



MILIK PERPUSTAKAAN UNP	NO. INVENTARIS
TERIMA TEL. : 22-12-02	
NO. DAFTAR/NO. KARTU	Kf
NO. INVENTARIS	455/K/2002-p1/2
KLASIFIKASI	621.319 Ahy - 10

## LAPORAN PENELITIAN

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PENGATUR TEGANGAN DAN FREKUENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Oleh:

**Drs. Ahyanuardi, M.T**  
**Krismadinata, S.T.**

DIBIYAI PROYEK PENGAJIAN DAN PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN  
TERAPAN DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN  
NOMOR : 006/LIT/BPPK-SDM/IV/2002  
DIREKTORAT PEMBINAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN PADA MASYARAKAT  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**  
**NOPEMBER 2002**

MILIK PERPUSTAKAAN  
UNIV. NEGERI PADANG

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN DOSEN MUDA (BBI)**

1	a. Judul Penelitian	: Perancangan dan Pembuatan Alat Pengatur Tegangan dan Frekuensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
	b. Bidang Ilmu	: Teknologi
	c. Kategori Penelitian	: I
2	Ketua Peneliti	
	a. Nama Lengkap dan Gelar	: Ahyanuardi, Drs, M.T
	b. Jenis Kelamin	: Pria
	c. Pangkat/Golongan/NIP	: Penata Tk.I / III-d / 131474854
	d. Jabatan Fungsional	: Lektor
	e. Jabatan Struktural	: Ketua Jurusan
	f. Fakultas / Jurusan	: Teknik / Teknik Elektro
	g. Pusat Penelitian	: Universitas Negeri Padang
3	Jumlah Peneliti	: 1 orang
	a. Nama Anggota Peneliti	: Krismadinata, S.T.
4	Lokasi Penelitian	: Laboratorium Konversi Energi Listrik Fakultas Teknik UNP
5	Lama Penelitian	: 10 Bulan
6	Biaya Penelitian	: Rp 6.000.000,- (enam juta rupiah)

Mengetahui

Padang, 24 Nopember 2002

Dekan Fakultas Teknik  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

Ketua Peneliti,

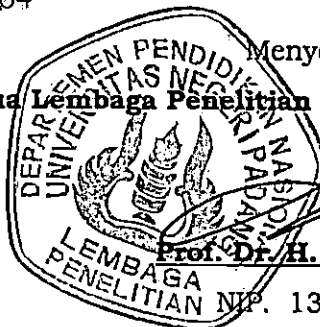


Drs. H. Mardi Rasyid, M.Ed  
NIP. 13180365664

Drs. Ahyanuardi, M.T  
NIP. 131474854

Menyetujui :

Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang



Prof. Dr. H. Agus Irianto  
NIP. 130879791

## **RINGKASAN**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGATUR TEGANGAN DAN FREKUENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH),  
Ahyanuardi, Krismadinata 2002, 30 halaman**

Generator induksi pada saat sekarang ini telah banyak digunakan pada pembangkit tenaga listrik yang berskala kecil. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu jenis pembangkit tenaga listrik yang menggunakan mesin induksi sebagai generatornya. Keuntungan menggunakan mesin induksi sebagai generator adalah dapat digerakkan pada kecepatan putaran yang bervariasi, tidak memerlukan sumber arus searah untuk penguatan, tidak memerlukan tenaga ahli untuk pengoperasian, konstruksi kokoh, biaya pemeliharaan yang rendah, konstruksi rotor sangkar tanpa sikat, mudah diperoleh, harga yang lebih murah bila dibandingkan dengan mesin sinkron dan mesin arus searah. serta mudah pengoperasiannya..

Salah satu permasalahan yang sering muncul pada generator induksi ini adalah masalah perubahan frekuensi dan tegangan pada saat pembebanan. Perubahan ini disebabkan oleh adanya variasi putaran turbin dan perubahan daya pada beban. Untuk mengatasi ini dirancangkanlah suatu alat yang dapat mengurangi kenaikan frekuensi dan tegangan sehingga didapatkan suatu regulasi yang diinginkan.

Pada penelitian ini, kecepatan rotor generator induksi penguatan sendiri (GIPS) diputar pada putaran konstan. Beban yang berupa tahanan resistif divariasikan. Semakin besar harga tahanan, maka daya yang dibangkitkan oleh generator adalah konstan. Adanya kelebihan daya ini akan mengakibatkan kenaikan frekuensi yang dapat membahayakan konsumen dari suatu PLTMH.

Untuk menjaga keseimbangan daya, prinsip dasarnya mengalihkan kelebihan daya yang tidak diserap oleh beban ke tahanan kompensasi. Disinilah fungsi dari alat perbaikan regulasi yang dirancang. Alat ini akan bekerja apabila terjadi kelebihan daya pada beban. Adanya penyerapan daya yang tidak dipakai oleh beban ini, maka frekuensi yang diterima oleh beban terjaga dengan baik.

Dalam pengujian alat rancangan yang telah dibuat diperoleh hasil bahwa alat ini dapat memperbaiki regulasi frekuensi 0,253% menjadi 0,035% dan regulasi tegangan dari 1,784% menjadi 0,265%. Dengan adanya alat ini maka kualitas listrik dari suatu PLTMH dapat ditingkatkan.

## SUMMARY

### DESIGN AND MAKE REGULATOR OF FREQUENCY AND VOLTAGE MICROHYDRO POWER PLANT.

Ahyanuardi, Krismadinata; 2002, 30 pages.

The use of induction machine as a stand-alone Self-Excited Induction Generator (SEIG) have many advantages over conventional synchronous generator due to its low maintenance, low cost, absence of DC source, inherent overload protection, good transient performance and simple operation. However, this generator has poor quality in the voltage and frequency regulation when it is used for electric power generation driven by non-conventional energy sources under varying load and speed conditions.

In this research, a development of the Self-Excited Induction Generator (SEIG) model for variable speed and load conditions is proposed. To improve the SEIG regulation at the desired frequency, the adjustable power generation is equipped in the SEIG to maintain the power balance during variations of speed and load. By incorporating the balancing power principle into steady state analysis of SEIG, it is used as a technique solution to improve frequency regulation.

The proposed SEIG model with proposed regulator could be carried out to solve its poor regulation problem during variation of load and speed. This can improve the utilization of the SEIG for electric power generation driven by non-conventional energy sources such as; wind, micro hydro and ocean wave.

In experiment test, gotten results that this designed could improve frequency regulation from 0.253% to 0.035% and voltage regulation from 1.784% to 0.265%. Electric quality of microhydro power plant can be improved by this designed.

## KATA PENGANTAR

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

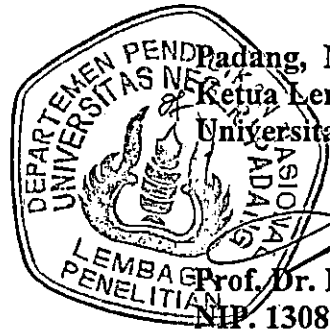
Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Ditjen Dikti Depdiknas dengan surat perjanjian kontrak No.006/LIT/BPPK-SDM/IV /2002 tanggal 9 April 2002 untuk melakukan penelitian ilmu pengetahuan terapan dengan judul *Perancangan dan Pembuatan Alat Pengatur Tegangan dan Frekuensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, maka Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang telah dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dan kompleks dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan sebagai bahan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pengelolaan program peningkatan kualitas Sumber Daya Manusia.

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, kami sampaikan terima kasih kepada Pimpinan Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Ditjen Dikti Depdiknas yang telah memberikan dana untuk pelaksanaan penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan. Semoga kerjasama yang baik ini dapat dilanjutkan untuk masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, November 2002  
Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Negeri Padang,  
Prof. Dr. H. Agus Irianto  
NIP. 130879791



## DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN .....	i
RINGKASAN .....	ii
SUMMARY .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
I. PENDAHULUAN .....	1
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	3
III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	11
IV. METODE PENELITIAN .....	12
V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	19
VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	26
DAFTAR PUSTAKA .....	28
LAMPIRAN .....	29

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Skema motor induksi tiga fasa	4
2. Generator induksi dengan daya reaktif dari jala-jala	5
3. Grafik daerah kerja mesin induksi	7
4. Generator induksi penguatan sendiri	7
5. Stator hubungan delta dengan kapasitor hubungan delta	8
6. Stator hubungan bintang dengan kapasitor hubungan delta	9
7. Stator hubungan bintang dengan kapasitor hubungan bintang	9
8. GIPS dengan rangkaian pengatur tegangan dan frekuensi	12
9. Rangkaian sensor frekuensi dan tegangan	13
10. Rancangan konverter IC	14
11. Rangkaian penguat proporsional integral	15
12. Rangkaian PWM	16
13. Rangkaian pembangkit pulsa	16
14. Rangkaian keluaran pembangkit pulsa	17
15. Rangkaian driver	17
16. Rangkaian dc chopper	18
17. Rangkaian jembatan penyearah tiga fasa	18
18. Arus beban vs frekuensi GIPS sebelum menggunakan alat pengatur	22
19. Arus beban vs tegangan GIPS sebelum menggunakan alat pengatur	22
20. Arus beban vs frekuensi GIPS setelah menggunakan alat pengatur	24
21. Arus beban vs tegangan GIPS setelah menggunakan alat pengatur	24



## DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Data GIPS sebelum pemakaian alat perbaikan regulasi	21
2. Data GIPS sebelum pemakaian alat perbaikan regulasi	23

## I. PENDAHULUAN

Sumatera Barat kaya dengan sumber tenaga air, baik dalam skala besar maupun skala kecil. Pemanfaatan sumber energi air dalam skala besar dilakukan dengan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), seperti PLTA Maninjau, PLTA Batang Agam, PLTA Singkarak dan PLTA Koto Panjang. Sedangkan pemanfaatan sumber energi air dalam skala kecil dilakukan dengan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro (PLTMH).

Salah satu komponen utama dari PLTMH adalah generator listrik. Pada awalnya, generator yang digunakan adalah generator sinkron, namun akhir-akhir ini digunakan generator induksi. Generator induksi memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan generator sinkron. diantaranya adalah dapat digerakkan pada kecepatan putaran yang bervariasi, tidak memerlukan sumber arus searah untuk penguatan, tidak memerlukan tenaga ahli untuk pengoperasian. Keuntungan lain dari generator induksi adalah konstruksi kokoh, biaya pemeliharaan yang rendah, konstruksi rotor sangkar tanpa sikat, mudah diperoleh, harga yang lebih murah bila dibandingkan dengan mesin sinkron dan mesin arus searah. serta mudah pengoperasiannya.

Untuk mengoperasikan generator induksi diperlukan daya mekanis untuk memutar rotor dan sumber daya reaktif untuk kebutuhan arus eksitasi. Kebutuhan daya reaktif ini dapat diperoleh dari jala-jala atau dari suatu kapasitor. Jika generator induksi terhubung dengan jala-jala, maka kebutuhan daya reaktif untuk arus eksitasi diambil dari jala-jala. Generator yang menarik daya reaktif dari jala-jala disebut generator berpenguatan jala-jala. Namun bila generator induksi tidak terhubung dengan jala-jala, maka kebutuhan daya reaktif untuk eksitasi dapat disediakan dari suatu unit kapasitor yang disebut dengan generator induksi penguatan sendiri [5].

Syarat utama terbangkitnya tegangan pada generator induksi adalah adanya remanensi pada inti besi atau kapasitor eksitasi yang digunakan harus sudah bermuatan terlebih dahulu. Remanensi atau muatan pada kapasitor merupakan tegangan awal yang diperlukan untuk proses pembangkitan tegangan selanjutnya. Bila salah satu syarat diatas tidak dipenuhi, maka proses pembangkitan tegangan tidak akan terjadi.

Ketika generator induksi pertama kali distart magnet sisa yang ada pada inti besinya akan menghasilkan tegangan yang kecil ( $\pm 5$  V). Tegangan yang kecil ini membangkitkan arus kapasitif pada kapasitor yang selanjutnya arus kapasitif ini meningkatkan tegangan pada inti besi. tegangan inti besi juga meningkatkan kembali arus kapasitif pada kapasitor sampai tercapainya keadaan saturasi.[2]

Persoalan yang akan muncul pada generator induksi adalah regulasi tegangan dan frekuensi yang tidak baik selama pembebanan atau perubahan kecepatan, terutama pada beban induktif. Pada beban induktif jatuh tegangan sangat cepat terjadi, karena kapasitor eksitasi menyuplai semua daya reaktif ke beban dan generator. Keadaan ini akan menyebabkan kualitas daya dan kestabilan tenaga listrik menjadi rendah yang merugi pihak konsumen.

Untuk mengatasi permasalahan diatas perlu dirancang dan dibuat suatu alat yang dapat digunakan untuk mengatur regulasi tegangan dan frekuensi yang jelek tersebut dapat dikendalikan, sehingga kualitas daya dan kestabilan tenaga listrik selalu dalam keadaan baik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Mesin induksi mengalami perkembangan yang sangat pesat, disebabkan oleh sistem operasi mudah, harga murah dan tidak sulit dalam pemeliharaan. Berdasarkan pertimbangan tersebut banyak industri yang menggunakan mesin induksi dalam berbagai operasinya.

Mesin induksi bukan hanya dioperasikan sebagai motor listrik yang digunakan untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik, tetapi dapat juga dioperasikan sebagai generator untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Bahkan dalam perkembangannya generator induksi lebih menguntungkan dari pada generator sinkron dalam hal-hal tertentu terutama untuk membangkitkan daya yang kecil.

### A. Prinsip Dasar Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa terdiri dari kumparan stator yang diam dan kumparan rotor yang bergerak. Kumparan stator motor induksi tiga fasa mirip dengan kumparan armatur generator sinkron tiga fasa. Rotor mesin induksi umumnya adalah rotor sangkar yang terbuat dari tembaga atau aluminium yang terdiri atas batang-batang penghantar yang dipasang pada celah dalam besi rotor dan dihubungsingkatkan pada tiap ujungnya dengan cincin penghantar.

Ketika kumparan stator dihubungkan ke sumber tegangan tiga fasa, pada stator akan mengalir arus magnetisasi yang tertinggal (lagging) dari tegangan sumber sebesar sudut tertentu. Arus ini menimbulkan medan magnet putar dalam mesin pada suatu kecepatan sinkron yang secara langsung ditentukan oleh frekuensi suplai dan jumlah kutub kumparan stator yang terdapat dalam generator sinkron. Medan magnet putar stator akan memotong kumparan rotor, sehingga pada rotor akan terbangkit tegangan induksi. Karena rotor merupakan rangkaian tertutup, maka pada

rotor akan mengalir arus dan menimbulkan medan magnet putar di rotor.

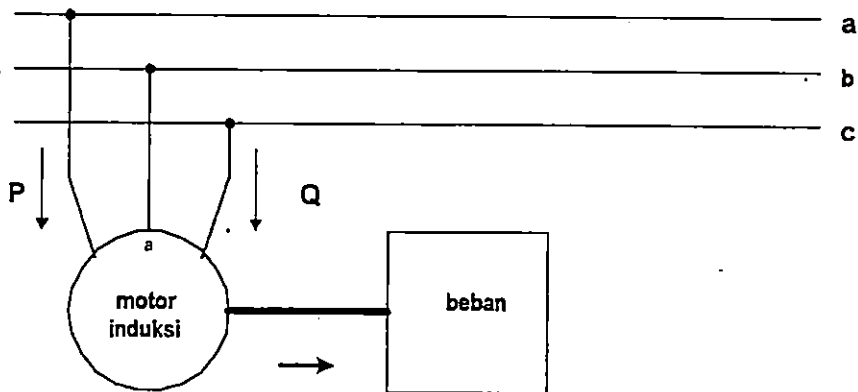
Interaksi antara resultan medan magnet putar stator tiap fasa dengan resultan medan magnet putar rotor tiap fasa akan menghasilkan torsi yang menyebabkan rotor berputar. Kecepatan putar rotor tertinggal dari kecepatan sinkron medan magnet putar stator. Perbedaan antara kecepatan ini disebut slip(s) yang dirumuskan secara matematik sebagai :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (1)$$

di mana :  $N_s$  adalah kecepatan sinkron

$N_r$  adalah kecepatan rotor

Bila kecepatan  $N_s$  sama dengan  $N_r$  maka tidak ada induksi ke stator. Ketika motor induksi beroperasi, motor akan menarik daya dari saluran, seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1 Skema motor induksi tiga fasa

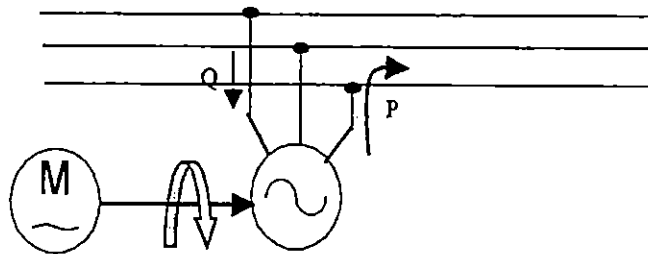
## B. Prinsip Dasar Generator Induksi Tiga Fasa

Secara umum generator induksi mempunyai prinsip dasar yang hampir sama dengan motor induksi. Tapi untuk pengoperasiannya

generator induksi tiga fasa memerlukan daya reaktif untuk menimbulkan medan magnet pada kumparan statornya yang didapatkan dari saluran atau kapasitor. Generator dengan daya reaktif dari saluran disebut juga dengan generator induksi berpenguatan jala-jala. dan generator dengan daya reaktif dari kapasitor disebut dengan generator induksi penguatan sendiri (*Self Excited Induction Generator*) [7].

### C. Generator Induksi Penguatan Jala-jala

Seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, bahwa generator induksi dapat dioperasikan jika adanya daya reaktif dari jala-jala atau dari suatu kapasitor. Skema generator induksi yang mendapat daya reaktif dari jala-jala diperlihatkan seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Generator induksi dengan daya reaktif dari jala-jala

Penggerak luar dapat digunakan motor lain atau turbin yang digunakan untuk memutar rotor pada mesin induksi melebihi kecepatan sinkron, maka mesin induksi akan fungsi menjadi generator induksi yang menyuplai daya aktif ke saluran [7].

Pada saat kecepatan rotor sama dengan kecepatan sinkron tidak ada tegangan maupun arus induksi dari stator ke rotor. Slip pada saat ini sama dengan nol ( $s = 0$ ) yang disebut dengan masa

transisi. Jika rotor terus diputar sampai melebihi kecepatan sinkronnya, akibatnya slip akan bernilai negatif dan mesin akan beroperasi sebagai generator.

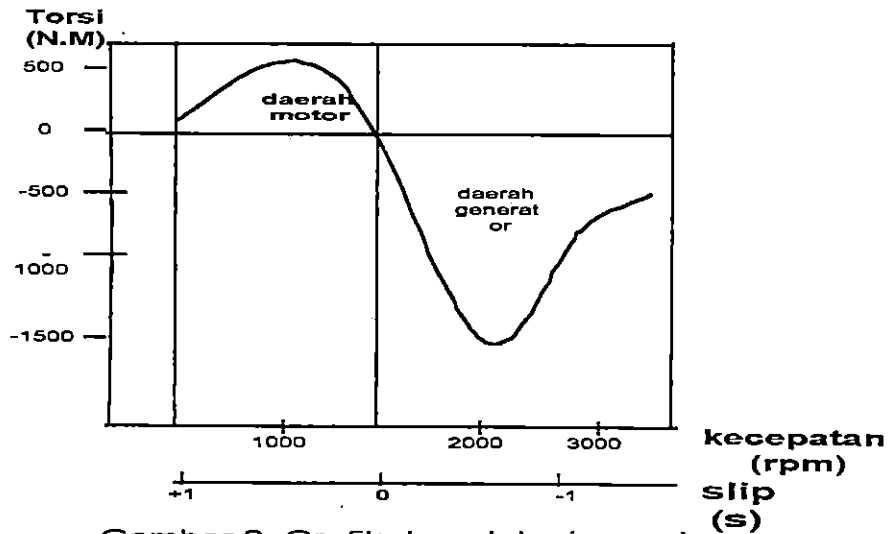
Akibat adanya medan putar pada stator maka timbul gaya-ggerak listrik imbas. Ggl imbas ini diinduksikan pada kumparan rotor sehingga timbul tegangan pada terminal rotor. Oleh sebab itu dinamakan generator induksi dengan slip yang bernilai negatif.

$$-s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2)$$

di mana  $N_s < N_r$

$$N_r = N_s (1 + s) \quad (3)$$

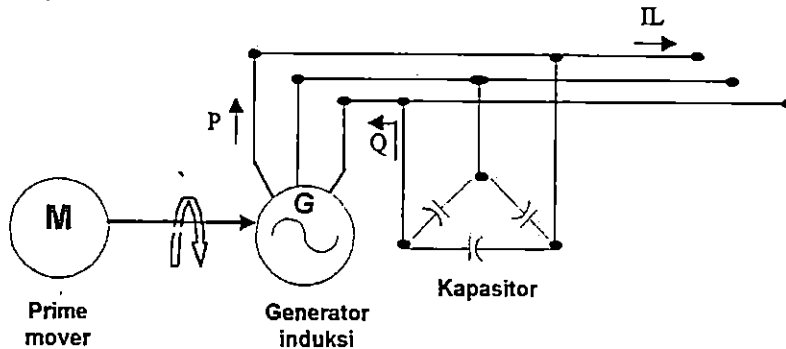
Karena torsi yang diberikan ke sumbu rotor oleh penggerak meningkat, maka daya yang dihasilkan generator induksi juga meningkat. Torsi induksi maksimum yang mungkin pada generator yang beroperasi disebut sebagai " *Torsi Pushover* " dari generator. Jika torsi yang diberikan penggerak luar lebih besar dari torsi " *pushover* " maka generator akan berputar sangat cepat (over speed) [1]. Daerah kerja antara motor induksi dengan generator induksi diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik daerah kerja mesin induksi

#### D. Generator Induksi Penguatan Sendiri (GIPS) Induksi Tiga Fasa

Skema rangkaian generator induksi penguatan sendiri yang memperoleh daya reaktif dari kapasitor diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Generator induksi penguatan sendiri

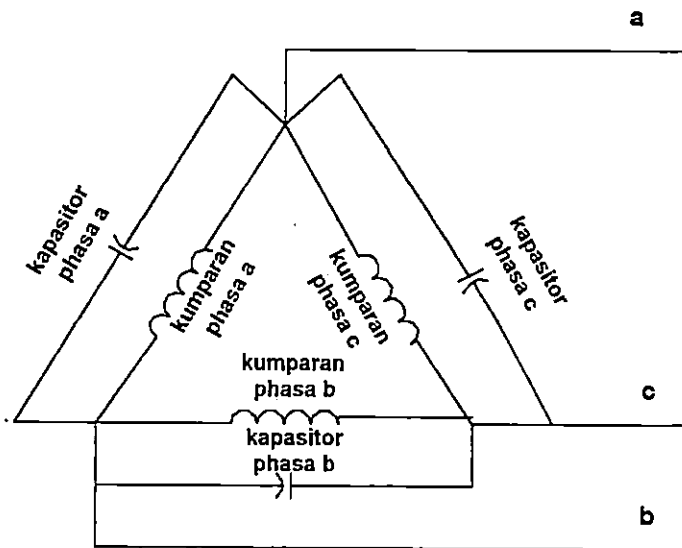
Hal ini memungkinkan mesin berfungsi sebagai generator induksi yang terisolasi atau bebas dari saluran. Hal ini berlangsung selama kapasitor sanggup untuk menyuplai daya reaktif yang



dibutuhkan oleh generator sebagai eksitasi. Saat pertama rotor diputar magnetisasi yang tertinggal pada kumparan medan (rotor) akan menghasilkan tegangan yang kecil pada armatur. Tegangan ini meningkatkan arus kapasitif. kemudian arus ini akan meningkatkan tegangan yang dihasilkan oleh generator induksi.

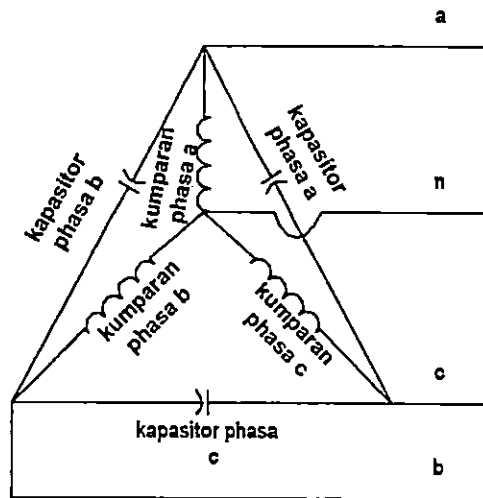
**E. Bentuk Hubungan Kapasitor**

Bila kumparan generator terhubung delta, hubungan pada kapasitor juga dibuat delta [1]. Namun hubungan ini tidak bisa menyuplai saluran tiga fasa empat kawat, seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.

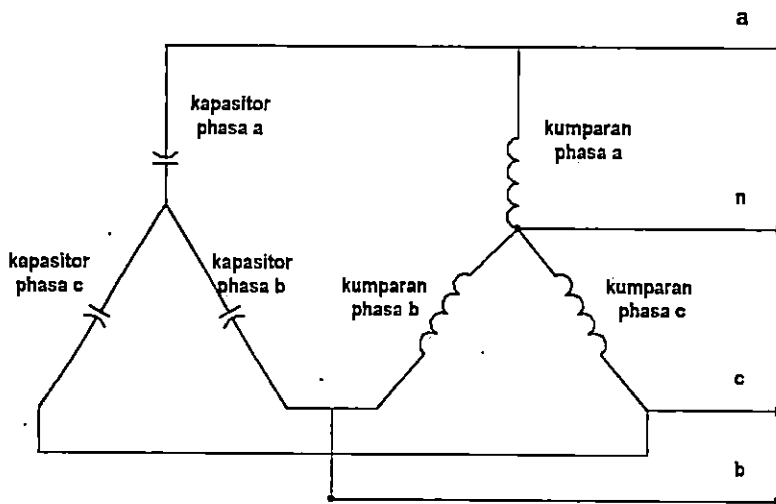


Gambar 5. Stator hubungan delta( $\Delta$ ) dengan kapasitor hubungan delta( $\Delta$ ).

Jika generator terhubung bintang, maka kapasitor dapat dihubungkan secara delta atau bintang. Pada hubungan bintang ini, netral kapasitor tidak bisa dihubungkan dengan netral generator, sebab akan menghasilkan bentuk gelombang distorsi. Gambar 6 memperlihatkan bentuk hubungan stator bintang dengan kapasitor hubungan delta dan gambar 7 memperlihatkan bentuk hubungan stator bintang dengan kapasitor juga hubungan bintang.



Gambar 6. Stator hubungan bintang (Y) dengan kapasitor hubungan delta( $\Delta$ ).



Gambar 6. Stator hubungan bintang (Y) dengan kapasitor hubungan bintang (Y).

Pada tahun 70'an. ketika dunia mengalami krisis minyak. masyarakat internasional mulai meningkatkan penggunaan energi non-konvensional sebagai energi alternatif. Generator Induksi Penguatan Sendiri (GIPS) mempunyai banyak kelebihan dibandingkan generator (konvensional) sinkron. Diantara kelebihan

tersebut adalah biaya perawatan dan pembuatan yang murah, tidak memerlukan sumber daya dc, sistem proteksi yang sederhana, pengoperasian yang mudah, dan perilaku peralihan yang baik. Oleh karena itu, penggunaan GIPS pada pembangkit tenaga listrik yang digerakkan oleh tenaga non-konvensional, seperti tenaga angin, mikro hidro, gelombang laut dan biomass perlu mendapat perhatian dimasa mendatang.

Namun demikian, generator ini mempunyai regulasi tegangan yang kurang baik, terutama bila dioperasikan dalam keadaan berbeban dan variasi kecepatan. Untuk mengatasi keadaan ini maka diperlukan peralatan pengatur tegangan dan frekuensi. Peralatan ini berfungsi untuk mempertahankan keseimbangan daya reaktif selama variasi beban dan kecepatan generator.

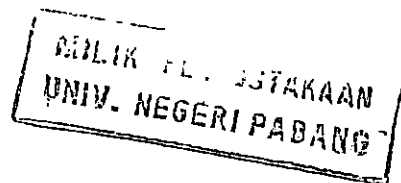
### III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

#### A. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat peralatan pengatur tegangan dan frekuensi GIPS agar regulasi tegangan dan frekuensi generator yang digunakan pada PLTMH tetap dalam batas-batas toleransi.

#### B. Manfaat Penelitian

Memberikan suatu manfaat untuk meningkatkan daya guna dari GIPS sehingga akan berdampak pada meningkatnya kualitas daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTMH serta penggunaannya dapat diperluas untuk keperluan industri kecil.

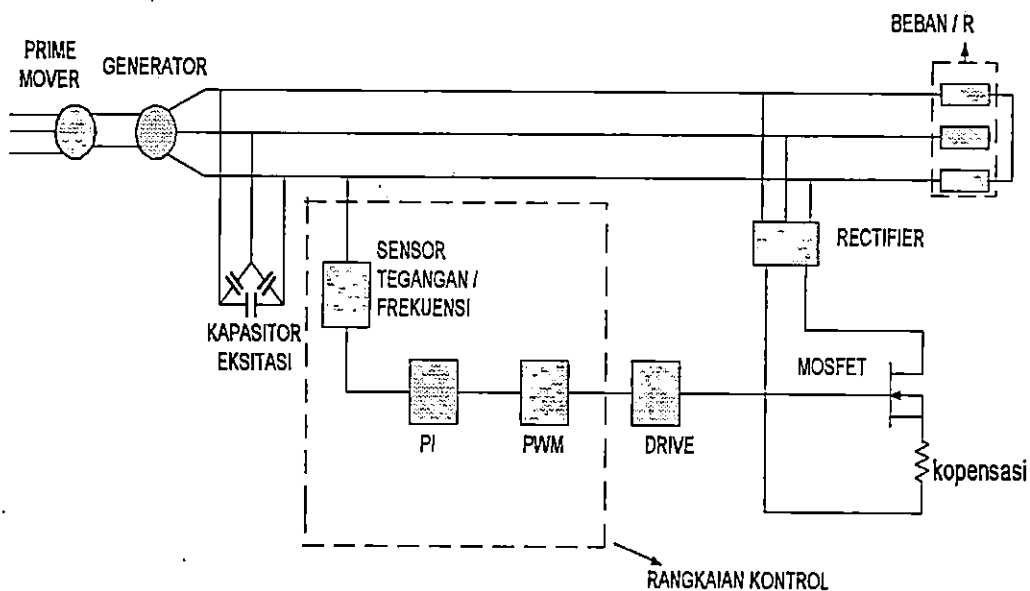


#### IV. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yang meliputi 1) studi kepustakaan generator induksi penguat sendiri, 2) pengujian perilaku generator induksi sebagai generator PLTMH, 3) perancangan dan pembuatan peralatan, dan 4) pengujian laboratorium alat yang dibuat

##### A. Rancangan Alat Pengatur Tegangan dan Frekuensi

Pengatur tegangan dan frekuensi yang dirancang untuk menghasilkan frekuensi dan tegangan yang konstan pada generator induksi penguatan sendiri seperti gambar 8.



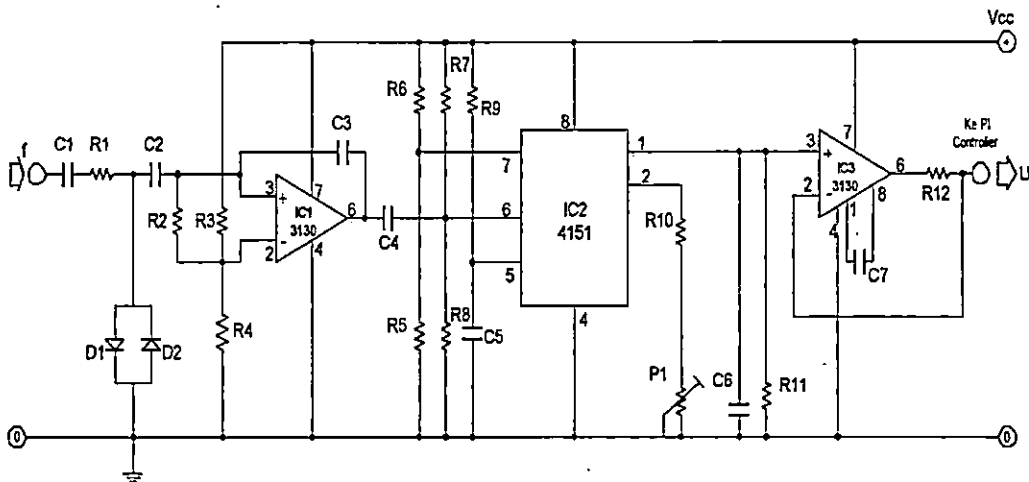
Gambar 8. GIPS dengan rangkaian pengatur tegangan dan frekuensi

Blok rangkaian pengatur tegangan dan frekuensi yang dirancang untuk generator induksi penguatan sendiri terdiri dari 1) rangkaian sensor tegangan dan frekuensi, 2) rangkaian proporsional integrator (PI), 3) rangkaian modulator lebar pulsa (PWM), 4)

rangkaian driver, 5) rangkaian dc chopper, dan 6) rangkaian penyearah tiga fasa.

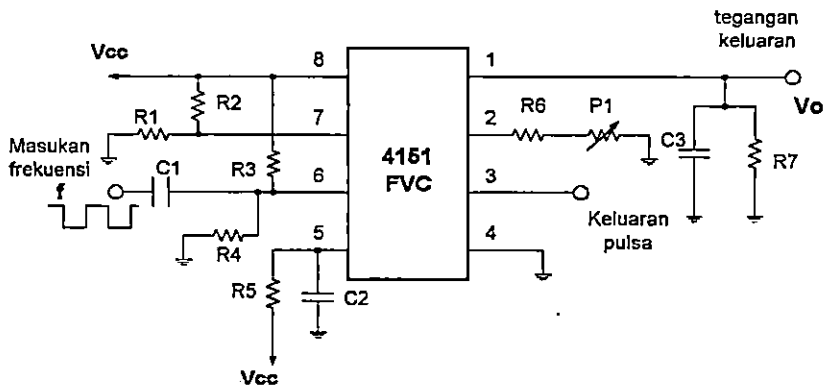
## B. Rangkaian Sensor Frekuensi dan Tegangan

Rangkaian sensor frekuensi dan tegangan dirancang menggunakan dua buah IC penguat operasi IC 3130 dan sebuah konverter IC 4151. Skema rangkaian sensor frekuensi dan tegangan yang dibuat seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian sensor frekuensi dan tegangan.

Masukan dari sensor frekuensi ini berupa sinyal AC dan keluaran yang diinginkan adalah berupa tegangan DC. IC1 berfungsi menguatkan frekuensi isyarat masukan. Perubahan dari frekuensi ke tegangan DC dilakukan pada IC 4151. Bentuk rancangan rangkaian konverter ini adalah seperti pada gambar 10. Selanjutnya keluaran konverter ini akan masuk ke rangkaian pengikut tegangan yaitu IC 3130 lainnya (IC3).



Gambar 10. Rancangan konverter IC

Perbandingan antara frekuensi masukan dan tegangan keluaran dari IC 4151 ini adalah :

$$\frac{U}{f} = \frac{R_9 \cdot R_{11} \cdot C_5}{0,486(R_{10} + P_1)} (V/Hz) \quad (4)$$

dimana

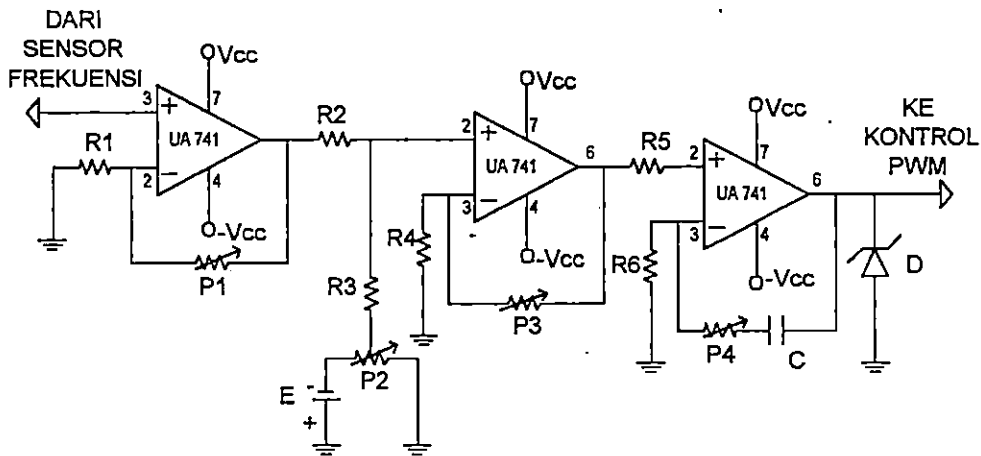
$$k = \frac{R_9 \cdot R_{11} \cdot C_5}{0,486(R_{10} + P_1)} \quad (5)$$

Persamaan (4) digunakan untuk menentukan berapa besarnya tegangan keluaran dari sensor frekuensi yang diinginkan dengan cara mengatur harga dari potensio ( $P_1$ ).

### C. Rangkaian Proporsional Integral (PI)

Rangkaian PI Kontroler terdiri dari tiga buah Op-Amp uA741, dimana dua buah diantaranya berupa penguat proporsional (sebanding) dan sebuah berupa penguat proporsional integral. Masukan untuk rangkaian PI kontroler ini berasal dari sensor frekuensi yang berupa sinyal DC. Sinyal ini kemudian diperkuat oleh

dua buah Op-Amp yang pertama, kemudian masuk ke Op-Amp ke tiga dan disini mengalami penguatan secara proporsional dan integral. Rangkaian penguat PI seperti gambar 11.



Gambar 11. Rangkaian penguat proporsional inegral

Tegangan keluaran dari rangkaian PI dapat dihitung dengan mengunakan persamaan (6) dibawah ini.

$$V_o = V_{o2} \left( \frac{P_4}{R_6} + \frac{1}{R_6 C} \int dt \right) \quad (6)$$

$$V_{o2} = \left( \frac{V_{o1} + E}{2} \right) \left( 1 + \frac{P_3}{R_4} \right) \quad (7)$$

$$V_{o1} = V_i \left( 1 + \frac{P_1}{R_1} \right) \quad (8)$$

dimana  $V_o$  = keluaran dari PI

$V_{o1}$  = keluaran IC  $\mu A$  741 yang pertama

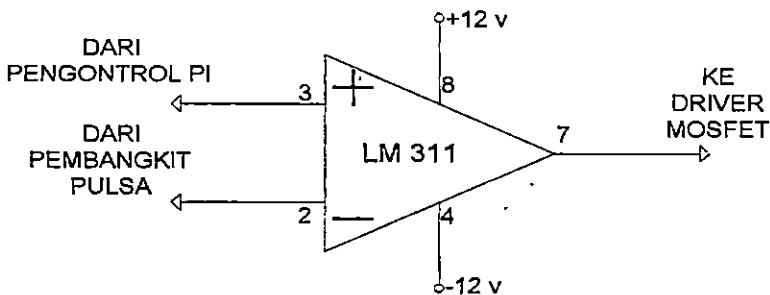
$V_{o2}$  = keluaran IC 741 yang kedua

Selanjutnya keluaran dari PI Kontroler ini menuju ke blok rangkaian kontrol PWM.

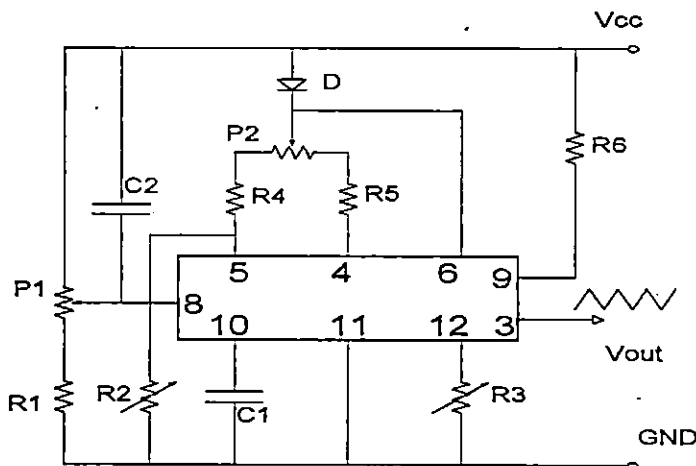


#### D. Rangkaian Modulator Lebar Pulsa (PWM)

Rangkaian PWM kontroler diperlihatkan pada gambar 12 terdiri dari sebuah IC jenis LM 311. Masukan untuk rangkaian PWM ini berasal dari PI Kontroler dan dari pembangkit pulsa. Masukan yang berasal dari pengontrol PI berupa sinyal DC yaitu berupa garis lurus, sedangkan masukan yang berasal dari pembangkit pulsa berupa sinyal berbentuk segitiga. Rangkaian pembangkit pulsa ini menggunakan ICL 8038, seperti diperlihatkan pada gambar 13. Keluaran dari pembangkit pulsa segitiga ini mempunyai range tegangan 3,95 V sampai 7,8 V. Bentuk gelombang keluaran pulsa segitiganya dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 12. Rangkaian PWM



Gambar 13. Rangkaian pembangkit pulsa

453/k/2002-p1(2)

621.319.

Ahy.

PO



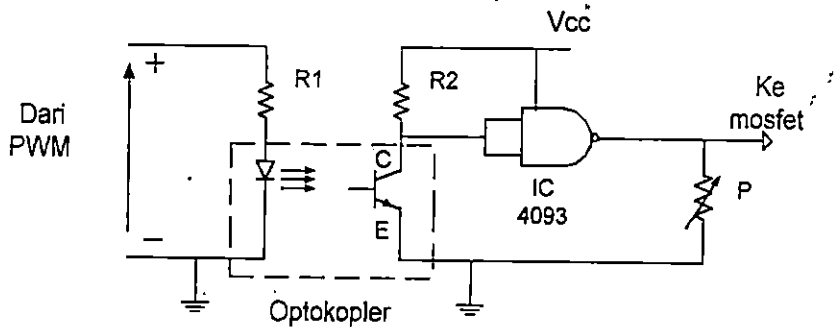
Gambar 14. Bentuk keluaran pembangkit pulsa

Keluaran dari PI Kontroler harus berharga dalam range segi tiga ini agar terjadi pemotongan terhadap sinyal segi tiga ini. Agar tercapai keluaran PI kontroler dalam range ini, maka kita harus mengatur potensiometer P1, P3, dan P4 pada PI kontroler untuk mendapatkan penguatan yang tepat agar tercapai nilai 3,95 V.

Kedua masukan ini kemudian dimodulasi oleh LM311 dan menghasilkan keluaran berupa sinyal berbentuk gelombang persegi. Keluaran dari LM311 kemudian menuju ke driver MOSFET.

#### E. Rangkaian Driver

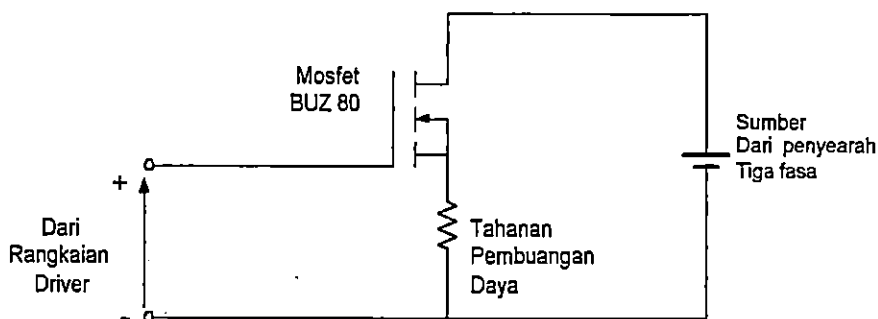
Rangkaian utama dari driver adalah optokopler yang berfungsi untuk memisahkan ground antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Apabila terjadi gangguan seperti hubungan singkat pada rangkaian daya, dengan adanya rangkaian driver ini maka rangkaian kontrol akan terhindar dari kerusakan. Bentuk rangkaian driver tersebut dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Rangkaian driver

### F. Rangkaian dc Chopper

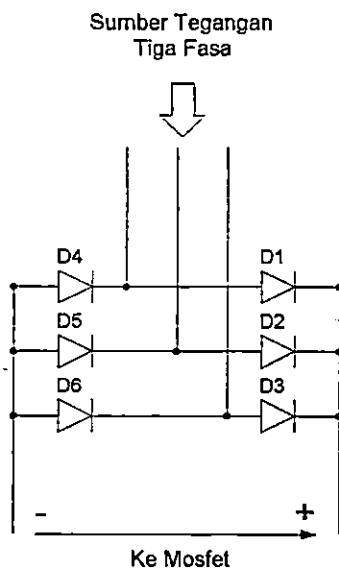
Rangkaian dc chopper yang dirancang terdiri atas sebuah mosfet dan sebuah tahanan yang berfungsi untuk membuang kelebihan daya yang dihasilkan oleh generator. Mosfet yang digunakan adalah tipe BUZ 80 yang berfungsi sebagai saklar untuk mengatur daya yang akan dialirkan ke beban. Rangkaian dc chopper dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Rangkaian dc chopper

### G. Rangkaian penyearah jembatan tiga fasa

Rancangan rangkaian penyearah jembatan tiga fasa dapat dilihat pada gambar 17 dibawah.



Gambar 17. Rangkaian jembatan penyearah tiga fasa

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Peralatan yang Digunakan Untuk Pengujian

#### 1. Spesifikasi mesin induksi yang dioperasikan sebagai GIPS.

Merk	: SIEMENS
Nomor	: 478225012004
Model	: B3
Frame	: 160 M
Daya nominal	: 7,5 kWatt
Kecepatan nominal	: 1425 rpm
Tegangan	: 220 V/ 380 V - $\Delta$ /Y
Arus	: 28,2 A / 16,3 A - $\Delta$ /Y
Frekuensi	: 50 Hz
Jumlah kutub	: 4
Faktor Daya	: 0.82
Klas isolasi	: B/F

#### 2. Spesifikasi motor yang digunakan sebagai penggerak luar (prime mover) adalah motor DC penguat terpisah.

Merk	: SIEMENS
Nomor	: 4882225104004
Model	: B3
Frame	: 160 M
Daya nominal	: 4 kWatt
Kecepatan nominal	: 1800 rpm
Tegangan	: 220 V
Arus	: 21,1 A
Tegangan eksitasi	: 62 V
Arus eksitasi	: 0,91 A
Klas isolasi	: B

### 3. Alat ukur

Alat ukur yang digunakan untuk pengujian laboratorium adalah Digital Power Device YOKOGAWA 2534. Alat ukur ini merupakan gabungan dari alat ukur 1) voltmeter, 2) amperemeter, 3) wattmeter dan, 4) frekuensi meter.

### 4. Kapasitor eksitasi yang digunakan adalah 4 $\mu$ F / 450 V

### 5. Tahanan kompensasi yang digunakan adalah beban resistif.

Nilai tahanan kompensasi yang digunakan ditentukan dari:

$$R_{kompensasi} = \frac{V^2}{P_{kompensasi}}$$

dimana:

$R_{kompensasi}$  = tahanan kompensasi pada saat pemakaian beban minimal (Ohm)

$P_{kompensasi}$  = daya kompensasi maksimal (Watt)

$V^2$  = tegangan yang masuk ke jembatan penyearah tiga fasa (Volt)

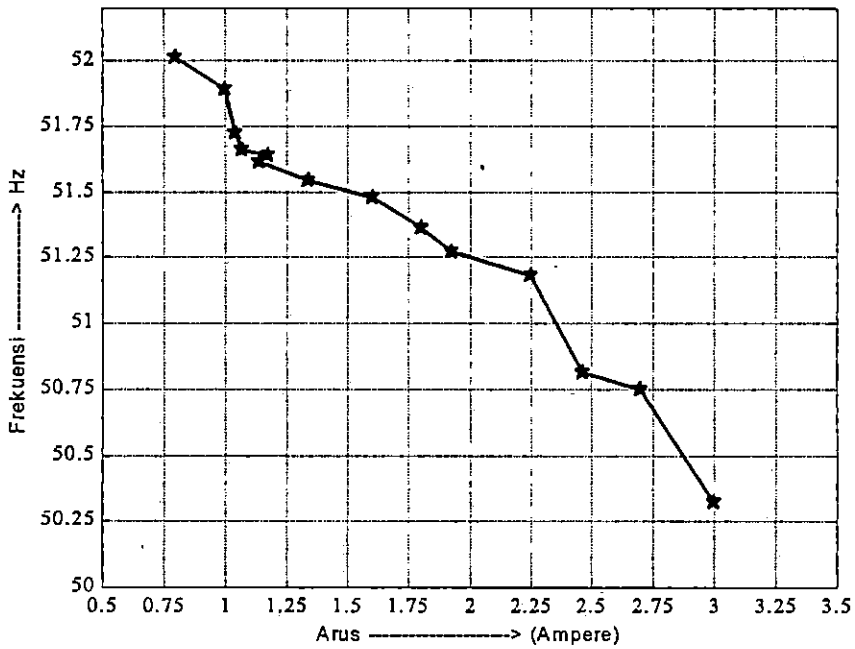
**B. Hasil Pengujian Sebelum Menggunakan Alat Pengatur Frekuensi dan Tegangan**

Pengujian tanpa menggunakan alat hasil rancangan, dilakukan pada kecepatan putaran rotor 1600 rpm dengan beban yang digunakan bersifat resistif. Data hasil yang didapat seperti tabel 1

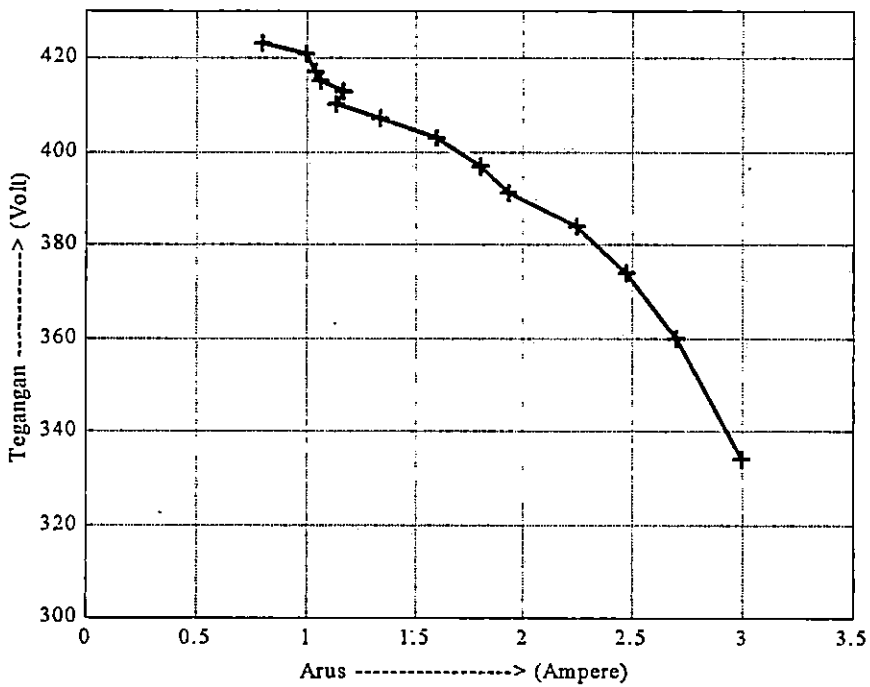
*Tabel 1. Data GPS sebelum pemakaian alat perbaikan regulasi*

<b>No.</b>	<b>Putaran (rpm)</b>	<b>Tegangan (Volt)</b>	<b>Frekuensi (Hz)</b>	<b>Beban (Ampere)</b>
1.	1600	423	52,01	0,80
2.	1600	421	51,89	1,00
3.	1600	417	51,72	1,04
4.	1600	415	51,66	1,07
5.	1600	413	51,64	1,17
6.	1600	410	51,61	1,14
7.	1600	407	51,54	1,34
8.	1600	403	51,48	1,60
9.	1600	397	51,36	1,80
10.	1600	391	51,27	1,93
11.	1600	384	51,18	2,25
12.	1600	374	50,81	2,47
13.	1600	360	50,75	2,70
14.	1600	334	50,32	3,00

Dari tabel 1 terlihat bahwa sebelum pemakaian alat perbaikan regulasi, bila arus beban dinaikan mulai dari 0,8 sampai dengan 3,00 A, maka regulasi frekuensi bernilai 0,253% dan regulasi tegangan sebesar 1,78%.



Gambar 18. Arus beban vs frekuensi GIPS sebelum pemakaian alat perbaikan regulasi



Gambar 19. Arus beban vs tegangan GIPS sebelum pemakaian alat perbaikan regulasi

### C. Hasil Pengujian Setelah Menggunakan Alat Pengatur Frekuensi dan Tegangan

Data hasil pengujian dengan memakai alat perbaikan regulasi didapatkan seperti tabel 2

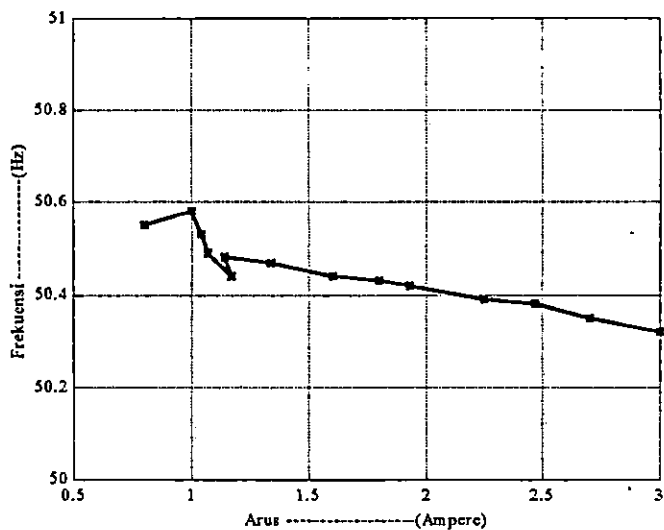
*Tabel 2 Data GIPS setelah pemakaian alat perbaikan regulasi*

No.	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Beban (Ampere)
1.	1600	383	50,55	0,80
2.	1600	381	50,58	1,00
3.	1600	378	50,53	1,04
4.	1600	377	50,49	1,07
5.	1600	377	50,44	1,17
6.	1600	376	50,48	1,14
7.	1600	374	50,47	1,34
8.	1600	374	50,44	1,60
9.	1600	373	50,43	1,80
10.	1600	373	50,42	1,93
11.	1600	370	50,39	2,25
12.	1600	370	50,38	2,47
13.	1600	369	50,35	2,70
14.	1600	369	50,32	3,00

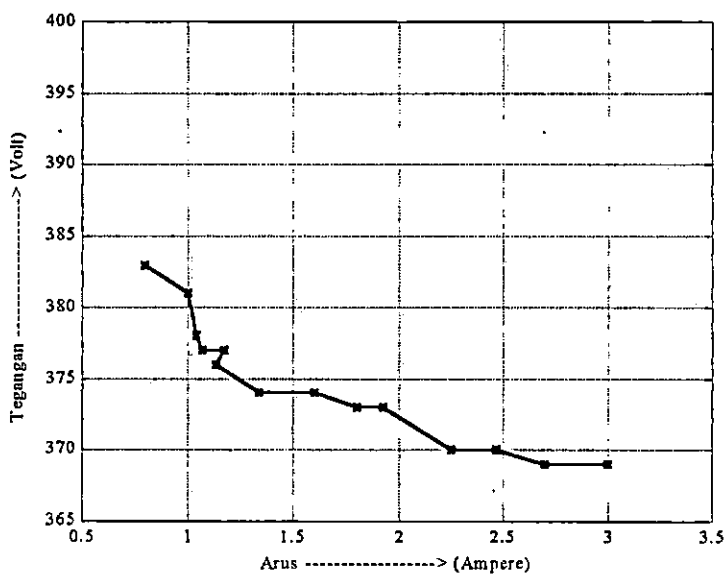
Hasil pengujian dengan pemakaian alat perbaikan regulasi seperti yang tertera pada tabel 2 dapat memperbaiki regulasi GIPS untuk kenaikan arus beban pada putaran rotor 1600 rpm. Berikut adalah grafik perbandingan frekuensi, tegangan dengan arus beban setelah pemakaian alat perbaikan regulasi.

MILIK ...  
UNIV. NEGERI PADANG





Gambar 20. Arus beban vs frekuensi GIPS setelah pemakaian alat perbaikan regulasi



Gambar 21. Arus beban vs tegangan GIPS setelah pemakaian alat perbaikan regulasi

Dengan menggunakan alat hasil rancangan ini diperoleh hasil kenaikan regulasi frekuensi sebesar 0,035%, dan regulasi tegangan sebesar 0,265% dari kisaran arus beban 0,8 sampai dengan 3,00 Ampere.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pembahasan alat untuk memperbaiki regulasi frekuensi dan tegangan GIPS pada kecepatan konstan 1600 rpm dengan memvariasikan arus beban dari 0,8 sampai dengan 3,00 A, dapat diambil kesimpulan sbb:

1. Pemasangan alat pengatur regulasi frekuensi dan tegangan GIPS dapat menurunkan regulasi frekuensi dari 0,25% saat sebelum dipasang alat ini menjadi 0,033%. Regulasi dengan pemakaian alat ini masih dalam standar PLN, yaitu  $\pm 2,5$  Hz
2. Regulasi tegangan GIPS sebelum dipasang alat yang dibuat sebesar 1,784% dan setelah dipergunakan alat yang dibuat ini regulasi tegangan yang terjadi sebesar 0,265%.
3. Semakin tinggi frekuensi chopping pada dc chopper, semakin baik regulasi frekuensi (dalam hal ini frekuensi DC chopper dibatasi sampai 1 kHz karena untuk frekuensi chopping yang lebih tinggi, duty cycle keluaran driver tidak sinkron lagi dengan duty cycle yang dihasilkan oleh Pulse Width Modulation (PWM)).

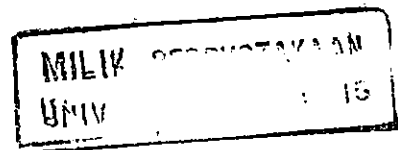
### B. Saran

1. Alat rancangan yang dibuat ini dapat dikembangkan lebih lanjut seperti dikombinasikan dengan Uninterruptable Power Supply (UPS). Pada saat terjadi kelebihan daya maka daya yang berlebih tersebut disimpan dalam batere UPS dan apabila pada sistem terjadi kelebihan beban, maka daya yang tersimpan tadi dikembalikan lagi ke sistem setelah dirubah terlebih dahulu menjadi tegangan bolak-balik oleh inverter sehingga dalam sistem tetap terjadi keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan daya yang diserap.

2. Rangkaian driver yang digunakan dalam penelitian ini sangat sederhana dengan frekuensi chopping sebesar 1 kHz, sehingga tidak mendapatkan hasil yang lebih teliti. Untuk untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, disarankan untuk mengembangkan rangkaian dc chopper untuk mendapatkan frekuensi chopping yang lebih tinggi.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Bonert, R, '*Self-Excited Induction generator With Excelent Voltage and Frequency control*'. Thesis PhD Winconsin University. Toronto 1998
- [2] Chapman Stephen J, *Electric Machinery Fundamentals*. Mc Graw Hill New York 1991
- [3] Fitzgerald AE, '*Electric Machinery*' Fourth Edition Mc Graw Hill New York 1990
- [4] Newman Martin, '*Industrial Electronics and control*' New York John Wiley & Sons 1990
- [5] Nazir Refdinal, '*Analisa Perilaku Mantap dari Generator Induksi Penguatan Sendiri Dengan Model Yang Generalisasi*'. Jurnal Teknik, No. 13, April 2000.
- [6] Rashid Muhammad, '*Power Electronics, Circuit, Devices and Applications*', Prentice Hall, 1993.
- [7] Nazir Refdinal, '*Development of Self-Excited Induction Generator for Variable Speed and Load Condition*'. Disertasi Ph.D., UTM. October 2000.
- [8] Sukisno, '*Diktat Kuliah Elektrinika daya*'. ITB Bandung, 1999



## LAMPIRAN

### Personalia Penelitian

#### 1. Ketua Peneliti

- a. Nama lengkap dan gelar : Ahyanuardi, Drs, MT
- b. Golongan pangkat dan NIP : III d, Penata Tingkat I/ 131 474 854
- c. Jabatan Fungsional : Lektor Madya
- d. Fakultas / Program studi : Teknik / Teknik Elektro
- e. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang
- f. Bidang Keahlian : Electric machine and power elektronik
- g. Waktu untuk penelitian ini : 20 jam / minggu

#### 2. Susunan tim Peneliti

- a. Nama lengkap dan gelar : Krismadinata, ST
- b. Golongan pangkat dan NIP : III a, Penata Muda/ 132 281 883
- c. Jabatan Fungsional : Assiten
- d. Fakultas / Program studi : Teknik / Teknik Elektro
- e. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang
- f. Bidang Keahlian : Power electronic and electric drive
- g. Waktu untuk penelitian ini : 20 jam / minggu

3. Tenaga Laboran : Dalfi

4. Tenaga lapangan : -

5. Tenaga administrasi : -

## **RIWAYAT HIDUP KETUA PENELITI**

*Drs. Ahyanuadi, M.T, Lahir di Padang tahun 1959, menyelesaikan S1 jurusan Pendidikan Teknik Elektro tahun 1983., di IKIP Padang dan S2 pada Program Pascasarjana Elektroteknik, Institut Teknologi Bandung tahun 1999. Sejak tahun 1983, sampai sekarang menjadi staf pengajar tetap jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Dari tahun 1999 sampai sekarang dipercaya sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro.*

## **RIWAYAT HIDUP ANGGOTA PENELITI**

*Krismadinata. Lahir di Padang tahun 1977. memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Universitas Andalas Jurusan Teknik Elektro tahun 2000. Saat sekarang sedang mengikuti pendidikan S2 pada Program Pascasarjana Elektroteknik bidang Konversi Energi Elektrik. Institut Teknologi Bandung. Sejak tahun 2000 sampai sekarang menjadi staf pengajar tetap jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.*