

STUDI KASUS HARMONISA PADA SISI SUMBER AKIBAT PENGGUNAAN dan PROSES SWITCHING DC CHOPPER

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

Oleh :
Anang Eko Herdiyanto
L2F 300 497

ABSTRAK

Penggunaan konverter berbasis rangkaian elektronik mengakibatkan pembangkitan harmonisa tegangan dan arus disisi sumber. Salah satu aplikasinya adalah DC Chopper yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah tetap menjadi tegangan searah yang dapat divariasikan dengan mengatur waktu membuka dan menutupnya saklar statis yang terhubung di antara sumber dan beban terpasang.

Pengujian pembangkitan harmonisa tegangan dan arus dilakukan dengan bantuan alat ukur HIOKI 3286-20 untuk mengetahui perbandingan besar kecilnya magnitudo harmonisa tegangan dan arus yang dibangkitkan disisi sumber (tegangan jala-jala) akibat penggunaan dan proses switching DC Chopper dengan variasi beban terhubung R dan RL dan pengaturan duty cycle rangkaian kontrol chopper dari 0,1 (minimal) hingga 0,9 (maksimal).

Hasil evaluasi dan analisa dalam studi kasus ini menunjukkan pembangkitan harmonisa tegangan tidak terlalu signifikan ($< 3\%$ pada masing-masing orde harmonik dan $< 4\%$ pada THD_v terhadap nilai fundamental), sedangkan harmonisa arus disisi sumber menghasilkan kuantitas persentase harmonisa yang sangat signifikan, ($< 40\%$ pada masing-masing orde harmonik dan $> 30\%$ pada THD_i terhadap nilai fundamental). Level distorsi arus termasuk dalam kategori medium ($20\% < THD_i \leq 50\%$).

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Konverter daya merupakan perangkat konversi energi listrik yang berbasiskan rangkaian elektronik. Salah satu aplikasinya adalah konverter DC-DC yang berfungsi mengkonversikan sumber tegangan DC yang bernilai konstan menjadi tegangan DC variabel secara langsung. Konverter jenis ini lebih dikenal dengan sebutan DC Chopper. Dengan menghubungkan saklar statis (*chopper*) diantara sumber tegangan dan beban terpasang dan mengatur waktu penyala-padaman saklar (t_{on} dan t_{off}) pada rentang frekuensi tetap, maka tegangan keluaran DC Chopper dapat diatur.

Penggunaan konverter berbasis elektronik membuat arus sistem menjadi sangat terdistorsi dengan persentase kandungan harmonisa arus (THD_i) yang sangat signifikan. Strategi kontrol konverter pada proses konversi energi listrik juga menyebabkan pembangkitan harmonisa tegangan ke suplai daya sistem. Namun, ternyata studi dan pengukuran harmonisa tegangan dan arus disisi sumber belum banyak dilakukan.

Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk meneliti dan mengevaluasi pembangkitan harmonisa tegangan dan arus disisi sumber (tegangan jala-jala) akibat penggunaan dan proses switching DC Chopper, khususnya DC Chopper jenis *step-down* satu fasa dengan alat bantu pengukuran HIOKI 3286-20.

Batasan Masalah

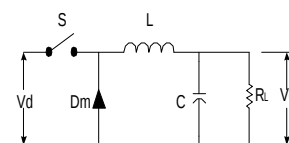
Untuk menghindari pembahasan yang tidak berkaitan langsung dengan judul Tugas Akhir ini, maka penulis memberikan batasan :

1. DC Chopper yang digunakan adalah DC Chopper *step down* satu fasa.
2. Tegangan DC masukan diperoleh dari rangkaian penyearah tak terkontrol satu fasa.
3. Sinyal kontrol pemicuan *chopper* dibuat berdasarkan sistem kontrol PWM.
4. Beban yang terhubung pada DC Chopper adalah beban resistif berupa lampu pijar 12V/35W dan beban induktif berupa lilitan transformator.
5. Bentuk gelombang tegangan jala-jala dianggap sinus murni.
6. Evaluasi dan analisa dilakukan hanya pada sisi masukan dan perbandingan standarisasi.
7. Evaluasi dilakukan dengan analisa tabulasi, grafik, dan naratif, (tidak disimulasikan).
8. Tidak membahas masalah filter.
9. Tidak membahas konstruksi gelombang harmonik.

II. DASAR TEORI

Prinsip Dasar DC Chopper

Penggunaan tegangan searah (DC) dalam sistem tenaga masih sangat dibutuhkan, sehingga peralatan yang menghasilkan tegangan searah terus dikembangkan. Salah satu aplikasinya adalah DC Chopper, dengan tegangan DC keluarannya dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan DC masukannya. Dalam sistem ketenagaan, DC Chopper diaplikasikan sebagai rangkaian kontrol motor dan regulator tegangan DC^[17].



Gambar 2.1 Rangkaian Dasar DC Chopper

Apabila saklar S ditutup, maka tegangan sumber V_d akan terkirim ke beban dan apabila saklar S terbuka, maka beban R_L akan terlepas dari sumber. Dengan mengatur perbandingan waktu saat saklar menutup (t_{on}) dan saat saklar membuka (t_{off}) pada rentang frekuensi yang tetap, maka tegangan keluarannya dapat diatur. Tegangan keluaran DC Chopper dapat dihitung dengan persamaan :^[17]

$$V_o = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \cdot V_d$$

$$= f \cdot t_{on} \cdot V_d \dots\dots\dots(2.1)$$

Dari persamaan (2.1) diatas jelas bahwa tegangan keluaran DC Chopper dapat diatur dengan cara :

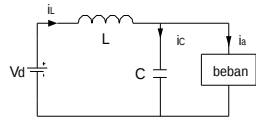
1. Mengatur perbandingan waktu on dan waktu off dengan frekuensi tetap.
2. Mengatur frekuensi dengan waktu on tetap.

DC Chopper Step-Down Satu Fasa

Sesuai dengan namanya, tegangan keluaran DC Chopper *step-down* satu fasa nilainya selalu lebih kecil dari tegangan DC masukannya^[15].

1. DC Chopper Kondisi ON

Jika saklar S pada posisi menutup dalam interval waktu tertentu (t_{on}), maka tegangan V_d akan terkirim ke beban R_L melalui inductor L, sedangkan dioda D mendapat prategangan balik sehingga arus tidak mengalir melalui dioda.



Gambar 2.2 DC Chopper Kondisi ON

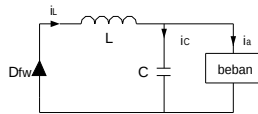
Berdasarkan gambar diatas, diperoleh persamaan :

$$V_d = V_L + V_o = L \frac{di}{dt} + V_o \dots\dots\dots(2.2)$$

$$L di = (V_d - V_o) dt = (V_d - V_o) t_{on} \dots\dots\dots(2.3)$$

2. DC Chopper Kondisi OFF

Jika saklar S dalam posisi hubung terbuka dalam interval waktu tertentu (t_{off}), maka beban R_L terlepas dari sumber V_d , namun arus inductor tetap mengalir melalui dioda D dan memindahkan energi yang tersimpan pada inductor ke beban.



Gambar 2.3 DC Chopper Kondisi OFF

Dari gambar rangkaian 2.3 diatas, sumber tegangannya diperoleh dari inductor (V_L), maka akan didapatkan persamaan berikut :

$$V_L = V_o \dots\dots\dots(2.4)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_o \dots\dots\dots(2.5)$$

$$L di = V_o dt = V_o \cdot t_{off} \dots\dots\dots(2.6)$$

Penggabungan persamaan (2.3) dan (2.6) akan menghasilkan sebuah persamaan baru yang mengandung parameter *duty cycle* (D), yaitu :

$$(V_d - V_o) t_{on} = V_o t_{off} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$V_d t_{on} = V_o (t_{on} + t_{off}) = V_o \cdot T_s \dots\dots\dots(2.8)$$

Persamaan (2.8) dapat disederhanakan :

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = D \dots\dots\dots(2.9)$$

$$V_o = D \cdot V_d \dots\dots\dots(2.10)$$

Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang muncul akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasar atau frekuensi fundamentalnya, yaitu frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya, sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Apabila frekuensi dasar ditetapkan sebesar 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang harmonisa ini akan menumpang pada gelombang murni atau aslinya, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya.

Parameter yang memiliki korelasi dengan permasalahan harmonisa :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} M_n^2}}{M_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan :

M_n : nilai rms komponen harmonisa tegangan atau arus orde ke-n

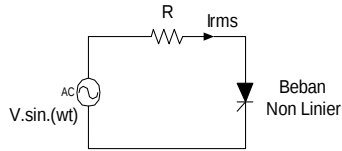
M_1 : nilai rms komponen harmonisa tegangan atau arus orde ke-1

Jika tegangan atau arus masukan mengalami distorsi, berarti telah terjadi penyimpangan bentuk gelombang arus bolak-balik terhadap bentuk gelombang sinus yang merupakan gelombang ideal dari arus bolak-balik yang dibangkitkan pada sistem tenaga listrik. THD menunjukkan tingkat kecacatan gelombang secara keseluruhan dibandingkan dengan bentuk gelombang aslinya dan biasanya dinyatakan dalam persentase.

2.4 Harmonisa Dalam Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk

gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).



Gambar 2.4 Sistem Yang Mensuplai Beban Non Linier

Penggunaan beban non linier, seperti konverter daya berdasarkan rangkaian elektronik ternyata menyebabkan pembangkitan harmonisa arus disisi sumber nilainya sangat signifikan. Sehingga, perlu dilakukan evaluasi dan analisa untuk memperoleh solusi mengeliminir persentase pembangkitan harmonisa, karena penggunaan beban non linier pada berbagai sektor kehidupan akan terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi.

Analisa Fourier

Teori deret Fourier menyebutkan bahwa semua bentuk gelombang asalkan gelombang tersebut adalah periodik dan juga memenuhi syarat-syarat Dirichlet, maka gelombang tersebut dapat dideretkan menjadi penjumlahan dari sejumlah sinyal sinus, kosinus, dan sebuah harga rata-rata atau sinyal konstan.

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots + b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + \dots$$

$$= a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \dots \dots \dots (2.12)$$

nilai a_0 didapat dari persamaan

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \dots \dots \dots (2.13)$$

sedangkan nilai a_n dan b_n didapatkan dari :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt \dots \dots \dots (2.14)$$

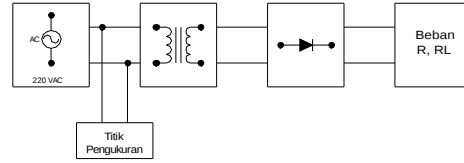
$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega_0 t dt \dots \dots \dots (2.15)$$

III. PENGUKURAN HARMONISA diSISI MASUKAN DC CHOPPER STEP DOWN SATU FASA

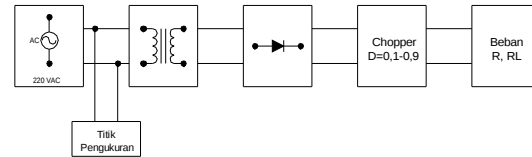
3.1 Blok Diagram Uji

Untuk memudahkan dalam melakukan evaluasi dan analisa, proses pengujian dilakukan dalam dua blok rangkaian uji. Blok rangkaian uji pertama adalah

blok rangkaian catu daya DC dan blok rangkaian uji ke dua adalah DC Chopper.



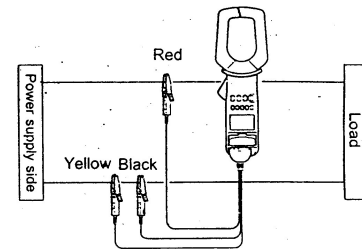
Gambar 3.1 Diagram Blok Rangkaian Uji Pertama



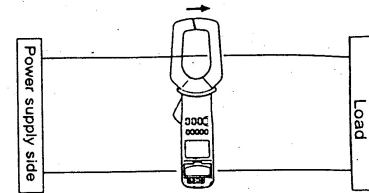
Gambar 3.2 Diagram Blok Rangkaian Uji Ke dua

3.2 Pengukuran Dengan Alat Ukur HIOKI 3286-20

Keseluruhan pengambilan data, baik harmonisa tegangan maupun arus dilakukan dengan bantuan alat ukur HIOKI 3286-20. Alat ini didesain khusus untuk melakukan fungsi pengukuran terhadap harmonisa tegangan dan arus pada rangkaian satu fasa maupun tiga fasa dengan orde harmonik yang dapat terukur adalah orde pertama sampai orde ke dua puluh.^[27]



Gambar 3.3 Proses Pengukuran Harmonisa Tegangan



Gambar 3.4 Proses Pengukuran Harmonisa Arus

Pengukuran harmonisa tegangan dilakukan dengan menggunakan kabel probe tegangan, dengan kabel merah dihubungkan pada kabel fasa rangkaian dan kabel hitam dan kuning dihubungkan ke kawat netral (rangkaiannya satu fasa dua kawat).

Pengukuran harmonisa arus dilakukan dengan menggunakan sensor arus yang berupa *clamp* yang dicapitkan pada kabel fasa dari rangkaian yang akan diukur harmonisa arusnya.

Hal yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan pengukuran adalah bahwa kabel fasa tidak boleh dalam keadaan tanpa isolasi. Jika hal tersebut dilakukan, maka akan dapat merusakkan sensor arus.^[27]

IV. EVALUASI dan ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN HARMONISA diSISI MASUKAN DC CHOPPER STEP DOWN SATU FASA

4.1 Metode Evaluasi dan Analisa

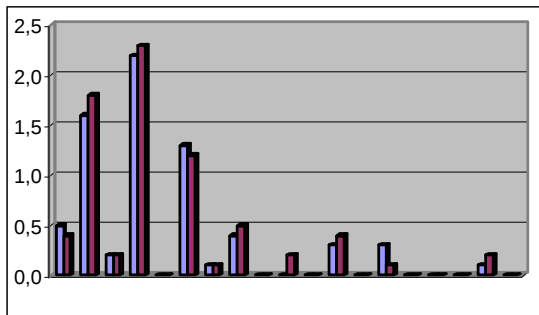
Evaluasi dan analisa data dilakukan dengan membandingkan karakteristik harmonisa tegangan dan arus, THD, dan perbandingan dengan standarisasi yang memiliki korelasi dengan parameter harmonisa.

4.2 Karakteristik Harmonisa

4.2.1 Blok Rangkaian Catu Daya DC

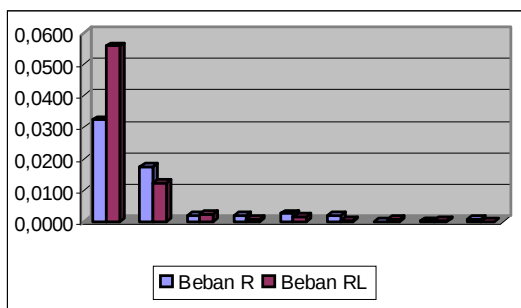
Pengujian dilakukan untuk memperoleh grafik karakteristik harmonisa tegangan dan arus yang ditampilkan dalam bentuk *bar-chart*. Grafik tersebut merepresentasikan kandungan harmonisa tegangan dan arus disisi sumber pada setiap orde harmoniknya akibat penggunaan catu daya DC.

Berikut ini akan ditampilkan karakteristik harmonisa tegangan hasil pengujian pada blok rangkaian catu daya DC. Magnitudo harmonisa tegangan ditampilkan dalam persentase.



Gambar 4.1 Karakteristik Harmonisa Tegangan

Sedangkan karakteristik harmonisa arus hasil pengujian pada blok rangkaian catu daya DC dapat ditampilkan sebagai berikut, dengan ketentuan karakteristik harmonisa arus yang ditampilkan hanya orde harmonik ganjil saja (3,5,7,9,11,13,15,17,19) :



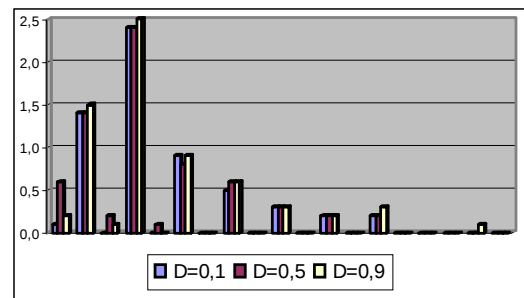
Gambar 4.2 Karakteristik Harmonisa Arus

Berbeda dengan karakteristik harmonisa tegangannya, karakteristik harmonisa arus magnitudonya ditampilkan dalam satuan Ampere.

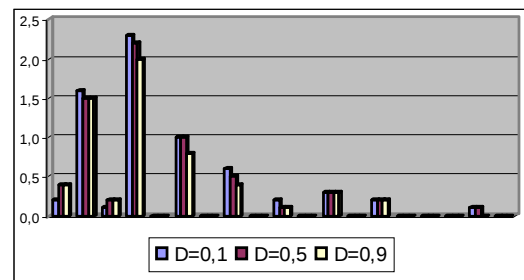
4.2.2 Blok Rangkaian DC Chopper

Pengujian parameter harmonisa, baik harmonisa tegangan maupun harmonisa arus pada blok rangkaian DC Chopper dilakukan dengan mengubah *duty cycle chopper* dari 0,1 (D_{min}) sampai dengan 0,9 (D_{max}), dimana tegangan DC masukannya diperoleh dari rangkaian catu daya DC tak terkontrol satu fasa yang sebelumnya merupakan obyek uji pertama.

Karakteristik harmonisa tegangan dan arus pada sisi masukan ditampilkan dalam bentuk *bar-chart*. Grafik tersebut merepresentasikan kandungan harmonisa tegangan dan arus disisi sumber pada setiap orde harmoniknya akibat penggunaan dan proses *switching* DC Chopper.

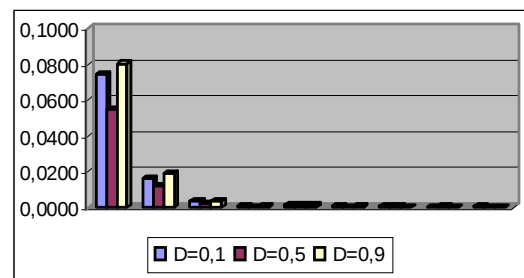


Gambar 4.3 Karakteristik Harmonisa Tegangan Dengan Beban R

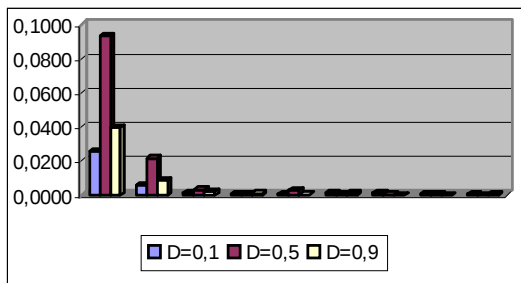


Gambar 4.4 Karakteristik Harmonisa Tegangan Dengan Beban RL

Sedangkan karakteristik harmonisa arus hasil pengujian pada blok rangkaian DC Chopper ditampilkan dalam satuan Ampere sebagai berikut, dengan ketentuan karakteristik harmonisa arus yang ditampilkan hanya orde harmonik ganjil saja (3,5,7,9,11,13,15,17,19) :



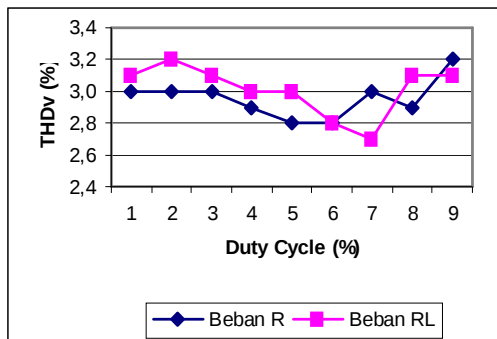
Gambar 4.5 Karakteristik Harmonisa Arus Dengan Beban R



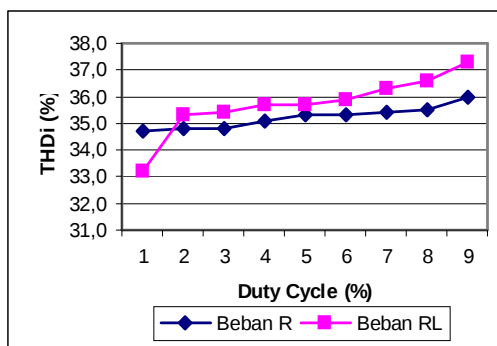
Gambar 4.6 Karakteristik Harmonisa Arus Dengan Beban RL

4.2 Evaluasi Harmonisa THD

Proses pengukuran harmonisa tegangan dan arus dengan alat ukur HIOKI 3286-20 juga menginformasikan persentase pembangkitan harmonisa totalnya (THD). Hasilnya dapat ditampilkan sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan THD_v Terhadap Perubahan Duty Cycle



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan THD_i Terhadap Perubahan Duty Cycle

Grafik diatas menyatakan bahwa pembangkitan harmonisa tegangan disisi sumber akibat penggunaan dan proses *switching* DC Chopper yang memperoleh tegangan DC dari rangkaian penyearah nilainya tidak signifikan ($2\% < THD_v < 4\%$), sedangkan pembangkitan harmonisa arus disisi sumber nilainya sangat signifikan ($30\% < THD_i < 40\%$). Persentase THD_i termasuk kategori medium ($20\% < THD_i \leq 50\%$).

4.3 Evaluasi Standarisasi

Penggunaan rangkaian DC Chopper yang mendapat suplai tegangan DC dari rangkaian penyearah dan *duty cycle chopper* diubah dari D_{min} sampai D_{max} tidak terlalu berpengaruh besar terhadap pembangkitan harmonisa tegangan disisi sumber. Berdasarkan perbandingan dengan standarisasi IEEE 519-1992 dan yang dipakai Swedia, menyatakan nilainya masih dalam batas yang diijinkan.

Demikian pula dengan pembangkitan harmonisa arus (dalam Ampere), nilainya juga tidak melebihi dari standar batas maksimum arus harmonik berdasarkan standarisasi IEC 555 Kelas D dan IEC 1000-3-2 Kelas D.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan tahapan penulisan laporan Tugas Akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyearah satu fasa tak terkontrol dengan variasi beban R dan RL membangkitkan harmonisa tegangan disisi sumber dengan persentase tidak signifikan ($THD_v < 4\%$), sama seperti saat penyearah dihubungkan dengan DC Chopper dengan variasi beban yang sama dan *duty cycle* diubah-ubah dari D_{min} sampai D_{maks} persentase pembangkitan harmonisa tegangannya juga tidak signifikan ($THD_v < 4\%$).
2. Penyearah satu fasa tak terkontrol dengan variasi beban R dan RL membangkitkan harmonisa arus disisi sumber dengan persentase signifikan ($THD_i > 25\%$), nilai ini masih lebih kecil dari saat penyearah dihubungkan dengan DC Chopper dengan variasi beban yang sama dan *duty cycle* diubah-ubah dari D_{min} sampai D_{maks} ($THD_i > 30\%$).
3. Perubahan *duty cycle* DC Chopper dari D_{min} sampai D_{maks} dengan variasi beban R dan RL mengakibatkan persentase pembangkitan harmonisa tegangan total disisi sumber nilainya tidak signifikan ($2\% < THD_v < 4\%$) namun dengan kondisi yang sama pembangkitan harmonisa arus totalnya cukup signifikan ($30\% < THD_i < 40\%$).
4. Harmonisa tegangan akibat penggunaan dan aksi *switching* DC Chopper masih dalam batas yang diperkenankan oleh standarisasi IEEE 519-1992 ($THD_v < 5\%$) dan yang dipakai di Swedia ($THD_v < 4\%$), demikian pula pada setiap orde harmoniknya masih dalam batas yang diijinkan menurut Std. IEEE 519-1992 ($< 3\%$).
5. Harmonisa arus akibat penggunaan dan aksi *switching* DC Chopper khususnya pada orde harmonik ganjil, nilainya tidak melebihi standarisasi dari IEC 555 kelas D dan IEC 1000-3-2 kelas D (masih dalam batas nilai yang diperkenankan).
6. Persentase THD_i akibat penggunaan dan proses *switching* DC Chopper termasuk dalam kategori medium ($20\% < THD_i \leq 50\%$).

5.2 Saran

1. Untuk mereduksi tingginya pembangkitan harmonisa arus disisi sumber pada rangkaian penyearah dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian penyearah *polyphase* dan teknologi filter aktif dan pasif.
2. Akibat proses *switching* DC Chopper, arus akan memiliki komponen-komponen frekuensi tinggi disekitar frekuensi *switching*-nya, dapat dengan mudah dihilangkan dengan filter frekuensi tinggi sederhana.
3. Untuk membatasi pembangkitan harmonisa yang cukup tinggi, perlu dibuat regulasi yang bersifat tidak permanen.
4. Sebaiknya tidak saling didekatkan antara kawat telepon dengan saluran tenaga listrik meskipun itu kawat netral.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Arrilaga, J, Bradley, D. A, Bodger, P. S., **Power System Harmonics**, John Wiley & Sons, 1985.
- [2.] Barkhordarian, Vrej, **Power MOSFET Basics**, International Rectifier, El Segundo, Ca.
- [3.] Boldea, Ion and Nasar, S. A., **Electric Drives**, Crc Press.
- [4.] Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Beaty, H. Wayne, **Electrical Power Systems Quality**, Mc. Graw Hill.
- [5.] Hayt, William H., Kemmerly, Jack E., Silaban, Pantur, Ph.D, **Rangkaian Listrik Jilid 2**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1982.
- [6.] Humpries, James T. and Sheets, Leslie P., **Industrial Electronics**, Breton Publisher, Massachusetts.
- [7.] Jackson, K. G. and Feinberg, R., **Kamus Teknik Listrik**, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- [8.] Kiat Ng, Aik, Thesis For Bachelor of Electrical and Electronic Engineering (Honours) Degree, **Power Electronics Building Blocks**, Queensland, Australia, 1999.
- [9.] Lundquist, Johan, Thesis For Degree Of Licentiate Of Engineering **On Harmonic Distortion in Power Systems**, Department of Electric Power Engineering Chalmer University of Technology, 2001.
- [10.] Malvino, Albert Paul, Ph. D, Prof. M. Barnawi, Ph. D, M. O. Tjia, Ph. D, **Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor**, Penerbit Erlangga, 1994.
- [11.] Mismail, Budiono, **Rangkaian Listrik Edisi Kedua**, Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya, Malang, 1982.
- [12.] Mohan, Ned, Undeland, Tore M., and Robbins, William P., **Power Electronics Converter, Applications, and Design Second Edition**, John Wiley and Sons, Inc.
- [13.] Morris, Noel M. and W. Senior, Frank, **Electric Circuits**, MacMillan Work Out Series.
- [14.] Paice, Derek A., **Power Electronic Converter Harmonics Multipulse Methods for Clean Power**, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, New York.
- [15.] Rashid, Muhammad H., **Power Electronics Circuits, Devices, and Applications-Second Edition**, Prentice-Hall International, Inc.
- [16.] Rusmadi, Dedi, **Aneka Catu Daya (Power Supply)**, CV. Pionir Jaya Bandung, 2001.
- [17.] Sen, P. C., **Power Electronics**, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [18.] Sutrisno, **Elektronika Teori dan Penerapannya**, Penerbit ITB Bandung.
- [19.] Thorborg, Kjeld, **Power Electronics**, Prentice Hall.
- [20.] Tse, Chi Kong, **Analisis Rangkaian Linier**, Penerbit Erlangga.
- [21.] Van Valkenburg, M. E., Nasution, S. H., **Analisis Jaringan Listrik Edisi Ketiga**, Penerbit Erlangga, 1994.
- [22.] Wasito, S., **Vademekum Elektronika Edisi – 2**, PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 2001.
- [23.] Wasito, S., **Data Sheet Book 1 (Data IC Linier, TTL, dan CMOS)**, Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1995
- [24.] Zuhail, **Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya**, Gramedia, 1995.
- [25.], **Elektronika Daya dan Penggunaan Motor Listrik Retraining D3**, PEDC Bandung, 1993.
- [26.], **SPICE for Power Electronics and Electric Power**, Prentice Hall International.
- [27.], **HIOKI 3286-20 Instruction Manual Book**, HIOKI E. E. Corporation, 2002.

Menyetujui/Mengesahkan:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET

NIP. 131 668 485

Karnoto, ST

NIP. 132 162 547

