

# Sistem Pengendali Tegangan pada Generator Induksi 3 Phasa Menggunakan Kontrol PI

Said Abubakar<sup>1)</sup>, Supri Hardi<sup>2)</sup>, Rizal Alfayumi<sup>3)</sup>  
<sup>1)&2)</sup> Staf Pengajar dan <sup>3)</sup> Mahasiswa Politeknik Negeri Lhokseumawe

## Abstrak

Pada umumnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) banyak memanfaatkan motor induksi sebagai generator induksi karena cukup menggunakan energi terbarukan seperti air dan angin sebagai penggerak (*Prime over*) dan tidak banyak membutuhkan perawatan. Permasalahan generator induksi adalah apabila dibebani tegangannya akan turun dan apabila terjadi pengurangan beban, maka tegangan akan naik. Tujuan penelitian ini adalah menstabilkan tegangan pada generator induksi 3 phasa 1 Kw 4 kutub menggunakan kontrol PI dengan cara menentukan parameter dan respon yang tepat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian dan pengukuran untuk mendapatkan parameter kendali  $K_p$  dan  $T_i$  berdasarkan metode Ziegler-Nichols. Hasil pengujian dengan mentuning kurva  $S$  didapat nilai  $T_u = 0,3$  detik dan  $T_g = 2$  detik serta parameter  $K_p = 6$  dan  $T_i = 0,99$ . Respon kendali penstabil tegangan maksimal 25 detik dengan penambahan dan pengurangan beban sebesar 60 Watt. Tegangan stabil 200 VAC, frekuensi 50 Hz, dan kecepatan generator konstan 1538 Rpm.

**Kata Kunci :** Generator Induksi, Tegangan, Frekuensi, Kontrol PI, Ziegler-Nichols, Parameter.

## I. PENDAHULUAN

Secara umum konstruksi motor induksi sama dengan generator induksi, hanya saja generator induksi memerlukan adanya *prime mover* sebagai penggerak mula. Oleh karena itu motor induksi tiga phasa dapat dioperasikan sebagai generator dengan cara memutar rotor pada kecepatan di atas kecepatan medan putar, sehingga menghasilkan slip ( $s$ ) negatif. Untuk menjadikan motor induksi sebagai generator maka mesin ini membutuhkan daya reaktif untuk membangkitkan arus eksitasi. Dengan cara ini maka motor listrik tiga phasa dapat dioperasikan sebagai generator.

Motor induksi sebagai generator banyak diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) yang bekerja secara sendiri. Mesin ini dipilih sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik karena tidak banyak membutuhkan perawatan seperti mesin sinkron dan tidak membutuhkan bahan bakar pada saat diaplikasikan di lapangan, tapi cukup bergantung pada sumber energi terbarukan seperti air, angin, dan lain-lain sebagai *prime over* (penggerak mula). “Rancang Bangun Thyristor Controlled Reaktor (TCR) sebagai penstabil tegangan dan peredam harmonisa aplikasi pada generator induksi Pembangkit Mikrohidro” oleh Supri Hardi, ST. MT. (2016) pengujian terhadap sebuah motor induksi 3 fasa 1,1 Kw-380 volt, 1500 Rpm sebagai generator yang menghasilkan tegangan bangkitkan semakin kecil dari 220 volt sampai 138 volt saat dilakukan penambahan beban dari 0 watt s/d 876 watt walau kecepatan generator dijaga tetap pada 1528 RPM, demikian juga torsi yang dibutuhkan semangkit meningkat dari 1,87 N-m s/d 4,14 N-m. Nilai frekuensi juga menurun pada saat generator dibebani oleh beban linear dan non linear.

Penggunaan TCR untuk mengatur sudut trigger sehingga nilai frekuensi dapat konstan 50 Hz tetapi tegangan yang dibangkitkan oleh generator semakin kecil dan harmonisa yang dibangkitkan semakin besar. Dilakukan percobaan TCR bervariasi dengan single tuned pada putaran 1618 RPM sehingga menghasilkan tegangan dan frekuensi tetap meskipun dilakukan penambahan beban. Frekuensi dapat tetap, jika dilakukan pengaturan Torsi penggerak mula. Jika torsi penggerak mula tidak dapat diatur maka frekuensi harus dilakukan kendali tersendiri.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Mahalla (2013) Pengoperasian Motor Induksi Sebagai Generator Untuk Pembangkitan Listrik Tenaga Mikro hydro (PLTMh). Berdasarkan analisa beban harian, perubahan beban utama mempengaruhi perubahan tegangan dan frekuensi output dari IMAG, hal ini disebabkan karena pengontrol beban yang ada sekarang tidak bisa bekerja dengan baik untuk mengalihkan perubahan beban utama ke beban semu (*ballast load*). Salah satu metode yang bisa dilakukan untuk mengontrol tegangan dan frekuensi, adalah dengan mengatur beban (*dummy load*).

Afiat Dhrgantar (2010) Analisis Dan Simulasi Pengaturan Tegangan Generator induksi Berpenguat Sendiri Dengan Menggunakan Konverter AC-DC-AC Pada Sifat Beban Yang Berbeda. Berdasarkan hasil simulasi, Konverter AC-DC-AC mampu meningkatkan performa tegangan dibeban. hasil yang diperoleh, transien tegangan dibeban lebih rendah dan jatuh tegangan dibeban jadi berkurang. Kelemahan dari metode pengaturan ini adalah menghasilkan harmonik

yang sangat berbahaya terutama pada beban kapasitif.

Chairul Gagarin Irianto (2004) Suatu Studi Penggunaan Motor Induksi sebagai Generator: Penentuan Nilai Kapasitor Untuk Penyedia Daya Reaktif. Operasi motor sebagai generator induksi membutuhkan daya reaktif. daya reaktif dapat diperoleh dari grid. Jika generator induksi terpisah atau terisolasi dari grid, daya reaktif dapat diperoleh dari kapasitor. Kapasitor dapat digunakan pada terminal motor induksi. Nilai kapasitor akan menentukan beban pembangkit. Jika beban meningkat, tegangan akan turun. Pada generator induksi perubahan beban berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan, untuk memperoleh tegangan yang stabil diperlukan perubahan nilai kapasitor sesuai dengan perubahan beban.

Erwin sutanto (2008) Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) Untuk Motor DC Menggunakan *Personal Computer*. Pengendali Proportional Integral Derivative (PID) merupakan salah satu pengendali yang bertujuan memperbaiki kinerja suatu sistem, termasuk sistem kendali putaran motor dc. Kecepatan respon dan *error steady state* merupakan parameter yang diukur untuk menilai kinerja suatu sistem kendali. Kendali PID dalam makalah ini diimplementasikan melalui perangkat lunak berbasis personal computer (PC) yang sekaligus juga dipakai sebagai monitoring kurva respon yang dihasilkan melalui tampilan grafik interaktif. Kondisi terbaik dengan metode *tunning Ziegler-Nichols* diperoleh pada nilai konstanta kendali  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  masing-masing sebesar 11.175, 22.35 dan 1.35 dengan *error steady state* sebesar 2%.

Doni Suhendra (2014) Perancangan Alat Pengontrolan Frekuensi Dalam Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu fasa menggunakan kontrol PID. Pada saat pengujian mengontrol frekuensi dalam mengatur kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kontrol PID dengan putaran motor 1050 rpm dibutuhkan waktu 3,73 s untuk mencapai titik kestabilan referensi, putaran motor 1200 rpm dibutuhkan waktu 3,6 s untuk mencapai titik kestabilan referensi, putaran motor 1350 rpm dibutuhkan waktu 2,24 s untuk mencapai titik kestabilan referensi, dan putaran motor 1500 rpm dibutuhkan waktu 2 s untuk mencapai titik kestabilan referensi. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa semakin cepat berputarnya motor induksi satu fasa maka semakin kecil waktu yang dihasilkan PID dalam mencapai titik kestabilan referensi.

Heri Ardiansyah (2012) Studi Regulasi Output Generator Induksi Dengan *Voltage Source Inverter*. Pemasangan rangkaian VSI dan dc chopper dengan kombinasi pengaturan tegangan ac, tegangan dc dan current-controlled inverter dapat digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi output generator induksi. Tegangan dan frekuensi output generator induksi adalah masing-

masing 380 Volt dan 50 Hz, dan tidak berfluktuasi saat terjadi perubahan beban. Generator induksi dengan pemasangan rangkaian VSI beroperasi dengan daya output relatif konstan 438,5 Watt. Daya yang diserap inverter akan bertambah ketika beban berkurang, dan sebaliknya daya inverter akan berkurang ketika beban bertambah. Dari hasil simulasi yang dilakukan, penggunaan controller PI pada sistem menunjukkan tegangan dan frekuensi output generator induksi dijaga sesuai dengan yang diinginkan.

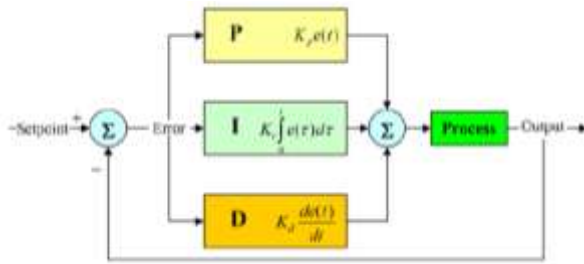
Supri Hardi, ST. MT. (2015) Rancang Bangun Thyristor Controlled Reaktor (TCR) sebagai penstabil tegangan dan peredam harmonisa aplikasi pada generator induksi Pembangkit Mikrohidro. Yang menghasilkan tegangan bangkitkan semakin kecil dari 220 volt sampai 138 volt saat dilakukan penambahan beban dari 0 watt s/d 876 watt walau kecepatan generator dijaga tetap pada 1528 RPM, demikian juga torsi yang dibutuhkan semangkit meningkat dari 1,87 N-m s/d 4,14 N-m. Nilai frekuensi juga menurun pada saat generator dibebani oleh beban linear dan non linear. Kemudian digunakan TCR untuk mengatur sudut trigger sehingga nilai frekuensi dapat konstan 50 Hz tetapi tegangan yang dibangkitkan oleh generator semakin kecil dan harmonisa yang dibangkitkan semakin besar. Setelah itu dilakukan percobaan TCR bervariasi dengan single tuned pada putaran 1618 RPM sehingga menghasilkan tegangan dan frekuensi tetap meskipun dilakukan penambahan beban. Frekuensi dapat tetap, jika dilakukan pengaturan Torsi penggerak mula. Jika torsi penggerak mula tidak dapat diatur maka frekuensi harus dilakukan kendali tersendiri.

Perancangan sistem pengaturan daya reaktif untuk menghasilkan prototif single tuned dan TCR yang dikendalikan dengan mengatur sudut trigger. Injeksi arus kapasitor tetap ke generator induksi dilakukan agar terbangkitnya tegangan generator. Ditambahkan induktor L seri dengan kapasitor untuk mengurangi *Inrush current*. Kerja capasitor dan induktor L secara seri (single tuned) untuk meredam harmonisa. Kontrol PI terhadap sudut trigger pada TCR untuk mengatur daya reaktif ke generator induksi agar tegangan tetap sebesar 220 Volt fasa ke netral dengan frekuensi 50 Hz. Penggunaan kontrol Proporsional-Integral untuk mempercepat respon. Perancangan reaktor tiga fasa sesuai kebutuhan induktansi pada prototip TCR untuk mereduksi daya reaktif.

#### A. Kontrol PID

PID (*Proportional Integral Derivative*) *Controller* merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik/*feed back* pada sistem tersebut. komponen PID terdiri dari 3 jenis, yaitu Proportional, integral, dan Derivatif. ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun

sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*.

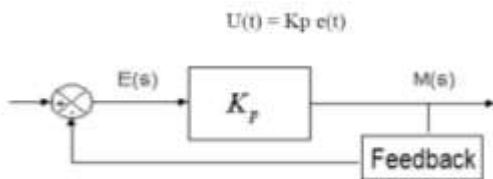


Gambar 1. Blok diagram PID kontroler

Ada 3 macam Kontrol PID, yaitu: PI, PD, dan PID. PI adalah kontrol yang menggunakan komponen proporsional dan integratif. PD adalah kontrol yang menggunakan komponen proporsional dan derivatif. PID adalah kontrol yang menggunakan komponen proporsional, integratif, dan derivatif.

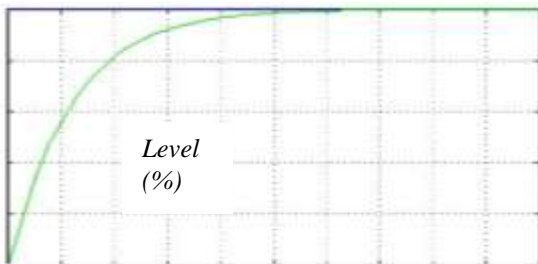
**B. Kontrol Proporsional**

Kontroller merupakan sebuah penguat input sehingga hasil pada output tidak semakin menjadi kecil pada sebuah sistem. Output *Proporsional* adalah hasil perkalian antara konstanta proporsional dengan nilai errornya. Perubahan yang terjadi pada sinyal input akan menyebabkan sistem secara langsung mengubah output sebesar konstanta pengali.



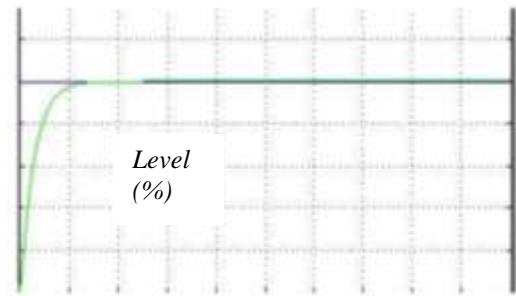
Gambar 2. Blok diagram Kp

Jika nilai Kp kecil, kontroller Proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.



Gambar 3. Grafik nilai Kp kecil

Jika nilai Kp besar, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan yang stabil, tetapi juga memungkinkan motor berputar diatas *set point*.



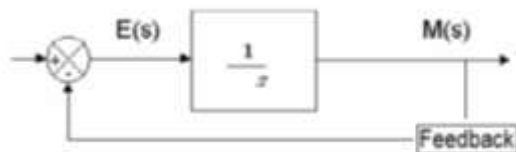
Gambar 4. Grafik jika nilai Kp besar

**C. Kontrol Integratif**

Kontroller *proporsional* tidak akan mampu menjamin output dari sistem akan menuju ke keadaan yang diinginkan kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator*. Pada kontroler *Integral*, respon kepada sitem akan eningkat secara kontinu terus-menerus kecuali nilai error yang diintegtralkan dengan batasan atas t dan batasan bawah 0 (nol).

$$U(t) = Ki \int_0^t e(t) dt$$

Pada diagram blok controller inegral, menunjukkan hubungan antara nilai error dengan output. kontroller inegral membantu menaikkan respon sehingga menghasilkan output yang diinginkan.



Gambar 5. Blok digram control Integral

**D. Pengendali PI**

Pengendali PI adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional dan integral. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PI dirumuskan sebagai :

$$u(t) = Kp(e(t) + \frac{1}{Ti} \int_0^t e(t). dt)$$

Dengan :

$u(t)$ = Sinyal pengeluaran pengendali PI

$Kp$ = Konstanta Proporsional

$Ti$ = Waktu Integral

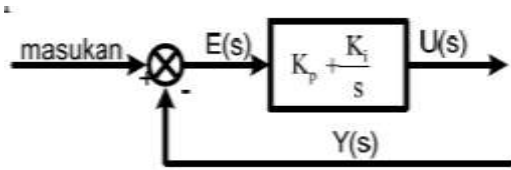
$Ki$ = Konstanta Integral

$e(t)$ = Sinyal kesalahan (  $e(t)$  = Referensi keluaran *Plant* )

Jadi, fungsi alih pengendali PI (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s}$$

Diagram blok pengendali PI dapat dilihat pada Gambar 6.

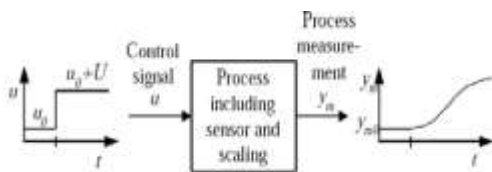


Gambar 6 . Diagram blok pengendali PI

**E. Metode Ziegler-Nichols**

Metode *Ziegler-Nichols* dipublikasikan pada tahun 1942 oleh John G Ziegler dan Nathaniels B Nichols yang keduanya bekerja di Taylor Instruments. Menurut keduanya metode ini merupakan metode simpel yang dapat digunakan untuk memudahkan kalibrasi ulang pada sistem kontrol PID. Nilai parameter PID didapatkan dari kurva output yang dihasilkan dari sebuah sistem kerja ataupun mesin tunggal. Kurva ini nantinya digunakan untuk mengetahui besarnya nilai parameter PID yang dicari dengan cara menggambarkan garis singgung pada daerah transisis yang terlihat pada kurva. Metode ini terdiri atas 2 metode yaitu *open-loop* dan *close-loop*.

Metode yang digunakan adalah metode dari *open loop Ziegler-Nichols*. Metode *open loop* didasarkan pada respon dari tiap step proses. Pada metode *open loop* ini sistem diberikan input sinyal *step* (dari 0 ke voltase yang konstan) kemudian diamati *output* yang terjadi dari kondisi awal menuju kondisi stabil (*steady state*). Hasil output digambarkan berupa grafik yang menunjukkan nilai respon dari sistem.



Gambar 7. Diagram blok metode open loop

Perhitungan nilai parameter PID menggunakan rumus yang telah terdapat pada Tabel 1

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
PID	$1,2 T_g/T_u$	$2 T_u$	$0,5 T_u$
PI	$0,9 T_g/T_u$	$3,3 T_u$	
P	$T_g/t_u$		

**III. METODELOGI PENELITIAN**

**A. Metode Yang Digunakan**

Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

- Metode literature, yaitu melakukan pengumpulan data atau memperoleh keterangan dengan mempelajari buku-buku referensi, jurnal serta situs internet yang berhubungan dengan pembahasan pada tugas akhir ini.
- Metode observasi, yaitu metode yang melakukan pengamatan langsung pada objek yang menjadi sumber data untuk penulisan tugas akhir.
- Metode pengukuran, yang diukur dalam penelitian ini adalah tegangan dan frekuensi keluaran dari hasil percobaan generator induksi yang dikendalikan sudut triggernya oleh kontrol PI.

**B. Lokasi Penelitian**

Kegiatan penelitian dilakukan di laboratorium Laboratorium Sistem Kendali, Laboratorium Elektronika Daya dan Laboratorium Proteksi dan Distribusi Sistem Tenaga Listrik di Politeknik Negeri Lhokseumawe.

**C. Peralatan yang digunakan**

Tabel 2. Daftar alat dan bahan.

No	Alat dan Bahan	Jlh
1.	Motor DC Set (Servo)	1
2.	Motor Induksi 3 fasa 1 kW	1
3.	Capasitor (C) 36 $\mu$ F/400 Vac	1
4.	Induktor (L) 3,3 mH 3 fasa	3
5.	Thyristor BT 152	6
6.	Trafo Sensor 220/6 V	1
7.	Dioda Bridge	1
8.	Capasitor Filter 470 $\mu$ F/16 Vdc	1
9.	PID Controller	1
10.	Modul Trigger 3 fasa	1
11.	Alat ukur	1
12.	Beban Lampu Pijar 75 Watt	3
13.	Beban Lampu Pijar 60 Watt	3
14.	Beban Lampu Pijar 25 Watt	3
15.	Beban Lampu HE 45 Watt	3

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian ini yaitu sebagai berikut :

- Motor Servo yang berfungsi sebagai penggerak dari pada generator induksi 3 fasa.
- Motor induksi 3 fasa 1 kW 4 kutub berfungsi sebagai generator induksi yang digerakkan oleh *prime mover* ( motor servo).
- Capasitor 30  $\mu$ F/400 VAC berfungsi sebagai pembangkit eksitasi agar keluar tegangan dari pada generator induksi.
- Kontroller yang berfungsi sebagai pengendali atau pemberi perintah kepada *plant* agar *error* yang terjadi antara *set point* dengan *feedback* bernilai 0.

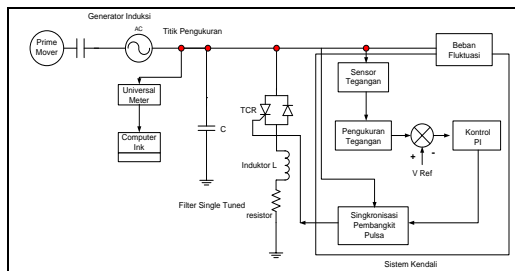
5. Sensor tegangan yang berfungsi sebagai *feedback* dari pada *plant* ke *kontroller*.
6. Modul Trigger 3 fasa yang berfungsi sebagai *plant* penyulut pulsa yang diperintah oleh *kontroller* untuk melakukan penyulutan ke *thyristor* agar pembebanan tetap stabil.
7. Induktor  $L$  3,3 mH 3 fasa yang yang dihubungkan seri dengan beban *resistive* berfungsi sebagai pengalihan beban *induktif* apabila terjadi perubahan pada beban.
8. Lampu pijar 100 watt sebagai beban *resistive* berfungsi sebagai pembagi beban. apabila pembebanan diputuskan, maka pembebanan beralih ke beban *resistive*, dan apabila beban dihidupkan atau dibebani, maka arus beralih dari beban *resistive* ke beban.
9. Beban lampu yang berfungsi sebagai simulasi pembebanan yang terjadi pada kehidupan sehari-hari.

kondisi beban bertambah. Hasil pengukuran dimasukkan ke Tabel 4.

5. Setelah dilakukan pengukuran berbeban, kemudian dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi kondisi beban berkurang. hasil pengukuran masukkan ke Tabel 5.
6. Kemudian dihidupkan sistem pengendali tegangan, dan mensetting set point pada tegangan 3,8 VDC yang sama dengan tegangan 200 VAC.
7. Melakukan pengujian respon kurva S dengan nilai  $K_p$  1,0. dan melakukan tuning pada kurva S untuk menentukan parameter  $K_p$  dan  $T_i$  berdasarkan metode *Ziegler-Nichols*. Tuning kurva S dapat dilihat pada Gambar 13.
8. Setelah didapat parameter PI yang tepat, dilakukan pengujian sistem kendali *close loop* untuk penambahan beban dan pengurangan beban.
9. Merekam respon kendali pada saat penambahan dan pengurangan beban.

**D. Gambar Rangkaian Pengendali**

Pengendali arus reaktor *close-loop control* dalam mengatur pemakaian daya reaktif terhadap perubahan beban.

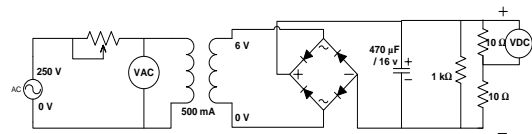


Gambar 8. Rangkaian pengendali arus reaktor close loop.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pengujian Sensor Tegangan**

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara input dan output sensor dengan rating tegangan dari 0 – 250 VAC. Sensor tegangan ini berfungsi sebagai penyensor tegangan keluaran dari generator yang kemudian di supply ke *kontroller* dengan rating tegangan 0 – 10 VDC.



Gambar 9. Rangkaian Sensor Tegangan

**E. Pengoperasional Sistem Pengendali Tegangan Pada Generator Induksi 3 fasa.**

Langkah-langkah dalam mengoperasikan sistem pengendali tegangan generator induksi 3 fasa dengan menggunakan kontrol PI sebagai berikut :

1. Merangkai sistem pengendali tegangan sesuai dengan Gambar 8. Rangkaian pengendali arus reaktor close loop.
2. Nyalakan *Prime mover* untuk menggerakkan generator induksi, setting *prime mover* pada kecepatan 1500 rpm untuk motor/generator induksi 3 fasa 4 kutub.
3. Setelah tegangan terbangkitkan sesuai yang diharapkan, maka dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi kondisi tanpa beban, dan hasil pengukuran dimasukkan ke dalam Tabel 3.
4. Kemudian hubungkan generator ke beban, dan dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi

Pengukuran sensor tegangan dilakukan dengan menggunakan Analog – Multimeter - Digital (CO5127-1Z) pada input sensor dan Multimeter Digital pada output sensor tegangan. Untuk sumber tegangan digunakan power suplay (ST8008-4S). Pengujian sensor tegangan dilakukan seperti pada Gambar 10 dan hasil pengukuran sensor tegangan ditunjukkan pada Tabel.

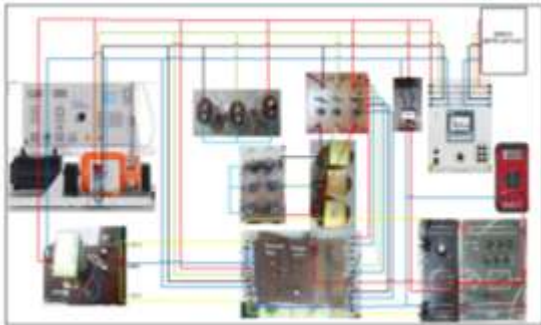


Gambar 10. Pengujian sensor tegangan

**B. Pengujian Sistem Kendali Tegangan 3 Phasa menggunakan Kontrol PI**

Pengujian sistem kendali tegangan 3 phasa menggunakan kontrol PI ( *Proporsional – Integral* ) dilakukan pada laboratorium Proteksi dan Distribusi Sistem Tenaga Listrik. Pengujian ini merupakan pengujian keseluruhan sistem dari pembangkit hingga ke pembebanan dengan melibatkan sistem pengendali tegangan generator induksi 3 phasa.

Gambar 11 merupakan gambar rangkaian keseluruhan pengujian sistem pengendali tegangan pada generator induksi 3 phasa menggunakan kontrol PI (*Proporsional-Integral*).



Gambar 11. Gambar rangkaian sistem pengendali tegangan generator induksi 3 phasa menggunakan kontrol PI

**C. Pengukuran Tegangan Dan Frekuensi Tanpa Sistem Kendali**

Pengukuran tegangan dan frekuensi tanpa beban. Setelah dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi tanpa beban, didapatkan data hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran tegangan dan frekuensi tanpa beban

	Tegangan ( Volt )	Frekuensi ( Hz )	Putaran generator (Rpm)	Torsi (Newton)
R	221	49,91	1538	2,60
S	218	49,91	1538	2,60
T	218	49,91	1538	2,60

Setelah dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi dengan kondisi beban bertambah, didapatkan data hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran tegangan dan frekuensi beban bertambah.

	Lampu pijar 100 Watt		lampu pijar 200 Watt		Lampu pijar 200 Watt + XL 45 Watt	
	Teg. (Volt)	Frek. (Hz)	Teg. Volt	Frek. (Hz)	Teg Volt	Frek (Hz)
R	190	48,48	150	47,85	146	46,22
S	189	48,48	149	47,85	145	46,22

T	190	48,48	149	47,85	145	46,22
---	-----	-------	-----	-------	-----	-------

Apabila terjadi penambahan beban, maka tegangan akan menurun secara bertahap tergantung dari besarnya beban yang bertambah.

Setelah dilakukan pengukuran tegangan dan frekuensi dengan kondisi beban berkurang, didapatkan data hasil seperti pada Tabel 5.

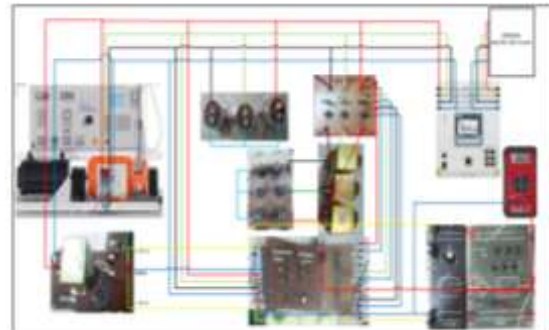
Tabel 5. Pengukuran tegangan dan frekuensi beban berkurang

	XL 45 Watt		XL 45 Watt + Lampu pijar 100 Watt		XL 45 Watt + Lampu pijar 200 Watt	
	Teg. Volt	Frek (Hz)	Teg. Volt	Frek (Hz)	Teg Volt	Frek (Hz)
R	150	47,85	190	48,48	221	49,91
S	149	47,85	189	48,48	218	49,91
T	149	47,85	190	48,48	218	49,91

Apabila beban berkurang, maka tegangan akan naik sampai kepada titik awal tegangan bangkitan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

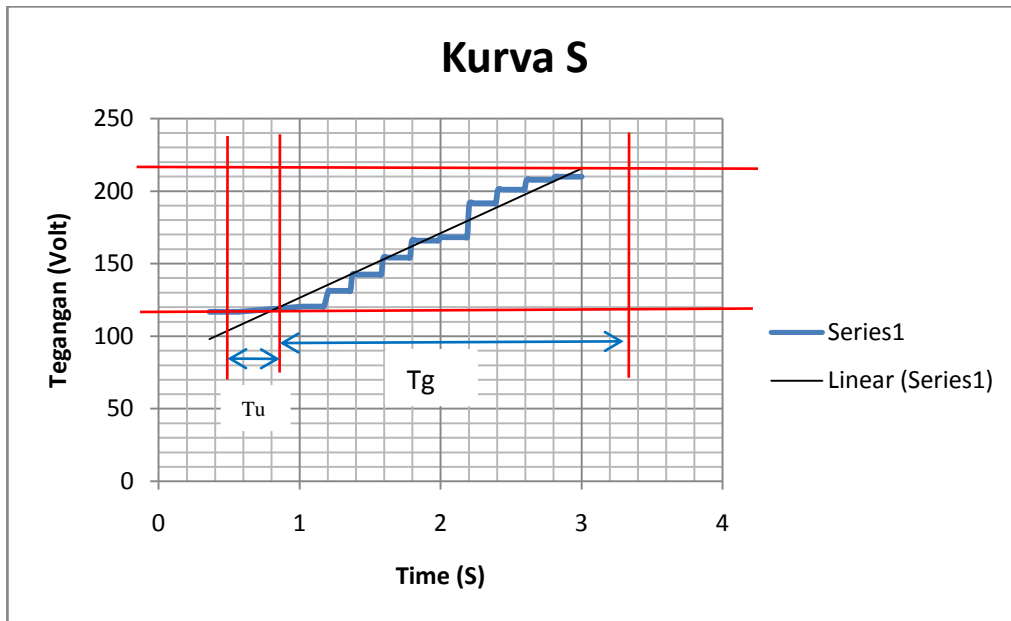
**D. Penentuan Parameter Kp dan Ti**

Dalam hal penentuan parameter Kp dan Ti terlebih dahulu dilakukan pengujian *open loop* untuk mendapatkan kurva S sesuai dengan metode *Zigler-nichols*. Gambar pengujian *open loop* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian pengujian open loop

Untuk mendapatkan kurva S dilakukan pengujian *open loop* dengan mensetting *set point* sebesar 3,8 volt dan nilai Kp sebesar 1,0. Setelah di dapatkan kurva S, kemudian dituning untuk mendapatkan nilai Tu dan Tg seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Tuning Kurva S

Dari respon kurva yang terbentuk pada gambar 13 maka penulis menentukan nilai  $T_u$  dan  $T_g$  untuk menentukan tuning PID. Nilai  $T_u$  adalah titik persinggungan bangkitan kurva S dengan titik kurva S, sedangkan  $T_g$  adalah titik persinggungan antara akhir dari kurva S dengan *Steady State*. Sehingga nilai dari  $T_u$  dan  $T_g$  adalah :  
 $T_u = 0,3$  det dan  $T_g = 2$  det.

Maka untuk penentuan parameter PID menurut metode *Zieger-Nichols* berdasarkan tabel 2.2 yaitu: Untuk kontrol P maka besar nilainya yaitu :  
 $K_p = 2/0,3 = 6,67$

Untuk kontrol PI maka besar nilainya yaitu :  
 $K_p = 0,9 \times 6,67 = 6$   
 $T_i = 3,3 \times 0,3 = 0,99$

Untuk kontrol PID maka besar nilainya yaitu :  
 $K_p = 1,2 \times 6,67 = 8$   
 $T_i = 2 \times 0,3 = 0,6$   
 $T_d = 0,5 \times 0,3 = 0,15$

**Respon Tegangan Dan Frekuensi Kondisi Menggunakan Kontrol PI**

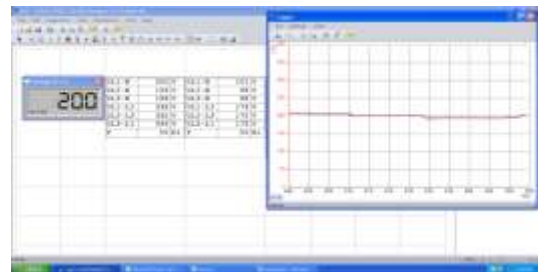
Setelah didapatkan parameter yang tepat untuk sistem pengemдали tegangan, maka dilakukan pengujian respon tegangan dan frekuensi terhadap plant dengan pengujian *close loop*. sehingga didapatkan respon seperti berikut :

a. Penambahan beban

Kondisi normal yang di uji pada pengujian ini yaitu:

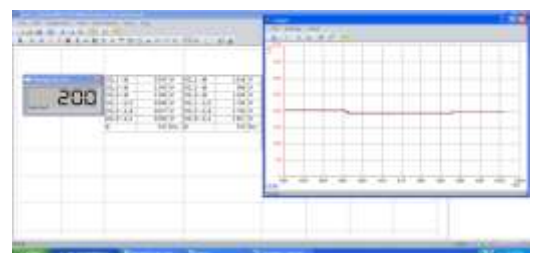
- Tegangan = 200 Volt
- Frekuensi = 50 Hz
- Putaran generator = 1538 Rpm
- Beban normal = 75 Watt

Pada saat penambahan beban sebesar 25 Watt maka tegangan turun mencapai 195 volt dengan frekuensi konstan 50 Hz. Setelah 20 detik tegangan kembali normal sebesar 200 volt dan frekuensi 50 Hz. Respon tegangan kondisi penambahan beban 25 watt terlihat pada Gambar 14.



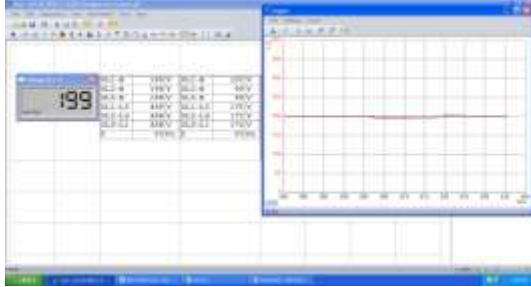
Gambar 14. Respon tegangan kondisi Penambahan beban 25 watt

Respon penambahan beban sebesar 60 watt menurunkan tegangan mencapai 193 Volt dengan frekuensi tetap 50 Hz. Setelah 25 detik, tegangan kembali normal di 200 volt dengan frekuensi 50 Hz seperti yang terlihat pada Gambar 15. Waktu penstabilan lampu pijar 60 watt lebih lama dari pada lampu pijar 25 watt.



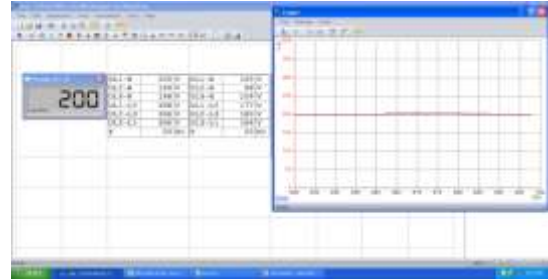
Gambar 15. Respon tegangan kondisi penambahan beban 60 watt

Respon penambahan beban sebesar 45 watt lampu XL tegangan yang turun tidak terlalu signifikan, ini dikarenakan pada lampu XL telah ada perbaikan daya reaktif dengan kapasitor dan induktor yang ada pada komponen lampu XL dan frekuensi tetap konstan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Respon tegangan kondisi penambahan beban 45 watt XL

Respon Pengurangan beban sebesar 45 watt lampu XL tegangan yang naik tidak terlalu signifikan, ini dikarenakan pada lampu XL telah ada perbaikan daya reaktif dengan kapasitor dan induktor yang ada pada komponen lampu XL dan frekuensi tetap konstan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.



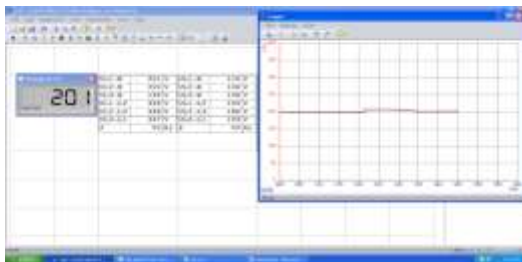
Gambar 19. Respon tegangan kondisi pengurangan beban 45 watt XL

#### b. Pengurangan beban

Kondisi normal yang di uji pada pengujian ini yaitu:

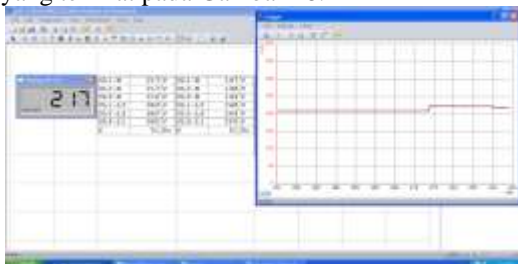
Tegangan	= 200 Volt
Frekuensi	= 50 Hz
Putaran generator	= 1538 Rpm
Beban normal	= 75 Watt

Pada saat pengurangan beban sebesar 25 Watt maka tegangan naik mencapai 205 volt dengan frekuensi konstan 50 Hz. Setelah 12 detik tegangan kembali normal sebesar 200 volt dan frekuensi 50 Hz. Respon tegangan kondisi pengurangan beban 25 watt terlihat pada Gambar 17



Gambar 17. Respon tegangan kondisi pengurangan beban 25 watt.

Respon pengurangan beban sebesar 60 watt menambah tegangan mencapai 220 Volt dengan frekuensi tetap 50 Hz. Setelah 15 detik, tegangan masih di 217 volt dengan frekuensi 50 Hz seperti yang terlihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Respon tegangan kondisi pengurangan beban 60 watt

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran sistem pengendali tegangan generator induksi 3 fasa menggunakan kontrol PI, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Apabila beban bertambah maka tegangan pada generator akan turun, dan apabila beban turun maka tegangan pada generator akan naik. sehingga dibutuhkan sistem kendali yang tepat dan cepat untuk menstabilkan tegangan
2. 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  $T_i = 0,99$ .
3. Respon yang dibangkitkan oleh kendali PI pada generator induksi 3 fasa 1 kw 4 Kutub maksimal 25 detik dalam menstabilkan tegangan dengan beban maksimal sebesar 60 Watt.
4. Sistem kendali tegangan pada generator induksi 3 fasa ini menggunakan sistem pengalihan daya reaktif yang dialihkan oleh penguatan trigger 3 fasa ke beban RL.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiansyah, Heri, 2012, *Studi Regulasi Output Generator Induksi Dengan Voltage Source Inverter*, Surabaya: FTI. Institute Teknologi Sepuluh November.
- [2] Dirgantara, Afiat. 2010, *Analisis Dan Simulasi Pengaturan Tegangan Generator induksi Berpenguat Sendiri Dengan Menggunakan Konverter AC-DC-AC Pada Sifat Beban Yang Berbeda*, Skripsi. FT.UI. Depok.



- [3] Darjad, dkk., 2008, *Aplikasi Kontrol Proporsional Integral Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengering Kertas*, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen . Depok : Universitas Gunadarma.
- [4] Hardi, Supri. dkk. 2015, *Rancang Bangun Thyristor Controlled Reaktor (TCR) sebagai penstabil tegangan dan peredam harmonisa aplikasi pada generator induksi Pembangkit Mikrohidro*. Lhokseumawe : Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [5] Hardi, Supri. 2015, *Instrumentasi*, Buku Ajar. Lhokseumawe : Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [6] Harahap, R., 2016, *Motor Induksi*, [repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/55591/4/Chapter%20II.pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/55591/4/Chapter%20II.pdf). Diakses 23 Desember 2016.