

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN DC CHOPPER TERHADAP HARMONIK DAN FAKTOR DAYA YANG DIPENGARUHI DENGAN ADANYA KOMPONEN PENYEARAH

Tumbur Francisco^[1], Ir. Agung Warsito, DHET^[2], Ir. Agung Nugroho^[3]

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Elektro Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275

Abstrak – Di lingkup perindustrian dan perumahan sistem tenaga listrik kini banyak terpasang beban-beban nonlinear berupa peralatan elektronik. Hal inilah yang menyebabkan peningkatan distorsi harmonik di sistem distribusi tenaga listrik yang mensuplainya. Tingginya tingkat kandungan distorsi harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik dapat menimbulkan berbagai masalah harmonik dan kualitas daya yang serius. Permasalahan tersebut adalah semakin kecilnya tingkat faktor daya pada sisi sumber yang mensuplainya, sehingga daya nyata yang dikirim tidak optimal atau sangat rendah. Selain itu distorsi harmonik dapat meningkatkan rugi daya dan dapat memiliki efek yang negatif pada sistem distribusi dan komponen peralatan listrik, misalnya dapat menyebabkan panas yang berlebihan pada beban motor.

Pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis koreksi faktor daya dengan menggunakan alat pengubah tegangan dc ke dc dengan memakai komponen elektronika daya MOSFET. Dengan pemakaian komponen tersebut diharapkan dapat menekan tingkat distorsi harmonik yang disebabkan oleh peralatan elektronika daya, yaitu pemakaian penyearah sehingga dalam sistem akan didapatkan daya nyata yang bagus.

Pembuatan perangkat keras DC chopper dengan konfigurasi tipe buck, boost, buck dan boost, cuk, dan sepic dibuat secara modular, dimana komponen tidak terpasang langsung pada rangkaian tetapi melalui konektor sehingga dimungkinkan untuk berbagai variasi komponen yang digunakan, sehingga dapat diketahui mana hasil yang terbaik untuk menekan distorsi harmonik dan meningkatkan faktor daya pada sisi sumber yang mensuplainya. Pengaturan pemunculan menggunakan IC TL 494 dengan nilai frekuensi dan duty cycle yang bervariasi pada MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor). Beban yang digunakan adalah berupa resistor murni atau lampu pijar.

Kata kunci: harmonik, faktor daya, ballast konvensional, dc chopper, MOSFET

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini banyak sekali pemakaian peralatan elektronik yang terhubung pada sistem jaringan distribusi listrik menggunakan aplikasi *rectifier*/penyearah. Penggunaan aplikasi tersebut seperti pada peralatan ASD (*Adjustable Speed Drive*), *battery chargers*, komputer, dan sebagainya dapat memproduksi arus nonsinusoidal yang mengakibatkan munculnya karakteristik beban nonlinear pada sisi input tegangan satu fasa yang menyuplai rangkaian penyearah tersebut.

Arus yang tidak berbentuk sinusoidal tersebut mengintrodusir komponen arus frekuensi tinggi yang terinjeksi ke jala-jala, yang dikenal dengan nama arus harmonisa (karena itu fenomena ini seringkali disebut dengan polusi harmonisa atau *harmonic distortion*). Arus harmonisa ini ternyata menimbulkan sangat banyak implikasi negatif, baik bagi pelanggan. Kerugian akibat harmonisa mencakup aspek teknis, biaya dan keandalan. Salah satu akibat yang sangat merugikan adalah terjadinya penurunan nilai faktor daya pada sisi antara input tegangan satu fasa dan rangkaian aplikasi *rectifier*/penyearah.

Kerugian turunnya faktor daya yang disebabkan *harmonic distortion* dapat mengakibatkan :

1. Munculnya panas yang berlebihan pada peralatan listrik
2. Biaya perawatan menjadi mahal
3. Kondisi tegangan menurun
4. Berkurangnya daya yang pada suatu sistem

Harmonik arus dan tegangan dihasilkan oleh beban nonlinear yang dapat meningkatkan rugi daya, oleh karena itu harmonik dapat menimbulkan efek yang negatif pada sistem distribusi dan komponen peralatan listrik. Walaupun hubungan secara pasti antara harmonik dan rugi-rugi sangat rumit dan sulit untuk dihubungkan, maka dapat dibuat konsep faktor daya dengan membandingkan suatu sistem yang terdapat beban nonlinear dengan sistem yang terdapat

beban linear.

Pada gambar 1.2 faktor daya terbentuk dari daya nyata dan daya reaktif ditambah dengan sudut daya yang terdistorsi yang diakibatkan oleh penempatan beban nonlinear pada sistem. Untuk menekan tingkat distorsi harmonik yang menyebabkan faktor daya semakin buruk maka dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kontrol *dc chopper* dengan topologi rancangan *buck*, *boost*, *buck-boost*, *cuk* dan *sepic* sehingga diharapkan dapat menekan nilai THD arus dan meningkatkan kembali faktor daya.

1.2. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat peralatan elektronika daya yang berupa dc choppers untuk memperbaiki faktor daya dengan menggunakan kontrol dc chopper konfigurasi *buck*, *boost*, *buck-boost*, *cuk* dan *sepic* yang diakibatkan oleh beban nonlinear.

1.3. Pembatasan Masalah

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi oleh :

1. Modul perangkat keras yang dibuat adalah *dc chopper* konfigurasi *buck*, *boost*, *buck-boost*, *cuk*, dan *sepic*.
2. MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) yang digunakan IRFP460 dengan kemampuan tegangan 500 V dan arus maksimal 20 A sebagai komponen elektronika daya untuk saklar.
3. Rangkaian kendali PWM menggunakan IC TL 494 yang mengeluarkan sinyal pemunculan.
4. Isolator pulsa menggunakan *optocoupler* 4N35.
5. Tegangan DC sumber (Vs) sebesar 84 Vdc.
6. Beban yang digunakan adalah beban resistif (lampu pijar) dan beban induktif (ballast konvensional).
7. Harmonik yang dibahas adalah harmonik tegangan pada sisi sumber.
8. Faktor daya yang diukur adalah faktor daya sebelum masuk penyearah.

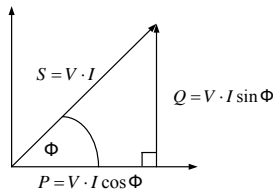
1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip
2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Undip

9. Metode pengukuran yang dilakukan adalah pada kondisi tanpa *Dc Chopper* dan dengan adanya *Dc Chopper*.

II. DASAR TEORI

2.1. Teori Faktor Daya dan Pengaruh Harmonisa terhadap Faktor Daya

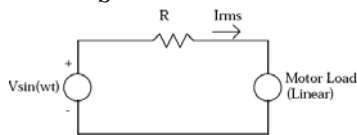
Faktor daya adalah suatu ukuran bahwa seberapa efektifnya daya nyata yang bergerak dari sumber tenaga ke beban listrik pada suatu sistem tenaga listrik. Dalam teorinya, faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan dari daya nyata dengan daya semu. Hubungan antara daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S) dapat diartikan seperti gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan daya nyata, daya reaktif, dan daya semu

Menurut definisi faktor daya di atas maka didapat persamaan sebagai berikut,

$$\text{faktor daya} = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.2 Kondisi sistem tenaga listrik yang sinusoidal

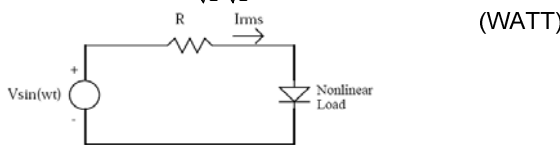
Dari gambar 2.2 didapat persamaan mengenai nilai tegangan dan arus yang bekerja pada rangkaian tersebut, seperti persamaan berikut ini,

$$v(t) = v_1 \sin(\omega_0 t + \delta_1) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$i(t) = i_1 \sin(\omega_0 t + \theta_1) \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga, faktor daya pada kondisi sinusoidal adalah :

$$\text{faktor daya} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{\frac{v_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}} \cos(\delta_1 - \theta_1)}{\frac{v_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}}} = \cos(\delta_1 - \theta_1) \dots\dots(2.4)$$



Gambar 2.3 Rangkaian sistem tenaga listrik yang berbeban nonlinear

Dari gambar 2.3 persamaan tegangan dan arus didapatkan menurut pada persamaan deret forier yang ditunjukkan sebagai berikut :

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k) \dots\dots\dots(2.6)$$

Sehingga, faktor daya pada kondisi beban nonlinear, yaitu:

$$\text{faktor daya}_{\text{total}} = \frac{P_{\text{avg}}}{V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \sqrt{1 + (\text{THD}_v / 100)^2} \sqrt{1 + (\text{THD}_i / 100)^2}} \dots\dots(2.7)$$

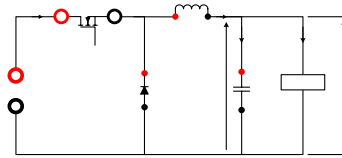
2.2. DC CHOPPER

Pada tugas akhir ini konfigurasi DC CHOPPER yang digunakan adalah :

1. konfigurasi *buck*
2. konfigurasi *boost*
3. konfigurasi *buck-boost*
4. konfigurasi *cuk*
5. konfigurasi *sepic*

2.2.1. DC Chopper Konfigurasi Buck

Pada konfigurasi ini dapat berfungsi sebagai penurun tegangan.



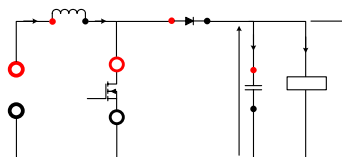
Gambar 2.4 Rangkaian daya konfigurasi *buck*

Tegangan keluaran rata-rata (V_a) adalah

$$V_a = \frac{t_1}{T} V_s = D V_s \dots\dots\dots(2.8)$$

2.2.2. DC Chopper Konfigurasi Boost

Pada konfigurasi ini dapat berfungsi sebagai penaik tegangan.



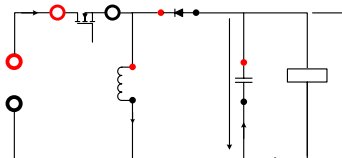
Gambar 2.5 Rangkaian daya konfigurasi *boost*

Tegangan keluaran rata-rata (V_a) adalah

$$V_a = \frac{V_s}{1 - D} \dots\dots\dots(2.9)$$

2.2.3. DC Chopper Konfigurasi Buck-boost

Pada konfigurasi ini dapat berfungsi sebagai penaik-penurun tegangan.



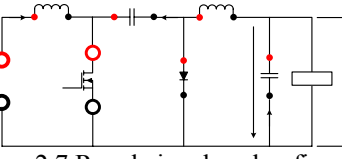
Gambar 2.6 Rangkaian daya konfigurasi *buck-boost*

Tegangan keluaran rata-rata (V_a) adalah

$$V_a = \frac{D}{1 - D} V_s \dots\dots\dots(2.10)$$

2.2.4. DC Chopper Konfigurasi Cuk

Pada konfigurasi ini dapat berfungsi sebagai penaik-penurun tegangan.



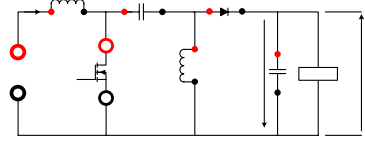
Gambar 2.7 Rangkaian daya konfigurasi *cuk*

Tegangan keluaran rata-rata (V_a) adalah

$$V_a = \frac{D}{1-D} V_s \dots\dots\dots(2.11)$$

2.2.5. DC Chopper Konfigurasi Sepic

Pada konfigurasi ini dapat berfungsi sebagai penaik-penurun tegangan.



Gambar 2.6 Rangkaian daya konfigurasi buck-boost

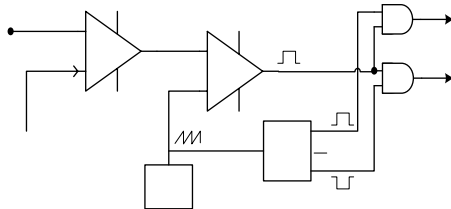
Tegangan keluaran rata-rata (V_a) adalah

$$V_a = \frac{D}{1-D} V_s \dots\dots\dots(2.12)$$

2.3 Penyusun Rangkaian DC Chopper

Rangkaian penyusun *dc chopper* antara lain:

1. Penyearah (*Rectifier*)
2. Filter Kapasitor
3. MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor*)
4. Rangkaian Pelindung (*snubber*)
5. Isolator Pulsa
6. Drive Gerbang
7. Rangkaian Kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*)



Gambar 2.3 Blok diagram pembangkitan sinyal PWM

Error amplifier mengkomparator sinyal *feedback* dengan tegangan referensi yang tetap, sinyal *error amplifier* yang dihasilkan sebagai masukan untuk *inverting* komparator sedangkan masukan untuk *noninverting* komparator dari osilator berupa gelombang gigi gergaji. Keluaran osilator juga untuk menggerakkan *flip-flop* yang menghasilkan gelombang kotak Q dan Q komplement. Sinyal keluaran dari komparator dan *flip-flop* digunakan untuk menggerakkan gerbang logika *AND*.

2.4 HARMONISA

Harmonisa adalah arus atau tegangan sinusoidal yang mempunyai frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar atau fundamental (biasanya 50 atau 60 Hz). Gelombang distorsi memiliki bentuk gelombang yang terbentuk oleh penjumlahan frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa. Jika frekuensi dasar pada suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan tegangan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat.

Dengan menggunakan alat ukur akan didapatkan nilai V_{eff} untuk rasio atau besaran rms harmonisa arus atau tegangan ini dapat juga dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). Dimana dalam perumusannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} (U_h)^2}}{U_1} \times 100\% \quad \text{atau} \quad THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} (I_h)^2}}{I_1} \times 100\%$$

dimana :

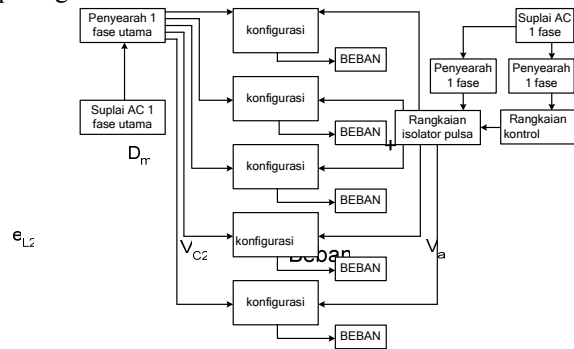
U_h = kuantitas / nilai rms dari komponen tegangan pada harmonik h

I_h = kuantitas / nilai rms dari komponen arus pada harmonik h

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Modul Perangkat Keras DC Chopper

Blok diagram perancangan modul ini ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram modul perangkat keras DC chopper

3.2 DC Chopper

Rangkaian *DC chopper* yang dirancang berupa rangkaian yang fleksibel dimana komponen tidak terhubung langsung dengan rangkaian tetapi dihubungkan melalui pin dan konektor.

Komponen-komponen yang terbentuk dalam modul DC Chopper antara lain :

1. MOSFET
MOSFET yang digunakan adalah IRFP460, dengan tegangan *breakdown drain source* $V_{(BR)DSS}$ adalah 500 V dan kemampuan arus *drain* maksimal $I_{D(max)}$ sebesar 20 A.
2. Dioda
Dioda yang digunakan mempunyai kemampuan arus maju (I_F) sebesar 8 A dan tegangan mundur (V_R) sebesar 600 V.
3. Induktor
Induktor yang digunakan untuk pembuatan modul *DC chopper* terdapat dua buah yang besarnya 44 mH.
4. Beban
Beban yang digunakan adalah beban lampu pijar yang besarnya 60 W dan 120 W serta ballast konvensional.
5. Kapasitor
Kapasitor yang digunakan untuk pembuatan modul *DC Chopper* ini berfungsi sebagai filter kapasitor dan mempunyai nilai : 800 μF .

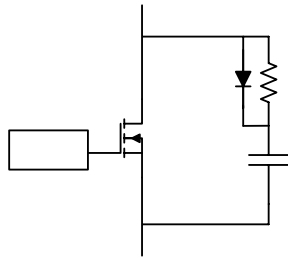
3.3 Rangkaian Pelindung (Snubber)

Rangkaian *snubber* yang digunakan pada perancangan modul ini ditunjukkan pada gambar 3.3.



Feedback
sinyal

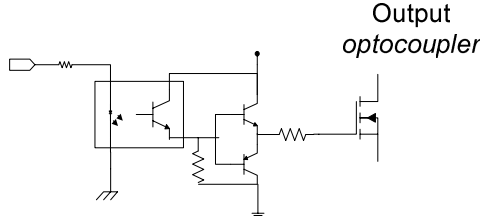
Q
F/F
Q



Gambar 3.2 Rangkaian *snubber*

3.4 Isolator Pulsa

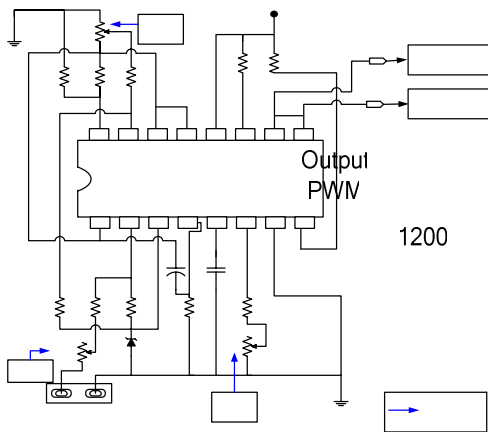
Rangkaian isolator pulsa yang dirancang seperti gambar 3.4.



Gambar 3.3 isolator pulsa menggunakan *optocoupler*

3.5 Rangkaian Kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*)

Perancangan kontrol PWM memiliki spesifikasi yaitu frekuensi pensaklaran antara 15,71 KHz hingga 55 KHz *duty cycle* antara 10 % hingga 75 %.

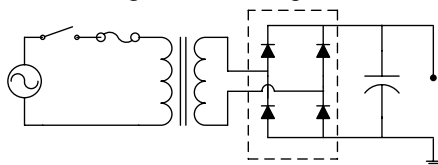


Gambar 3.4 rangkaian kontrol PWM

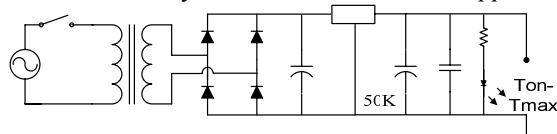
3.6 Penyearah (Rectifier)

Penyearah yang digunakan adalah untuk :

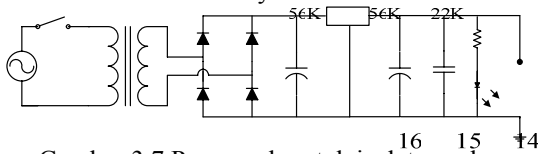
1. Suplai utama rangkaian DC Chopper
2. Suplai untuk rangkaian PWM
3. Suplai untuk rangkaian isolator pulsa



Gambar 3.5 Penyearah utama untuk *DC chopper*



Gambar 3.6 Penyearah untuk PWM



Gambar 3.7 Penyearah untuk isolator pulsa

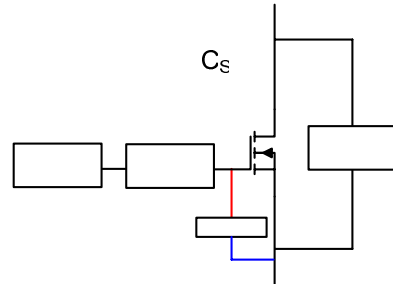
IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengambilan data pada tugas akhir ini meliputi :

- Pengambilan data/pengujian bentuk gelombang PWM
- Harmonisa arus dan tegangan
- THD arus dan tegangan
- Faktor daya

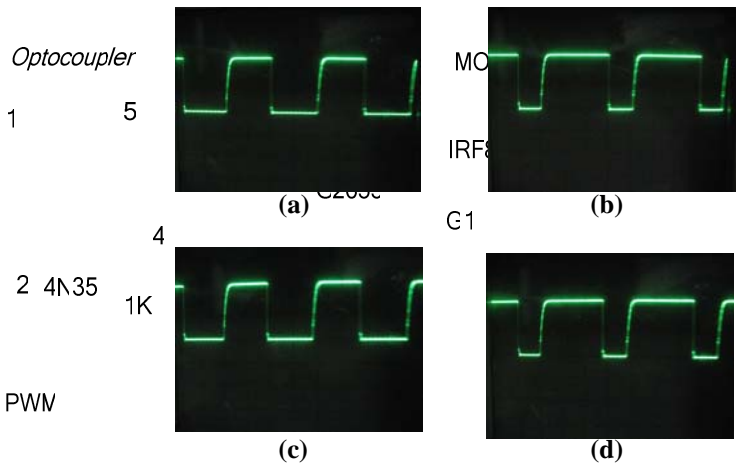
4.1 Pengujian Bentuk Gelombang PWM

Pengujian bentuk gelombang PWM dilakukan pada sisi antara keluaran *optocoupler* dan MOSFET. Peletakan kabel probe ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.1. Rangkaian pengukuran gelombang keluaran PWM

Bentuk gelombang keluaran PWM yang diukur pada *duty cycle* dan frekuensi yang berbeda dapat dilihat pada gambar berikut ini.

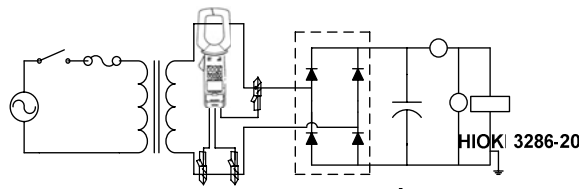


v/div = 5 v/div ; t/div = 10 μs/div

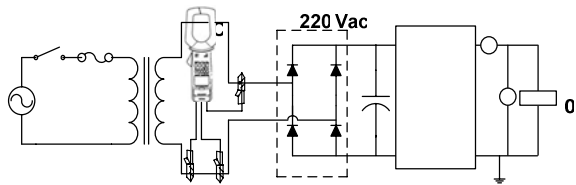
- Gambar 4.2. (a) Gelombang keluaran PWM pada $f = 25$ kHz, $D = 0,5$
 (b) Gelombang keluaran PWM pada $f = 25$ kHz, $D = 0,75$
 (c) Gelombang keluaran PWM pada $f = 26,32$ kHz, $D = 0,5$
 (d) Gelombang keluaran PWM pada $f = 26,32$ kHz, $D = 0,74$

4.2 Pengukuran Harmonisa Tegangan, Arus, THD, dan Faktor Daya

Berikut dapat dilihat teknik pengukuran Harmonisa tegangan, arus, THD, dan faktor daya yang menggunakan alat ukur *Clamp tester HIOKI 3286-20* dimana pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan bantuan komputer.

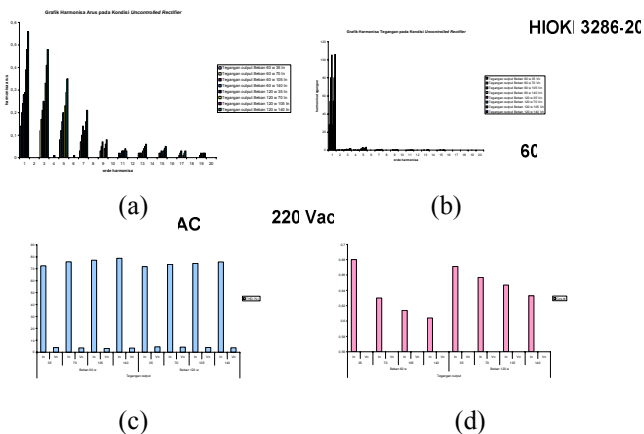


Gambar 4.3. Rangkaian pengukuran pada kondisi *uncontrolled rectifier* 60



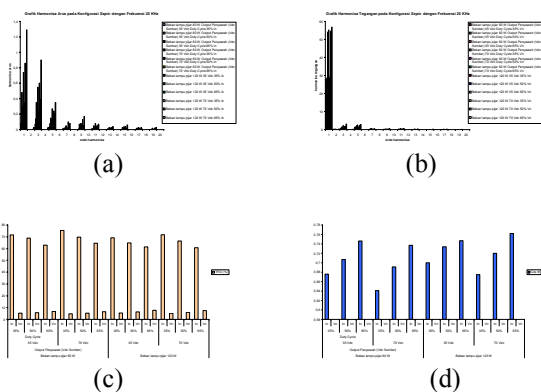
Gambar 4.4. Rangkaian pengukuran pada kondisi *controlled rectifier*

Berikut adalah merupakan sampel grafik hasil pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini.



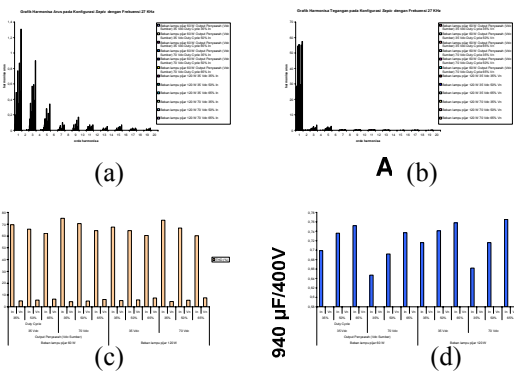
Gambar 4.5 kondisi *uncontrolled rectifier*

- (a) grafik harmonisa arus
- (b) grafik harmonisa tegangan
- (c) grafik THD terhadap variasi beban dan tegangan keluaran *dc*
- (d) grafik $\cos \Phi$ terhadap variasi beban dan tegangan keluaran *dc*



Gambar 4.5 kondisi *controlled rectifier* dengan konfigurasi *Sepic* pada frekuensi 25 KHz

- (a) grafik harmonisa arus
- (b) grafik harmonisa tegangan
- (c) grafik THD terhadap variasi beban dan tegangan keluaran *dc chopper*
- (d) grafik $\cos \Phi$ terhadap variasi beban dan tegangan keluaran *dc chopper*



Gambar 4.5 kondisi *controlled rectifier* dengan konfigurasi *Sepic* pada frekuensi 27 KHz

- (a) grafik harmonisa arus
- (b) grafik harmonisa tegangan
- (c) grafik THD terhadap variasi beban dan tegangan keluaran *dc chopper*
- (d) grafik $\cos \Phi$ terhadap variasi beban dan tegangan keluaran *dc chopper*

Dari sampel grafik hasil pengukuran di atas dapat terlihat bahwa karakteristik kerja pada kondisi *uncontrolled rectifier* dan *controlled rectifier* berbeda. Pada kondisi *controlled rectifier* terjadi perbaikan faktor daya dan pengurangan nilai THD arus namun cenderung menambah THD tegangan sedangkan kondisi *uncontrolled rectifier* terjadi penurunan faktor daya dan penambahan nilai THD arus serta cenderung mengurangi THD tegangan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil pengujian dan analisa tentang koreksi faktor daya pada beban *dc* dengan menggunakan kontrol *dc chopper* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar tegangan keluaran pada kondisi *uncontrolled rectifier* maka THD arus semakin meningkat, THD tegangan cenderung menurun dan faktor daya cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh penggunaan komponen penyearah dalam sistem tenaga listrik sehingga dapat menyebabkan distorsi harmonik yang berakibat pada suatu penurunan faktor daya pada sisi sumber
2. Pada kondisi *uncontrolled rectifier* dengan adanya penambahan daya *output* maka faktor daya cenderung meningkat namun dengan penambahan ballast konvensional faktor daya cenderung menurun. Pada kondisi *controlled rectifier* dengan adanya penambahan daya *output* maka faktor daya cenderung meningkat dan dengan penambahan ballast konvensional faktor daya juga cenderung meningkat.
3. Harmonik yang timbul akibat pemakaian komponen penyearah pada kondisi *uncontrolled rectifier* dan *controlled rectifier* dengan segala konfigurasi mempunyai dominasi timbul pada orde ganjil yaitu 3, 5, 7, 9, dan seterusnya.
4. Penggunaan perangkat keras *dc chopper* dengan konfigurasi *buck*, *boost*, *buck-boost*, *cuk*, dan *sepic* dapat mengurangi tingkat THD arus namun terjadi peningkatan THD tegangan yang tidak terlalu besar dan dapat meningkatkan faktor daya seiring dengan peningkatan tegangan keluaran melalui pengaturan *duty cycle* pada kontrol PWM.

5. Dengan adanya peningkatan frekuensi pensaklaran maka faktor daya akan cenderung lebih baik karena peningkatan frekuensi pensaklaran dapat mengurangi tingkat *ripple* arus pada DC Chopper sehingga efisiensi daya dapat ditingkatkan.
6. Pada penggunaan perangkat keras terdapat lima konfigurasi yang dibuat. Secara kualitas dalam penekanan unsur THD untuk setiap konfigurasi relatif sama namun untuk hasil yang paling baik adalah konfigurasi *cuk*.

5.2 Saran

Untuk kepentingan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk lebih presisi dalam pengaturan frekuensi dan lebar pulsa maka rangkaian pemucuan dengan IC TL 494 dapat diganti dengan rangkaian menggunakan mikrokontroler AT89S51 atau seri lain yang sejenis.
2. Penggunaan *optocoupler* sebaiknya yang mempunyai karakteristik waktu tunda yang relatif kecil sehingga dapat digunakan untuk frekuensi yang tinggi.
3. Dapat dilakukan penelitian yang bertujuan mengembangkan tugas akhir ini dengan mengganti beban dc dengan beban inverter.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agrawal, Jai P. *Power Electronic Systems: Theory and Design*, Pearson Education Pte, Ltd. 2002.
2. Arrilagga, *Power System Harmonics*, John Wiley & Sons, 1985
3. Auvinen, Gunnari, Control Loop for the PANSAT Power Subsystem, Project Number: ECE-RQL-D405, Worcester Polytechnic Institute, August 19, 2004.
4. Chrysis George, *High Frequency Switching Power Supplies; Theory and Design*, Mc Graw-Hill Published Company, International Edition 1989.
5. Douglas, Matthew, 2.4kW Unity Power Factor Rectifier, School of Information Technology and Electrical Engineering, University of Queensland, October 2003.
6. Eko Rahardjo, Rino, *Tugas Akhir: Pembuatan Modul Perangkat Keras DC Chopper*, Universitas Diponegoro Semarang, 2005.
7. Grigore, Vlad, Topological Issues in Single Phase Power Factor Correction, Institute of Intelligent Power Electronics Publications, Department of Electrical and Communications Engineering, Helsinki University of Technology, November, 2001.
8. <http://www.onsemi.com/>
9. <http://www.irf.com/>
10. <http://www.motorola.com>.
11. Huang Qihong, Harmonic Reduction in a Single Switch Three Phase Boost Rectifier with Harmonic-Injected PWM, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, February 4, 1997.
12. K cheng, David, *Analisa Sistem Linier*, Aksara Persada Press, 1984.
13. Mack Grady, W and Gilleskie, Robert J, Harmonics and How They Relate to Power Factor, Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA'93), San Diego, CA, November, 1993.
14. Masri, Syafrudin, Pemodelan dan Prediksi Distorsi Harmonisa pada Utiliti Listrik Perumahan yang

- Disebabkan oleh Beban Nonlinear, IES 2004 – Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS, 2004.
15. Pamungkas, Wisnu, *Evaluasi Harmonisa Beban Non Linear Studi Kasus Pada PT. Stevania Djarum Kudus.2005*
 16. Rashid, Muhammad H, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
 17. S1-Ekstensi Kerjasama, *Harmonisa*, Universitas Diponegoro Semarang, 2004.
 18. Svensson, Stefan, "A precision wattmeter for non-sinusoidal conditions," Report No. 223L, Chalmers University of Technology, Electric Power Engineering, Göteborg, Sweden, 1995.
 19. Zhang, Wanfeng. Liu, Yan-Fei. Feng, Guang. Wu, Bin, A Digital Power Factor Correction (PFC) Control Strategy Optimized for DSP, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19, No. 6, November 2004.
 20. Zhao, Yiqing, Single Phase Power Factor Correction Circuit with Wide Output Voltage Range, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, February 6, 1998.
 21. Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, 1995.
 22. _____, *Harmonisa*, Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP, 2004.



Tumbur Francisco

Lahir di Jakarta, 22 September 1984 selepas dari SMUN 2 Jakarta melanjutkan pendidikan S1 di Undip Semarang. Saat ini sedang menyelesaikan studinya di jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi Tenaga Listrik. Bidang yang diminati Elektronika Daya.

Menyetujui ,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET

NIP. 131 668 485

Tanggal : _____

Ir. Agung Nugroho

NIP. 131 668 508

Tanggal : _____