

**AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR GENERATOR
SINKRON 3 FASA MENGGUNAKAN METODE
HYSTERESIS**

TUGAS AKHIR



OLEH :

ADITYA REVIYANTO

02.50.0100

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA

SEMARANG

2007

PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul : “Automatic Voltage Regulator Dengan Kendali Hysteresis Untuk Generator Sinkron 3 Fasa” diajukan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana teknik elektro pada Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Laporan tugas akhir ini disetujui pada tanggal2007 dan siap untuk diajukan ke ujian sarjana.

Semarang,.....2007

Menyetujui / Mengetahui

Pembimbing,

Dekan Fakultas Teknoologi Industri,

Leonardus Heru P, ST, MT

Leonardus Heru P, ST, MT

N.P.P 058.1.2000.234

N.P.P 058.1.2000.234

ABSTRAK

Automatic Voltage Regulator adalah sebuah devais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. Prinsip kerja yang digunakan pada sistem penyetabilan tegangan ini adalah dengan mengatur tegangan keluaran DC dari exciter untuk kemudian diinjeksikan ke lilitan medan generator atau yang biasa disebut dengan eksitasi atau penguatan. Karena pengaturan sistem tegangan dari AVR ini maka tegangan keluaran dari exciter ini akan berubah-ubah tergantung dengan tegangan keluaran dari generator yang dibebani.

Kata kunci : AVR, Exciter, Eksitasi, Lilitan medan, tegangan DC



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada **Allah S.W.T** yang masih memberikan kesehatan kepada penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Penulis juga berterimakasih kepada orang-orang yang telah berjasa dalam membantu penulis secara moral, pengetahuan dan juga materiil dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Secara khusus penulis berterimakasih kepada :

1. **Kedua orang tua penulis Supriyono Hadi, BBM, SE dan Sussy Suzanna, Bsc** yang telah membesarkan penulis, memberikan kasih sayang yang tulus, memberikan dorongan moril dan materiil yang sangat besar dan mengajarkan kepada penulis arti hidup sesungguhnya.
2. **Ketiga adik penulis yaitu Cindy Dwianti, Rizky Adrianto, Riko Prianto.** Yang telah memberikan dukungan moril yang teramat sangat kepada penulis.
3. **Bpk Leonardus Heru Pratomo, ST, MT** selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri dan dosen pembimbing penulis yang telah memberikan banyak masukan dan arahan agar laporan tugas akhir ini terselesaikan dengan baik.
4. **Ananda Widya Rachmasari** yang telah memberikan dukungan moril yang memotivasi dan memacu penulis untuk segera menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Love you forever and ever babe.
5. **Seluruh keluarga besar penulis dari ayah dan ibu terutama kakek penulis drh. Halil Winitasasmita** yang mengharapkan penulis untuk cepat menyelesaikan tugas akhir ini dan ingin sekali melihat penulis menjadi seorang insinyur.
6. **Bpk Agung dan Bpk Amat** yang telah membantu penulis untuk lebih memahami tentang elektronika karena sebelumnya penulis benar-benar buta dalam elektronika.

7. Dr. Slamet Riyadi ST, MT; Dr. F. Budi ST, MT; Bpk Yulianto Tedjo P,ST, MT; Bpk Budi Harnadi ST, MT; Ibu Brenda C, ST, MT; Bpk F Hendra ST, MT; Bpk Erdhi ST, MT; Ibu Rissa Farid C, ST, MT; Bpk Haryono; Bpk Chondro, ST, Ibu Sintarsih; Bpk Djoko Suwarno; selaku dosen yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
8. Ibu Win, Ibu Susi, Bpk Mar selaku Tata usaha Fakultas Teknologi Industri yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan masalah administrasi dan selalu mendukung penulis agar segera menyelesaikan kuliah.
9. Bpk Yatno selaku teman serta pemberi dukungan moril kepada penulis yang membuat penulis senantiasa menjadi lebih bersemangat.
- 10. Tommy Subagja, Kornelius Budi Utomo, Satrio Pinandito, Setiawan, Dwi Setiarko, Bayu Murti, Jemmy Haris Setianto, Yoseph, Farid, Pita, Rachmad, Ambon 1, Ambon 2, Teddy, Brima, Rissa, Kirun, Emanuel, Rudi, Chandra, Adiansyah, Anton Subiakto, Aswin Budi, Hendi, Freddy, Yoel, Eko dan teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah bersama-sama berjuang untuk survive di Fakultas Teknologi Industri ini. Love u all guys.....**
11. Kakak-kakak angkatan 2001 yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.
12. Anak-anak angkatan 2003, 2004, 2005, dan 2006 yang mengenal dan tidak mengenal penulis. Cepat diselesaikan ya.....
13. Seluruh karyawan Universitas Katolik Soegijapranata.

Daftar Isi

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan	2
1.5 Metode Penulisan	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Dasar Teori	4
2.1 Rangkaian Daya.....	4
2.2 Sensor Tegangan.....	9
2.3 Sistem Kendali Hysteresis.....	11
2.4 Generator Sinkron.....	13
Bab 3 Implementasi AVR Dengan Kendali Hysteresis.....	17
3.1 Pendahuluan	17
3.2 Rangkaian Sensor Tegangan	17
3.3 Rangkaian Referensi dan Differential Amplifier.....	18

3.4	Rangkaian Kontrol Hysteresis.....	23
3.5	Rangkaian Sinkronisasi.....	25
3.6	Rangkaian Driver.....	26
3.7	Rangkaian Daya.....	27
	Bab 4 Hasil Pengujian dan Analisa AVR Dengan Kendali Hysteresis	29
4.1	Pengujian AVR Dengan AFG	29
4.1.1	Gelombang Keluaran di Hysteresis	29
4.1.2	Gelombang Keluaran di Rangkaian Sinkronisasi	30
4.1.3	Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Driver	31
4.1.4	Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya (Tanpa Switching)	32
4.1.5	Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya (Dengan Switching)	32
4.2	Pengujian AVR Dengan Perubahan RPM Motor DC	33
4.2.1	Gelombang Keluaran di Rangkaian Hysteresis	36
4.2.2	Gelombang Keluaran Mosfet (VDS)	37
4.2.3	Gelombang Keluaran Rangkaian Daya	38
4.3	Pengujian AVR Dengan Perubahan Beban	38
	Bab 5 Saran dan Kesimpulan.....	40
	Daftar Pustaka	41

DAFTAR GAMBAR

1. Gb 2.1 Rangkaian Daya	4
2. Gb 2-2 Rangkaian Daya Mode 1.....	5
3. Gb 2-3 Rangkaian Daya Mode 2.....	5
4. Gb 2.4 Mode 1 Pada Filter (t = closed).....	6
5. Gb 2.5 Mode 2 Pada Filter (t = open).....	6
6. Gb 2.6 Sensor Tegangan.....	9
7. Gb 2.7 Grafik Hysteresis.....	11
8. Gb 2.8 Rangkaian Hysteresis.....	12
9. Gb 3-1 Diagram Blok AVR.....	17
10. Gb 3-2 Rangkaian Sensor Tegangan.....	18
11. Gb 3-3 Rangkaian Referensi Differential Amplifier.....	19
12. Gb 3-4 Rangkaian Referensi Batas Atas.....	20
13. Gb 3-5 Rangkaian Referensi Batas Bawah.....	21
14. Gb 3-6 Rangkaian Differential Amplifier.....	21
15. Gb 3-7 Rangkaian Hysteresis.....	23
16. Gb 3-8 Rangkaian Sinkronisasi.....	26
17. Gb 3-9 Rangkaian Driver.....	27
18. Gb 3-10 Rangkaian Daya.....	28
19. Gb 4-1 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Hysteresis.....	29
20. Gb 4-2 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Sinkronisasi.....	30
21. Gb 4-3 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Driver.....	31
22. Gb 4-4 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Driver (2 Switching).....	31
23. Gb 4-5 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya Tanpa Kapasitor dan Switching.....	32
24. Gb 4-6 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya Tanpa Kapasitor (Sudah Switching).....	32
25. Gb 4-7 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Hysteresis.....	36
26. Gb 4-8 Gelombang Keluaran Mosfet (VDS 1).....	37
27. Gb 4-9 Gelombang Keluaran Mosfet (VDS 2).....	37
28. Gb 4-10 Gelombang Keluaran Rangkaian Daya (Pada Saat 12 VDC).....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1 Hasil Pengujian Alat.....	33
Tabel 4-2 Hasil Pengujian AVR dengan beban (sensor tegangan)	38



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Generator sinkron merupakan alat pembangkit tenaga listrik utama yang dipakai untuk mengkonversikan tenaga mekanis menjadi tenaga listrik. Masalah utama dari generator ini adalah tegangan keluaran yang berubah-ubah dikarenakan pembebanan pada terminal keluaran generator. Semakin banyak pembebanan yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin kecil. Karena hal tersebut berpengaruh secara langsung terhadap sistem kelistrikan maka perlu untuk dibuat suatu alat penyetabil tegangan generator yang bertujuan agar tegangan keluaran generator dapat lebih stabil dan konstan. Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai pengatur tegangan generator otomatis (automatic Voltage Regulator/ AVR) dengan kendali hysteresis yang bereferensi pada sistem satu fasa untuk mengatur tegangan eksitasi yang akan diinjeksikan pada lilitan medan yang bertujuan untuk menaikkan turunkan tegangan keluaran generator berdasarkan dari banyaknya pembebanan. Jika beban pada terminal keluaran ditambah, tegangan terminal keluaran generator akan berkurang maka AVR ini akan menaikkan tegangan eksitasi yang bertujuan untuk menaikkan tegangan terminal keluaran generator dengan maksud untuk menyetabilkan tegangan keluarannya.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas adalah cara untuk mengatur tegangan keluaran generator akibat efek pembebanan. Pengaturan tegangan keluaran ini yaitu dengan cara mengatur tegangan eksitasi yang diberikan pada lilitan medan.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah ini yaitu pengendalian tegangan keluaran dengan penggunaan metode hysteresis dan AC-DC Converter tipe asimetris.

1.4 Tujuan Penelitian Tugas Akhir

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengatur tegangan eksitasi generator yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran generator. Sedangkan manfaat bagi dunia akademis adalah agar dunia akademis dapat mengembangkan sistem kontrol eksitasi generator yang lebih stabil dan akurat jika dibandingkan dengan tugas akhir ini.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai adalah:

- a.) Studi literatur: dengan membaca buku-buku yang berhubungan erat dengan bidang daya dan kontrol.
- b.) Bimbingan: dengan diskusi maupun tanya jawab kepada dosen pembimbing, laboran maupun dosen-dosen lain.

- c.) Eksperimental : dengan cara penggabungan antara studi literatur dengan bimbingan yang kemudian diimplementasikan ke dalam suatu alat.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab:

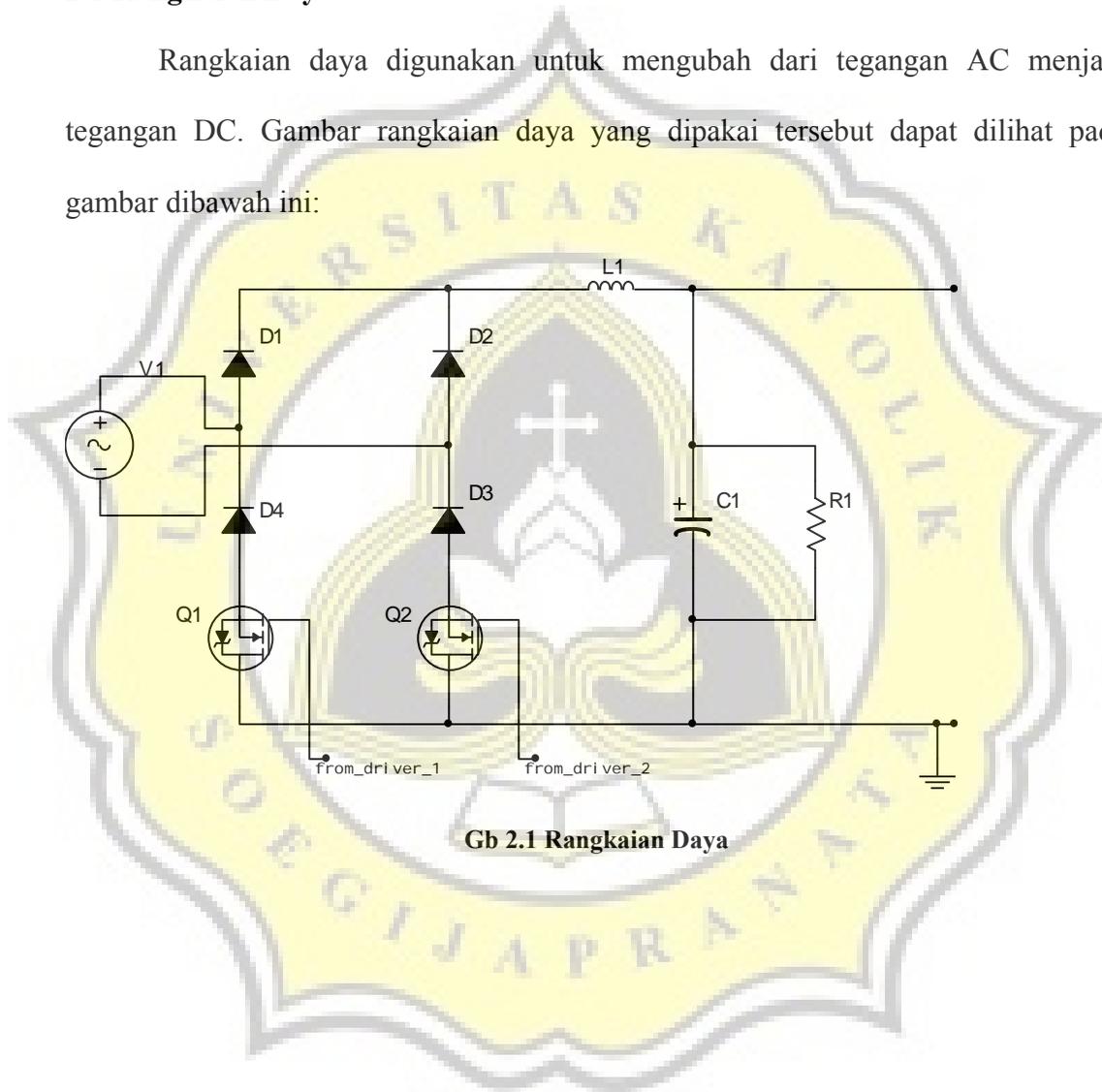
- A. BAB 1: Pendahuluan : yang berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, serta sistematika penelitian.
- B. BAB 2 : Dasar Teori : yang berisi tentang dasar teori dari rangkaian daya, rangkaian hysteresis, sensor tegangan, generator dan sistem eksitasi.
- C. BAB 3 : Implementasi AVR Dengan Kendali Hysteresis : yang berisi tentang pendahuluan, rangkaian sensor tegangan, rangkaian referensi tegangan dan error amplifier, rangkaian kontrol hysteresis, rangkaian driver dan daya.
- D. BAB 4 : Hasil Pengujian dan Analisa AVR Dengan Kendali Hysteresis : yang berisi tentang pengujian AVR tanpa beban (gelombang segitiga AFG) dan AVR dengan beban.
- E. BAB 5 : Penutup : yang berisi tentang kesimpulan dari tugas akhir yang dibuat oleh penulis serta saran-saran penulis untuk pengembangan alat ini selanjutnya.

BAB 2

DASAR TEORI

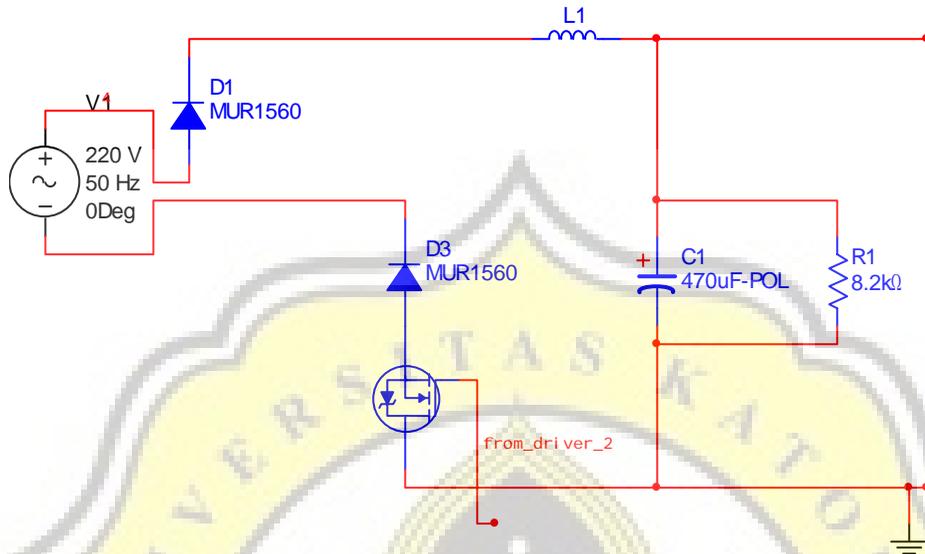
2.1 Rangkaian Daya

Rangkaian daya digunakan untuk mengubah dari tegangan AC menjadi tegangan DC. Gambar rangkaian daya yang dipakai tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



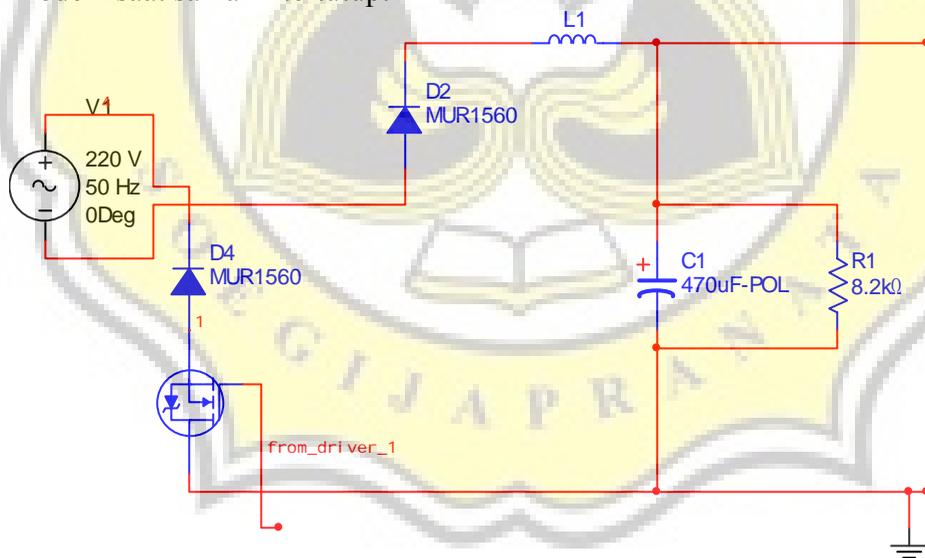
Gb 2.1 Rangkaian Daya

Mode 1 pada saat sakelar 2 tertutup:



Gb 2-2 Rangkaian Daya Mode 1

Mode 2 saat saklar 2 tertutup:

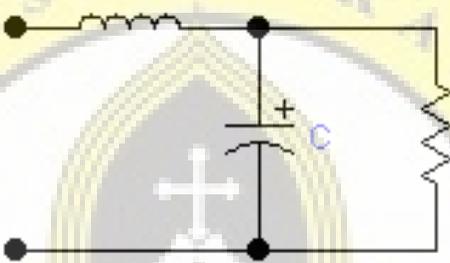
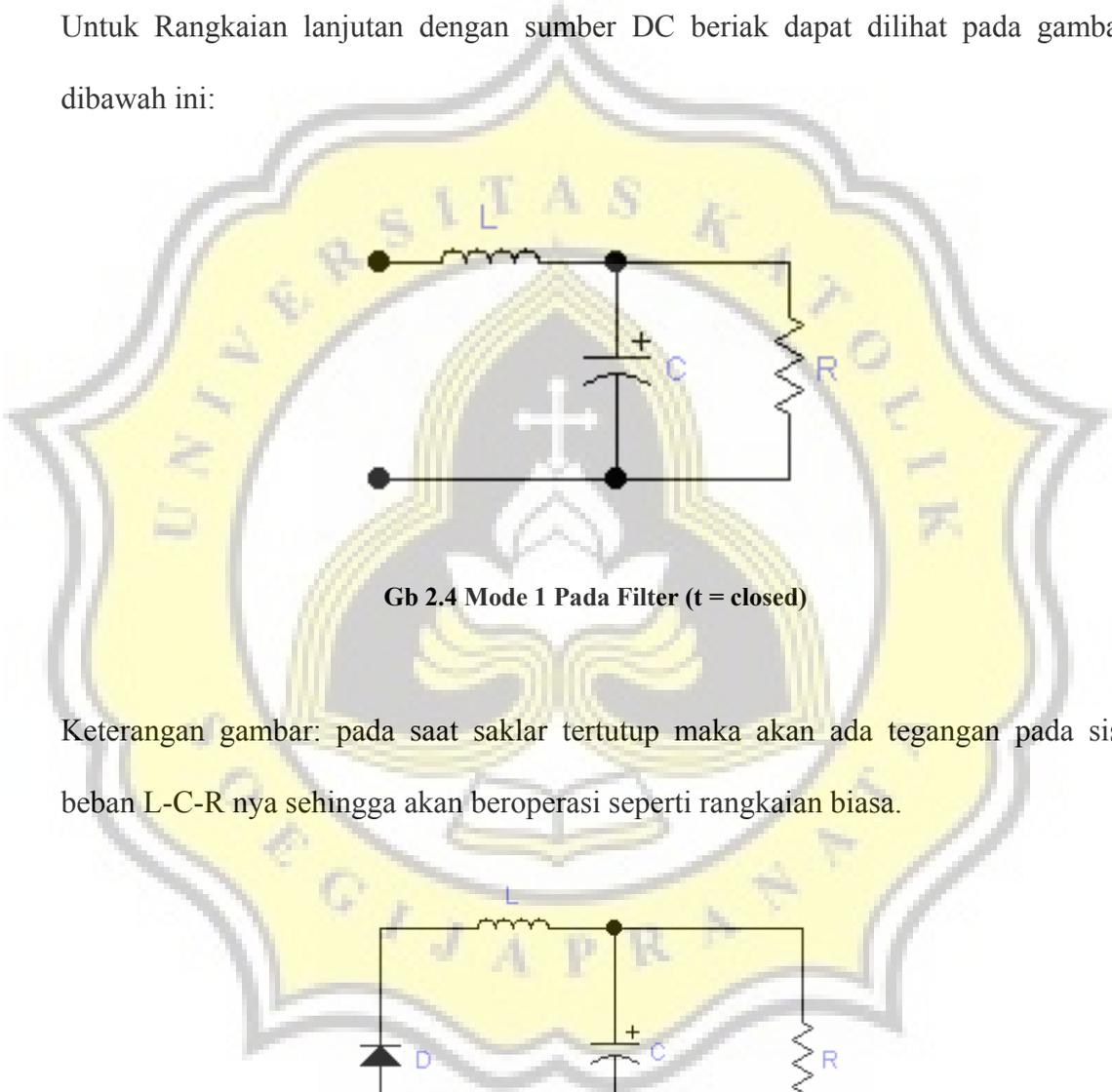


Gb 2-3 Rangkaian Daya Mode 2

atau rangkaian ekivalennya (sumber sudah disearahkan / sumber DC beriak) dengan nilai:

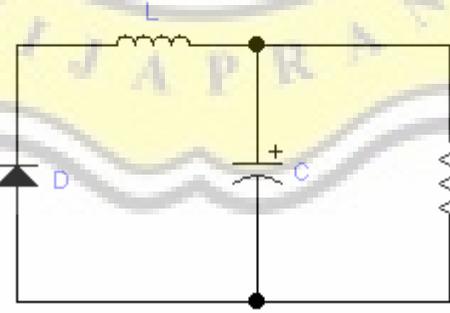
$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk Rangkaian lanjutan dengan sumber DC beriak dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gb 2.4 Mode 1 Pada Filter (t = closed)

Keterangan gambar: pada saat saklar tertutup maka akan ada tegangan pada sisi beban L-C-R nya sehingga akan beroperasi seperti rangkaian biasa.



Gb 2.5 Mode 2 Pada Filter (t = open)

Keterangan gambar: pada saat saklar terbuka dioda freewheeling akan mengalirkan arus yang dibuang dari inductor.

Tegangan diantara inductor L adalah:

$$E_L = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

Dianggap arus inductor meningkat secara linear dari I_1 ke I_2 pada waktu t_1

$$V_s - V_a = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \dots\dots\dots(3)$$

Atau

$$t_1 = \frac{\Delta I L}{V_s - V_a} \dots\dots\dots(4)$$

dan arus inductor turun secara linear dari I_2 ke I_1 pada waktu t_2

$$-V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \dots\dots\dots(5)$$

Atau

$$t_2 = \frac{\Delta I L}{V_a} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana $\Delta I = I_2 - I_1$ adalah arus ripple puncak ke puncak dari inductor L. Jika kita menghitung nilai dari ΔI pada persamaan di atas memberikan perhitungan :

$$\Delta I = \frac{(V_s - V_a)t_1}{L} = \frac{V_a t_2}{L} \dots\dots\dots(7)$$

Jika kita mensubtitusikan $t_1 = kT$ dan $t_2 = (1-k)T$ menghasilkan tegangan keluaran rata-rata yaitu:

$$V_a = V_s \frac{t_1}{T} = kV_s \dots\dots\dots(8)$$

Anggaplah rangkaian $V_s I_s = V_a I_a = k V_s I_a$ dan arus masukan rata-rata adalah:

$$I_s = k I_a \dots \dots \dots (9)$$

Dan periode switching T dapat dikatakan sebagai berikut :

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I L}{V_s - V_a} + \frac{\Delta I L}{V_a} = \frac{\Delta I L V_s}{V_a (V_s - V_a)} \dots \dots \dots (10)$$

Yang memberikan arus ripple puncak ke puncak sebesar:

$$\Delta I = \frac{V_a (V_s - V_a)}{f L V_s} \dots \dots \dots (11)$$

atau

$$\Delta I = \frac{V_s k (1 - k)}{f L} \dots \dots \dots (12)$$

menggunakan hukum arus kirchoff, dapat ditulis sebagai berikut:

$$i_L = i_c + i_o \dots \dots \dots (13)$$

jika dianggap Δi_o (arus ripple) adalah sangat kecil dan dapat diabaikan, $\Delta i_L = \Delta i_c$.

arus rata-rata kapasitor, yang mengalir ke dalam untuk $t_1/2 + t_2/2 = T/2$ adalah :

$$I_C = \frac{\Delta I}{4} \dots \dots \dots (14)$$

Maka tegangan kapasitor adalah:

$$V_C = \frac{i}{C} \int i_c dt + v_C (t = 0) \dots \dots \dots (15)$$

Dan tegangan ripple puncak ke puncak dari kapasitor adalah

$$\Delta V_C = v_C - v_C (t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I}{4} dt = \frac{\Delta I T}{8C} = \frac{\Delta I}{8fC} \dots \dots \dots (16)$$

jika nilai dari ΔI dari persamaan di atas disubstitusikan akan menghasilkan:

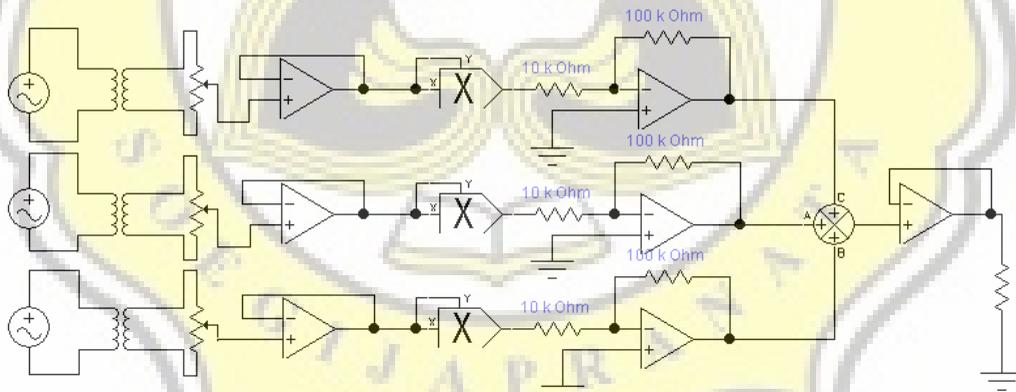
$$\Delta V_C = \frac{V_a(V_s - V_a)}{8LCf^2V_s} \dots\dots\dots(17)$$

atau

$$\Delta V_C = \frac{V_s k(1-k)}{8LCf^2} \dots\dots\dots(18)$$

2.2 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah devais untuk mendeteksi perubahan tegangan pada terminal keluaran. Sensor tegangan ini terdiri dari rangkaian buffer op-amp, multiplier, penguat membalik dan summer amplifier. Sensor ini dirancang untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC yang berubah terhadap perubahan beban secara cepat dan akurat.



Gb 2.6 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang diperlihatkan di atas merupakan peng-konversi tegangan AC ke tegangan DC dengan perhitungan sebagai berikut :

- jika sebuah tegangan AC masuk ke sebuah multiplier dengan 2 inputan yang kemudian tegangan tersebut dimasukkan pada 2 inputan tersebut (dikuadratkan) maka hasilnya adalah :

contoh : $V_i = 5 \sin 2\pi 50t$

maka keluaran dari multiplier (AD 633 JN) tersebut adalah :

$$V_o = \frac{V_i^2}{10} = \frac{5^2}{10} (\sin 2\pi 50t)^2$$

Dengan mengubah bilangan $(\sin 2\pi 50t)^2$ menjadi $\frac{1}{2} [\cos(A-B) - \cos(A+B)]$ maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_o = \frac{25}{10} \left[\frac{1}{2} - \frac{\cos 2\pi 50t}{2} \right]$$

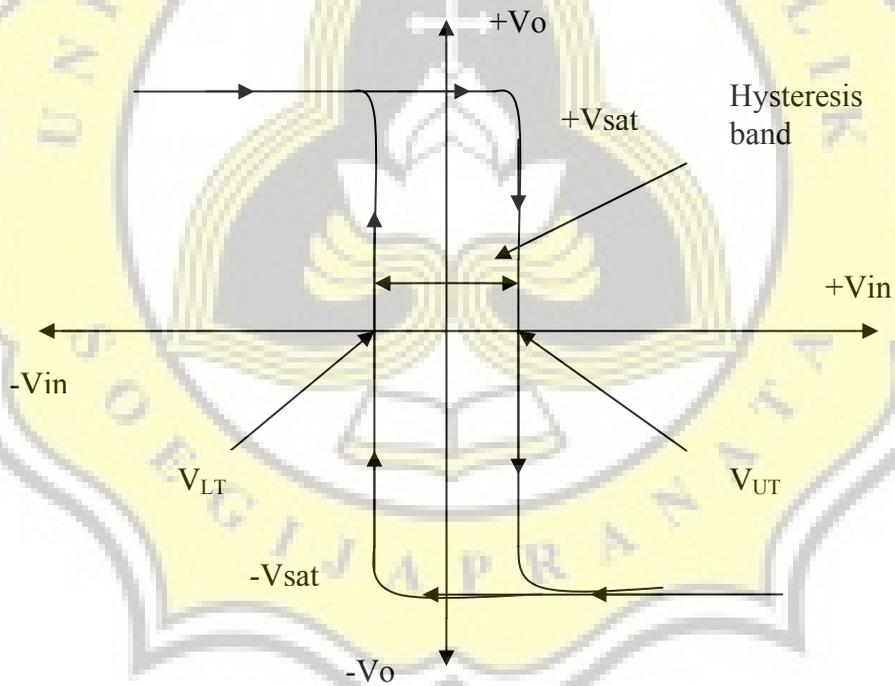
Yang kemudian dapat dikatakan menjadi seperti berikut:

$V_o = 1.25 - 1.25 \cos 2\pi 50t$ hal ini dapat dikatakan bahwa tegangan DC dari fungsi tegangan tersebut adalah 1.25 Vdc (seperti terlihat pada nilai angka yang ditekankan).

- Penjelasan sensor tegangan :
Setelah mendapatkan hasil diatas kemudian tegangan DC yang didapat dari tegangan AC tersebut dikuatkan membalik sebesar 10 kali, hal ini dikarenakan perkalian yang dilakukan dibagi 10 (karakteristik AD 633 JN). Setelah dikuatkan membalik sebesar 10 kali lalu hasil perkalian tersebut dijumlahkan dengan pengali lainnya (seperti diperlihatkan pada gambar). Setelah semua tegangan tersebut dijumlahkan lalu diberi buffer yang selanjutnya tegangan ini akan digunakan sebagai tegangan masukan actual.

2.3 Sistem Kendali Hysteresis

Pengertian dari sistem kendali hysteresis adalah sistem kendali on-off dengan menempatkan 2 posisi sebagai batas atas (V_{UT}) dan batas bawah (V_{LT}). karakteristik dari sistem kendali hysteresis ini yaitu jika tegangan masukan (V_{in}) lebih kecil dari tegangan batas bawah (V_{LT}) maka tegangan keluaran (V_o) dari sistem kendali ini adalah $+V_{sat}$ dan jika tegangan input (V_{in}) lebih besar daripada batas atas (V_{UT}) maka tegangan keluaran dari sistem kendali ini adalah $-V_{sat}$ yang jika digambarkan dalam satu grafik adalah sebagai berikut :



Gb 2.7 Grafik Hysteresis

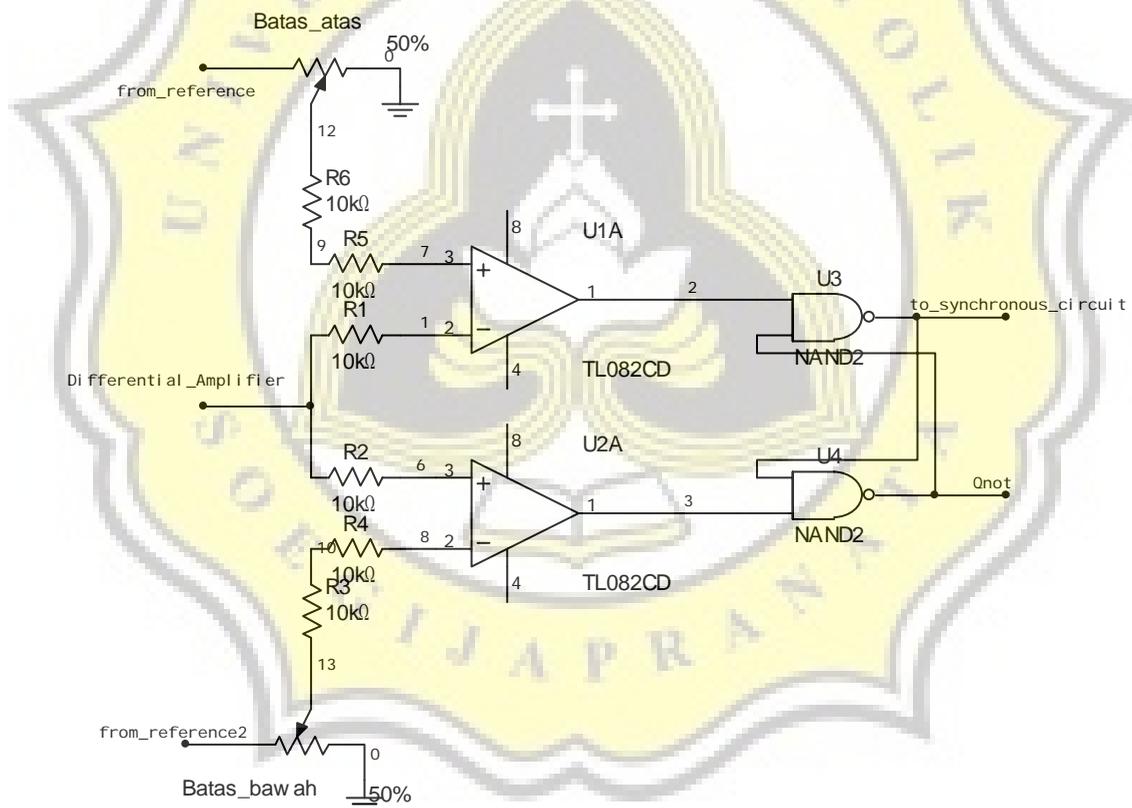
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa $V_{hysteresis}$ (Hysteresis band / pita hysteresis) adalah:

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} \dots \dots \dots (19)$$

Sebagai contohnya:

Jika $V_{UT} = 14 \text{ mV}$ dan $V_{LT} = -13 \text{ mV}$ maka V_H nya adalah $14 \text{ mV} - (-13 \text{ mV}) = 27 \text{ mV}$.

Karena sistem ini memiliki batas atas (V_{UT}) dan batas bawah (V_{LT}) maka tegangan masukannya (V_{in}) harus memotong batas atas dan bawah agar sistem kendali ini bekerja. Jika tegangan hysteresisnya lebih besar daripada tegangan riak puncak ke puncak masukannya maka tidak akan ada perpotongan batas atas dan batas bawah sehingga akan menghasilkan suatu nilai kesalahan.



Gb 2.8 Rangkaian Hysteresis

2.4 Generator Sinkron

Generator AC atau arus bolak-balik (juga disebut generator sinkron atau alternator) adalah sumber energi utama dari semua energi listrik yang kita pakai. Generator merupakan devais yang menggunakan magnet untuk mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik. Prinsip generator dengan sederhana dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor digerakkan pada medan magnet sehingga memotong garis gaya. Secara khusus dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja generator adalah dengan memotong garis gaya magnet dalam waktu tertentu secara berkesinambungan untuk menghasilkan fluks magnet yang akan menghasilkan gaya gerak listrik induksi (GGL induksi). Pada waktu memotong garis gaya magnet timbul GGL induksi tetapi tegangan yang dikeluarkan pada lilitan jangkar akan sangat kecil sehingga diperlukan suatu eksitasi atau penguatan untuk diinjeksikan pada lilitan medan yang berguna untuk memperkuat garis gaya magnet (menimbulkan medan magnet) tersebut. Untuk masalah eksitasi akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

Hukum yang mendasari prinsip kerja generator adalah hukum faraday yang berbunyi: *“sebuah konduktor yang digerakkan secara berkala, memotong garis gaya magnet akan menimbulkan fluks magnet dan akan menimbulkan tegangan induksi (GGL induksi).* Hukum tersebut secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$e = -\frac{d\lambda}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots(20)$$

dengan :

e = tegangan induksi

Generator digerakkan oleh beberapa jenis mesin mekanis (uap atau turbin air, mesin bensin, atau motor listrik). Hukum tangan kiri untuk generator menunjukkan hubungan arah arus bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari ditunjukkan pada arah gerakan penghantar, dan telunjuk ditunjukkan ke arah fluks, jari tengah akan menunjuk ke arah aliran electron yang terinduksi. Hukum ini juga dapat dipakai apabila magnet sebagai pengganti penghantar, digerakkan. Meskipun demikian, dalam hal ini ibu jari harus ditunjukkan ke arah gerakan penghantar relative.

Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar pada saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada:

- a.) Kekuatan medan magnet. Makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan.
- b.) Kecepatan penghantar yang memotong fluks. Bertambahnya kecepatan penghantar menambah besarnya tegangan yang diinduksikan.
- c.) Sudut pada tempat penghantar memotong fluks. Tegangan maksimum diinduksikan apabila konduktor memotong pada 90^0 , dan tegangan yang lebih rendah diinduksikan apabila sudut itu kurang dari 90^0 .
- d.) Panjang penghantar pada medan magnet. Jika penghantar digulung menjadi kumparan yang terdiri dari beberapa lilitan, panjang efektif bertambah dan tegangan yang diinduksikan akan bertambah.

Generator AC dibuat dengan medan magnet diam atau berputar. Jenis medan diam biasanya kapasitas KVanya relative kecil dan ukuran tegangan rendah. Jenis ini mirip dengan generator DC kecuali jenis ini mempunyai slip ring sebagai

pengganti komutator. Kutub menonjol (salient pole) membangkitkan medan DC, yang dipotong oleh jangkar yang berputar. Jangkar mempunyai lilitan yang mempunyai terminal yang dihubungkan dengan slip ring yang dipasang pada poros. Seperangkat sikat bergeser pada slip ring sehingga kita dapat menghubungkan jangkar dengan beban luar. Generator AC tidak dapat mensuplai arus medan sendiri. Penguat medan harus arus searah, dan karena itu harus disuplai dari sumber luar. Jangkar diputar oleh sumber daya mekanis, misalnya: mesin diesel.

Jenis generator AC medan berputar menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan yang dibangkitkan, yang umumnya sebesar 18000 sampai dengan 24000 volt. Generator ac medan berputar mempunyai jangkar diam yang disebut stator. Lilitan stator tiga fase langsung dihubungkan pada beban tanpa melalui slip ring dan sikat.

Pada prinsipnya, generator memiliki 2 bagian yaitu:

- Rotor adalah bagian yang bergerak
- Stator adalah bagian yang diam

Yang dimaksud dari lilitan medan adalah lilitan tempat generator menerima injeksi eksitasi dari sumber tegangan DC. Sedangkan untuk lilitan jangkar adalah lilitan sebagai terminal keluaran generator.

Sedangkan untuk frekuensi keluaran generator dipengaruhi oleh:

- Jumlah kutub pada generator.
- Kecepatan putaran rotor generator.

Yang dirumuskan dengan bentuk:

$$f.\text{tegangan} = \frac{pn}{120} \dots\dots\dots(21)$$

Dimana:

P = Jumlah kutub

n = Kecepatan putaran (rpm)

Sistem eksitasi merupakan sistem yang digunakan sebagai penguatan generator. Yang dimaksud eksitasi disini adalah penginjeksian arus DC ke lilitan medan generator yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran pada generator. Guna dari penginjeksian arus DC ini adalah untuk memperkuat medan magnet dan garis gaya magnet yang akan dipotong oleh konduktor sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan dapat lebih besar.

Ada 2 macam sistem eksitasi pada generator sinkron:

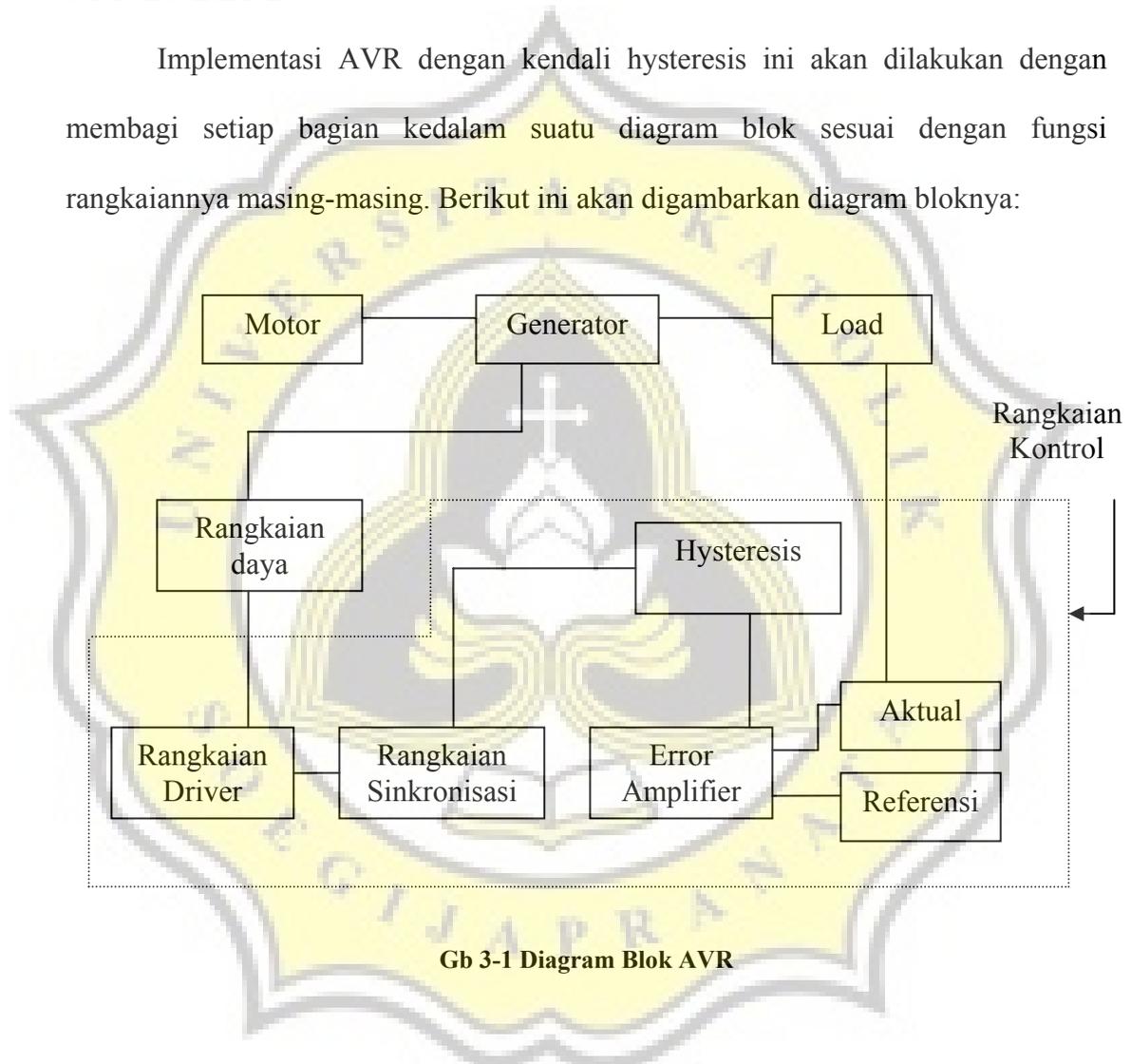
- Static exciter yaitu eksitasi tegangan yang masih menggunakan brush atau sikat arang sebagai konduktor untuk mengalirkan tegangan DC ke lilitan medan.
- Sedangkan yang kedua adalah brushless exciter yaitu sistem yang sudah tidak menggunakan sikat arang sebagai konduktor untuk mengalirkan tegangan DC ke lilitan medan. Karena fungsinya telah digantikan oleh rotating rectifier yang langsung tersambung dengan rotor generator sehingga exciter ini akan ikut berputar dengan rotor.

BAB 3

IMPLEMENTASI AVR DENGAN KENDALI HYSTERESIS

3.1 Pendahuluan

Implementasi AVR dengan kendali hysteresis ini akan dilakukan dengan membagi setiap bagian kedalam suatu diagram blok sesuai dengan fungsi rangkaiannya masing-masing. Berikut ini akan digambarkan diagram bloknya:

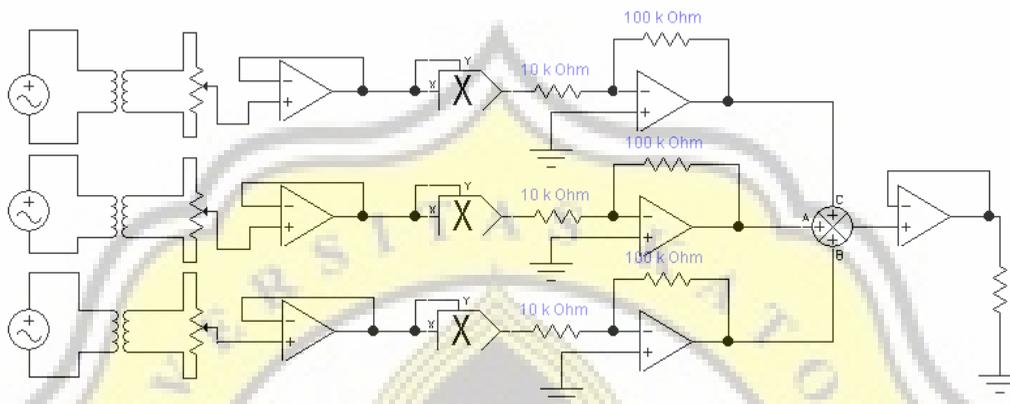


Gb 3-1 Diagram Blok AVR

3.2 Rangkaian Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan ini digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan (tegangan aktual) pada terminal keluaran generator yang diakibatkan karena pembebanan atau pemberian beban tambahan pada terminal keluaran

generator. Tegangan keluaran pada generator akan berubah-ubah tergantung dari besarnya beban yang diberikan dan sensor tegangan ini akan mendeteksinya.



Gb 3-2 Rangkaian Sensor Tegangan

Prinsip kerja dari sensor tegangan ini adalah masukan yang berupa tegangan bolak-balik atau AC diubah menjadi tegangan DC melalui pengkuadratan dari tegangan AC yang operasinya dilakukan oleh IC multiplier atau IC pengali kemudian hasil dari pengkuadratan tersebut dibalik dengan menggunakan penguat membalik (inverting amplifier) setelah dibalik keluaran dari inverting amplifier dijumlah di rangkaian summer amplifier. Dan hasil dari keluaran summer amplifier dibuffer dengan voltage follower. Hasil keluaran dari sensor tegangan ini akan mengikuti tegangan keluaran dari terminal generator apabila diberi pembebanan.

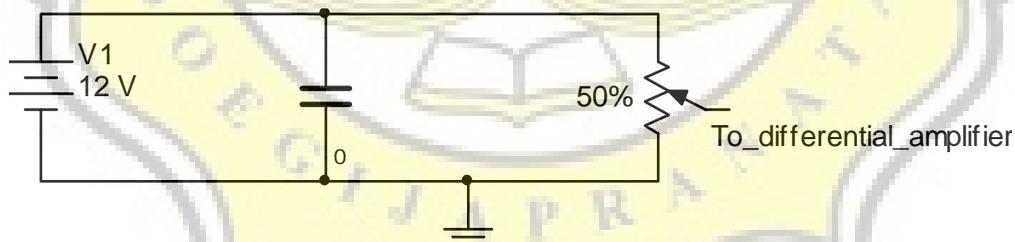
3.3 Rangkaian Referensi dan Differential Amplifier

Rangkaian referensi digunakan sebagai acuan atau referensi tegangan yang diinginkan. Rangkaian referensi ini digunakan sebagai pembanding dari masukan

aktualnya. Sehingga rangkaian referensi ini diset tetap dan diusahakan tidak berubah meskipun ada perubahan tapi diusahakan agar perubahan yang ditimbulkan tidak terlalu besar. Prinsip kerja dari rangkaian referensi ini adalah pengambilan tegangan tetap dari catu daya kontrol yang kemudian dihaluskan lalu kemudian dibuffer dengan op-amp yaitu penguatan 1 kali. Rangkaian referensi yang terdapat pada AVR ini yaitu :

a.) Rangkaian referensi 6 volt pada bagian error amplifier :

Pada rangkaian referensi yang dipasang sebagai tegangan acuan bagi error amplifier ini dipasang kapasitor sebesar 10 mikro farad dan variable resistor multiturn sebesar 100 k Ω . kapasitor ini berfungsi untuk mengurangi riak tegangan dan variable resistor multiturn ini digunakan untuk mengatur tegangan yang diinginkan.

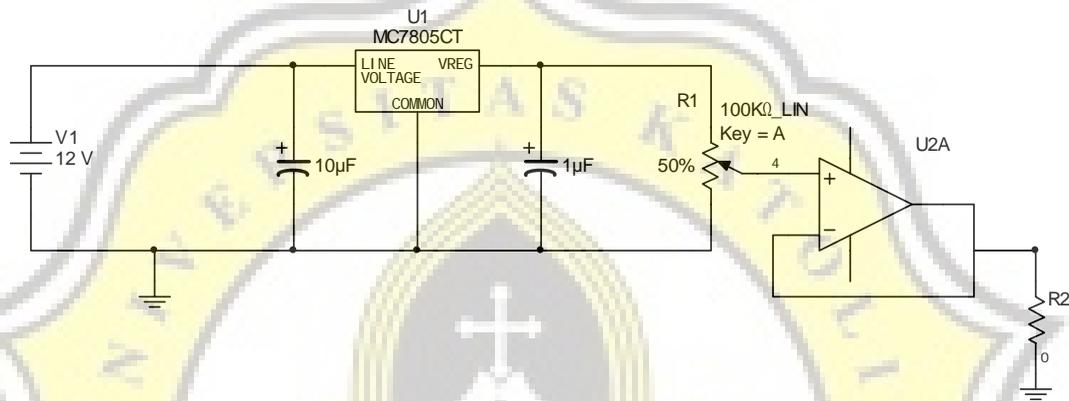


Gb 3-3 Rangkaian Referensi Differential Amplifier

b.) Rangkaian referensi batas atas sebesar 0,25 volt

Pada rangkaian referensi yang dipasang sebagai tegangan acuan batas atas kendali hysteresis ini dipasang regulator 7805 yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari +12 volt ke +5 volt yang kemudian dipertahankan pada level +5 volt.

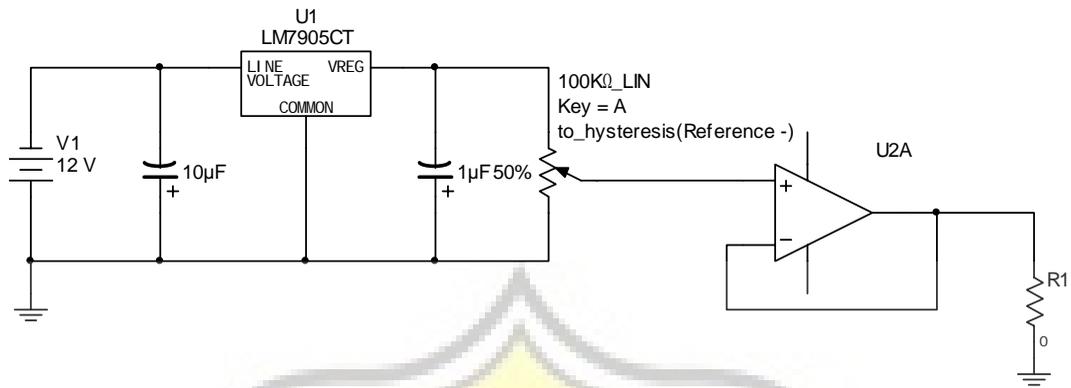
Regulator ini dihubungkan dengan kapasitor $10\ \mu\text{F}$ (sebelum regulator) dan kapasitor $1\ \mu\text{F}$ (sesudah regulator) yang berfungsi untuk meregulasi riak. Kemudian diparalel dengan variable resistor multiturun $100\text{k}\Omega$ yang berfungsi untuk mengatur tegangan referensi yang diinginkan.



Gb 3-4 Rangkaian Referensi Batas Atas

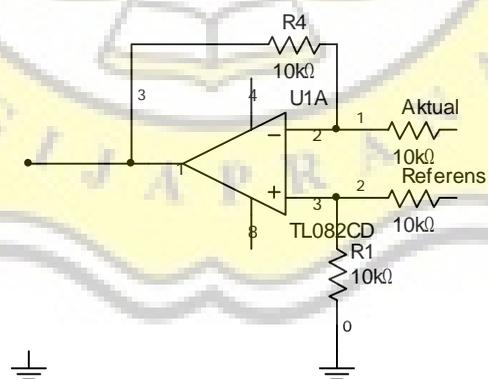
c.) Rangkaian referensi batas bawah $-0,25$ volt :

Pada rangkaian referensi yang dipasang sebagai tegangan acuan batas atas window comparator ini dipasang regulator 7905 yang digunakan untuk menaikkan tegangan dari -12 volt ke -5 volt yang kemudian dipertahankan pada level -5 volt. Regulator ini dihubungkan dengan kapasitor $10\ \mu\text{F}$ (sebelum regulator) dan kapasitor $1\ \mu\text{F}$ (sesudah regulator) yang berfungsi untuk meregulasi riak. Kemudian diparalel dengan variable resistor $100\text{k}\Omega$ yang berfungsi untuk mengatur tegangan referensi yang diinginkan.



Gb 3-5 Rangkaian Referensi Batas Bawah

Sedangkan untuk rangkaian differential amplifier digunakan untuk membandingkan tegangan aktual dari sensor tegangan dan tegangan referensi dari rangkaian referensi. Keluaran dari error amplifier ini merupakan pengurangan dari tegangan aktual dan tegangan referensi. Atau dengan kata lain dapat juga disebut $V_o = V_{ref} - V_{akt}$(22)



Gb 3-6 Rangkaian Differential Amplifier

Yang didapat dari perhitungan :

Pada differential amplifier menunjukkan bahwa akan terjadi pengurangan tegangan pada differential amplifier antara tegangan referensi (tegangan acuan / tetap) dengan tegangan actual yang berasal dari sensor tegangan. Atau dengan kata lain $V_o = V_{ref} - V_{aktual}$. Atau jika kita jabarkan maka yang kita dapat adalah sebagai berikut :

- a.) Perhitungan pertama jika pada masukan non-inverting digroundkan maka dapat terlihat bahwa pada rangkaian akan menjadi rangkaian penguat membalik dengan gain atau penguatan seharga $-R_f / R_i$ atau $-A$ oleh karena itu maka tegangan keluaran yang mengacu pada masukan inverting akan seharga $-AE_2$ dengan E_2 sebagai masukan inverting.
- b.) Perhitungan kedua jika pada masukan inverting digroundkan maka dapat terlihat bahwa rangkaian akan menjadi rangkaian penguat tak membalik dengan gain sebesar $(1+A)$. yang berasal dari $E_1 + AE_1$ dimana E_1 yaitu masukan pada gerbang non-inverting.
- c.) perhitungan berikutnya yaitu perhitungan nilai resistor. Resistor yang terpasang pada gerbang non-inverting bertindak sebagai pembagi tegangan pada input gerbang non-inverting. inputan yang telah dibagi ini kemudian akan digunakan sebagai input non-inverting yang sesungguhnya pada rangkaian differential amplifier ini. Untuk perhitungan rangkaian ini yaitu $E_1 A / (1+A) = \text{Pembagi tegangan}$ dikali dengan $(1+A) = \text{penguatan tak membalik}$ yang menghasilkan nilai keluaran AE_1 .

- Perhitungan untuk penguatan masukan actual :

$$V_o = (-R_f / R_i) E_2, \text{ dimana } E_2 \text{ adalah masukan aktual}$$

- perhitungan untuk penguatan masukan referensi :

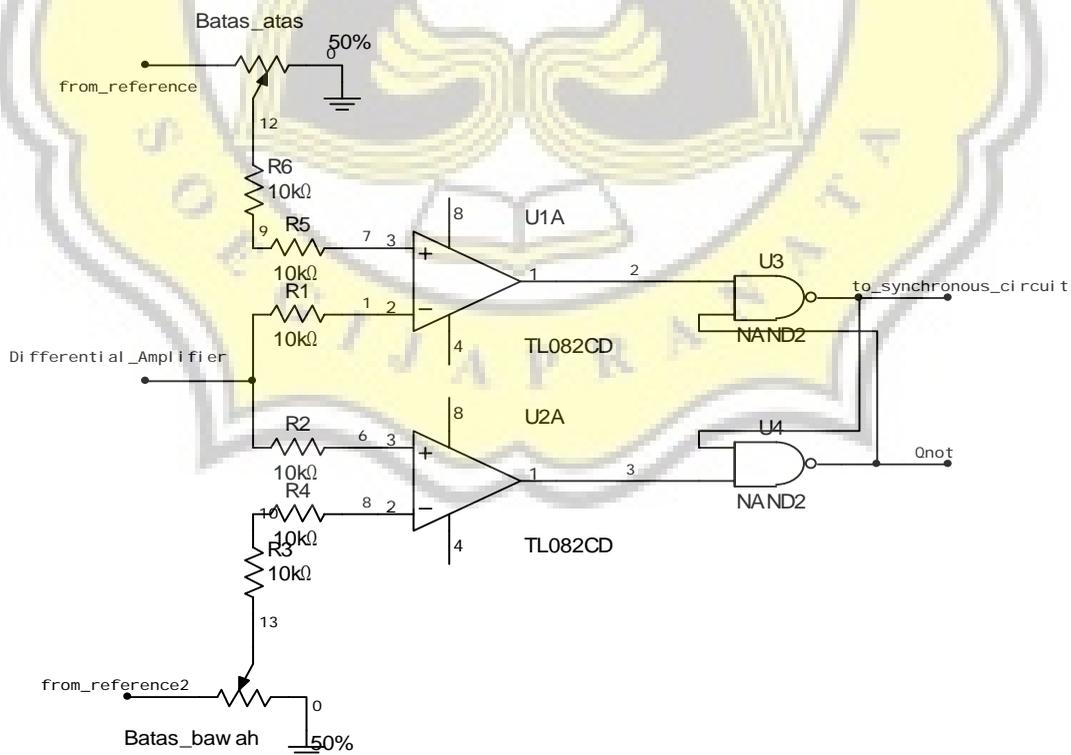
$$V_o = E1(R_f / R_i), \text{ dimana } E1 \text{ adalah masukan referensi}$$

- jika kita gabungkan maka akan menjadi tegangan keluaran total (keluaran differensial) :

$$V_o = E1(R_f / R_i) - E2(R_f / R_i)$$

3.4 Rangkaian Kontrol Hysteresis

Rangkaian kontrol hysteresis pada tugas akhir ini menggunakan komparator dengan menentukan batas atas dan batas bawah tegangan masukan pada sistem kontrol. Prinsip kerja dari rangkaian ini adalah untuk mempertahankan nilai aktual sesuai dengan nilai referensi yang ada, dan besarnya pita hysteresis dapat diset sesuai dengan kehendak kita. Secara teori dapat dikatakan bahwa:



Gb 3-7 Rangkaian Hysteresis

a.) Pada batas atas

jika tegangan masukan dari error amplifier lebih positif dari batas atas maka keluaran dari op-amp (U1A) akan bernilai logika 0 ($-V$ saturasi op-amp) dikarenakan masukan pada gerbang inverting lebih besar daripada masukan pada gerbang non-inverting. Kemudian jika masukan lebih negative dari batas atas maka keluaran op-amp (U1A) akan bernilai logika 1 ($+V$ saturasi op-amp) dikarenakan masukan pada gerbang non-inverting lebih besar daripada masukan pada gerbang inverting. Keluaran dari op-amp ini akan berbentuk kotak dengan batas atas $+V$ saturasi dan batas bawah $-V$ saturasi.

b.) Pada batas bawah

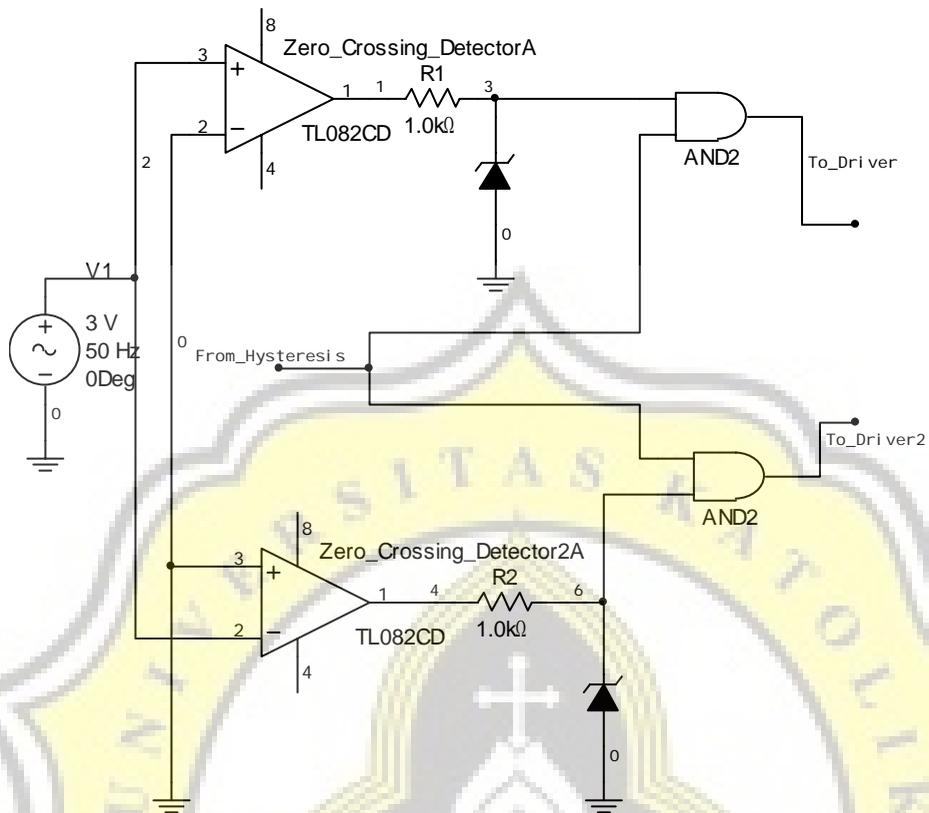
jika tegangan masukan dari error amplifier lebih positif dari batas bawah maka keluaran dari op-amp (U2A) akan bernilai logika 1 ($+V$ saturasi op-amp) dikarenakan masukan pada gerbang non-inverting lebih besar daripada masukan pada gerbang inverting. Kemudian jika masukan lebih negative dari batas atas maka keluaran op-amp (U2A) akan bernilai logika 0 ($-V$ saturasi op-amp) dikarenakan masukan pada gerbang inverting lebih besar daripada masukan pada gerbang non-inverting. Keluaran dari op-amp ini akan berbentuk kotak dengan batas atas $+V$ saturasi dan batas bawah $-V$ saturasi.

c.) Pada Flip-Flop S-R

Pada tugas akhir ini akan dipakai IC 4011 CMOS gerbang NAND. Masukan pada flip-flop S-R ini akan berupa logika 1 (+V_{sat}) dan 0 (-V_{sat}). Kemudian keluarannya akan berbentuk gelombang kotak dengan referensi +V_{sat} ke ground karena catu dari gerbang NAND yang dipakai adalah catu + dan ground. Masukan dari hysteresis dapat berupa logika 1 dan 0 karena logika 1 dari CMOS yaitu minimal 2/3 dari V_{dd} nya. Sedangkan logika 0 dari CMOS adalah maksimal 1/3 V_{dd} nya.

3.5 Rangkaian Sinkronisasi

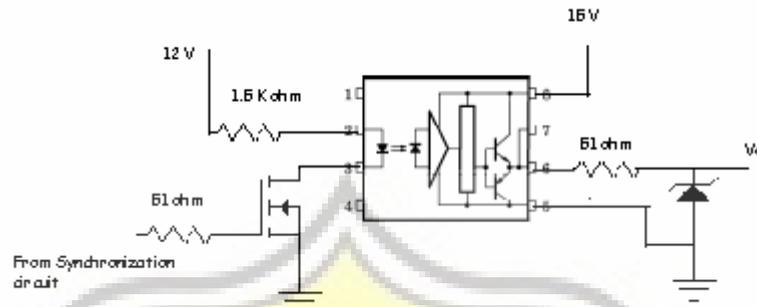
Rangkaian sinkronisasi ini digunakan untuk mensinkronisasikan keluaran rangkaian window detector atau rangkaian kontrol hysteresis dengan tegangan AC dari Trafo daya sehingga akan terbentuk gelombang kotak yang ber-duty cycle dan dapat digunakan untuk memicu MOSFET IRFP 730 pada rangkaian driver dan kemudian akan meng-on kan LED pada optocoupler TLP 250 yang kemudian keluaran dari optocoupler TLP 250 tersebut akan memicu gate MOSFET IRFP 460 pada rangkaian daya. Gambar rangkaian sinkronisasi dapat dilihat dibawah ini:



Gb 3-8 Rangkaian Sinkronisasi

3.6 Rangkaian Driver

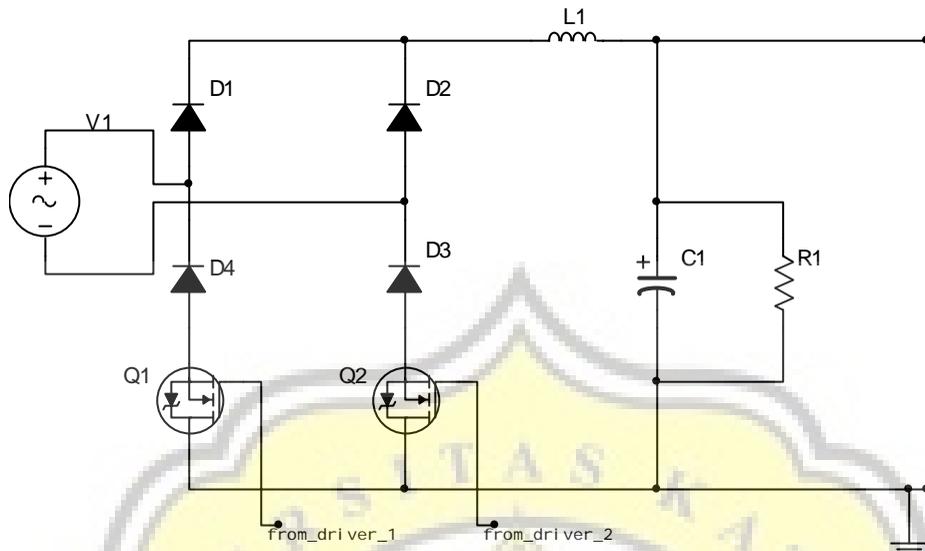
Rangkaian driver pada tugas akhir ini digunakan untuk memicu gate MOSFET IRFP 460 yang kemudian akan mentransfer duty cycle dari rangkaian window comparator pada mosfet yang terdapat pada rangkaian daya. Rangkaian driver ini menggunakan TLP 250 sebagai optocouplernya dan Mosfet IRFP 730 sebagai pemicunya. Rangkaian driver ini mendapat masukan dari rangkaian kontrol hysteresis yang akan memicu mosfet IRFP 730 dan akan mengkonduksikan transistor yang ada didalam TLP 250. keluaran dari TLP 250 ini akan mengkonduksikan dan mengatur duty cycle MOSFET IRFP 460 pada rangkaian daya. Fungsi sebenarnya dari TLP 250 ini juga adalah sebagai isolasi antara rangkaian daya dan kontrol.



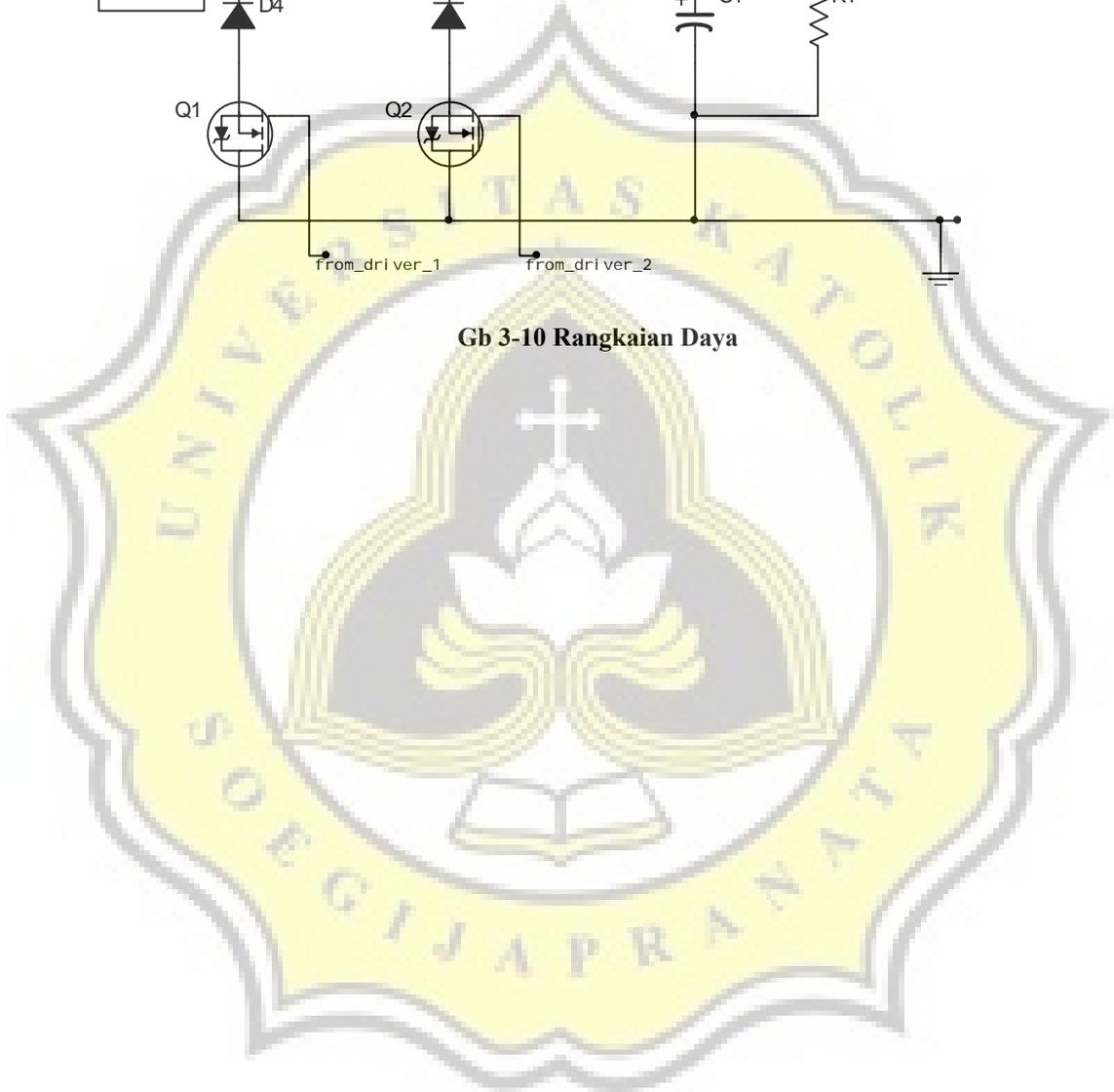
Gb 3-9 Rangkaian Driver

3.7 Rangkaian Daya

Rangkaian daya ini terdiri dari 4 buah dioda cepat (fast recovery diode) MUR 1560 dan juga power mosfet peningkatan tipe-N IRFP 460. Dioda dan mosfet ini digunakan sebagai satu kesatuan rangkaian daya yang digunakan sebagai AC to DC konverter. Yaitu alat yang digunakan untuk mengubah tegangan AC ke DC. Yang kemudian tegangan DC ini akan diinjeksikan ke lilitan medan generator untuk mengatur tegangan keluaran generator. Tegangan DC ini yang dinamakan sebagai tegangan eksitasi yang diinjeksikan ke lilitan medan generator. Tegangan DC ini diatur dengan mengubah duty cycle pada mosfet yang dilakukan dalam sistem closed loop.



Gb 3-10 Rangkaian Daya



BAB 4

HASIL PENGUJIAN AVR DENGAN KENDALI HYSTERESIS

4.1 Pengujian AVR dengan AFG (segitiga = 1 kHz), $V_U = 0.25$ Volt, $V_L = -0.25$ Volt.

Pengujian AVR dengan sinyal segitiga 1 kHz, batas atas 0.25 volt dan batas bawah -0.25 volt menghasilkan gelombang keluaran sebagai berikut :

4.1.1 Gelombang Keluaran di Hysteresis

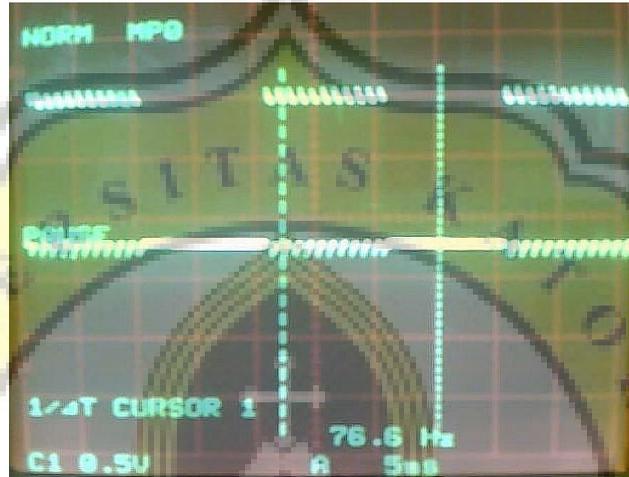


Gb 4-1 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Hysteresis

Gelombang keluaran pada rangkaian hysteresis akan tampak berbentuk kotak karena gelombang segitiga yang memotong batas atas dan batas bawah. Terlihat juga bahwa gelombang keluaran memiliki sisi positif dan negative karena ini akibat dari penguatan open loop op-amp yang disebut dengan saturasi yaitu $+V_{sat}$ dan $-V_{sat}$. Tetapi gelombang keluaran pada flip-flop S-R akan berbentuk kotak yang hanya

memiliki siklus positif karena Vcc gerbang NAND yang digunakan hanya + dan ground. Sehingga referensi bawahnya yaitu ground.

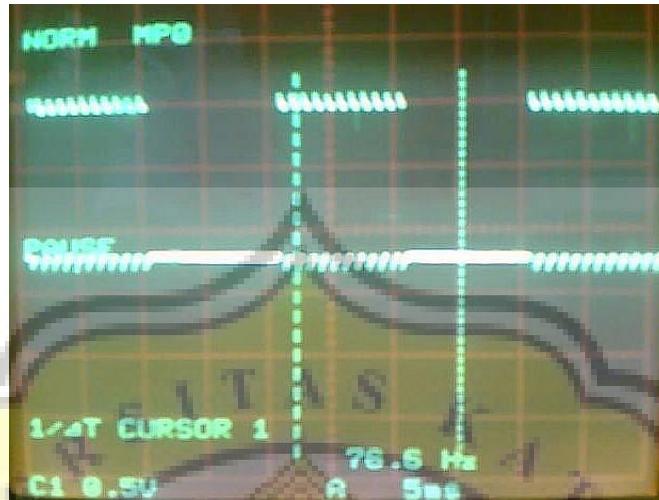
4.1.2 Gelombang Keluaran di Rangkaian Sinkronisasi



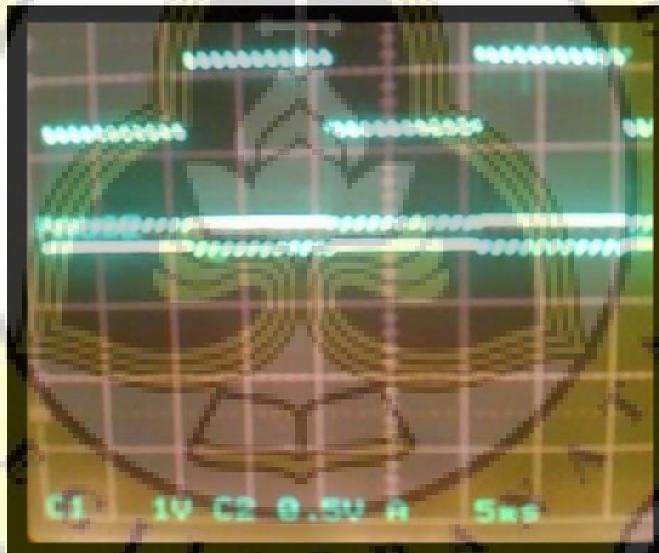
Gb 4-2 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Sinkronisasi

Gelombang keluaran pada rangkaian sinkronisasi pada salah satu sisi berbentuk seperti tampak pada gambar karena rangkaian zero crossing detector (50 Hz) dan gerbang AND membuat wadah/lebar pulsa untuk keluaran dari rangkaian hysteresis (1 KHz).

4.1.3 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Driver



Gb 4-3 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Driver



Gb 4-4 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Driver (2 Switching)

Gelombang keluaran pada rangkaian driver akan sama dengan gelombang keluaran pada rangkaian sinkronisasi karena rangkaian driver ini hanya sebagai penghubung dan pengisolasi antara rangkaian control dengan rangkaian daya.

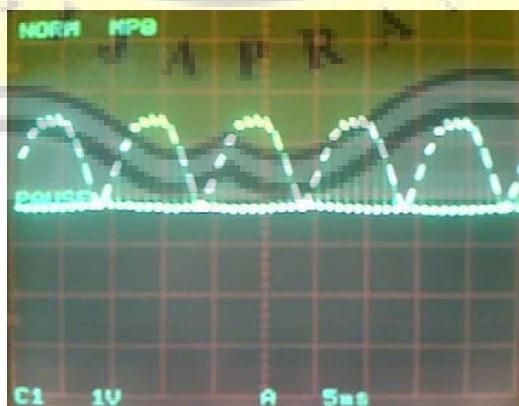
4.1.4 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya (Tanpa Kapasitor) Belum Switching



Gb 4-5 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya Tanpa Kapasitor dan Switching

Gelombang keluaran pada rangkaian daya sebelum switching adalah tinggi/high karena disebabkan dari keluaran rangkaian hysteresis yang juga tinggi. (keluaran Q dari flip-flop S-R).

4.1.5 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya (Tanpa Kapasitor) Sudah Switching



Gb 4-6 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Daya Tanpa Kapasitor (Sudah Switching)

Pada gambar di atas terlihat bahwa gelombang keluaran sudah terswitching dan tampak terchopper hal ini menandakan bahwa tegangan dapat diatur dengan duty cycle yang bisa kita atur lewat rangkaian kontrol hysteresis

4.2 Pengujian AVR dengan Perubahan RPM Motor DC (Open Load)

Pengujian AVR dengan perubahan RPM menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4-1 Hasil Pengujian Alat

No	I medan Motor DC	V jangkar Motor DC	V Referensi	Vdc Medan Generator	V output Generator
1	1.5 A	175 V	6 V	8.21 V	110 V
2	1.5 A	170 V	6 V	9.00 V	110 V
3	1.5 A	165 V	6 V	9.48 V	110 V
4	1.5 A	160 V	6 V	9.89 V	110 V
5	1.5 A	155 V	6 V	10.27 V	110 V
6	1.5 A	150 V	6 V	10.60 V	110 V
7	1.5 A	145 V	6 V	11.04 V	110 V
8	1.5 A	140 V	6 V	11.39 V	110 V
9	1.5 A	135 V	6 V	12.18 V	110 V
10	1.5 A	130 V	6 V	12.68 V	110 V
11	1.5 A	125 V	6 V	13.19 V	110 V
12	1.5 A	120 V	6 V	13.72 V	110 V
13	1.5 A	115 V	6 V	14.64 V	110 V
14	1.5 A	110 V	6 V	15.47 V	110 V

15	1.5 A	105 V	6 V	16.72 V	110 V
----	-------	-------	-----	---------	-------

Seperti tampak pada tabel di atas bahwa seiring dengan perubahan pada RPM (dengan mengubah tegangan jangkar pada motor DC dengan membiarkan arus medan tetap) motor DC / turbin, tegangan keluaran generator diatur pada titik yang tetap yaitu 110 Vac. Hal ini terjadi karena rangkaian kontrol hysteresis mengendalikan tegangan medan generator sehingga perubahan kecepatan yang semakin tinggi akan direspon rangkaian kontrol dengan menurunkan tegangan medan generator sedangkan untuk perubahan kecepatan yang semakin rendah akan direspon rangkaian kontrol dengan menaikkan tegangan medan generator.

Pengaruh kecepatan turbin terhadap tegangan keluaran generator : fluksi sebagai fungsi waktu diperoleh melalui putaran rotor. Jika Φ adalah fluksi yang dibangkitkan di rotor dan memasuki celah udara antara rotor dan stator dengan nilai konstan maka, dengan mengabaikan efek pinggir, laju pertambahan fluksi yang ditangkap oleh belitan stator adalah :

$$\frac{d\Phi_s}{dt} = \Phi \frac{d\theta_{magnetik}}{dt} = \Phi \omega_{magnetic}$$

karena $\omega_{magnetic} = 2\pi f_{magnetic} = 2\pi \frac{pn}{120}$, maka

$$\frac{d\Phi_s}{dt} = \Phi \pi \frac{pn}{60}$$

Dari persamaan di atas kita peroleh tegangan pada belitan yaitu :

$$V = -N \frac{d\Phi_s}{dt} = -N \Phi \pi \frac{pn}{60}$$

Jika Φ bernilai konstan, tidaklah berarti persamaan di atas memberikan suatu tegangan konstan karena Φ bernilai konstan positif untuk setengah periode dan bernilai konstan negatif untuk setengah periode berikutnya. Maka persamaan di atas memberikan tegangan bolak – balik yang tidak sinus. Untuk memperoleh tegangan berbentuk sinus, Φ harus berbentuk sinus juga. Akan tetapi ia tidak dibuat sebagai fungsi sinus terhadap waktu, akan tetapi sebagai fungsi sinus posisi, yaitu terhadap θ magnetic. Jadi jika :

$$\Phi = \Phi_m \cos \theta_{\text{magnetic}}$$

Maka laju pertambahan fluksi yang dilingkupi belitan adalah :

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi_s}{dt} &= \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} (\Phi_m \cos \theta_{\text{magnetic}}) = -\Phi_m \sin \theta_{\text{magnetic}} \frac{d\theta_{\text{magnetic}}}{dt} \\ &= -\Phi_m \omega_{\text{magnetic}} \sin \theta_{\text{magnetic}} = -\Phi_m \left(2\pi \frac{pn}{120}\right) \sin \theta_{\text{magnetic}} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan belitan

$$\begin{aligned} E &= -N \frac{d\Phi_s}{dt} = -N \pi \Phi_m \frac{pn}{60} \sin \theta_{\text{magnetic}} \\ &= 2\pi f N \Phi_m \sin \theta_{\text{magnetic}} = \omega N \Phi_m \sin \omega t \end{aligned}$$

Persamaan tersebut memberikan nilai sesaat dari tegangan yang dibangkitkan di belitan stator. Nilai maksimum dari tegangan ini adalah :

$$E_m = \omega N \Phi_m \text{ Volt}$$

Dan nilai efektifnya adalah :

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N \phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N \Phi_m \\ &= 4.44 f N \Phi_m \text{ Volt.} \end{aligned}$$

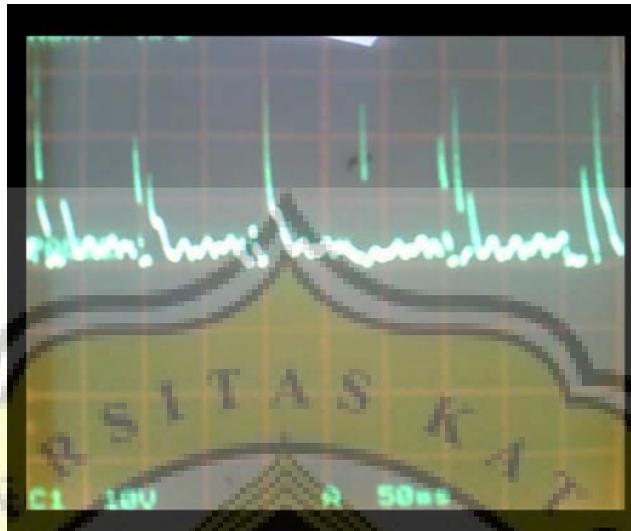
4.2.1 Gelombang Keluaran Rangkaian Hysteresis (VGS)



Gb 4-7 Gelombang Keluaran Pada Rangkaian Hysteresis

Dapat terlihat bahwa pada gambar keluaran hysteresis terjadi switching yang akan mengkonduksi gerbang gate (VGS) pada Mosfet IRFP 460 untuk mengendalikan switching mosfet. Semakin cepat kecepatan RPM motor DC maka akan semakin sedikit switching dari rangkaian hysteresis (tegangan masukan medan generator akan semakin kecil) dan semakin lambat kecepatan RPM motor DC maka akan semakin banyak switching dari rangkaian hysteresis (tegangan masukan medan generator akan semakin besar). Pada gambar diatas merupakan salah satu contoh dari switching.

4.2.2 Gelombang Keluaran Mosfet (VDS)



Gb 4-8 Gelombang elKuaran Mosfet (VDS 1)



Gb 4-9 Gelombang Keluaran Mosfet (VDS 2)

Pada gambar di atas dapat terlihat bahwa telah terjadi switching pada mosfet seperti terlihat pada gambar meskipun tidak sempurna masukannya. Jika kita mengubah kecepatan RPM pada motor DC yang digunakan sebagai turbin maka pola switching juga akan berubah.

4.2.3 Gelombang Keluaran Rangkaian Daya



Gb 4-10 Gelombang Keluaran Rangkaian Daya (Pada Saat 15 VDC)

4.3 Pengujian AVR dengan Beban (Pendeteksian Sensor Tegangan)

Banyaknya Beban Lampu	Tegangan AC (Keluaran Generator)	Tegangan DC (Pembacaan Sensor Tegangan)
0 Baris	110 VAC	6 VDC
1 Baris	107 VAC	5.6 VDC
2 Baris	104 VAC	5.3 VDC
3 Baris	100 VAC	5.01 VDC

Dari data diatas dapat dilihat bahwa sensor tegangan dapat mendeteksi perubahan tegangan terminal keluaran generator yang diakibatkan dari penambahan

beban. Seperti diketahui bersama bahwa perubahan beban yang disusun secara parallel akan membuat impedansi keluaran/ beban menjadi semakin kecil. Hal ini akan mengakibatkan penambahan arus serta penurunan tegangan keluaran generator.



BAB 5

SARAN DAN KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. AVR ini bekerja baik meregulasi perubahan tegangan terminal keluaran generator akibat perubahan kecepatan turbin dan penambahan beban
2. Sensor tegangan dapat mendeteksi perubahan tegangan pada terminal keluaran generator jika kecepatan turbin variable dan jika pada terminal output dari generator mengalami pertmbahan atau pengurangan beban.
3. Frekuensi tidak dapat diatur secara baik oleh AVR ini karena AVR ini hanya menitikberatkan pada peregulasian tegangan generator buka meregulasi frekuensinya. Untuk peregulasian kecepatan dapat dibuat alat yang sejenis yang digunakan untuk mengatur perubahan kecepatan motor DC yang digunakan sebagai prime mover agar kecepatan motor DC tersebut selalu konstan pada RPM tertentu.

Saran – saran penulis yaitu :

1. Peregulasian frekuensi dalam 1 paket dengan peregulasian tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Rashid, Muhammad H. *“Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications”*. 2004. Prentice Hall.
- Coughlin, Robert F. *“Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuit”*. 2001. Prentice Hall Electronics.
- S, Wasito. *“Vademekum Elektronika”*. 2001. Gramedia.
- Wijaya, Mochtar. *“Dasar-Dasar Mesin Listrik”*. 2001. Djambatan.
- Sudirham, Sudaryanto. *“Analisis Jaringan Listrik”*. 2006. ITB.
- Marsudi, Djiteng. *“Pembangkitan Energi Listrik”*. 2004.

