator
- X<sub>c</sub>: reaktansi kapasitansi
- I<sub>c</sub>: arus magnetisasi.
- v: tegangan keluaran (phasa-netral)

Dari gambar rangkaian ekuivalen Gambar 2, hubungan antara tegangan keluaran dengan arus stator diperlihatkan pada persamaan berikut

$$V = E_1 - I_1 ( R_1 + jX_1 ) \tag{2}$$

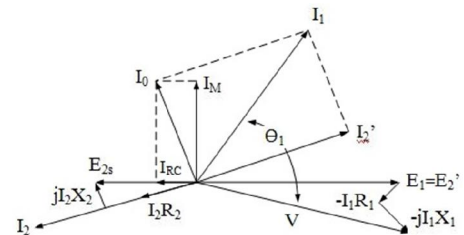
$$E_{2s} = I_2 ( R_2 + jX_2 ) \tag{3}$$

$$I_1 = I_c + I_L \tag{4}$$

Dimana

- V : tegangan keluaran generator (volt)
- E<sub>1</sub> : ggl induksi yang dibangkitkan pada stator (volt)
- E<sub>2s</sub> : ggl yang dibangkitkan pada sisi rotor(volt)
- I<sub>1</sub> : arus stator (ampere)

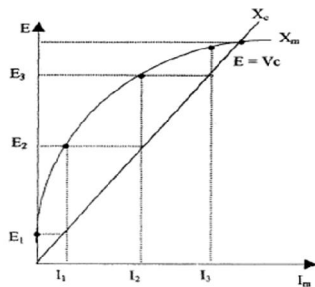
Dari persamaan 2 diatas dapat digambarkan diagram fasor tegangan generator induksi seperti Gambar 3 [3].



Gambar 3. Diagram Fasor Tegangan keluaran Generator Induksi [3]

Dengan menghubungkan kapasitor di terminal stator, akan terbentuk suatu rangkaian tertutup. Dengan adanya tegangan awal tadi, di rangkaian akan mengalir arus. Arus tersebut akan menghasilkan fluksi di celah udara,

sehingga di stator akan terbangkit tegangan induksi sebesar  $E_1$ . Tegangan  $E_1$  ini akan mengakibatkan arus mengalir ke kapasitor sebesar  $I_1$ . Dengan adanya arus sebesar  $I_1$ , akan menambah jumlah fluksi di celah udara, sehingga tegangan di stator menjadi  $E_2$ . Tegangan  $E_2$  akan mengalirkan arus di kapasitor sebesar  $I_2$  yang akan menyebabkan fluksi bertambah dan tegangan yang dibangkitkan juga akan meningkat. Proses ini terjadi sampai mencapai titik keseimbangan  $E = V_C$  seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Dalam kondisi ini tidak terjadi lagi penambahan fluksi ataupun tegangan yang dibangkitkan [2].



Gambar 4. Proses Pembangkitan Tegangan [2]

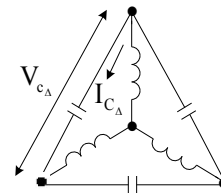
Nilai kapasitor yang dipasang sangat menentukan terbangkitnya tegangan atau tidak. Untuk terbangkitnya tegangan generator induksi, nilai kapasitor yang dipasang harus lebih besar dari nilai kapasitor minimum yang diperlukan untuk proses eksitasi. Jika kapasitor yang dipasang lebih kecil dari kapasitor minimum yang diperlukan, maka proses pembangkitan tegangan tidak akan berhasil [2].

Kapasitor eksitasi adalah salah satu sumber eksitasi yang digunakan sebagai penghasil daya reaktif pada generator induksi. Dengan eksitasi yang mencukupi, akan diperoleh kondisi optimal pengoperasian pembangkit dalam bentuk faktor daya dan efisiensi yang tinggi, regulasi tegangan yang rendah dan pada gilirannya akan memperbaiki keseluruhan performansi sistem. Sebaliknya kekurangan eksitasi akan mengakibatkan generator induksi dapat kehilangan tegangan (*voltage collapse*) dan ketidak-stabilan sistem [4].

Pemasangan kapasitor sebagai sumber eksitasi yang dirangkai secara paralel pada system dapat dilakukan dengan

a) Kapasitor Eksitasi Hubungan Delta ( $\Delta$ )

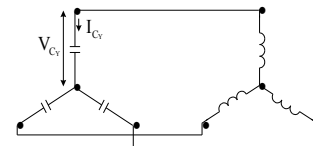
Berikut adalah rangkaian jika kapasitor dihubung delta ( $\Delta$ )



Gambar 5. Kapasitor Terhubung Delta [5]

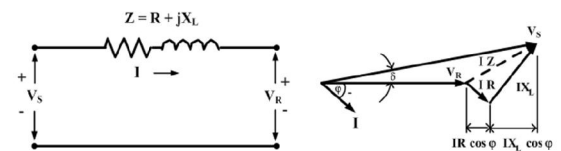
b) Kapasitor Eksitasi Hubungan Wye (Y)

Berikut adalah rangkaian jika kapasitor dihubung wye (Y)

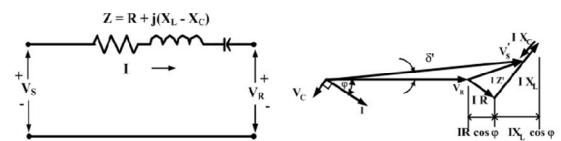


Gambar 6. Kapasitor Terhubung Wye [5]

Jatuhnya tegangan keluaran yang dihasilkan generator induksi seiring dengan bertambahnya beban merupakan salah satu kekurangan yang sering dijumpai, sehingga menyebabkan nilai regulasi tegangan juga meningkat. Metode umum yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memasang kapasitor yang dihubungkan secara seri pada sistem. Pemasangan kapasitor tersebut dikenal juga dengan kapasitor kompensasi tegangan seperti pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Rangkaian Ekivalen dan Diagram Phasor Tanpa Kapasitor Kompensasi [6]



Gambar 8. Rangkaian Ekivalen dan Diagram Phasor Dengan Kapasitor Kompensasi [6]

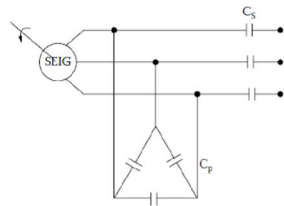
### 3. Generator Induksi Dengan Kapasitor Kompensasi

Berdasarkan peletakan kapasitor kompensasi pada rangkaian mesin induksi sebagai generator maka generator induksi dapat dibedakan menjadi

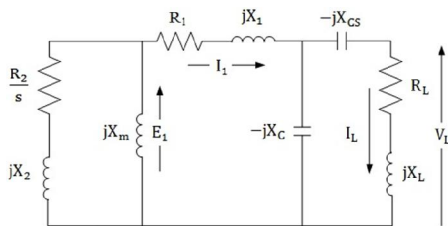
a) Generator Induksi Hubungan *Short-Shunt*

Generator induksi penguatan sendiri hubungan *short-shunt* merupakan salah satu cara untuk mengkompensasi tegangan keluaran generator induksi penguatan sendiri yaitu dengan cara menambahkan kapasitor yang terhubung seri di sisi beban.

Adapun rangkaian generator induksi hubungan *short-shunt* dan rangkaian ekuivalennya dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 dibawah ini



Gambar 9. Rangkaian Generator Induksi Penguatan Sendiri Hubungan Short-Shunt [7]

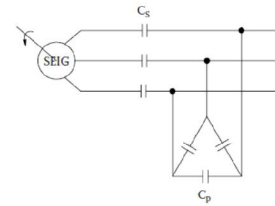


Gambar 10. Rangkaian Ekuivalen Per Fasa Generator Induksi Penguatan Sendiri Hubungan Short-Shunt [2]

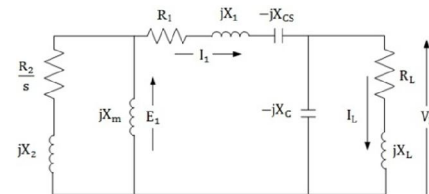
b) Generator Induksi Hubungan *Long-Shunt*

Generator induksi penguatan sendiri hubungan *long-shunt* merupakan salah satu cara untuk mengkompensasi tegangan keluaran generator induksi penguatan sendiri yaitu dengan cara menambahkan kapasitor yang terhubung seri di sisi stator.

Adapun rangkaian generator induksi hubungan *long-shunt* dan rangkaian ekuivalennya dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12 dibawah ini



Gambar 11. Rangkaian Generator Induksi Penguatan Sendiri Hubungan Long-Shunt [7]



Gambar 12. Rangkaian Ekuivalen Per Fasa Generator Induksi Penguatan Sendiri Hubungan Long-Shunt [2]

### 4. Hasil Pengujian

Untuk dapat melihat perbandingan pengaruh hubungan short-shunt dan long-shunt terhadap regulasi tegangan dan efisiensi generator induksi maka diadakan beberapa pengujian untuk memperoleh data-data yang diperlukan yakni

1. Pengujian tahanan stator DC
2. Pengujian beban nol generator induksi penguatan sendiri
3. Pengujian berbeban generator induksi penguatan sendiri hubungan short-shunt
4. Pengujian berbeban generator induksi penguatan sendiri hubungan long-shunt

Dari hasil pengujian tersebut dan dari analisa perhitungan yang dilakukan, diperoleh data-data pada Tabel 1,2,3, dan 4 dibawah ini

Tabel 1. Hasil Pengujian Tahanan Stator DC

Phasa	V (volt)	I (A)	R <sub>dc</sub> (Ω)	R <sub>dc rata2</sub>	R <sub>ac</sub> (Ω)
U-V	1	0,09	11,11	11,11	12,221
	2	0,18	11,11		
	3	0,27	11,11		
V-W	1	0,09	11,11	10,97	12,067
	2	0,18	11,11		
	3	0,28	10,71		
U-W	1	0,09	11,11	11,32	12,452
	2	0,17	11,76		
	3	0,27	11,11		

Untuk  $I = 0,09$  Ampere

$$R_{dc} = \frac{1}{0,09} = 11,11 \text{ ohm}$$

$$R_{dc \text{ rata-rata}} = \frac{11,11 + 11,11 + 11,11}{3} = 11,11 \text{ ohm}$$

$$\begin{aligned} R_{ac} &= R_{dc \text{ rata-rata}} \times \text{faktor koreksi} \\ &= 11,11 \times 1,1 \\ &= 12,221 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Dari data hasil percobaan, diperoleh besar tahanan perphasa :

$$\begin{aligned} R_{U_{ac}} &= 0,5 ( R_{UV} + R_{UW} - R_{VW} ) \\ &= 0,5 ( 12,221 + 12,452 - 12,067 ) \\ &= 6,303 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{V_{ac}} &= 0,5 ( R_{UV} + R_{VW} - R_{UW} ) \\ &= 0,5 ( 12,221 + 12,067 - 12,452 ) \\ &= 5,918 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{W_{ac}} &= 0,5 ( R_{VW} + R_{UW} - R_{UV} ) \\ &= 0,5 ( 12,067 + 12,452 - 12,221 ) \\ &= 6,149 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh besarnya harga tahanan stator :

$$\text{Tahanan stator} = \frac{RU + RV + RW}{3} = 6,123 \text{ ohm}$$

Tabel 2. Hasil Pengujian Beban Nol Generator Induksi Penguatan Sendiri

$V_0$ ( Volt )	$n_r$ ( rpm )	$f$ ( Hz )	$n_s$ ( rpm )	Slip ( % )
408	1380	45	1350	-2.22

Regulasi tegangan diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut

$$VR = \frac{V_0 - V_L}{V_L} \times 100\% \quad (5)$$

dan untuk memperoleh efisiensi

$$I_1 = I_L + I_C$$

$$P_S = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_{STATOR} \quad (6)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_S} \times 100\% \quad (7)$$

Tabel 3. Hasil Pengujian Generator Induksi Hubungan Short-Shunt

$V_L$ ( Volt )	$I_1$ ( A )	$f$ ( Hz )	$n_s$ ( rpm )	$n_r$ ( rpm )	$P_{out}$ ( Watt )	Slip ( % )	VR ( % )	$\eta$ ( % )
392	3.83	44	1320	1350	90	-2.27	4.08	25.04
380	3.74	44	1320	1350	125	-2.27	7.37	32.73
369	3.65	44	1320	1350	140	-2.27	10.57	36.39
350	3.45	43	1290	1300	150	-0.78	16.57	40.69

Tabel 4. Hasil Pengujian Generator Induksi Hubungan Long-Shunt

$V_L$ ( Volt )	$I_1$ ( A )	$f$ ( Hz )	$n_s$ ( rpm )	$n_r$ ( rpm )	$P_{out}$ ( Watt )	Slip ( % )	VR ( % )	$\eta$ ( % )
375	3.91	44	1320	1350	30	-2.27	8.8	9.65
362	3.92	44	1320	1350	40	-2.27	12.71	12.41
358	4	44	1320	1350	40	-2.27	13.96	11.97
335	3.85	43	1290	1300	50	-0.78	21.79	15.51

## 5. Kesimpulan

Melalui tabel hasil pengujian dan analisa data yang diperoleh maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

1. Dari analisa data didapat regulasi tegangan hubungan short-shunt pada beban 120, 240, 360, dan 480 watt sebesar 4.08, 7.37, 10.57, dan 16.57 % sedangkan untuk hubungan long-shunt pada beban 120, 240, 360, dan 480 watt sebesar 8.8, 12.71, 13.96, dan 21.79 % sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa regulasi tegangan hubungan short-shunt lebih baik dibandingkan hubungan long-shunt.
2. Dari analisa data dapat dilihat bahwa arus stator ( $I_1$ ) yang dihasilkan generator induksi penguatan sendiri hubungan short-shunt lebih kecil dibanding arus stator ( $I_1$ ) yang dihasilkan generator induksi penguatan sendiri hubungan long-shunt, sehingga efisiensi generator induksi hubungan short-shunt lebih baik dari efisiensi generator induksi hubungan long-shunt.
3. Dari pengujian diatas disimpulkan pemasangan kapasitor kompensasi yang efektif untuk memperbaiki tegangan keluaran generator induksi penguatan sendiri ialah pada beban dan bukan pada terminal stator.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada H.Ir.Untung Baritno dan Hj.Magdalena Nasution selaku orang tua penulis, Ir. Syamsul Amin, M.Si selaku dosen pembimbing, juga Ir. Zulkarnaen Pane, Ir. Eddy Warman, dan Ir. Surya Tarmizi Kasim, M.Si selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyempurnakan paper ini, serta kerabat-kerabat penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

## 7. Referensi

- [1] <http://abdoelrauf.blogspot.com/2012/05/pe-mbangkit-listrik-tenaga-gelombang.html>.
- [2] Ahyanuardi, 1999, *Analisis Generator Induksi Penguatan Sendiri Dengan Kompensasi Tegangan Menggunakan Kapasitor*,  
<http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-ahyanuardi-29154&q=long%20shunt>.
- [3] M., Salama, 1999, *Analisa Dan Simulasi Pengendali Tegangan Dengan Kapasitor Pada Generator Induksi Terisolir*,  
<http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-salamamnim-29154>.
- [4] Hamid, M.I. & Saputra Edi, 2007, *Realisasi Kontroler Berbasis Logika Fuzzy Pada Pengendalian Eksitasi Generator Induksi Penguatan Sendiri Bagi Pembangkit Listrik NonKonvensional*,  
[https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:M0fuIya9dxgJ:repository.unand.ac.id/2129/1/REALISASI\\_Kontroler\\_Berbasis\\_Logika\\_Fuzzy\\_Pada.doc+&hl=id&gl=id&pid=bl&srcid=ADGEESiHrUN\\_cz3jQPu-vJVIAf6\\_NW2OaEIuw5xad1vfiYgPYG0nW3ov875biknTvVCnkmLTBf8JTGP5C574cJqP0J3NvNWzyTfASeUXYu-BfHsbEnOVfqW\\_Z44msHm2QLU8ICDcdi8B&sig=AHIEtbT1e3R-58QtmzchYPLhrqbs3KleFg](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:M0fuIya9dxgJ:repository.unand.ac.id/2129/1/REALISASI_Kontroler_Berbasis_Logika_Fuzzy_Pada.doc+&hl=id&gl=id&pid=bl&srcid=ADGEESiHrUN_cz3jQPu-vJVIAf6_NW2OaEIuw5xad1vfiYgPYG0nW3ov875biknTvVCnkmLTBf8JTGP5C574cJqP0J3NvNWzyTfASeUXYu-BfHsbEnOVfqW_Z44msHm2QLU8ICDcdi8B&sig=AHIEtbT1e3R-58QtmzchYPLhrqbs3KleFg).
- [5] Smith, Nigel, 1994, *"Motors As Generators For Micro-Hydro Power"*, ITDG Publishing, UK.
- [6] Baafai, Usman S., *"Materi Perkuliahan Sistem Distribusi"*.
- [7] Boldea, Ion, *"Variabel Speed Generator"*, Taylor & Francis Group, Ney York, 2006.