

**ANALISIS KINERJA AVR MX321 PADA GENERATOR
STAMFORD RTG 05
DI LAPANGAN 305 PELABUHAN TANJUNG PRIOK**



**ROSSI NOORSHEILA
5115087368**

Makalah Komprehensif ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Pendidikan.

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2015**

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai tugas akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana dan menerapkan ilmu yang diberikan dalam perkuliahan ke dunia pekerjaan.

Penelitian dilakukan di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok. Penelitian menggunakan alat ukur multimeter untuk mengukur frekuensi, tegangan dan arus.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan pada sensing input 240 VAC, dengan frekuensi 60Hz. Dan tegangan pada PMG 210 VAC, arus 3 amper/fasa dan frekuensi 120 Hz.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja AVR MX321 pada Generator Stamford RTG 05 Pelabuhan Tanjung Priok dalam keadaan baik.

Kata kunci : AVR MX321, Generator Stamford, RTG 05 di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok

HALAMAN PENGESAHAN

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. Readysal Monantun (Dosen Pembimbing 1)

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. Wisnu Djatmiko, MT (Ketua Penguji)
Drs. Irzan Zakir, M.Pd (Dosen Penguji)
Massus Subekti, MT (Dosen Penguji)

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini peneliti menyatakan bahwa:

1. Karya tulis Makalah Komprehensif peneliti adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis Analisis Kinerja AVR MX321 Pada Generator Stamford RTG 05 di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok ini adalah gagasan, rumusan dan penelitian peneliti dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis Analisis Kinerja AVR MX321 Pada Generator Stamford RTG 05 di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini peneliti buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka peneliti bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis Analisis Kinerja AVR MX321 Pada Generator Stamford RTG 05 di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Januari 2015
Yang membuat pernyataan,

Rossi Noorsheila
5215087368

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah swt yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga saya dapat menyelesaikan makalah dengan judul “**Analisis Kinerja AVR MX321 Pada Generator Stamford RTG 05 Di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok**”. Yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.

Keterbatasan kemampuan yang dimiliki dalam penelitian ini, menyebabkan saya sering menemukan kesulitan. Oleh karena itu makalah ini tidaklah dapat terwujud dengan baik tanpa adanya bimbingan, motivasi, saran-saran dan bantuan dari berbagai pihak. Maka sehubungan dengan hal tersebut, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Drs. Wisnu Djatmiko, M.T.** selaku ketua jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
2. **Drs. Readysal Monantun.** selaku ketua Program Studi Pend. Teknik Elektro, jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Dan juga selaku dosen pembimbing Makalah Komprehensif yang telah memberikan pengarahannya, bimbingan serta dorongan dalam penyusunan Makalah Komprehensif ini.
3. **Baginda Parulian M.T, dan Bayu Adji Bawono M.T.** selaku General Manager dan mentor saya selama masa penelitian di PT. Samudera Sarana Terminal Pelabuhan Tanjung Priok
4. Teristimewa kepada suami saya **Achmad Maulana S.Pd**, orang tua saya **Heri Antonius M.M.R.S**, dan **Sri Mulyati M.Kes**

Terimakasih juga saya ucapkan kepada adik-adik saya, saudara sekeluarga, dan teman-teman seperjuangan Teknik Elektro 2008 yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat, serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Makalah Komprehensif yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Saya menyadari bahwa penulisan Makalah Komprehensif ini masih jauh dari sempurna, untuk itu saya mohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan baik dari isi maupun tulisan. Akhir kata semoga Makalah Komprehensif ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

Penulis

Rossi Noorsheila

5115087368

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.3. Pembatasan Masalah.....	3
1.4. Perumusan Masalah	3
1.5. Tujuan Penulisan	3
1.6. Kegunaan Penelitian	3
BAB II KERANGKA TEORETIK	2
2.1. RTG 05	2
2.2. Generator	5
2.3. AVR.....	29
2.4. Teori Dasar Motor Listrik.....	40
2.5. Alat Ukur	49
BAB III ANALISA DAN PEMBAHASAN	57
3.1. Analisa Penelitian	57
3.2. Pembahasan	57
3.3. Hasil Pengukuran.....	58

BAB IV PENUTUP	60
4.1. Kesimpulan	60
4.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Hasil pengukuran	42
---------------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1, Rubber Tyre Gantry	8
Gambar 2.2, Generator.....	11
Gambar 2.3, Generator pada RTG 05	11
Gambar 2.4, Name Plate Generator pada RTG 05	12
Gambar 2.5, Konstruksi Generator Sinkron	14
Gambar 2.6, Bentuk Alur Stator	16
Gambar 2.7, Rotor Kutub Menonjol	18
Gambar 2.8, Rotor Kutub Silindris	19
Gambar 2.9, Rotor Kutub Silindris	20
Gambar 2.10, Karakteristik Beban Nol	25
Gambar 2.11, Karakteristik Hubung Singkat	27
Gambar 2.12, Diagram Fasor Saat Hubung Singkat.....	28
Gambar 2.13, AVR pada MX321	32
Gambar 2.14, AVR pada Generator RTG 05	32
Gambar 2.15, Wiring Drawing AVR MX321	34
Gambar 2.16, Skematik AVR MX321	34
Gambar 2.17, Wiring Outline AVR MX321	35
Gambar 2.18, Wiring Jisposition Drawing AVR MX321	36
Gambar 2.19, Penempatan AVR MX321	37
Gambar 2.20, Diagram Prinsip Kerja AVR MX321	37

Gambar 2.21, Grafik hubungan sensing tegangan terhadap output generator	43
Gambar 2.22, Generator Shunt	52
Gambar 2.23, Kompon panjang	53
Gambar 2.24, Kompon Pendek	53
Gambar 2.25, Multimeter Analog	55
Gambar 2.26, Multimeter Digital	56
Gambar 2.27, Tachometer atau Pengukur Frekuensi.....	56
Gambar 2.28, Mega Ohm Meter (Megger).....	57
Gambar 2.29, Clip-On Ammeter (Clampmeter)	58
Gambar 2.30, Vibration Meter.....	59
Gambar 2.31, Thermometer Gun.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Tingginya permintaan pasar untuk mengirim barang keluar daerah membuat perusahaan ekspedisi menaikkan jumlah kuota pengiriman melalui kapal laut. Dengan area pelabuhan yang terbatas dan tidak bertambah luas, maka perusahaan bongkar muat terus melakukan inovasi agar permintaan tersebut dapat dipenuhi dengan cara menambah alat – alat kepelabuhanan untuk bongkar muat seperti *Container Crane (CC)*, *Harbour Mobile Crane(HMC)*, *Rubber Tyre Gantry (RTG)* dan *Reach Stacker (RS)*, atau pun menaikkan performansi alat yang sudah ada.

Banyak hal yang dapat menghambat kegiatan bongkar muat barang tersebut seperti cuaca buruk, kemacetan di area pelabuhan, atau dari kerusakan alat kepelabuhan. Kerusakan tersebut bukan terjadi begitu saja, beberapa hal yang menjadi faktornya antara lain :

1. Umur alat
2. Masapakai alat
3. Kondisi awal saat baru di beli
4. Terlambat servis
5. After sales service
6. Human Error

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis berupaya untuk menganalisis salah satu penyebab kerusakan alat kepelabuhanan *Rubber Tyre Gantry* (RTG) terutama pada bagian AVR dalam generatornya yaitu generator memiliki fungsi penting sebagai transduser untuk mengubah energy mekanik menjadi energy listrik. Kemampuan generator untuk mengubah suatu energy menjadi sebuah energy listrik yang sangat bermanfaat, akan ditunjang pula oleh suatu perangkat dan controlling lainnya. Perangkat dan controlling tersebut berpengaruh terhadap kemampuan optimal sebuah generator dalam menjalankan fungsinya yang berperan untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik di RTG saat melakukan kegiatan bongkar muat.

Efek buruk yang dihasilkan saat alat RTG ini tidak dapat di fungsikan seperti kerusakan alat, penumpukan barang di area pelabuhan, sampai kemacetan kendaraan pengangkut container di dalam dan di luar area pelabuhan dibutuhkan suatu analisis yang dapat memudahkan para teknisi melakukan pengecekan pada AVRnya.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah di uraikan di atas maka ada beberapa masalah yang dapat di identifikasikan, yaitu :

- a. Bagaimana kinerja AVR tersebut di gunakan sesuai standar
- b. Teknik yang harus dilakukan dilakukan untuk mengetahui kondisinya berdasarkan gejala kerusakan yang terjadi
- c. Upaya dilakukan agar AVR berfungsi optimal

1.3. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini hanya menganalisis kinerja AVR pada generator, dengan cara melakukan pengukuran

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah yang telah di uraikan, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah Apakah AVR MX321 pada Generator Stamford RTG masih memiliki kinerja yang baik sesuai rekomendasi dari Modul Stamford Generator?

1.5. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui kinerja AVR MX321 pada RTG 05 Di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok.

1.6. Kegunaan Penelitian

Berbagai kegunaan yang dapat diperoleh dari makalah ini adalah untuk menilai bagaimana kinerja AVR MX321 pada RTG 05 Di Lapangan 305 Pelabuhan Tanjung Priok, dan menjadi rujukan apabila terjadi kerusakan sesuai gejala dan hasil pengukuran yang dilakukan.

BAB II KERANGKA TEORETIK

2.1. RTG 05

RTG atau kepanjangan dari *Rubber Tyre Gantry* adalah perangkat untuk memindahkan peti kemas di lapangan penumpukan pelabuhan.

RTG 05 berlokasi di kade 305, lapangan pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta Utara. Di rakit pada tahun 2003 dengan merk Keppel Fels.



Gambar 2.1, Rubber Tyre Gantry

2.2. Generator

Generator adalah mesin yang mengubah daya mekanis menjadi daya listrik, atau sebaliknya¹. Mesin listrik dapat berupa generator dan motor dan berdasarkan jenis arusnya mesin listrik terbagi atas mesin listrik arus searah dan mesin listrik arus bolak-balik.

Alternator adalah peralatan elektromekanis yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Energi mekanik dari mesin diterima melalui sebuah pulley yang memutar rotor dan membangkitkan arus bolak-balik pada stator. Arus bolak-balik ini diubah menjadi arus searah oleh diode. Alternator berfungsi menghasilkan arus listrik untuk mengisi baterai². Pada prinsipnya, generator listrik arus bolak-balik disebut dengan alternator, tetapi pengertian yang berlaku umum adalah generator listrik pada mesin kendaraan.

Generator bekerja berdasarkan hukum Faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (gaya listrik) yang mempunyai satuan volt.

Jenis-jenis generator :

1. Jenis generator berdasarkan letak kutubnya dibagi menjadi :

¹B.L Theraja. A.K Theraja, *A Text Book Of Electrical Technology*. Nurja Construction & Development, New Delhi, 1989

²Masruddin. Sistem Pengisian Alternator. Diakses dari http://masruddin.freevar.com/sistem_pengisian/alternator.html

a. generator kutub dalam : generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang berputar (rotor).

b. generator kutub luar : generator kutub luar mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang diam (stator)

2. Jenis generator berdasarkan putaran medan dibagi menjadi :

a. generator sinkron

b. generator asinkron

3. Jenis generator berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan

a. generator arus searah (DC)

b. generator arus bolak balik (AC)

4. Jenis generator dilihat dari fasanya

a. generator satu fasa

b. generator tiga fasa

5. Jenis generator berdasarkan bentuk rotornya :

a. generator rotor kutub menonjol biasa digunakan pada generator dengan rpm rendah seperti PLTA dan PLTD

b. generator rotor kutub rata (silindris) --> biasa digunakan pada pembangkit listrik / generator dengan putaran rpm tinggi seperti PLTG dan PLTU



Gambar 2.2, Generator



Gambar 2.3, Generator pada RTG 05

dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor. Hubungan antara medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini :

$$f = \frac{Ns \cdot p}{120}$$

Keterangan :

f = Frekuensi listrik (Hz)

Ns = Kecepatan sinkron medan magnet atau kecepatan motor (rpm)

p = Jumlah kutub⁴

Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat pembangkit tenaga listrik (dengan kapasitas yang relative besar).Misalnya pada PLTA, PLTU, PLTD dan lain-lain.Selain generator dengan kapasitas besar, kita mengenal juga generator dengan kapasitas yang relative kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator Set.

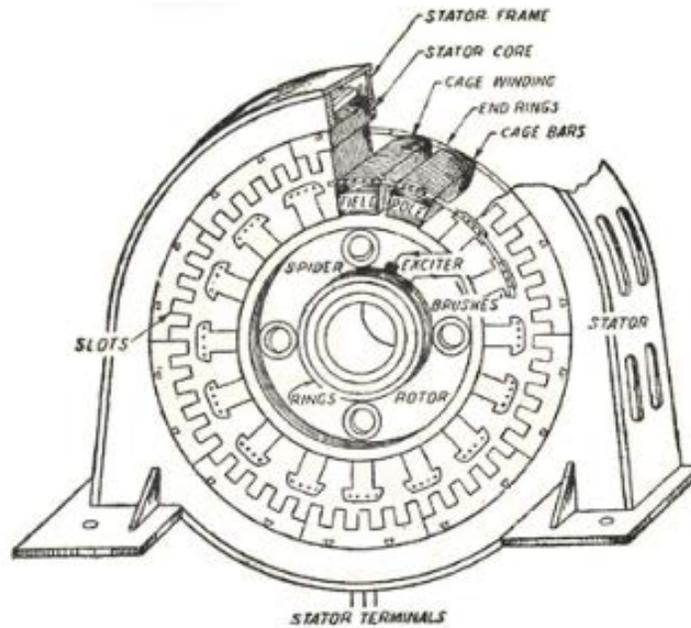
2.2.2. Komponen Generator Sinkron

Generaor sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak

⁴ Radita Arindya (2013). *Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik*, Yogyakarta : Graha Ilmu

mula yang memutar rotor, sedangkan energy listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator.

Pada Gambar 2.5 dapat dilihat bentuk sederhana dari sebuah generator sinkron.



Gambar 2.5, Konstruksi Generator Sinkron⁵

Secara umum, generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dimana diletakkan kumparan medan yang disuplai oleh arus searah dari eksiter. Celah udara adalah ruang udara antara stator dan rotor.

⁵Adfha. Generator Sinkron. 2011. Diakses dari <http://adfha.blogspot.com/2011/10/normal-0-false-false-false-en-us-x-none.html> pada tanggal 3 Juli 2014

1. Stator

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a. Rangka Stator

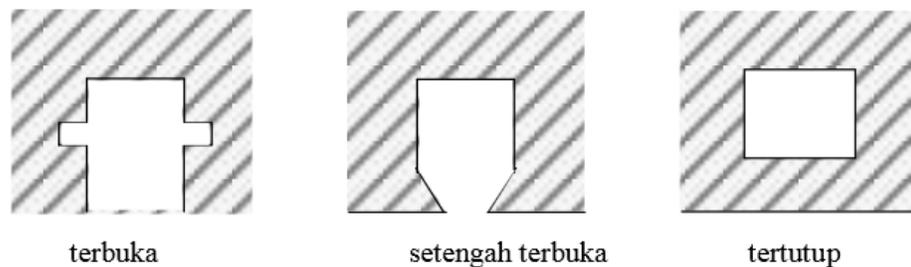
Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator

b. Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetic khusus yang terpasang ke rangka stator

c. Alur (slot) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup, seperti pada Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6, Bentuk Alur Stator⁶

⁶Anonim. Konstruksi Motor AC. 2011. Diakses <http://mylogicmind.blogspot.com/2011/03/konstruksi-motor-ac.html> pada tanggal 3 Juli 2014

d. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

2. Rotor

Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu :

a. Slip Ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipaangkan ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.

b. Kumparan Rotor (kumparan medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

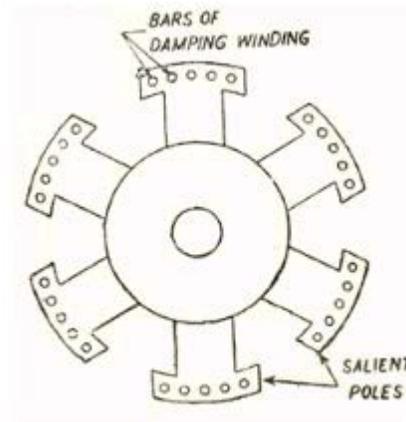
c. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara parallel terhadap poros rotor.

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah electromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient pole (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub silinder)

a. Jenis Kutub Menonjol

Pada jenis salient pole, kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medannya dihubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Gambaran bentuk kutub menonjol generator sinkron seperti pada Gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7, Rotor Kutub Menonjol⁷

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm). Oleh

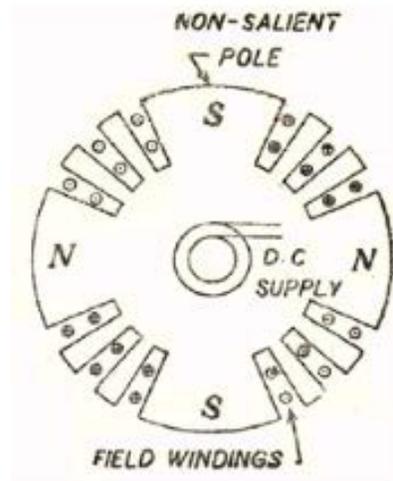
⁷Anonim. Generator Sinkron. 2013. Diakses <http://backupkuliah.blogspot.com/2013/08/generator-sinkron.html> pada tanggal 3 Juli 2014

sebab itu generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada system pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

- Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi
- Konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi

b. Jenis Kutub Silindris

Pada jenis non salient pole, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur tersebut dan terhubung seri dengan slip-slip yang disalurkan oleh eksiter. Gambaran bentuk kutub silindris generator sinkron seperti pada Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8, Rotor Kutub Silindris

Untuk kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm) umumnya digunakan rotor silinder seperti yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena:

- Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi
- Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol

2.2.3. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Suatu mesin listrik akan berfungsi bila memiliki :

1. Kumparan medan untuk menghasilkan medan magnet

2. Kumparan jangkar, untuk mengimbaskan ggl pada konduktor-konduktor yang terletak pada alur-alur jangkar
3. Celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut ;

1. Kumparan medan yang diletakkan di rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*Prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan yang diharapkan
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetic yang berubah-ubah besarnya setiap waktu. Adanya perubahan fluks magnetic yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut sesuai dengan persamaan:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\begin{aligned} e &= -N \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt} \\ &= -N \omega \phi_m \cos \omega t \quad \therefore (\omega = 2\pi f) \\ &= -N(2\pi f) \phi_m \cos \omega t \quad \therefore (f = \frac{np}{120}) \\ &= -N(2\pi \frac{np}{120}) \phi_m \cos \omega t \\ &= -N(2.3,14. \frac{np}{120}) \phi_m \cos \omega t \end{aligned}$$

$$E_m = N(2.3,14. \frac{np}{120}) \phi_m$$

$$\begin{aligned} E_{\text{eff}} &= \frac{E_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = \frac{N(2.3,14. \frac{np}{120}) \phi_m}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{4,44 N p n \phi_m}{120} \quad (\frac{4,44 N p}{120} = C) \end{aligned}$$

$$E_{\text{eff}} = C n \phi_m \quad \dots\dots(2.2)$$

Dimana :

E = gaya gerak listrik (volt)

N = jumlah lilitan

C = konstanta mesin

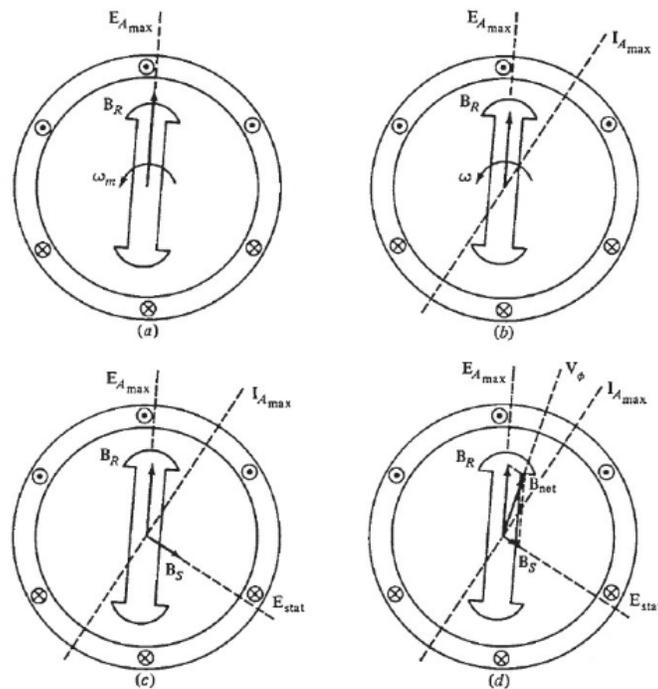
n = putaran sinkron (rpm)

ϕ = fluks magnetic (weber)

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

2.2.4. Reaksi Jangkar Generator Sinkron

Saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun jika generator sinkron diberi beban, arus jangkar I_a akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan akhirnya menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron. Reaksi ini kemudian dikenal sebagai reaksi jangkar seperti pada gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9, Rotor Kutub Silindris ⁸

Keterangan Gambar :

- a) Medan magnet yang berputar akan menghasilkan tegangan induksi E_{Amax}
- b) Tegangan resultan menghasilkan arus lagging saat generator beban induktif
- c) Arus stator menghasilkan medan magnet sendiri B_S dan tegangan E_{stat} pada belitan stator
- d) Vector penjumlahan B_S dan B_R menghasilkan B_{net} dan penjumlahan E_{stat} dan E_{Amax} menghasilkan V_ϕ pada outputnya.

⁸Kurniawan Pramana. Rotor Kutub Silindris. 2011. Diakses <http://kurniawanpramana.wordpress.com/2011/10/09/> pada tanggal 8 Juli 2014

Pengaruh yang ditimbulkan oleh fluksi jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (magnetizing), maupun pelemahan (demagnetizing) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh yang ditimbulkan fluksi jangkar tergantung kepada beban dan factor daya beban, yaitu :

- a. Untuk beban resistif ($\cos\phi = 1$)

Pengaruh fluksi jangkar terhadap fluksi medan hanyalah sebatas mendistorsinya saja tanpa mempengaruhi kekuatannya (*cross magnetizing*)

- b. Untuk beban induktif murni ($\cos\phi = 0$ lag)

Arus akan tertinggal 90° dari tegangan. Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Dengan kata lain reaksi jangkar akan demagnetizing artinya pengaruh reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan.

- c. Untuk beban kapasitif murni ($\cos\phi = 0$ lead)

Arus akan mendahului tegangan sebesar 90° . Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan sehingga reaksi jangkar yang terjadi akan magnetizing artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan

- d. Untuk beban tidak murni (induktif/kapasitif)

Pengaruh reaksi jangkar akan menjadi sebagian magnetizing dan sebagian demagnetizing. Saat beban adalah kapasitif, maka reaksi jangkar akan sebagian distortif dan sebagian demagnetizing. Namun pada prakteknya beban umumnya adalah induktif

Bentuk permukaan rotor silinder yang hampir rata membentuk celah udara yang seragam sehingga reluktansi yang terjadi akan sama besar di setiap arah. Oleh karena itu pengaruh reaksi jangkar dapat diasumsikan menjadi satu reaktansi saja yaitu reaktansi sinkron X_s

Bila rotor generator diputar, tegangan induksi E_a akan dibangkitkan pada belitan statornya. Bila beban dihubungkan pada terminal generator, maka pada belitan stator akan mengalir arus jangkar I_a . Medan magnet stator (fluksi rotor) dan merubah tegangan fasanya. Oleh karena itu untuk mendapatkan tegangan terminal yang konstan medan magnet rotor harus diperbesar dengan meningkatkan arus medan I_f . Seiring bertambahnya arus medan I_f maka akan diperoleh fluksi resultan yang sama besar dengan fluksi awal.

Pada Gambar 2.9.a, digambarkan rotor dua kutub yang berada dalam stator tiga fasa. Dalam hal ini tidak ada beban yang terhubung ke terminal generator. Medan magnet B_R akan membangkitkan tegangan induksi E_{Amax} . Pada saat generator beroperasi tanpa beban, tidak ada arus jangkar yang mengalir sehingga E_{Amax} akan sama dan sefasa dengan tegangan terminal V_ϕ .

Pada saat beban induktif dihubungkan ke terminal generator, arus jangkar I_a akan lagging secara vektoris dari tegangan terminal seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 2.9.b. arus yang mengalir pada stator akan menghasilkan medan magnet pada belitan tersebut, dimana arahnya ditentukan oleh kaidah tangan kanan seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.c. medan magnet stator B_S akan menghasilkan tegangan stator E_{stat} .

Dengan adanya dua tegangan ini E_{stat} dan E_{Amax} , maka tegangan total pada fasa yang sama adalah penjumlahan dari tegangan induksi E_{Amax} dan tegangan stator E_{stat} seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9.d. dalam persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$V_{\phi} = E_{stat} + E_{Amax} \text{ [volt]} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dan besarnya medan magnet total B_{net} adalah penjumlahan dari medan magnet rotor B_R dengan medan magnet stator B_S , yaitu seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$B_{net} = B_R + B_S \text{ [tesla]} \dots\dots\dots(2.4)$$

Bila E_{Amax} dan B_R sefasa, maka medan magnet resultan B_{net} akan sefasa dengan V_{ϕ} ⁹

2.2.5. Identifikasi dan Penentuan Parameter Generator Sinkron

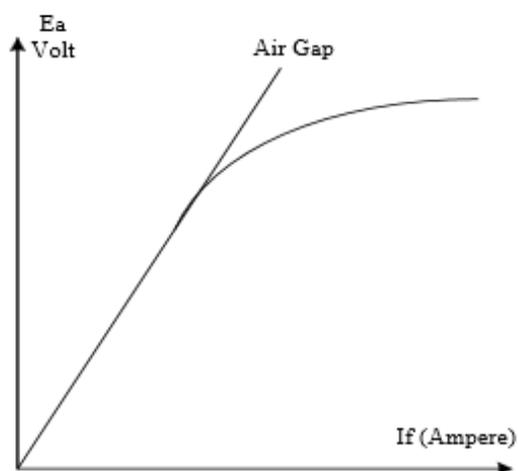
Parameter generator sinkron dibutuhkan pada dasarnya untuk menggambarkan rangkaian ekivalen beserta karakteristiknya. Parameter yang dibutuhkan pada penulisan ini yaitu impedansi sinkron Z_s , reaktansi sinkron X_s , tahanan jangkar urutan positif r_{j1} , tahanan jangkar urutan negative r_{j2} , dan

⁹Sumanto. Mesin Sinkron. Yogyakarta : 1992

tahanan jangkar urutan nol r_{j0} . Sehingga untuk memperoleh parameter-parameter tersebut maka diperlukan identifikasi ataupun pengujian-pengujian sebagai berikut :

a. Pengujian Beban Nol

Pengujian beban nol terkait dengan karakteristik beban nol yaitu hubungan antara tegangan induksi E_a dengan arus penguat/eksitasi I_f . Pada pengujian beban nol, rotor generator diputar pada kecepatan nominal dan terminal jangkar dalam keadaan terbuka. Arus medan I_f diatur bertahap dari nol hingga diperoleh harga tegangan induksi E_a berkisar kurang lebih 125% dari tegangan nominal generator. Pada kondisi ini arus jangkar $I_a = 0$ dan tegangan induksi $E_a = V_t$. Pembacaan tegangan induksi jangkar dengan pengaruh variasi medan eksitasi digambarkan dalam sebuah kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10.



Gambar 2.10, Karakteristik Beban Nol

Dari gambar di atas tampak bahwa kurva tersebut memiliki garis linear sampai diperoleh harga saturasi dari arus medan. Pada keadaan belum jenuh (unsaturated), rangka (frame) besi mesin sinkron memiliki reluktansi yang besarnya beberapa ribu kali lebih kecil dibandingkan dengan reluktansi celah udara, sehingga pada mulanya hampir semua ggl melaluicelah udara, sebagai akibatnya fluks meningkat secara linear. Ketika pada akhirnya inti besi tersebut jenuh, reluktansinya meningkat secara dramatis, sehingga peningkatan fluks jauh lebih lambat daripada peningkatan ggl (hal ini digambarkan oleh kurva melengkung). Garis linear pada kurva disebut juga sebagai karakteristik celah udara (air gap).

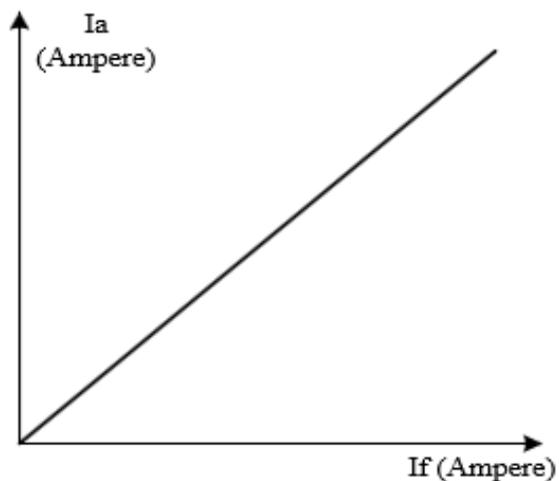
b. Pengujian Hubung Singkat

Pengujian hubung singkat terkait dengan karakteristik hubung singkat yaitu hubungan antara arus jangkar I_a dengan arus penguat/eksitasi I_f . Pada pengujian hubung singkat, mula-mula arus medan dibuat menjadi nol dan terminal jangkar dihubungkan singkat melalui ampere meter. Lalu arus jangkar diperbesar dengan menaikkan secara bertahap arus medan hingga tercapai nilai arus jangkar maksimum yang masih aman sekitar 125% - 150% dari arus nominal jangkar. Karakteristik hubung singkat merupakan

garis lurus. Pada kondisi hubung singkat, tegangan terminal $V_t = 0$ dan arus jangkar sama dengan arus hubung singkat ($I_a = I_{sc}$), sehingga dapat dirumuskan :

$$I_a = I_{sc} = \frac{E_a}{r_a + jX_s} \dots\dots\dots(2.5)$$

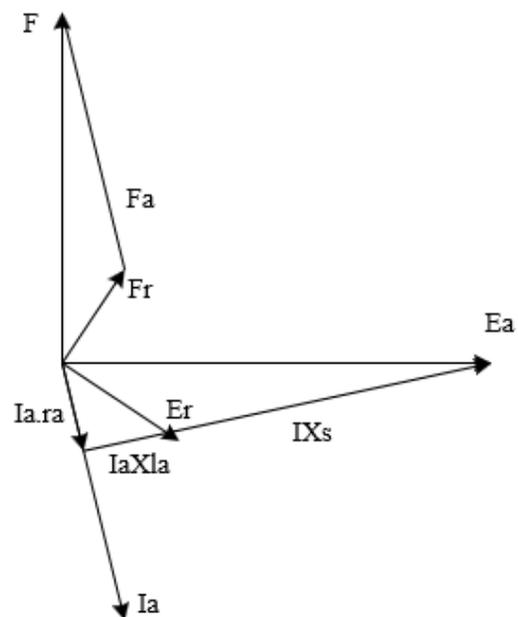
Pembacaan arus jangkar atau arus hubung singkat dengan pengaruh variasi medan eksitasi digambarkan dalam kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 2.11



Gambar 2.11, Karakteristik Hubung Singkat

Kurva tersebut merupakan kurva linier karena tidak adanya efek saturasi. Saat tegangan terminal sama dengan nol, lebih dari 90% tegangan jatuh muncul akibat reaktansi sinkron. Pada gambar

2.12 terlihat fasor untuk kondisi hubung singkat dimana terlihat arus jangkar I_a tertinggal dari tegangan induksi E_a hampir 90° , dengan kata lain reaksi jangkar yang dihasilkan I_a hampir seluruhnya melawan fluks medan ϕ yang menghasilkan tegangan induksi E_a . kedua fluksi yang berlawanan tersebut menjaga fluksi resultan celah udara pada tingkat yang rendah sehingga tidak terjadi efek saturasi.



Gambar 2.12, Diagram Fasor Saat Hubung Singkat

c. Menentukan Impedansi dan Reaktansi dan Sinkron

Jika tidak terjadi saturasi, impedansi sinkron Z_s akan bernilai tetap. Secara aktual Z_s bervariasi saat terjadi saturasi. Untuk menghitung voltage regulation, hanya satu nilai Z_s yang digunakan.

Umumnya nilai Z_s yang digunakan tersebut diperoleh dari aruh hubung singkat I_{sc} yang terbesar dan besar tegangan induksi beban nol E_{bn} saat terjadi saturasi dengan arus medan penguat/eksitasi I_f yang sama. Nilai impedansi sinkron Z_s dan reaktansi sinkron X_s per fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_s = \frac{E_{bn}}{I_{sc}}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - r_a^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

E_{bn} = Tegangan induksi beban nol saat terjadi saturasi pada arus medan tertentu (Volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat arus medan yang sama saat saturasi (A)

Z_s = Impedansi sinkron (ohm)

X_s = Reaktansi sinkron (ohm)

r_a = Tahanan jangkar (ohm)

d. Pengukuran Tahanan Jangkar Arus Searah

Pengukuran tahanan jangkar arus searah (r_{dc}) biasanya menggunakan metode voltmeter-amperemeter. Dimana kumparan jangkar dihubungkan kepada sumber tegangan arus searah (dc) ketika mesin dalam keadaan diam lalu diukur besar arus yang mengalir pada kumparan jangkar. Pengukuran dengan

menggunakan sumber tegangan dc dimaksudkan bahwa reaktansi kumparan jangkar akan menjadi nol selama proses pengukuran. Arus yang mengalir pada kumparan jangkar diatur pada nilai nominalnya supaya kumparan berada pada temperatur operasi normal. Jika kumparan jangkar terhubung bintang dan netral tidak tersedia maka besar tahanan jangkar arus searah (r_{dc}) per fasa dapat dihitung dengan persamaan di bawah. Sedangkan jika kumparan jangkar terhubung delta maka tahanan jangkar arus searah (r_{dc}) per fasa dapat dihitung dengan persamaan selanjutnya seperti berikut :

$$r_{dc} = \frac{V_{dc}}{2I_{dc}} \quad r_{dc} = \frac{3V_{dc}}{2I_{dc}} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

V_{dc} = Tegangan arus searah pada kedua terminal jangkar (Volt)

I_{dc} = Arus searah yang mengalir pada kumparan jangkar (A)

r_{dc} = Tahanan jangkar arus searah (ohm)

Nilai tahanan jangkar arus searah (r_{dc}) merupakan nilai pendekatan karena saat kumparan jangkar mengalirkan arus bolak-balik maka nilai tahanan jangkar akan meningkat karena adanya efek kulit. Sehingga perlu diketahui nilai tahanan jangkar efektif yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$r_{a \text{ efektif}} = k \cdot r_{dc}$$

dengan $k = 1,2$ s/d $1,3$

Pengukuran tahanan jangkar arus searah (r_{dc}) pada penulisan ini menggunakan metode voltmeter-ampere-meter dengan kumparan jangkar terhubung bintang.¹⁰

2.3. AVR

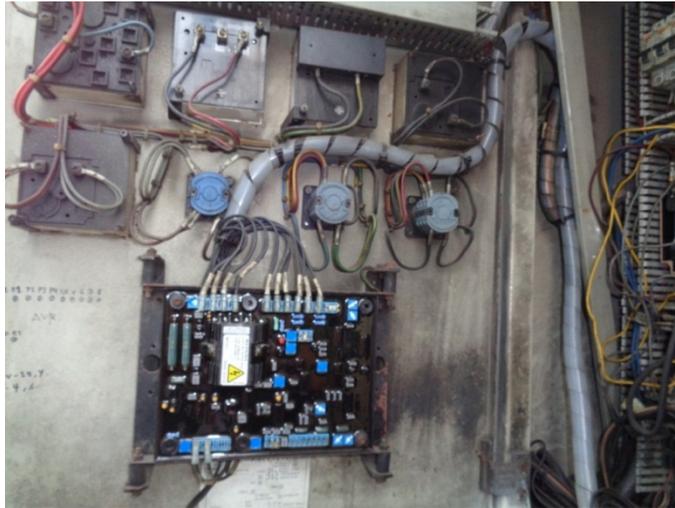
AVR (*Automatic Voltage Regulator*) adalah suatu perangkat yang dipasang pada generator yang dapat bekerja secara otomatis mengatur tegangan atau amplitudo gelombang yang dihasilkan agar tegangan generator tetap konstan¹¹ dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator.



Gambar 2.13, AVR pada MX321

¹⁰Sumanto. (1992). *Mesin Sinkron*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta

¹¹Indah Chaerah Gunadin. 2008. *Analisis Penerapan PID Controller pada AVR*. Vol



Gambar 2.14, AVR pada Generator RTG 05

Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Dan juga sebaliknya apabila tegangan output Generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output Generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis.

Pengatur tegangan AVR MX321, merupakan AVR jenis thyristor, dimana daya masukan adalah sumber tiga fasa dari PMG yang kemudian disearahkan oleh *power rectifier* yang terdiri dari penyearah thyristor yang

merupakan bagian dari AVR MX321. Disamping sebagai pengatur tegangan rangkaian AVR juga dilengkapi alat pengontrol untuk menjamin keandalan dari generator. AVR dihubungkan dengan belitan stator generator utama melalui isolating transformer yang berfungsi mengontrol daya yang disuplai pada stator eksiter dan sampai pada belitan rotor generator utama untuk menjaga tegangan keluaran pada batas yang ditetapkan.

Tugas utama AVR ini adalah :

- a. Untuk mengatur keluaran tegangan generator
- b. Untuk mengatur arus eksitasi
- c. Untuk mengatur volt/Hertz

2.3.1. Wiring dan Bagian – Bagian AVR

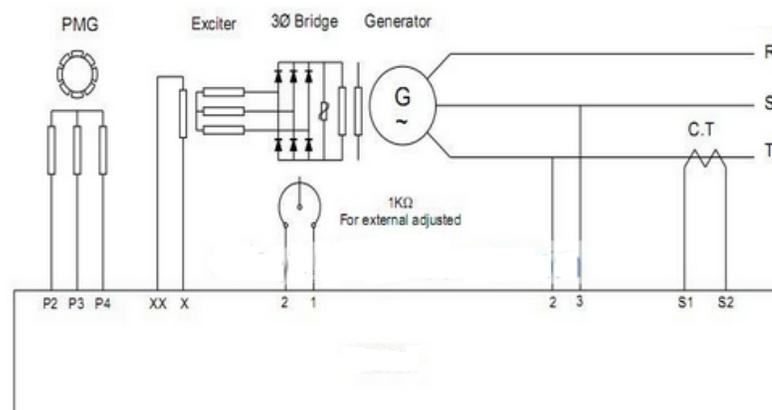
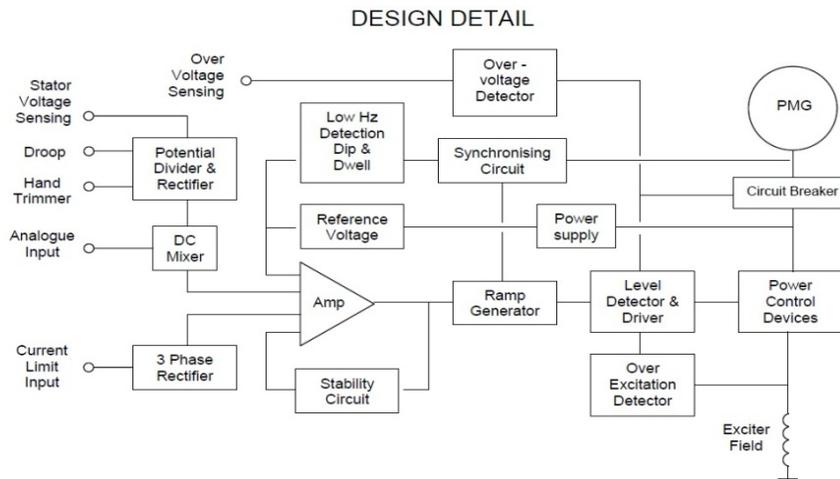


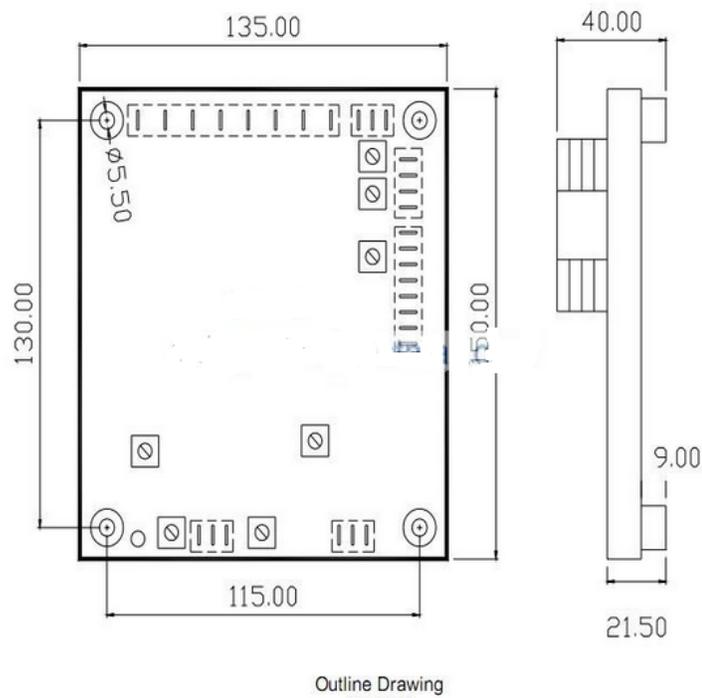
Figure 3 Wiring Drawing

Gambar 2.15, Wiring Drawing AVR MX321 ¹²

¹² Stamford.(2003). *MX321 Automatic Voltage Regulator*.England:Newage International Limited.



Gambar 2.16, Skematik AVR MX321¹³



Gambar 2.17, Wiring Outline AVR MX321¹⁴

¹³Stamford.(2003). *MX321 Automatic Voltage Regulator*.England:Newage International Limited.

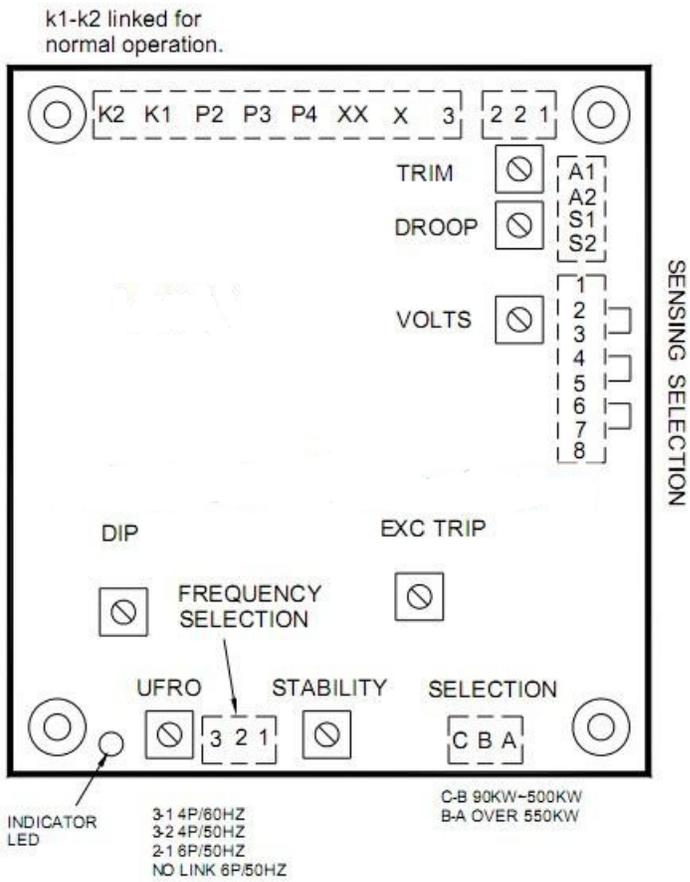
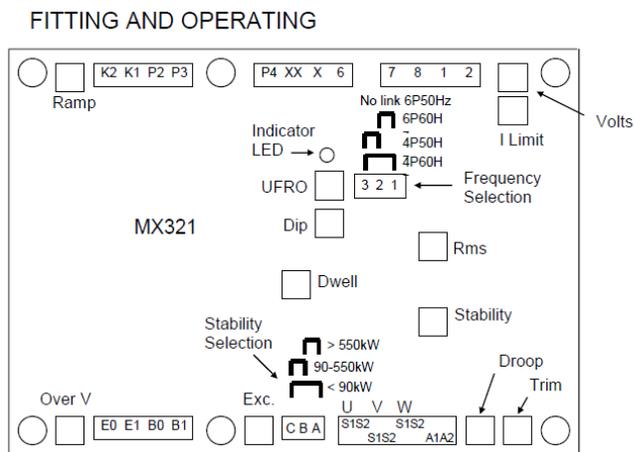


Figure 2 Jisposition Drawing

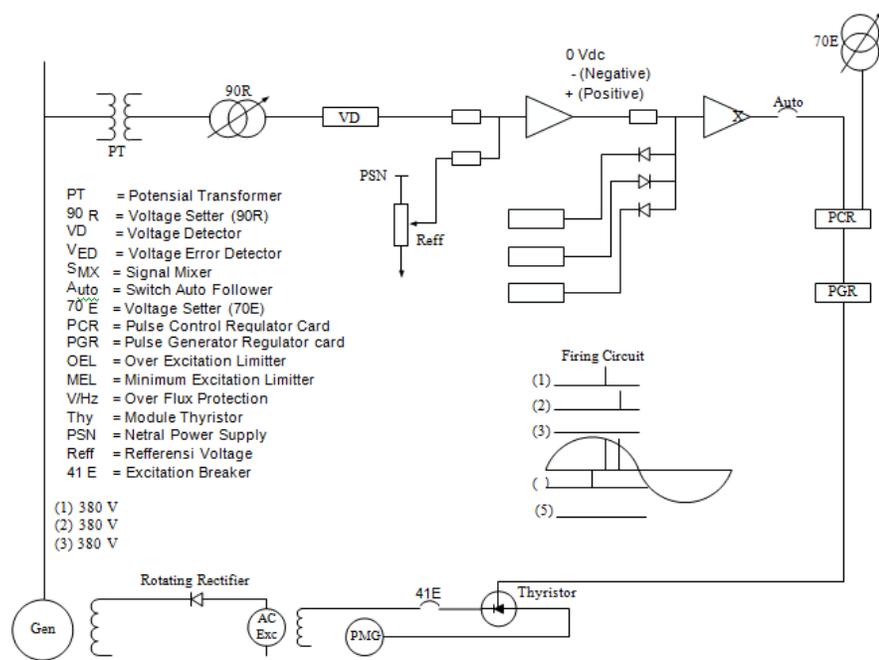
Gambar 2.18, Wiring Jisposition Drawing AVR MX321¹⁵

¹⁴Stamford.(2003). *MX321 Automatic Voltage Regulator*.England:Newage International Limited.

¹⁵ Manual Book RTG 05



Gambar 2.19, Penempatan AVR MX321¹⁶



Gambar 2.20, Diagram prinsip kerja AVR MX321¹⁷

¹⁶Stamford.(2003). *MX321 Automatic Voltage Regulator*.England:Newage International Limited.

¹⁷Stamford.(2003). *MX321 Automatic Voltage Regulator*.England:NewageInternational Limited.

Berikut bagian dari AVR :

a. Potensial Divider and Rectifier

Potensial Divider and Rectifier berfungsi menerima sinyal tegangan AC keluaran generator utama sedangkan Rectifier berfungsi mengubah sinyal tegangan AC menjadi tegangan DC untuk dikuatkan pada Amplifier.

b. 3 Phase Rectifier

3 Phase Rectifier berfungsi memonitor arus keluaran generator utama, yang merupakan penyearah tiga fasa yang mengubah sinyal AC menjadi sinyal DC.

c. Amplifier

Amplifier berfungsi membandingkan tegangan keluaran generator utama dengan tegangan referensi dan selisihnya (error) akan dikuatkan ke *error detector* untuk memberikan sinyal control untuk *power control device*. *Ramp generator* dan *level detector* berfungsi mengontrol periode konduksi dari *power control device* untuk menjaga tegangan nominal. *Ramp generator* adalah sirkuit yang menghasilkan tegangan yang meningkat secara linear selama satu siklus dan kembali ke nol untuk memulai siklus berikutnya.

d. Power Supply

Powersupply berfungsi menyediakan daya untuk rangkaian AVR

e. Synchronising Circuit

SynchronisingCircuit atau UFRO (*Under Frequency Roll Off*) berfungsi menjaga hubungan antara tegangan dan hubungan tetap konstan (volts/hz). Avr berkordinasi dengan system proteksi putaran rendah yang memberikan karakteristik Volts/Hz ketika putaran generator di bawah set point, frekuensi minimum disetting pada level 43 Hz

f. Power Control Device

Power control device berfungsi mengatur atau mengubah besarnya arus eksitasi yang disuplai pada rotor eksiter setelah mendapat sinyal dari *amplifier*

g. Exciter

Sistem eksitasi merupakan sitem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator atau sebagai pembangkit medan magnet sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi. Sistem Eksitasi ini dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

1. Sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (brush excitation)
 - a. Sumber tenaga listriknya berasal dari generator DC atau AC yang disearahkan dengan menggunakan rectifier.
 - b. Jika menggunakan sumber listrik yang berasal dari generator AC atau menggunakan magnet permanen maka medan magnetnya merupakan magnet permanen.
 - c. Slip ring pada sistem brush excitation ini berfungsi untuk mengalirkan arus eksitasi dari main *exciter* ke rotor generator, demikian pula dari pilot *exciter* ke main *exciter*.

2. Sistem Eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*)

Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator memiliki kelemahan karena arus yang dialirkan nilainya kecil maka dari itu digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*).Sistem seperti ini sering disebut juga sebagai pilot *exciter*.

Beberapa keuntungan sistem eksitasi tanpa sikat:

- Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh melalui poros utama sehingga efisiensinya tinggi.

- Biaya perawatan relatif berkurang karena tidak terdapat sikat, komutator, dan slip ring.
- Selama masa pengoperasian tidak diperlukan pengganti sikat.
- Pemutus medan generator, field generator, dan bus *exciter* atau kabel tidak diperlukan lagi.

h. *Circuit Breaker*

Circuit Breaker berfungsi memutus daya pada AVR dan generator eksiter jika terjadi gangguan tegangan lebih atau gangguan eksitasi lebih.

i. *Thyristor Rectifier / SCR*

Thyristor Rectifier merupakan penyearah thyristor konverter gelombang penuh 3 fasa, berfungsi mengubah arus bolak balik menjadi arus searah agar dapat digunakan sebagai sumber eksitasi pada generator eksiter. Dengan menggunakan penyearah thyristor, maka besarnya arus eksitasi dapat diatur dengan cara mengatur sudut penyalaan thyristor. Peralatan yang mengubah-ubah sudut penyalaan dilakukan oleh peralatan control yang terdapat pada AVR yaitu *Power Control Device*.

Prinsip kerja dari penyearah thyristor adalah melewatkan arus sesuai dengan besarnya sudut penyalan yang diberikan pada gerbangnya.

j. Over Excitation Detector

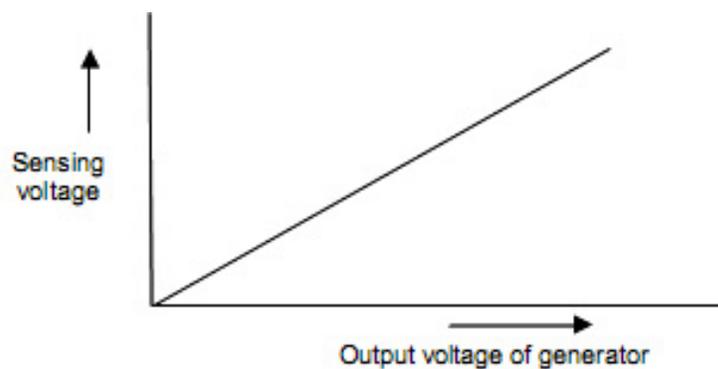
Over Excitation Detector berfungsi memonitor tegangan eksitasi yang disuplai pada eksiter. Tegangan eksitasi maksimum dibatasi atau disetting pada level 70 Volt +/- 5%. Jika terjadi kenaikan tegangan eksitasi melebihi nilai settingan maka *Over Excitation Detector* memberikan sinyal untuk membuka *excitation Circuit Breaker*.

k. Over Voltage Detector

Over voltage detector memiliki peran utama untuk mendeteksi bilamana terjadi kenaikan atau penurunan daya output pada generator. Dimana pada AVR terdapat suatu nilai tegangan referensi sehingga dapat terdeteksi jika adanya kenaikan atau penurunan yang melebihi batas toleransi dari tegangan referensitersebut.

Over voltage detector mempunyai respon yang cepat terhadap perubahan tegangan output generator dengan fungsi memonitor tegangan pada terminal keluaran generator utama dan memberikan sinyal untuk membuka *Circuit Breaker* (*excitation circuit breaker*) untuk memutuskan daya pada eksiter dan AVR pada saat terjadi

tegangan lebih pada generator utama. Alat proteksi tegangan lebih disetting pada level $437 \pm 5\%$. Terminal AVR dihubungkan pada kumparan stator generator utama dan output tegangan respon berbanding lurus dengan output tegangan generator seperti gambar berikut :



Gambar 2.21, Grafik hubungan sensing tegangan terhadap output generator ¹⁸

2.4. Teori Dasar Motor Listrik

Motor listrik termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat

¹⁸Brian Kristianto. Automatic Voltage Regulator. 2013 Diakses <http://blogs.itb.ac.id/e12244k0112211049briankristianto1/2013/04/27/automatic-voltage-regulator/> pada tanggal 11 April 2014

bahan, dll di industri dan digunakan juga pada peralatan listrik rumah tangga (seperti: mixer, bor listrik, kipas angin).

Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri, sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama, yaitu:

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok:

- Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsi nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.
- Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.4.1. Motor Arus Bolak– Balik (AC)

Motor AC adalah motor yang menggunakan sumber tegangan AC dan menggunakan electromagnet. *Rotating field* menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan yang dibangkitkan, yang umumnya sebesar 18.000 sampai 24.000 V. Motor AC mempunyai jangkar yang disebut stator. Lilitan stator tiga– fase langsung dihubungkan dengan beban tanpa melalui slip ring dan sikat. Hal ini memudahkan isolasi kumparan karena kumparan tidak dikenai gaya sentrifugal. Metode yang berbeda dari penguatan medan telah dibuat dan digunakan. Menggunakan sistem penguatan tanpa sikat pada motor AC kecil yang dipasangkan pada poros yang sama seperti motor utama, digunakan sebagai penguat. Penguat AC mempunyai jangkar

putar. Output jangkar disearahkan dengan *diode solid state* yang juga di pasang pada poros utama. Output yang disearahkan dari penguat AC dimasukkan langsung dengan menggunakan hubungan yang diisolasi sepanjang poros pada medan motor sinkron yang berputar. Medan penguat AC adalah tetap dan disuplai dari sumber DC yang terpisah. Akibatnya, output penguat AC dan tegangan yang dibangkitkan dari motor sinkron yang dikontrol dengan mengubah kekuatan medan dari penguat AC melalui pengaturan rheostat medan.

Kecepatan dan jumlah kutub derajat AC menentukan frekuensi tegangan yang dibangkitkan. Jika motor mempunyai dua kutub (utara dan selatan) dan kumparan berputar pada kecepatan satu putaran perdetik, maka frekuensi akan berubah manjadi siklus per detik. Rumus untuk mementukan frekuensi generator adalah :

$$f = \frac{pn}{120} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

f = Frekuensi tegangan yang diinduksikan (Hz)

p = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan rotor per menit (r / menit)

Daya polyphase sangat berguna dalam AC motor, seperti motor induksi, di mana ia menghasilkan berputar medan magnet. Ketika pasokan tiga fase menyelesaikan satu siklus penuh, medan magnet motor dua-kutub-

per-fase memiliki dirotasi 360. Motor induksi menggunakan medan magnet berputar secara independen ditemukan oleh Galileo Ferraris dan Nikola Tesla (1885 - 1887) dan dikembangkan dalam bentuk tiga fase oleh Mikhail Dolivo-Dobrovolsky. Pada tahun 1889¹⁹ Sebelumnya semua motor komersial yang menggunakan DC, dengan harga komutator yang mahal , biaya pemeliharaan *brush* tinggi dan karakteristik cocok untuk operasi pada jaringan arus bolak balik. Motor polyphase sederhana memiliki sedikit getaran dibandingkan dengan motor fase tunggal.

Motor AC mempunyai karakteristik yang mengatur penggunaanya sebagai berikut:

1. Pemeliharaan lebih mudah
2. Harga lebih murah
3. Biaya perbaikan lebih murah
4. Ada berbagai bentuk display untuk berbagai lingkungan pengoperasian.

2.4.2. Motor Arus Searah (DC)

Motor DC adalah motor yang menggunakan sumber tegangan DC dan pada umumnya digunakan pada torsi yang relatif kecil dan menggunakan magnet permanen. Di awal penggunaan listrik, arus listrik langsung (Direct

¹⁹ Ion Boldea, Syed Abu Nassar, The Induction Machine Handbook: CRC Press, halaman 2

Current atau DC) mendominasi distribusi listrik di Amerika Serikat. DC merupakan pilihan Edison dimana perusahaannya, General Electric, mendominasi penjualan peralatan listrik. DC merupakan arus listrik yang fleksibel karena dapat menyalakan alat listrik dengan voltase rendah ataupun tinggi. Di samping itu, listrik DC dapat disimpan dalam sebuah baterai.

Namun demikian DC memiliki kelemahan. Generator listrik harus berada paling jauh 1 mil dari pengguna listrik. Jika tidak, ada kecenderungan voltase akan drop karena besarnya gesekan antara listrik dengan konduktornya. Oleh sebab itu, di setiap area dibutuhkan generator listrik tersendiri. Di samping itu, DC tidak mudah diubah voltasenya sehingga setiap voltase harus dihasilkan oleh satu generator listrik tersendiri. Misalnya diperlukan listrik dengan tiga voltase berbeda maka harus disediakan tiga generator listrik yang menghasilkan voltase berbeda. Oleh sebab itu, kabel yang membawa listrik tersebut memiliki diameter lebih dari 10 cm karena membawa listrik berbagai voltase. Dan biaya untuk hal ini tentu sangat mahal²⁰.

Karakteristik motor DC :

- Pemeliharaan dan perbaikan yang diperlukan lebih rutin

²⁰ Mirza Shahreza. Karakteristik Motor. 2013. Diakses <http://mirza-shahreza.blogspot.com/2013/10/seri-politik-dalam-kehidupan.html> (diakses pada tanggal 25 November 2013)

- Lebih mahal dibandingkan motor AC
- Torsi tinggi pada kecepatan rendah
- Kemampuan mengatasi beban lebih baik

Motor DC memiliki 3 komponen utama :

1. Kutub medan
2. Dynamo
3. Komutator

Motor DC dengan penguat medan

Karakteristik adalah sebuah gambar grafik yang menyatakan hubungan antara dua nilai listrik yang menentukan sifat sebuah mesin.

Berikut macam-macam karakteristik yang dimiliki generator DC :

- berbeban,
- luar,
- pengatur,
- hubung singkat,

A. Motor penguat sendiri

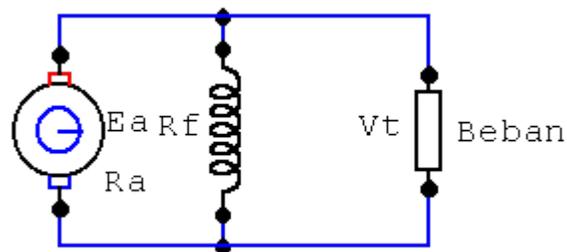
Generator penguatan sendiri adalah arus listrik yang dialirkan melalui kumparan penguat medan R_f yang diambil dari output generator tersebut.

Biasanya generator ini dibuat sedemikian rupa sehingga dapat memberikan penguatan sendiri.

Sebelum dapat bekerja dengan penguatan sendiri, biasanya kutub-kutub magnet harus diberi penguat untuk mendapatkan remenensi magnet (magnet sisa) dari suatu sumber lain. Sisa magnet kecil ini membangkitkan tegangan pada jangkar yang selanjutnya dikembalikan lagi ke dalam belitan medan untuk memperkuat medan magnetnya, sehingga dengan demikian tegangan yang dibangkitkan dalam jangkar akan lebih besar. Demikian seterusnya hingga didapat tegangan yang cukup.

Ditinjau dari cara-cara menghubungkan lilitan-lilitan medan dengan jangkar dan rangkaian luar atau jala-jala generator, penguatan sendiri ini dibagi menjadi:

1. Generator Shunt, Ciri utama generator shunt adalah kumparan penguat medan dipasang paralel terhadap kumparan jangkar.

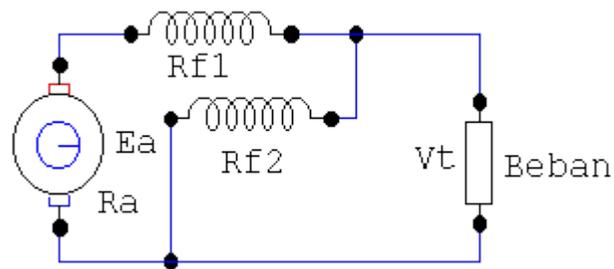


Gambar 2.22, Generator Shunt ²¹

2. Generator seri, Pada generator ini kumparan medan diseri dengan kumparan jangkarnya, sehingga medannya mendapat pengautan jika arus bebannya ada, itu sebabnya generator seri selalau terkopel dengan bebannya, kalau tidak demikian maka tegangan terminal tidak akan muncul.

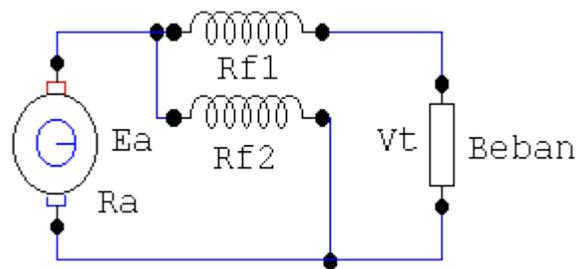
3. Generator kompon, Generator kompon merupakan gabungan dari generator shunt dan generator seri, yang dilengkapi dengan kumparan shunt dan seri dengan sifat yang dimiliki merupakan gabungan dari keduanya. Generator kompon bisa dihubungkan sebagai kompon pendek atau dalam kompon panjang. Perbedaan dari kedua hubungan ini hampir tidak ada, karena tahanan kumparan seri kecil, sehingga tegangan drop pada kumparan ini ditinjau dari dari tegangan terminal kecil sekali dan terpengaruh.

- Kompon panjang



Gambar 2.23, Kompon panjang

- Kompon pendek



Gambar 2.24, Kompon Pendek

2.5. Alat Ukur

Dalam fisika dan teknik, pengukuran merupakan aktivitas yang membandingkan kuantitas fisik dari objek dan kejadian dunia-nyata. Menurut acuan Kamus Besar Bahasa Indonesia pengukuran adalah proses, cara, perbuatan mengukur²². Alat pengukur adalah alat yang digunakan untuk mengukur benda atau kejadian tersebut. Seluruh alat pengukur dapat melakukan kesalahan perhitungan. Bidang ilmu yang mempelajari cara-cara pengukuran dinamakan metrologi.

Untuk berhasil melaksanakan berbagai prosedur pengujian dalam pengukuran tegangan tinggi, direkomendasikan untuk menggunakan alat alat pengukuran berikut;

²²Alwi, Hasan. (2007). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka

1. Multimeter

Multimeter adalah instrumen tes komprehensif untuk mengukur tegangan, arus dan hambatan. Multimeter ini harus mampu mengukur rentang sebagai berikut:

Tegangan AC	0-250-500-1000 Volt
Tegangan DC	0-25-100-250 Volt
Ampere DC	0-10 Ampere
Hambatan DC	0-10k (ohm) atau 0-2k (ohm)
	0-100k (ohm) atau 0-20k (ohm)
	0-1M (ohm) atau 0-200k (ohm)

Multimeter Analog:



Gambar 2.25, Multimeter Analog

Multimeter Digital :



Gambar 2.26, Multimeter Digital

2. Tachometer atau Pengukur Frekuensi

Instrumen ini berfungsi untuk mengukur kecepatan poros dari alternator dan harus mampu mengukur kecepatan antara 0 dan 5000 putaran per menit (RPM). Sebuah alternatif untuk tachometer adalah frekuensi meter. Namun Generator harus beroperasi pada tegangan output normal agar instrumen untuk ini menjadi akurat.

Tachometer :



Gambar 2.27, Tachometer

3. Mega Ohm Meter (Megger)

Mega Ohm Meter atau yang biasa disebut megger merupakan salah satu alat ukur yang berfungsi untuk mengukur tahan isolasi dari suatu instalasi atau untuk mengetahui apakah penghantar dari suatu instalasi terdapat hubung langsung, apakah antara fasa dengan fasa atau dengan nol (tanah), dan menghasilkan tegangan 500V atau 1000V.

Mega Ohm Meter :



Gambar 2.28, Mega Ohm Meter

4. Clip-On Ammeter (Clampmeter)

Digunakan untuk mengukur arus AC, terdiri dari sepasang kaliper, yang dijepit di sekitar konduktor, memberikan indikasi ampere mengalir di konduktor. Rentangan tegangan pada clampmeter ini adalah:

A C Amps

0-10-50-100-250-500-1000

Clip-On Ammeter (Clampmeter):



Gambar 2.29, Clip-On Ammeter (Clampmeter)

5. Vibration Meter

Vibration Meter adalah alat pengukur getaran, Vibration meter biasanya bentuknya kecil dan ringan sehingga mudah dibawa dan dioperasikan dengan battery serta dapat mengambil data getaran pada suatu mesin dengan cepat. Pada umumnya terdiri dari sebuah probe, kabel dan meter untuk menampilkan harga getaran. Alat ini juga dilengkapi dengan switch selector untuk memilih parameter getaran yang akan diukur.

Vibration Meter:



Gambar 2.30, Vibration Meter

6. Thermometer Gun

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu. Istilah termometer berasal dari bahasa Latin *thermo* yang berarti panas dan meter yang berarti untuk mengukur.

Termometer Gun mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (biasanya inframerah) yang dipancarkan objek. Kadang disebut termometer laser jika menggunakan laser untuk membantu pekerjaan pengukuran, atau termometer tanpa sentuhan untuk menggambarkan kemampuan alat mengukur suhu dari jarak jauh. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya, Temperatur objek dapat dibedakan.

Desain utama terdiri dari lensa pemfokus energi inframerah pada detektor, yang mengubah energi menjadi sinyal elektrik yang bisa ditunjukkan dalam unit temperatur setelah disesuaikan dengan variasi

temperatur lingkungan. Konfigurasi fasilitas pengukur suhu ini bekerja dari jarak jauh tanpa menyentuh objek. Dengan demikian, termometer inframerah berguna mengukur suhu pada keadaan dimana termokopel atau sensor tipe lainnya tidak dapat digunakan atau tidak menghasilkan suhu yang akurat untuk beberapa keperluan.²³

Thermometer Gun:



Gambar 2.31, Thermometer Gun

2.6. Kriteria Keandalan AVR MX321

Sesuai dengan spesifikasi teknis yang di keluarkan oleh Stamford, AVR MX321 masih dapat dikatakan berfungsi baik apabila memenuhi kriteria²⁴ :

²³ Anonim. Thermometer. 2011. Diakses <http://id.wikipedia.org/wiki/Thermometer> pada tanggal 9 September 2013

²⁴ Stamford. 2003. *MX321 Automatic Voltage Regulator*. England: Newage International Limited.

a. Sensing Input

Voltage 190-264V ac max, 2 or 3 phase

Frequency 50-60 Hz nominal

b. Power Input (PMG)

Voltage 170-220V ac max, 3 phase, 3 wire

Current 3A/phase

Frequency 100-120 Hz nominal

c. Output

Voltage max 120V dc

BAB III ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data ini menggunakan metode pengukuran dengan desain eksperimen dan wawancara dengan teknisi terkait. Agar eksperimen ini dapat menghasilkan data-data yang akurat maka perlu dilakukan langkah-langkah eksperimen yaitu : persiapan penelitian, penyetingan alat, pelaksanaan pengambilan data dan pencatatan data.

Adapun alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

1. AVR MX 321 sebagai obyek penelitian
2. Generator Stamford pada RTG 05
3. Multimeter untuk mengukur tegangan, arus dan hambatan

3.2. Pembahasan

Dimulai dengan penyetingan alat, langkah ini sebagai standarisasi alat untuk mendapatkan data hasil penelitian yang akurat dan valid. Adapun hal-hal penting yang dilakukan dalam penyetingan alat adalah sebagai berikut :

1. Kalibrasi alat
2. Pemanasan generator setelah di setting dan dihidupkan selama beberapa menit agar kondisi kerja maksimal
3. Mengakifkan alat dalam kondisi on load dan off load

4. Melakukan berbagai instrumen pengukuran
5. Mencatat hasil pengukuran yang telah dilakukan
6. Evaluasi dengan mekanikserta melihat data historical alat

3.3. Hasil Pengukuran

Indikator Pengukuran		Hasil Pengukuran
Sensing Input	Tegangan	238 VAC
	Frekuensi	58 Hz
Power Input (PMG)	Tegangan	212 VAC
	Arus	2.95A/fasa
	Frekuensi	122 Hz

Tabel 1. Hasil pengukuran 1

Indikator Pengukuran		Hasil Pengukuran
Sensing Input	Tegangan	241 VAC
	Frekuensi	61 Hz
Power Input (PMG)	Tegangan	208 VAC
	Arus	3A/fasa
	Frekuensi	120 Hz

Tabel 2. Hasil pengukuran 2

Indikator Pengukuran		Hasil Pengukuran
Sensing Input	Tegangan	241 VAC
	Frekuensi	61 Hz
Power Input (PMG)	Tegangan	210 VAC
	Arus	3.05A/fasa
	Frekuensi	118 Hz

Tabel 3. Hasil pengukuran 3

Indikator Pengukuran		Hasil Pengukuran
Sensing Input	Tegangan	240 VAC
	Frekuensi	60 Hz
Power Input (PMG)	Tegangan	210 VAC
	Arus	3A/fasa
	Frekuensi	120 Hz

Tabel 4. Rata – Rata Hasil pengukura

BAB IV PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan diatas adalah :

- Untuk mengetahui kinerja alat AVR MX 321 pada RTG 05 apakah masih berfungsi dengan baik untuk menstabilkan tegangan pada generator, dengan cara melakukan pengukuran besaran-besarnya itu tegangan, arus, dan frekuensi
- AVR MX321 dalam keadaan baik karena hasil pengukuran menunjukkan kinerja AVR MX321 masih dalam tahap normal

4.2. Saran

Berdasarkan pembahasan diatas, saran yang dapat diajukan adalah :

- Agar perancangan analisis kinerja AVR MX 321 pada RTG 05 ditindaklanjuti sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk mencegah terjadinya kerusakan alat lebih lanjut
- Perlu dilakukan pengukuran secara berkala untuk mengetahui kinerja AVR MX321

DAFTAR PUSTAKA

- Adfha. 2011. *Pengertian Generator*. <http://adfha.blogspot.com/2011/10/normal-0-false-false-false-en-us-x-none.html>. [15 Des 2014]
- Ahmad, Rifaie. 2012. *Generator*. <http://superthowi.wordpress.com/2012/09/13/generator-2.html> [20 Des 2014]
- Alwi, Hasan. 2007. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Arindya, Radita. 2013. *Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Boldea, Ion dan Syed Abu Nassar. 2000. *The Induction Machine Handbook*. English: CRC Press.
- Fauzi, Muhamad. 2011. *Konstruksi Motor Ac*. <http://mylogicmind.blogspot.com/2011/03/konstruksi-motor-ac.html>. [12 Des 2014]
- [FT] Fakultas Teknik. 2012. *Buku Pedoman Skripsi/ Komprehensif/ Karya Inovatif (SI)*. Jakarta : Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- Gunadin, Indah Chaerah. 2008. *Analisis Penerapan PID Controller pada AVR*. Vol 3:156.
- Priandika. 2013. *Energi Dan Dasar Konversi Energi Elektrik*. <http://backupkuliah.blogspot.com/2013/08/generator-sinkron.html> [10 Des 2014]
- Kristianto, Brian. 2013. *Automatic Voltage Regulator*. <http://blogs.itb.ac.id/e12244k0112211049briankristianto1/2013/04/27/automatic-voltage-regulator.html>. [20 Des 2014]
- Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Masrudin. 2014. *Sistem Pengisian Alternator*. http://masruddin.freevar.com/sistem_pengisian/alternator.html [10 Des 2014]
- Palmer, Larry Ray. 2015. *What Is a Rubber Tyred Gantry Crane?*. <http://www.wisegEEK.com/what-is-a-rubber-tyred-gantry-crane.html>. [5 Des 2014]

Pramana, Kurniawan. 2011. *Generator Sinkron*. <http://kurniawanpramana.wordpress.com/2011/10/09/.html> [10 Des 2014]

Shahreza, mirza. 2013. *Seri Politik Dalam Kehidupan*. <http://mirza-shahreza.blogspot.com/2013/10/seri-politik-dalam-kehidupan.html>. [10 Des 2014]

Stamford. 2003. *MX321 Automatic Voltage Regulator*. England: Newage International Limited.

Sumanto. 1992. *Mesin Sinkron*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta.

Theraja, B.L dan A.K Theraja. 1989. *A Text Book Of Electrical Technology*. New Delhi: Nurja Construction & Development.