

ANALISIS FILTER HARMONISA PASIF UNTUK MENGURANGI HARMONISA PADA PENYEARAH TERKENDALI SATU FASA

ANALYSIS OF PASSIVE HARMONIC FILTER TO REDUCE HARMONICS AT SINGLE PHASE CONTROLLED RECTIFIER

Elvinda J.R¹Ekki Kurniawan,
ST., MSc²Budi Setiadi, ST., MT³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹vindajr@gmail.com²ekikurniawan2012@gmail.com³harist@stttelkom.ac.id

ABSTRAK

Catuan listrik yang diberikan PLN kepada konsumennya adalah 220 VAC. Untuk konsumen yang memiliki beban yang memerlukan catu daya arus listrik searah, maka mereka memerlukan penyearah untuk mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. Selain diperlukan penyearah, diperlukan juga trafo step-down untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan. Selain beban, penyearah dan trafo itu sendiri juga menghasilkan frekuensi harmonisa yang menimbulkan distorsi pada sistem. Untuk mengurangi frekuensi harmonisa pada rangkaian listrik, maka dipasanglah filter yang terdiri dari komponen tahanan, induktor, dan kapasitor.

Pada Tugas Akhir ini telah dirancang dan dianalisis tentang filter harmonisa pasif yang berfungsi mengurangi harmonisa yang ditimbulkan oleh penggunaan penyearah dan beban nonlinier. Perbandingan pengujian untuk mendapatkan hasil dilakukan pada performansi sistem sebelum dan sesudah filter dipasang. Berdasarkan hasil simulasi, pemasangan filter harmonisa berhasil mereduksi THDi sampai dengan 27,09-0,11% untuk frekuensi harmonisa 150 Hz (harmonisa orde 3) sesuai dengan standar IEEE 519-1992, meskipun pada sudut penyalan (*firing angle*) 90 filter harmonisa belum mampu mereduksi THDi sampai di bawah 20% . Pemasangan filter harmonisa pasif dapat mengurangi harmonisa sehingga didapatkan daya yang maksimal dan efektif karena dengan kecilnya harmonisa berarti faktor daya sistem tersebut semakin bagus dan semakin baik pula performansinya.

Kata Kunci : Penyearah, Harmonisa, Filter Harmonisa Pasif, THD

ABSTRACT

Electricity supply provided by PLN for the consumers is 220 VAC. For consumers with load which required DC electricity supply, they need rectifier to convert AC electricity to DC electricity. Beside rectifier, step-down transformer is also required to reduce voltage to suit the need of electric device. load is not the only one causes harmonic frequency. Rectifier and transformer also produce harmonic frequency which causes distortion on system. To reduce harmonic frequency on system, filter which consist of resistor, inductor and capacitor is attached on system.

In this final project has been designed and analyzed of a passive harmonic filter which serves to reduce harmonics caused by the use of rectifier and nonlinear loads. Comparative testing to get the results done on system performance before and after the filter is installed. Based on simulation results, the installation of harmonic filter managed to reduce THDi up to 27.09 to 0.11% for the harmonic frequency of 150 Hz (harmonic order 3) according to IEEE standard 519-1992, despite the firing angle (firing angle) 90 filter harmonics yet able to reduce the THDi to less than 20%. Installation of passive harmonic filter can reduce harmonics to obtain maximum and effective power because less harmonics at the system leads to better power factor which means better performance.

Keywords : Rectifier, Harmonic, Harmonic Passive Filter, THD

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Catuan listrik yang diberikan untuk konsumsi rumah tangga oleh PLN adalah *Alternating Current* (AC) satu fasa dengan spesifikasi tegangan 220V dan frekuensi 50/60Hz. Beberapa perangkat elektronik membutuhkan sumber *Direct Current* (DC) sehingga dibutuhkanlah *rectifier* untuk menyearahkan sumber AC menjadi sumber DC.

Penggunaan *rectifier* dan beban *non-linear* akan menghasilkan *noise* yang mengakibatkan gelombang AC menjadi cacat karena *noise*, dan hal ini disebut harmonisa. Semakin besar harmonisa maka semakin kecil pula nilai faktor daya sehingga performansi sistem maksimal sebagaimana mestinya. Guna meminimalisir harmonisa maka dibuatlah filter harmonisa pasif. Filter harmonisa pasif yang dibuat terdiri dari komponen resistor, induktor, dan kapasitor.

Tujuan dari penelitian pada tugas akhir ini adalah menghasilkan filter harmonisa pasif yang mampu meminimalisir harmonisa pada suatu sistem melalui uji coba dan analisis.

Parameter yang digunakan untuk menunjukkan performansi sistem pada tugas akhir ini adalah THD, dimana akan ditunjukkan bahwa THD sistem dengan filter akan lebih baik dari pada THD sistem sebelum dipasang filter. Selain menghasilkan nilai THD yang lebih baik, filter yang dirancang juga diharuskan untuk menghasilkan nilai THD yang sesuai dengan standar IEEE 519-1992.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Mendesain penyearah terkendali 1 fasa.
2. Mengetahui nilai %THD (*% Total Harmonic Distortion*) arus dan tegangan pada penyearah terkendali 1 fasa.
3. Mendapatkan nilai filter harmonisa pasif dan mendesain filter harmonisa pasif untuk mereduksi harmonisa yang ditimbulkan dari beban *non-linear* berdasarkan data pengamatan %THD arus dan tegangan.
4. Mengimplementasikan filter harmonisa pasif pada sistem kelistrikan untuk mereduksi harmonisa sehingga dapat mengantisipasi dan mengurangi kerusakan pada perangkat.

1.3 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan rangkaian *rectifier* satu fasa dan filter harmonisa pasif yang akan dirancang.
2. Bagaimana merancang *rectifier* dan filter harmonisa pasif.
3. Bagaimana memilih bahan yang tepat pada *rectifier* dan filter harmonisa pasif yang akan dirancang.
4. Bagaimana perubahan harmonisa yang terjadi sebelum dan sesudah pemasangan filter harmonisa pasif pada sistem kelistrikan.

1.4 Batasan Masalah

Tugas akhir ini akan membatasi permasalahan pada poin-poin berikut:

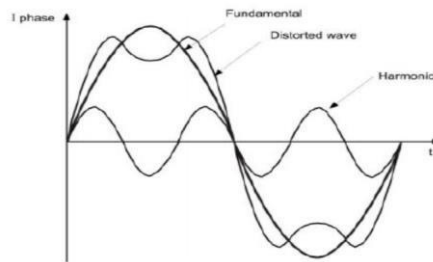
1. Perancangan penyearah terkendali satu fasa penuh menggunakan SCR BT 151-500R dengan input 220 volt AC.
2. Rangkaian kontrol SCR menggunakan mikrokontroler.
3. Beban nonlinier adalah beban yang terpasang pada sistem tenaga listrik pada saat beroperasi.
4. Penekanan penelitian ini yaitu pada perancangan filter harmonisa pasif yang digunakan untuk mereduksi harmonisa akibat pemakaian beban nonlinier.
5. Analisa harmonisa dan desain filter harmonisa pasif hanya dilakukan pada titik penyearah terkendali menghasilkan tegangan tertinggi.
6. Analisa harmonisa dilakukan dengan menggunakan standar yang dikeluarkan oleh IEEE yaitu *IEEE std 519-1992*.
7. Orde filter yang digunakan yaitu orde 1.
8. Beban yang digunakan lampu pijar 100W.
9. Frekuensi harmonisa yang akan difilter yaitu harmonisa pada frekuensi 150 Hz.

2. Dasar Teori

2.1 Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik, daya yang didistribusikan adalah pada level tegangan dengan frekuensi tunggal (50 Hz atau 60 Hz), tetapi karena perkembangan beban listrik yang semakin pesat dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban non linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombang sinusoidalnya.

Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang disebabkan oleh pemakaian beban non linier lebih dikenal dengan harmonisa, dengan kata lain harmonisa adalah komponen gelombang arus atau tegangan sinusoidal yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Misalnya bila frekuensi fundamentalnya 50 Hz maka harmonisa ke-2 adalah gelombang sinusoidal dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ke-3 gelombang sinusoidal dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya. Hal ini dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa, dan Gelombang Fundamental Terdistorsi.

2.2 Perhitungan Harmonisa

Harmonisa dihasilkan oleh beberapa beban tidak linier atau alat yang mengakibatkan arus tidak sinusoidal. Untuk menentukan besar *Total Harmonic Distortion (THD)* dari perumusan analisa deret *Fourier* untuk tegangan dan arus dalam fungsi waktu, yaitu :

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t + \theta_n) \dots \dots (2.1)$$

Dimana : V_0 = Komponen *dc* dari gelombang tegangan (V)

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t + \varphi_n) \dots \dots (2.2)$$

Dimana : I_0 = Arus *dc* (A)

Tegangan dan arus *rms* dari gelombang sinusoidal yaitu nilai puncak gelombang dibagi $\sqrt{2}$ dan secara deret *Fourier* untuk tegangan dan arus yaitu:

$$V_{rms} = V_0 + \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{V_n}{\sqrt{2}}\right)^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$I_{rms} = I_0 + \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2} \dots \dots (2.4)$$

THD tegangan dan arus didefinisikan sebagai nilai *rms* harmonisa di atas frekuensi fundamental dibagi dengan nilai *rms* fundamentalnya, dengan tegangan *dc*-nya diabaikan. *THD* tegangan sebagai persamaan 2.5.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_{rms})^2}}{V_0} \dots \dots (2.5)$$

Dengan mengabaikan tegangan *dc* (V_0) dan nilai V_{rms} digantikan dengan $V_n/\sqrt{2}$ pada Persamaan (2.5), sehingga *THD_v* dapat dituliskan dalam persamaan 2.6.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{V_n}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{V_1}{\sqrt{2}}} \dots \dots (2.6)$$

Dan *THD* arus sebagai persamaan 2.7.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_{rms})^2}}{I_{1rms}} \dots \dots (2.7)$$

Dengan mengabaikan arus *dc* (I_0) dan nilai I_{rms} digantikan dengan $I_n/\sqrt{2}$ pada Persamaan (2.7), sehingga *THD_i* dapat dituliskan dalam persamaan 2.8.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{I_1}{\sqrt{2}}} \dots \dots (2.8)$$

2.3 Standar Harmonisa

Standar harmonisa yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (*THDi*) dan batas harmonisa untuk tegangan (*THDv*). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling). Untuk batas harmonisa tegangan ditentukan dari

besarnya tegangan sistem yang terpasang atau dipakai. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan IEEE Std 519-1992 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Batas Distorsi Arus Harmonisa untuk Sistem Distribusi Umum (120V sampai 69kV)

**Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120V Through 69,000V)**

I_{sc}/I_L	Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L					TDD
	Individual Harmonic Order (Odd)					
	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above where
 I_{sc} = maximum short circuit current at PCC
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below		
69,00001 kV through 161 kV	3.0	5.0
	1.5	2.5
161,001 kV and above	1.0	1.5

(Sumber: IEEE Recommended Practices And Requirements, 2004 : 78)

%THDV adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa dan %THDI adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa. De La Rosa mendefinisikan THD dengan persamaan:

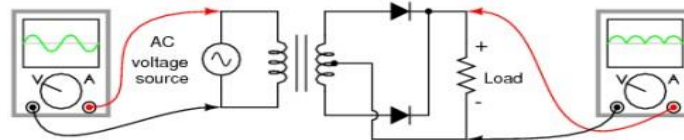
$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2}}{V_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.9)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}}{I_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

2.4 Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Wave

Penyearah terkendali penuh satu fasa yang berfungsi mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah terdiri dari 2 SCR. Penyearah ini akan mendapat inpt berupa tegangan 64 VAC dan memberikan output tegangan searah.

Besarnya tegangan output yang keluar dari penyearah ini berupa Vdc yang juga sering dinotasikan dengan Vo dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:



Gambar 2.2 Penyearah gelombang penuh

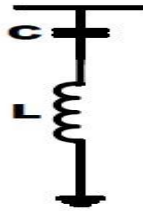
$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) \dots \dots \dots (2.11)$$

$$= \frac{V_m}{\pi} [-\cos \omega t]_0^{\pi} = \frac{2V_m}{\pi} \dots \dots \dots (2.12)$$

2.5 Filter Harmonisa Pasif

Filter harmonisa pasif bisa disusun dari rangkaian kombinasi induktor, kapasitor dan resistor. Harga filter pasif relatif murah, namun karena terdiri dari komponen pasif, filter jenis ini performanya dipengaruhi oleh impedansi jala-jala. Oleh sebab itu, pemasangan filter pasif perlu mempertimbangkan impedansi jala-jala. Filter pasif juga menginjeksikan daya reaktif karena terdiri dari komponen induktor dan kapasitor.

Gambar dibawah ini menunjukkan berbagai bentuk rangkaian filter harmonisa pasif. Pada Tugas akhir ini konfigurasi filter harmonisa pasif yang dibuat adalah filter pasif orde 2 yaitu gambar (b) dari gambar 2.8.

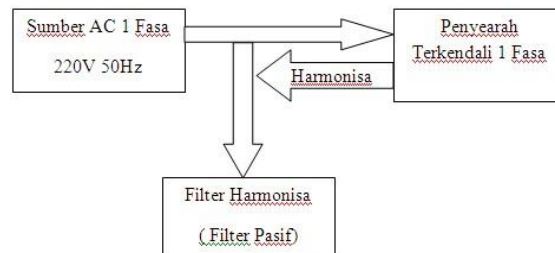


Gambar 2.3 Filter harmonisa pasif Single-tuned jenis *Damped Filter* orde 1

3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Blok Sistem

Perencanaan sistem secara keseluruhan dapat dijelaskan seperti pada gambar 2.1

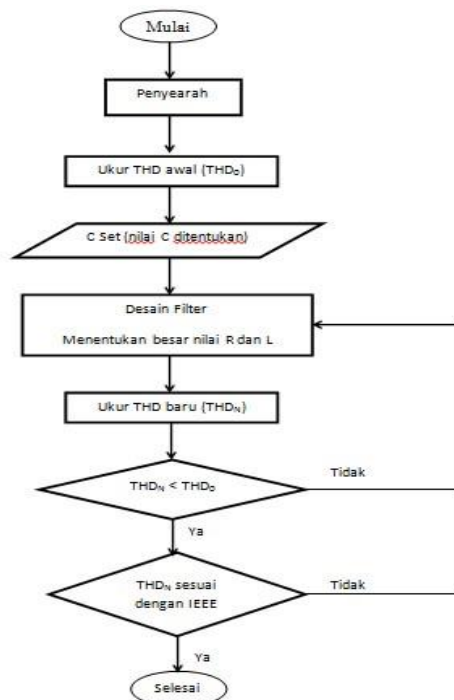


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan gambar diatas bahwa *input* sistem adalah arus bolak-balik yang berasal dari PLN. Input tersebut kemudian masuk ke rangkaian penyearah terkendali 1 fasa gelombang penuh. Penggunaan beban non-linear berupa perangkat penyearah sendiri rupanya menghasilkan harmonisa yang membuat gelombang asli dari PLN mengalami cacat sehingga tidak lagi berbentuk gelombang sinus murni. Untuk mengurangi dampak dari harmonisa maka dipasang filter pasif setelah sumber AC 1 fasa dari PLN yang berfungsi untuk memfilter harmonisa sehingga cacat pada gelombang sinus dapat dikurangi sedemikian rupa.

3.2 Diagram Alir Pengerjaan

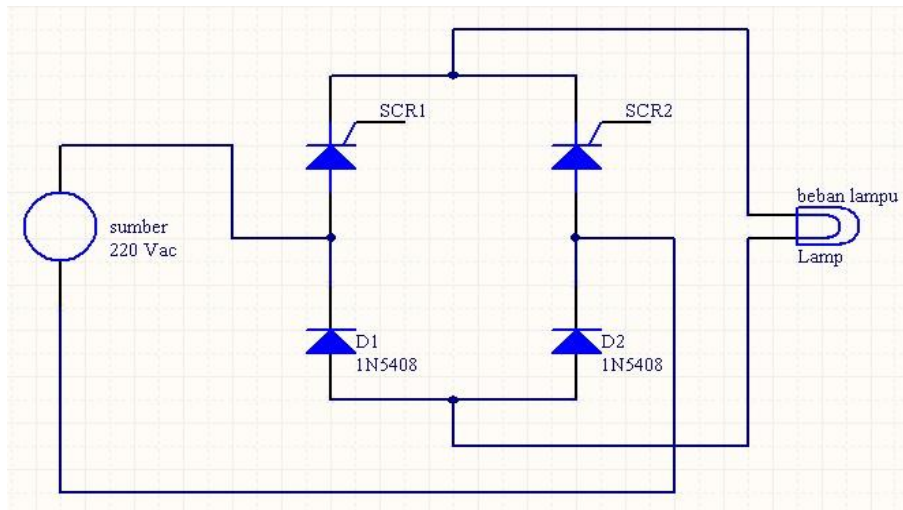
Diagram alir dibawah ini menjelaskan mengenai alur pengerjaan dari sistem yang akan diimplementasikan pada tugas akhir ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan

3.3 Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Wave

Penyearah berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Pada tugas akhir ini digunakan penyearah terkontrol satu fasa *full wave* (gelombang penuh) yang tersusun dari dua SCR dengan tipe BT151-500R. Sumber catuan untuk mencatu blok penyearah ini langsung dari PLN yaitu 220 VAC yang kemudian di *step-down* dengan trafo menjadi 64 VAC. Pada SCR kaki *gate* berfungsi sebagai penyalur atau penerus pulsa.



Gambar 3.3 Rangkaian Penyearah Terkendali Satu Fasa menggunakan komponen penyearah *Silicon Controlled Rectifier* (SCR BT151-500R) dan dioda biasa

3.4 Perancangan Sumber Tegangan

Keseluruhan sistem ini mempunyai suplai utama yang berasal dari PLN yaitu 220 V, namun karena beberapa blok yang terdiri dari komponen-komponen yang membutuhkan spesifikasi tegangan yang berbeda-beda maka suplai utama utama 220 V diturunkan dengan menggunakan trafo *step-down* untuk mendapatkan input tegangan yang dibutuhkan. Perancangan sumber tegangan dibuat menjadi tiga macam berdasarkan kebutuhan blok yang akan dicatu:

- a) Sumber tegangan 64 VAC dengan rating arus 5 Ampere digunakan untuk mencatu blok penyearah terkontrol satu fasa *full wave* yang mana sumber AC ini akan disearahkan menjadi sumber DC.
- b) Sumber tegangan 15 VAC dengan rating arus 2 Ampere digunakan untuk mencatu blok *pulse trigger* (pemicu pulsa) yang komponen utamanya adalah IC TCA785.
- c) Sumber tegangan 12 VAC dengan rating arus 2 Ampere digunakan untuk mencatu blok *optocoupler*. Berdasarkan spesifikasi *datasheet* IC 7812, blok ini membutuhkan sumber tegangan 12 VAC.

3.5 Perhitungan Nilai Filter Harmonisa Pasif dan Perancangan Filter Harmonisa Pasif

Untuk menentukan komponen R, L, dan C maka dilakukan penentuan frekuensi resonansi terlebih dahulu dengan rumus seperti tertulis pada persamaan 3.1. Resonansi paralel menghasilkan arus sirkulasi disekitar LC sehingga dalam kondisi ini, rangkaian dapat dianggap dalam keadaan terbuka sedang resonansi seri menghasilkan nilai impedansi gabungan XL dan XC sama dengan nol, dalam kondisi ini rangkaian menjadi terhubung singkat.

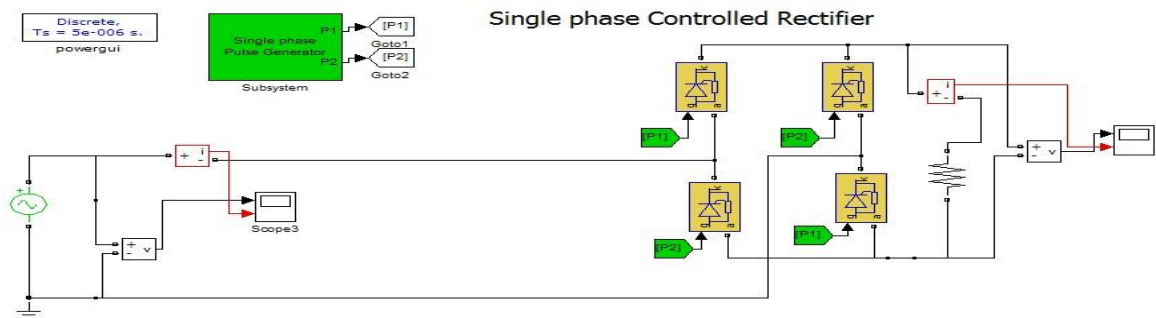
$$f = 1/(\sqrt{LC}) \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\frac{\sqrt{\dots}}{\dots} \dots\dots\dots (3.2)$$

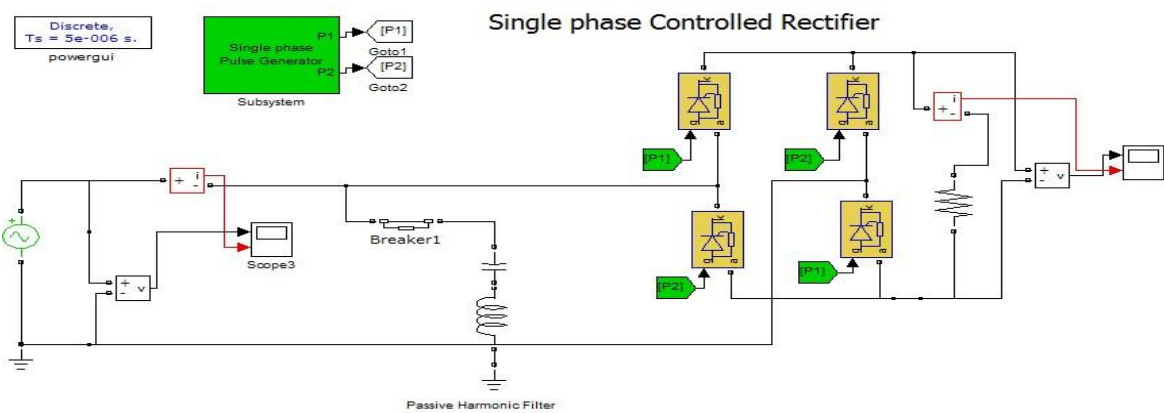
Untuk filter harmonisa pasif, frekuensi yang dipilih adalah frekuensi harmonisa ke-3 dari jala jala listrik yaitu 150 Hz. Cara untuk mendapatkan nilai L dan R yaitu dengan cara menentukan (*setting*) nilai kapasitor terlebih dulu. Sedangkan Q adalah *Quality Factor* yang menentukan kualitas dari filter itu sendiri. Nilai Q untuk filter harmonisa pasif yang dirancang di sini mempunyai rentang nilai yang sangat tinggi hingga bias mencapai 100. Semakin tinggi nilai Q maka makin rendah rugi-rugi frekuensi fundamental. Sehingga diputuskan nilai Q yang digunakan untuk perancangan filter harmonisa pasif ini bernilai 100.

4. Pengujian dan Analisis

Pengujian dan analisis sistem meliputi proses pengukuran sinyal dan tegangan baik input maupun output yang dihasilkan oleh penyearah terkendali satu fasa menggunakan SCR. Pengukuran tersebut dilakukan dengan adanya beban lampu pijar 100W. Berdasarkan hasil data tersebut dapat diketahui performansi dan analisis dari implementasi filter pasif pada penyearah terkendali satu fasa yang telah dibuat untuk mereduksi harmonisa.



Gambar 4.1 Pemodelan Sistem Tanpa Filter dengan Beban lampu pijar 100W



Gambar 4.2 Pemodelan Sistem dengan Beban Lampu Pijar 100W yang telah dipasang dengan Filter Harmonisa Single-Tuned

Berikut adalah hasil pengujian sebelum dan sesudah pemasangan filter harmonisa pasif pada sistem:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Penyearah Terkendali Sebelum Pemasangan Filter Harmonisa Pasif

Fasa	Daya input terukur	THDi	THDv	Vdc (V)	Idc (A)	Efisiensi
12°	6,6 watt	21%	0,7%	28,5	0,2	87%
25°	6,6 watt	22,3%	0,8%	27,5	0,2	84%
50°	6,6 watt	20,6%	0,9%	24,93	0,2	75%
70°	5,5 watt	15,6%	0,9%	21,6	0,15	58%
90°	2 watt	17,7%	0,9%	2,55	0,06	28%
130°	0,7 watt	26,5%	0,9%	5,4	0,016	17%
150°	0,5 watt	27,4%	0,9%	0	0	0%
180°	0	25%	0,9%	0	0	0%

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Penyearah Terkendali Setelah Pemasangan Filter Harmonisa Pasif berdasarkan simulasi yang dilakukan pada Matlab Simulink

Sistem dengan beban lampu 100W	Sudut Penyalaan (<i>firing angle</i>)	THDv Aktual (%)	THDv berdasarkan IEEE 519-1992 (%)	Status	THDi Aktual (%)	THDi berdasarkan IEEE 519-1992 (%)	Status
Sistem tanpa	180	0	3	Baik	0	20	Baik
	135	0	3	Baik	104,76	20	Buruk

filter	90	0	3	Baik	55,97	20	Buruk
	45	0	3	Baik	17,65	20	Baik
	0	0	3	Baik	0,19	20	Baik
Sistem dengan filter LC Single Tuned	180	0	3	Baik	0	20	Baik
	135	0	3	Baik	13,21	20	Baik
	90	0	3	Baik	27,09	20	Buruk
	45	0	3	Baik	10,49	20	Baik
	0	0	3	Baik	0,11	20	Baik

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tahapan-tahapan perancangan, pengujian dan analisis implementasi filter harmonisa pasif pada penyearah terkendali untuk meredam distorsi harmonisa yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemakaian beban nonlinear berupa penyearah terkendali satu fasa penuh pada jaringan listrik PLN menimbulkan distorsi pada arus dan tegangan yang disebut harmonisa, sehingga gelombang arus dan tegangan tidak lagi sinus murni.
2. Nilai %THDv yang dihasilkan sebelum pemasangan filter harmonisa pasif pada penyearah terkendali satu fasa penuh berkisar antara 3,7-4,2%. Setelah pemasangan filter harmonisa yang dilakukan dengan simulasi menjadi 0%. Setelah pemasangan filter %THDv sudah dibawah standar harmonisa tegangan yang diizinkan IEEE 519-1992, yaitu dibawah 3%.
3. Nilai %THDi yang dihasilkan sebelum pemasangan filter harmonisa pasif pada penyearah terkendali satu fasa penuh berkisar antara 23% – 27%. Setelah pemasangan filter nilai THDi menjadi 27,09 – 0,11 %. Pemasangan filter harmonisa pasif ini pada sudut penyalan (*firing angle*) 0, 180, 135, 45, dan 0 berhasil mereduksi harmonisa pada orde 3 sampai dengan di bawah 20% sesuai dengan standar batas aman menurut IEEE 519-1992. Sedangkan pada sudut penyalan (*firing angle*) 90, filter harmonisa belum mampu mereduksi harmonisa sampai di bawah 20% yang merupakan batas aman standar IEEE 519-1992.
4. Efisiensi daya yang diperoleh penyearah terkendali satu fasa penuh.berbeda-beda dan berbanding terbalik dengan penambahan besar sudut penyalan (*firing angle*). Perancangan filter harmonisa dengan memperhatikan perubahan faktor daya yang tadinya bernilai 0,55 menjadi 0,95 berdampak pada kebutuhan Qvar yang menjadi dasar perancangan filter harmonisa pasif, dan setelah disimulasi filter harmonisa berhasil mereduksi harmonisa pada kebanyakan sudut penyalan (*firing angle*) sesuai dengan standar harmonisa IEEE 519-1992. Peningkatan faktor daya berarti meningkatnya efisiensi sistem.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diaplikasikan dalam pengembangan dan peningkatan performansi tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan perancangan filter yang lebih baik untuk mereduksi harmonisa yang dihasilkan penyearah terkendali.
2. Untuk selanjutnya kiranya setiap penyearah terkendali sudah dilengkapi dengan filter dan mencantumkan nilai *THD* yang dihasilkannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rashid, M. H. 2004. *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications, 3rd*. Prentice-hall international.
- [2] Kusumastuti, Nungky. 2013. *Perancangan dan Implementasi Filter Pasif untuk Meredam Harmonisa pada Beban Non Linier Tiga Fasa*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [3] Bhakti, Ivan Nur. 2013. *Implementasi Filter Pasif dan Analisis Harmonisa pada Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Converter*. Bandung : Universitas Telkom.
- [4] Rashid, Muhammad H.2001. *Power Electronics Handbook*. San Diego: academic Press.
- [5] IEEE Std. 519-1992. *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*.
- [6] Das, J.C. 1934. *Power System Harmonics and Passive Filter Design*. New Jersey : John Wiley and Sons.
- [7] Nahvi, Mahmood dan Joseph A. Edminister. 2004. *Schaum's Easy Outlines Rangkaian Listrik*. Penerbit Erlangga.