

## ANALISIS CHOPPER PWM TEGANGAN TERKENDALI

Suwitno\*) , Rahyul Amri, Azriyenni, Eddy Ervianto,  
Noveri Lysbetti M.

\*) *Corresponding Author*

*Fakultas Teknik Universitas Riau - Pekanbaru*

### ABSTRACT

The need of dc current power supply that closes to pure dc with current and voltage can be adjusted its value like as what is needed in the sector of industry. This paper presents the analysis of controlled voltage PWM chopper performance that is desained to make a tool which is able to produce output voltage that can follow set point like what is wanted and also to minimize produced output ripple as small as possible. To produced the both of that results, the method that used is by forming closed loop transition function and open loop transition function from analyzed system. This method is done to determine controller gain that produced phase margin like as stability specifically. Determining of exactly controller parameter value on control system to reduce ripple as minimal as possible and quickly dynamic response be an important problem to disdain its tool. To show that generally analysis can be carried on and used on specific thing, so the calculation of simulation result can be compared with is measurement, from the testing result should know that analysis done, could reduce low frequency ripple twenty-five times from its input ripple.

**Keywords:** reduce ripple, dynamic response, and proportional integral controller

### PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber catu daya listrik dengan arus dan tegangan yang dapat diatur besarnya, akhir-akhir ini semakin dirasakan terutama dalam bidang industri. Pada industri kimia, catu daya arus searah banyak digunakan pada proses elektrolisa di mana dibutuhkan sumber tegangan arus searah skala besar yang sesuai dengan besar kecilnya industri tersebut. Pada motor-motor listrik arus searah dibutuhkan pengaturan tegangan untuk mengatur kecepatan putarannya.

Di dalam menggunakan sumber tegangan arus searah diharapkan mempunyai unjuk kerja yang baik. Unjuk kerja yang dimaksud di sini adalah harus dapat menghasilkan arus dan tegangan dengan riak yang kecil, sementara arus dan tegangan keluaran dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

Pada referensi (2) telah menyajikan disain konverter untuk mereduksi riak frekwensi rendah pada sisi beban, dan ternyata magnitudo riak frekwensi rendah pada tegangan keluaran direduksi mendekati 6% dari nilai sisi masukan konverter tersebut. Kemudian untuk mereduksi frekwensi dari hasil proses *switching* dilakukan pemilihan konstruksi filter keluaran yang menghasilkan *factor damping* lebih besar dari 0.5.

Tegangan searah masukkan bagi chopper biasanya berupa tegangan keluaran dari hasil penyearahan yang umumnya mengandung riak frekwensi



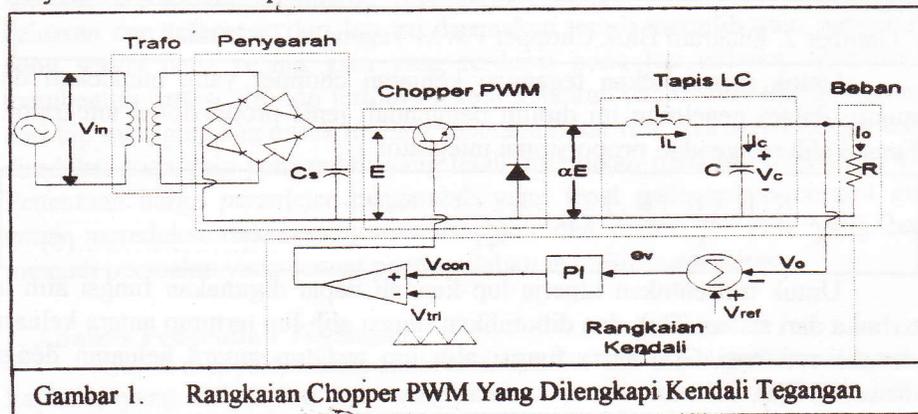
rendah, yang nantinya juga muncul pada sisi beban. Dengan adanya riak frekwensi rendah pada keluaran chopper, maka kualitas keluaran menjadi rendah. Untuk mengurangi riak frekwensi biasanya ditempatkan tapis LC, yang dalam hal ini membutuhkan ukuran dan dimensi besar. Dengan ukuran tapis yang besar mengakibatkan respon dari sistem akan menjadi lambat dan costnya tinggi.

Untuk mengatasi masalah ini, penulis mengajukan suatu metoda reduksi riak frekwensi rendah dengan membentuk sistem umpan balik inverting melalui komponen umpan balik alat aksi pengendali proporsional integral.

Tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisis dan merancang pengaruh sistem kendali tegangan pada riak keluaran chopper dan menentukan parameter sistem kendali agar mampu menghilangkan riak frekwensi rendah seoptimum mungkin, tanpa merubah ukuran tapis, serta menguji hasil analisis dengan percobaan. Tulisan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi dunia industri yang membutuhkan catu daya mendekati dc murni.

#### FOMULASI DASAR RANGKAIAN PENGENDALI TEGANGAN

Skema rangkaian chopper PWM yang dilengkapi kendali tegangan yang diajukan dalam penelitian seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat diperlihatkan mekanisme tegangan keluaran yang dikendalikan. Di mana nilai rata-rata tegangan beban diukur dan hasilnya dibandingkan dengan tegangan referensi. Hasil perbandingan tersebut menghasilkan suatu sinyal error, yang selanjutnya akan diolah oleh pengendali tegangan proporsional integrator. Keluaran pengendali proporsional integrator adalah suatu sinyal referensi. Jika sinyal error positif maka sinyal referensi akan naik, sedangkan bila negatif sinyal referensi akan menurun, yang kemudian dibandingkan dengan gelombang pembawa untuk menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa.



Gambar 1. Rangkaian Chopper PWM Yang Dilengkapi Kendali Tegangan

Dari plant Gambar 1 dapat ditentukan persamaan dalam bentuk tegangan dan arus<sup>(1)</sup>. Dengan menggunakan hukum Kirchoff arus dan tegangan, akan diperoleh dua persamaan sebagai berikut :

$$L \frac{di_L}{dt} + V_c = \alpha E \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$C \frac{dV_c}{dt} = i_L - \frac{V_c}{R} \quad \dots\dots\dots (2)$$

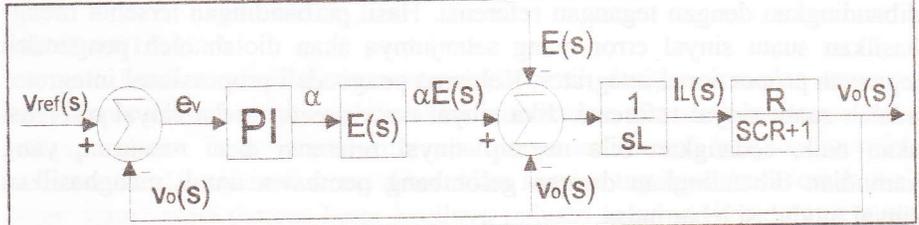
Persamaan (1) dapat dibentuk dalam transformasi Laplace diperoleh

$$I_L(s) = \frac{\alpha E(s) - V_c(s)}{sL} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dan dari persamaan (2) dapat dibentuk dalam transformasi Laplace sebagai berikut

$$V_c(s) = \frac{1}{C \left( s + \frac{1}{RC} \right)} I_L(s) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan (3) dan (4) dapat dibentuk diagram blok umpan balik tertutup pengendali tegangan seperti diperlihatkan pada Gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Diagram Blok Chopper PWM Tegangan Terkendali

Untuk mendapatkan tegangan keluaran chopper yang mendekati dc murni, dalam penelitian ini dipilih pengendali jenis proporsional integrator. Fungsi alih pengendali proporsional integrator :

$$G_v(s) = \frac{K_v (s + K_i / K_v)}{s} = K_v \frac{T_v s + 1}{T_v s} = \frac{K_v (s + \omega_v)}{s} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Untuk menentukan kinerja lup kendali dapat digunakan fungsi alih lup terbuka dari sistem T(s), dan dibutuhkan fungsi alih lup tertutup antara keluaran dengan referensi G(s) serta fungsi alih lup tertutup antara keluaran dengan gangguan F(s).

Dari blok diagram Gambar 2 diperoleh fungsi alih loop terbuka sistem seperti di bawah ini :

$$T(s) = \frac{K_v \omega_c^2 (s + \omega_v)}{s(s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2)} \dots\dots\dots(6)$$

$\omega_v = 1/T_v$  adalah waktu integral

Fungsi alih lup tertutup antara keluaran dan referensi  $G(s)$  didefinisikan sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K_v \omega_c^2 (s + \omega_v)}{s(s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2) + K_v \omega_c^2 (s + \omega_v)} \dots\dots\dots(7)$$

Fungsi alih keluaran terhadap terdisturbans adalah :

$$F(s) = \frac{V_o(s)}{E(s)} = \frac{s\omega_c^2}{s(s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2) + K_v \omega_c^2 (s + \omega_v)} \dots\dots\dots(8)$$

lengan

$\omega_c$  adalah frekwensi cut off,  $\xi$  adalah rasio damping,  $K_v$  adalah gain proporsional,

$\omega_v = 1/T_v$  adalah waktu integral

## METODA DAN BAHAN

Pada metoda penelitian ini diuraikan bagaimana tegangan beban akan dikendalikan oleh pengendali tegangan agar tegangan beban konstan. Untuk mengetahui hasil kinerja pengendali sistem tersebut dibentuk fungsi alih lup terbuka dan lup tertutup dari sistem yang akan dianalisis. Pertama sekali membentuk fungsi alih lup terbuka dari sistem, sehingga dari lup tersebut dapat ditentukan gain pengendali yang menghasilkan margin fasa<sup>(3)</sup> yang memenuhi spesifik kestabilan. Kemudian membentuk fungsi alih lup tertutup antara keluaran dan referensi, dari lup ini digunakan untuk memilih gain pengendali yang sesuai pada selang gain yang terdapat pada lup terbuka. Selanjutnya membentuk fungsi alih lup tertutup antara keluaran dan disturbans (gangguan), dari lup ini digunakan untuk melihat seberapa besar riak frekwensi rendah dapat direduksi pada gain pengendali yang telah ditentukan pada lup terbuka di atas. Penentuan harga parameter pengendali yang tepat pada sistem control guna untuk mereduksi riak semimum mungkin dan respon dinamik yang cepat menjadi persoalan yang sangat penting dalam mendisain peralatan.

### 1. Analisis Pengendali Tegangan

Untuk menyelesaikan analisis sistem kontrol digunakan transformasi Laplace, yang dalam hal ini menggunakan persamaan (7) dan (8). Dari persamaan tersebut dapat diketahui persamaan karakteristik dari sistem yaitu berupa bilangan penyebut dari fungsi alih tertutupnya. Berdasarkan per-



samaan karakteristik tersebut kita dapat menentukan selang nilai gain  $K_v$  yang berada di daerah stabil dengan menggunakan metoda Routh-Hurwitz. Dari

$$K_v \geq \frac{2\zeta\omega_c}{\omega_v} - 1$$

analisis metoda ini, diperoleh nilai. Karena dalam penelitian ini nilai  $\omega_v$  dipilih sama dengan nilai  $\omega_c$ , sehingga dihasilkan nilai gain penguatan

$$K_v \geq \frac{2\zeta\omega_c}{\omega_v} - 1 \rightarrow K_v \geq 0,4$$

. Dengan parameter rangkaian daya diketahui :

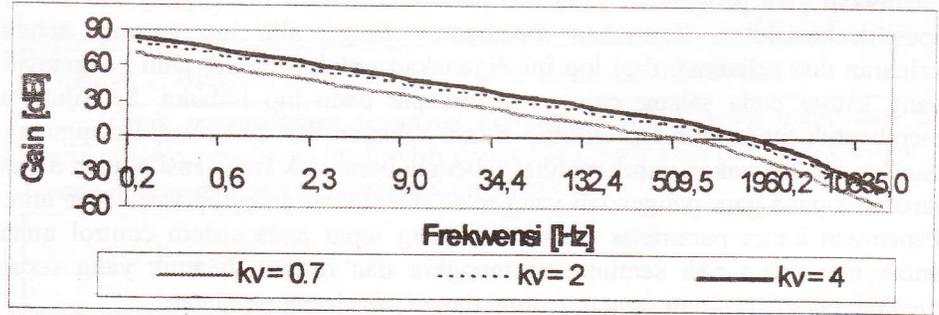
Untuk mengevaluasi secara kuantitatif kinerja lup kendali, dalam

$$\bar{E} = 100 \text{ Volt} \quad L = 5 \text{ mH} \quad C = 1000 \mu\text{F} \quad R_{\text{beban}} = 1.6 \Omega$$

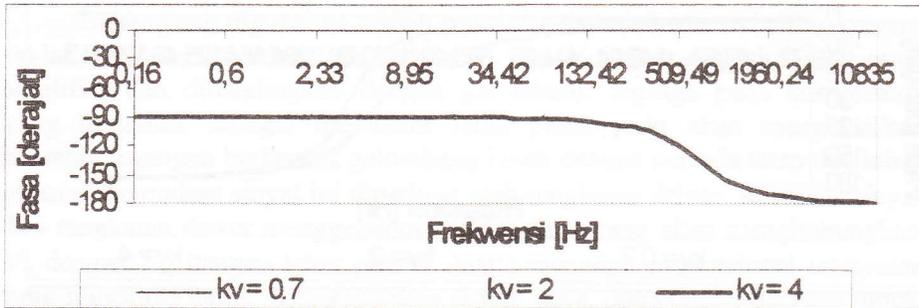
penelitian ini digunakan tiga fungsi alih seperti yang didefinisikan dalam persamaan (6) sampai (8), maka akan didapatkan; Fungsi alih lup terbuka seperti dibawah ini :

$$T(s) = \frac{199.996,8 K_v (s + 447.21)}{s^3 + 625s^2 + 199.996,8s} \dots\dots\dots(9)$$

Untuk memperoleh respon sistem yang cepat, lebar band dari kurva bode diagram sebuah fungsi alih jaringan terbukanya diusahakan besar, sebab kecepatan respon sistem berbanding terbalik dengan lebar band sistem. Namun lebar band sistem mempunyai selang keterbatasan artinya jika terlalu lebar justru sistem menjadi tidak stabil. Oleh karena itu bode plot dari lup jaringan terbuka  $T(s)$  digunakan untuk menganalisis selang gain  $K_v$  yang memenuhi spesifik kestabilan. Yang dimaksud dengan memenuhi spesifik kestabilan di sini<sup>(3)</sup> adalah margin fasa antara  $30^0$ - $60^0$ . Pada Gambar 3 menunjukkan margin fasa kestabilan yaitu nilai  $K_v$  pada selang 0.7 – 4.



Gambar 3(a)

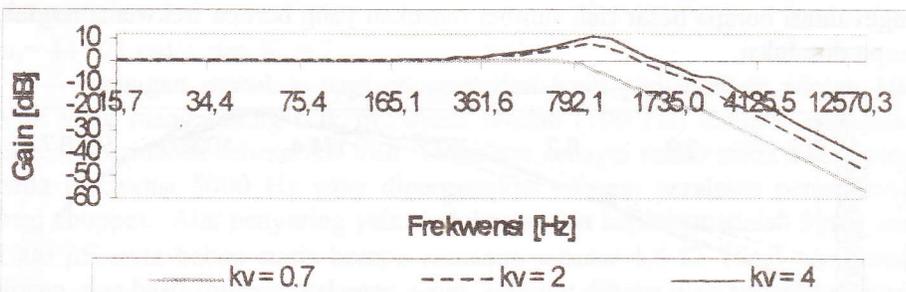


Gambar 3(b)  
Gambar 3 (a) (b). Bode Plot Magnitude dan Fasa dari  $T(s)$  dengan Nilai Gain Pengendali  $K_v$  yang Berbeda

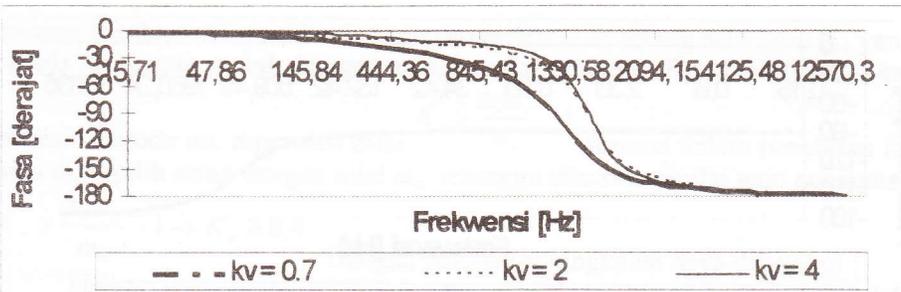
Gain frekwensi cross over dari fungsi alih loop  $T(s)$  diatas dapat dilihat, bahwa semakin besar gain frekwensi cross over tersebut, secara langsung berhubungan dengan respon kecepatan dari loop kendali. Sedangkan untuk menentukan pemilihan  $K_v$  yang lebih tepat, dibutuhkan fungsi alih loop tertutup antara keluaran dengan referensi  $G(s)$  yang didefinisikan sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{1999968K_v(s+447,21)}{s^3 + 625s^2 + (19999968 + 1999968K_v)s + 89.4405618} \dots(10)$$

Bode plot dari  $G(s)$  dengan nilai  $K_v$  yang berbeda digambarkan pada Gambar 4 (a), dan 4 (b) seperti di bawah ini :



Gambar 4 (a)



Gambar 4 (b)

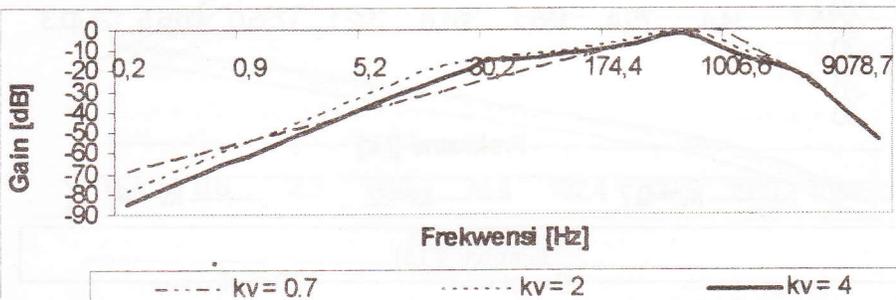
Gambar 4 (a) (b). Bode plot Magnitude dan Fasa dari  $G(s)$ , dengan nilai gain  $K_v$  yang berbeda

Pada prakteknya pengendali PI sensitif terhadap noise, maka untuk memberikan sistem kendali yang presisi analisis diatas dipilih gain  $K_v = 2$ , karena masih memberikan penguatan sinyal tidak terlalu besar, dan lebar bidang (bandwidth) yang cukup lebar.

Sebaliknya fungsi alih  $F(s)$  merepresentasikan penekanan terhadap riak sumber masukan berupa frekwensi orde rendah. Jika  $\tilde{E}$  dianggap disturbans maka fungsi alih keluaran terhadap disturbans adalah seperti di bawah ini :

$$F(s) = \frac{V_o(s)}{\tilde{E}(s)} = \frac{199.996,8s}{s^3 + 62,5s^2 + (199.996,8 + 199.996,8K_v)s + 89.440,561,8K_v} \dots (11)$$

Bode plot fungsi alih  $F(s)$  seperti diperlihatkan pada Gambar 5, dapat mengevaluasi berapa besar riak sumber masukan yang berupa frekwensi rendah mampu direduksi.



Gambar 5. Bode plot  $F(s)$ , fungsi alih loop tertutup antara keluaran dan disturbans

Ilustrasi dari bode plot fungsi alih tertutup diatas menyatakan, bahwa dengan kenaikan gain pengendali  $K_v$  memberikan informasi secara langsung respon kecepatan yang lebih cepat dan penekanan riak yang lebih besar.

Bahan yang digunakan adalah transistor daya sebagai switching prinsip saklar transistor ini adalah perbedaan  $V_o$  dan  $V_{ref}$  akan dideteksi oleh error amplifier dan dibandingkan dengan gelombang segitiga pada komparator yang bertindak sebagai modulator lebar pulsa yang akan menghasilkan keluaran tegangan berbentuk gelombang kotak dengan perioda tetap dan lebar pulsa  $\alpha$ , kemudian sinyal ini diperkuat oleh rangkaian driver. Keluaran sinyal dari rangkaian driver menggerakkan saklar daya yang akan menghubungkan  $V_o$  dengan  $V_{in}$  dengan lebar pulsa  $\alpha$ . Alat pengendali proporsional integrator yang fungsinya untuk mengendalikan sistem daya, optocoupler berguna untuk mengisolasi antara rangkaian control dengan rangkaian daya, dan filter keluaran yang digunakan untuk mereduksi frekwensi tinggi dari hasil proses switching.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menguji keakuratan analisis yang dilakukan, perancangan meliputi perancangan rangkaian pengendali chopper yang menggunakan simulasi komputer dengan bantu program matlab. Dan untuk hasil akhir pengujian akan dilakukan percobaan di laboratorium, sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan hasil analisis yang dilakukan.

Berdasarkan parameter dari sistem percobaan diberikan data-data sebagai berikut :

$E_{in} = 100 \text{ Volt}$	$V_{out} = 50 \text{ Volt}$	$L = 5 \text{ mH}$	$C_s = 1000 \mu\text{F}$
$C = 1000 \mu\text{F}$	$f_s = 5 \text{ kHz}$ $R = 1,6 \Omega$ (Variabel)		

Berdasarkan data-data dan hasil analisis diatas diperoleh parameter pengendali :

$$\omega_v = 447,21 \text{ rad/s, dan } K_v = 2$$

Tegangan masukan bagi chopper dari hasil penyearahan adalah 100 Volt yang mengandung riak frekwensi rendah (100 Hz) dengan amplitudo puncak ke puncak sebesar 10 Volt. Transistor sebagai saklar statis dichopping pada frekwensi 5000 Hz yang dipergunakan sebagai peralatan pensaklaran bagi chopper. Alat penyaring yaitu induktansi dan kapasitor adalah 5 mH dan 1000  $\mu\text{F}$  serta beban statis berupa resistans sebesar 1,6  $\Omega$ . Hasil percobaan difoto, dan hasil fotonya diskener yang selanjut dibaca oleh komputer untuk dapat diprinter sesuai dengan kebutuhan.

### 1. Pengujian Tegangan Masukan Chopper

Tegangan masukan choper dapat berasal dari sumber tegangan arus searah seperti batere atau dari sumber tegangan dc lainnya. Pada pengujian penelitian ini tegangan masukan choper diperoleh dari sebuah penyearah gelombang penuh yang diberi filter kapasitor. Karena tegangan masukan ini berasal dari penyearah maka tegangan masukan ini masih mengandung riak frekwensi rendah.



Photo dari gelombang riak frekwensi rendah yang terdapat pada tegangan masukan chopper ditunjukkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6,



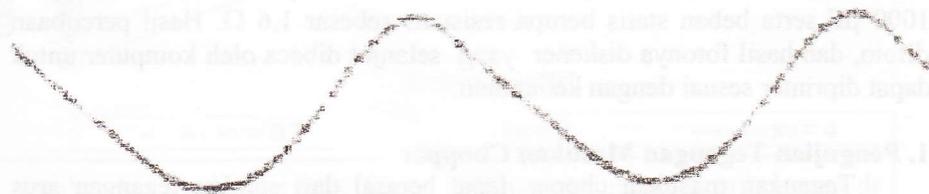
Gambar 6. Hasil pemotretan gelombang riak tegangan masukan dc chopper  
Skala : Tegangan : 2 V/div      Time : 2 ms/div

terlihat bahwa riak yang dominan pada tegangan masukan chopper adalah riak frekwensi 100 Hz. Hal ini disebabkan karena sumber tegangan arus bolak balik yang disearahkan adalah tegangan yang berasal dari PLN yang mempunyai frekwensi 50 Hz.

## 2. Pengujian Tegangan Keluaran pada Beban

Beban terdiri dari sebuah beban resistor. Tegangan keluaran dari chopper yang dapat di manfaatkan untuk mensuplai beban adalah tegangan keluaran dari chopper yang telah melewati filter induktor dan kapasitor. Bentuk gelombang keluaran ini merupakan tegangan dc rata-rata ditambah tegangan riak berupa riak frekwensi rendah yang berasal dari riak yang dikandung oleh tegangan masukannya sendiri dan riak frekwensi tinggi yang diakibatkan oleh proses pensaklaran. Gelombang tegangan keluaran diambil langsung dari terminal beban resistor.

Pada pengujian ini photo yang diambil adalah photo dari riak yang dikandung oleh tegangan keluaran pada beban. Photo dari riak tegangan keluaran ke beban ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pemotretan gelombang riak tegangan keluaran dc chopper dengan pengendali tegangan  
Skala : Tegangan : 0.1V/div      Time : 2 ms/div

Dari Gambar 6 terlihat dengan jelas bahwa tegangan masukan bagi chopper mengandung riak frekwensi rendah sebesar 10 Volt. Sedangkan Gambar 7 terlihat bahwa tegangan keluaran beban pada tegangan terkendali, riak frekwensi rendah 100 Hz hanya tinggal lebih kurang 0.2 Volt. Dari kedua gambar ini terlihat bahwa dengan memasang pengendali tegangan riak pada chopper kita dapat mengurangi riak frekwensi rendah pada keluaran chopper sampai seminimum mungkin tanpa memperbesar ukuran dari filter induktor dan kapasitor.

### KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian pengamatan dan pengujian pada chopper yang dilengkapi dengan tegangan terkendali, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Dengan menggunakan tegangan terkendali pada chopper, riak atau harmonisa frekwensi rendah dapat direduksi sekitar 25 kali.
- Penggunaan pengendali tegangan dapat mengurangi ukuran tapis LC pada keluaran chopper, karena tapis ini kita perlukan hanya untuk menapis riak frekwensi tinggi saja, selain itu respon dapat bekerja dengan cepat.
- Dengan mengurangi ukuran dari tapis LC pada keluaran chopper berarti kita telah melakukan penghematan biaya.

### SARAN

Berikut ini adalah saran-saran untuk perbaikan dan pengembangan penggunaan pengendali tegangan untuk mengurangi riak frekwensi rendah dan respon yang cepat :

- Agar dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan pengendali umpan balik untuk mendapatkan riak keluaran yang rendah pada berbagai jenis konverter.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah menyediakan dana untuk terselenggaranya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Charles L. Philip. 1991. *Feedback Control System*, Second Edition.
- H. Jin, S.B.Dewan, J.D. Lavers, 1992. *Voltage Loop Design for A Low Ripple Fast Respon AC-DC Switch Mode Magnet Power Suply*, IEEE.
- Mohan, 1995. *Power Elektronics*, Second Edition.

