

---

# Perancangan Filter LCL Pada Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Converter

Hari Anna Lastya

Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Tarbiyah dan Keguruan  
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Aceh  
[halastya@gmail.com](mailto:halastya@gmail.com)

## Abstrak

Perkembangan elektronik yang dewasa ini cukup pesat telah menghasilkan banyak peralatan elektronik baik untuk kebutuhan rumah tangga, perkantoran maupun industri. Umumnya peralatan ini membutuhkan catu daya sumber tegangan arus searah, sementara catu daya yang tersedia merupakan sumber tegangan arus bolak balik. Oleh karena itu, dibutuhkan konverter ac-dc yang berfungsi mengubah sumber tegangan arus bolak balik yang ada menjadi sumber tegangan arus searah. Namun, pemakaian peralatan konverter ac-dc, menghasilkan distorsi pada bentuk gelombang arus, yang dikenal dengan harmonisa yang dapat mengganggu kerja peralatan listrik lainnya yang terpasang pada sumber tegangan yang sama. Jadi, haruslah diupayakan agar harmonisa yang dibangkitkan oleh konverter ac-dc sekecil mungkin dibawah standar yang diizinkan. Pada penelitian ini hanya meneliti konverter ac-dc berupa penyearah terkendali satu fasa full converter. Banyak metoda yang dapat dilakukan untuk mengurangi harmonisa yang dibangkitkan oleh kedua penyearah ini, salah satu cara adalah dengan menggunakan filter LCL pada sisi inputnya. Pada daya beban sebesar 2 kW, pada penyearah terkendali satu fasa full converter dengan beban RL menghasilkan arus harmonisa ke tiga sebesar 40,36 Ampere, sesudah dipasang filter LCL arus harmonisa ke 3 menjadi 0,02 Ampere. Sedang menurut standard IEC-1000-3-2, arus harmonisa ketiga yang diizinkan adalah sebesar 2,3 Ampere.

**Kata kunci:** Penyearah terkendali, Filter LCL, Harmonisa, Full Converter

## Abstract

Electronics which is highly developed nowadays has produced numerous appliances for household, offices, and industry. Basically, these appliances need a direct current power supply although now only one alternating current power supply is available. Therefore, a ac-dc converters which can convert an alternating current power supply to a direct current power supply will be needed. However, the use of this ac-dc converters will cause distortion in the form of current waves which are called harmonics. This harmonics can hamper the work of the other electric devices which are attached to the same power source. Therefore, it is recommended that the harmonics generated by rectifiers should be as small as possible and should be under the legal standard. In this research only examined the ac-dc converters are controlled rectifiers single phase full converter. There are many methods to reduce the harmonics generated by two types this rectifiers. One of them is by using LCL filter on its input side. The rectifiers with load of 2 kW, at controlled rectifiers single phase full converter with RL load produce the third harmonics current of 40.36 amperes, the installed LCL filter produces the third harmonics current of 0.02 ampere. According to IEC-1000-3-2 standard, the allowed third harmonics current is 2.3 amperes.

**Keywords:** controlled rectifiers, LCL filter, harmonics, full converter

## 1. Pendahuluan

Dewasa ini banyak konsumen tenaga listrik menggunakan beban tidak linier, baik konsumen rumah tangga, perkantoran maupun industri. Contoh beban tidak linier adalah *rectifier*, *converter*, inverter, tanur busur listrik, motor-motor listrik, UPS (*Uninteruptable Power Supply*) dan lain-lain. Pada aplikasi industri bahwa tenaga listrik harus dikontrol terlebih dahulu sebelum diberikan ke beban. Untuk mengontrol tenaga listrik, biasanya digunakan suatu konverter. Konverter ac-dc adalah pengontrol tenaga listrik ac yang tersedia dikonversi menjadi tegangan dc variabel. Konverter ac-dc satu fasa terbagi atas tiga jenis yaitu penyearah dioda, penyearah terkendali dan penyearah *Pulse Width Modulation (PWM)*. Jenis-jenis penyearah seperti ini mempunyai karakteristik beban tidak linier, yang mengakibatkan bentuk gelombang sisi masukan menjadi tidak sinusoidal murni akibat adanya interaksi gelombang sinusoidal

frekuensi fundamental dengan gelombang lain yang dikenal sebagai harmonisa. Kadar harmonisa yang tinggi dalam sistem tidak dikehendaki, karena dapat menimbulkan beberapa kerugian, seperti: penurunan kualitas sistem tenaga listrik yang mengakibatkan pemanasan pada peralatan, penurunan faktor daya, naiknya distorsi terhadap *input*, kegagalan fungsi dari peralatan elektronik yang sensitif, menurunkan efisiensi. Oleh karena itu, harmonisa yang ditimbulkan oleh penyearah perlu direduksi agar tidak mengganggu kerja peralatan lain yang tersambung pada sumber yang sama. Pencegahan ini dapat dilakukan dengan menggunakan filter harmonisa. Filter harmonisa selain untuk mengurangi harmonisa yang ditimbulkan sampai dibawah standar yang diizinkan dapat juga untuk menaikkan faktor daya.

Secara konvensional untuk memfilter harmonisa pada penyearah dilakukan dengan filter pasif karena harganya lebih murah. Filter pasif terdiri dari sebuah bank filter LC yang digunakan untuk menekan harmonisa. Akan tetapi sebuah link filter pasif hanya dapat memfilter satu frekuensi harmonisa, sehingga dibutuhkan sejumlah *n* link filter pasif untuk meminimalis sejumlah *n* harmonisa. Alternatif lain untuk filter harmonisa adalah menggunakan filter LCL. Filter LCL dapat digunakan pada satu daya baik satu fasa maupun tiga fasa. Filter LCL merupakan filter yang terdiri dari komponen pasif berupa dua buah induktor dan sebuah kapasitor. Filter LCL lebih efektif dibandingkan filter L yang biasa, hal ini disebabkan karena induktor digunakan lebih kecil untuk mereduksi harmonisa [1].

Penelitian ini bermaksud merancang filter harmonisa jenis filter LCL yang akan mereduksi atau mengurangi harmonisa. Banyak metode yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dalam hal meredam harmonisa dan sekaligus memperbaiki faktor daya. Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya berkaitan mengenai filter untuk meredam hamonisa dengan berbagai teknologi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1.1 Penelitian mengenai model filter harmonisa yang telah dilakukan

No	Nama	Judul Penelitian	Metode Identifikasi Harmonisa	Jenis Filter yang Dirancang	Hasil yang Diperoleh
1.	Darwin Rivas,dkk IEEE, 2003[2]	<i>Improving Passive Filter Compension Performance with Active Techniques</i>	Simulasi menggunakan Program MATLAB/Simulink.	Filter Pasif dan Filter Aktif	Sebelum dipasang filter <i>THDv</i> sebesar 7,51%. Sedangkan setelah dipasang filter pasif dan filter aktif <i>THDv</i> menjadi 4,7%.
2.	Pranavi Chowdari Tella, University of Missouri, Columbia, 2008 [3]	<i>The Study of Single Phase Diode Rectifiers with High Power Factor and Low Total Harmonic Distortion</i>	Simulasi program	Penyearah satu fasa dengan filter kapasitor perata,L-C seri, dan <i>passive wave shapping method</i> .	Penyearah satu fasa ketika hanya menggunakan kapasitor perata menghasilkan <i>THDi</i> yang cukup besar yaitu 23,6%, ketika menggunakan filter L-C seri <i>THDi</i> menjadi 10%, dan ketika menggunakan filter <i>passive wave shapping method THDi</i> menjadi 2,62%.
3.	Nor Farahaida, Dkk Universiti Teknologi MARA shah Alam, Malaysia [4]	<i>Single-Phase Hybrid Active Power Filter Using Switch Parallel Active and Simple Passive Filter</i>	Simulasi menggunakan Program MATLAB/Simulink.	Filter pada penyearah satu fasa menggunakan Hybrid Active Power Filter (HAPF).	Besar <i>THDi</i> yang dihasilkan 3,5% dan dapat menaikkan faktor daya dari 0,59 menjadi 0,99 ( <i>lagging</i> )

4.	Marco Liserre, dkk <i>IEEE, 2008</i> [1]	<i>Design and Control of an LCL Filter Based Three Phase Active Rectifier</i>	Simulasi dan Percobaan	Filter LCL pada Voltage Source Converter (VSC)	Dari hasil percobaan didapatkan <i>THD</i> arus sebesar 3%, dan <i>THD</i> tegangan 1,4%
----	---	---	------------------------	--	--

Dari penelitian yang telah dilakukan tersebut dengan berbagai teknologi sehingga menghasilkan nilai yang sangat bervariasi dalam meredam harmonisa. Perbedaan penelitian yang sudah dilakukan dengan yang akan dilakukan adalah penggunaan filter LCL pada penyearah terkendali satu fasa *full converter*, sementara penelitian yang sudah dilakukan penggunaan filter LCL pada *voltage source converter* (VSC) tiga fasa.

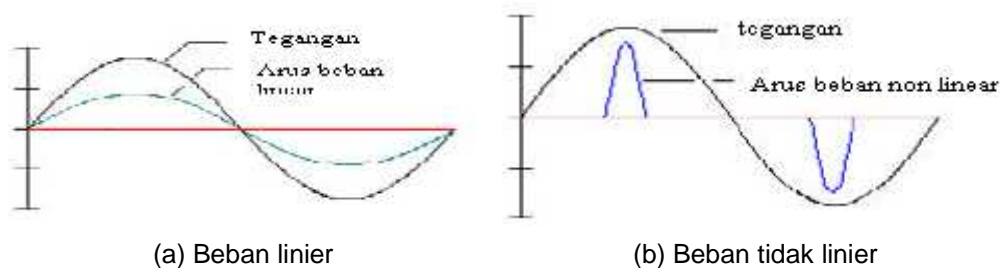
Dalam penelitian ini akan dianalisa penggunaan filter LCL pada sisi input penyearah terkendali satu fasa *full converter* dapat mengurangi *THDi* yang dihasilkan kedua penyearah tersebut dimana analisisnya dilakukan dengan program simulasi yang menggunakan software *Matlab/simulink*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengobservasi harmonisa yang dihasilkan oleh penyearah terkendali satu fasa *full converter*, merancang model filter LCL yang untuk meredam harmonisa yang terjadi minimal mampu mencapai dibawah standar *IEC 61000-3-2* dan membandingkan hasil harmonisa yang didapatkan sebelum dan setelah pemasangan filter LCL pada kedua penyearah tersebut. Dengan mereduksi harmonisa diharapkan dapat memperbaiki faktor daya sisi masukan mencapai *unity* sehingga kerusakan peralatan sejak dini dapat dihindari serta pengaruh kinerja peralatan lain tidak terganggu.

## 2. Studi Pustaka

### 2.1 Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban tidak linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, sehingga gelombangnya bersih dan tidak terdistorsi. Tidak semua beban yang terpasang merupakan beban linier bahkan dewasa ini sebagian besar beban yang terpasang merupakan beban tidak linier. Pada beban tidak linier beban tidak lagi menggambarkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang proporsional. Pemakaian beban beban tidak linier akan menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sinusoidal. Akibatnya akan terbentuk gelombang terdistorsi yang akan menghasilkan harmonisa. Perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh beban linier dan beban tidak linier dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.

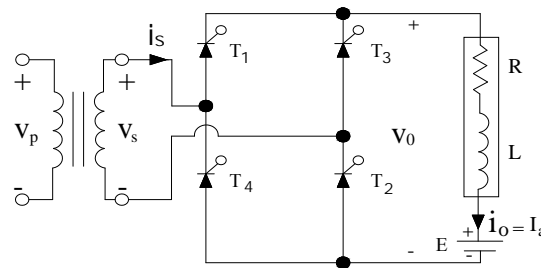


Gambar 1. Bentuk gelombang arus dan tegangan [5]

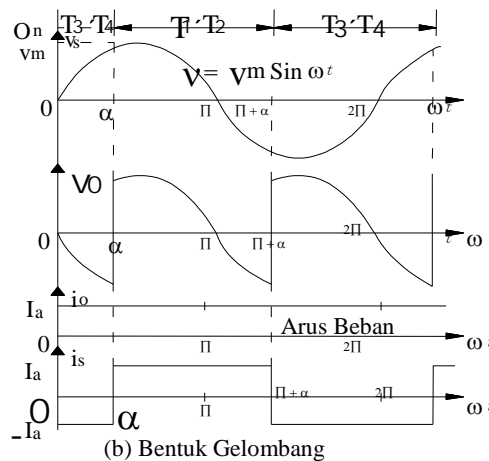
Gambar 1. diatas memperlihatkan perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh beban linier dan beban tidak linier. Bentuk gelombang yang tidak sinusoidal ini merupakan gabungan dari bentuk gelombang fundamental dan gelombang yang mengandung sejumlah komponen harmonisa. Jadi harmonisa adalah gelombang arus atau tegangan sinusoidal yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya.

Saat ini elektronika daya sebagai konverter banyak digunakan pada sistem penyearah atau *inverter* untuk sistem penyedia energi listrik sesuai kebutuhan [10]. *IEEE 519-1992* (standar Internasional harmonisa) mengidentifikasi sumber utama dari harmonisa pada sistem tenaga adalah meliputi konverter daya, busur peleburan, statik VAR kompensator, *inverters*, kendali fasa elektronika daya, *cycloconverters*, *power supply DC* dan *PWM*.

Penyearah tekendali satu fasa *full converter* tersusun dari 4 buah thyristor seperti pada Gambar 2, digunakan untuk mensuplai daya listrik pada lilitan jangkar dimana tegangan lilitan jangkar digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor arus searah baik untuk *starting* maupun *running* saat kerja pada rangkaian terbuka (*openloop*) [12].



(a) Rangkaian



(b) Bentuk Gelombang

Gambar 2. *Full converter* satu fasa [12]

Rangkaian *full converter* satu fasa tampak seperti Gambar 2 dengan beban induktif yang tinggi sehingga arus beban kontinu dan bebas dari *ripple*. Tegangan *output* dapat ditentukan dari Persamaan berikut ini [12].

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos(\pi + \alpha) + \cos \alpha]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} [\cos \alpha + \cos \alpha] = \frac{2V_m}{\pi} [\cos \alpha] \tag{1}$$

Dan  $\phi_n$  adalah perubahan sudut dari harmonisa n arus. Nilai rms harmonisa n arus masukan, diberikan oleh Persamaan:

$$I_{sm} = \frac{1}{\sqrt{2}} (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} = \frac{4 I_a}{\sqrt{2n\pi}} = \frac{2\sqrt{2}I_a}{n\pi} \tag{2}$$

Nilai rms dari arus fundamental adalah:

$$I_{s1} = \frac{2\sqrt{2}I_a}{\pi}$$

Nilai rms arus *input* dapat dihitung dari Persamaan (2.12) sebagai berikut

$$I_s = \left( \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} I_{sm}^2 \right)^{1/2}$$

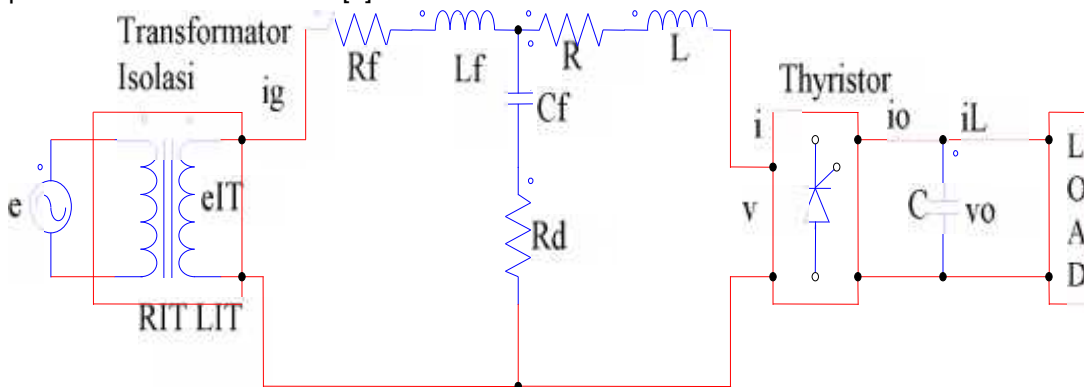
$I_s$  juga dapat dihitung secara langsung dari

$$I_s = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_a^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = I_a$$

Total Harmonic Distortion:

$$THD = \left[ \left( \frac{I_s}{I_{s1}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \tag{3}$$

Tujuan utama dari filter harmonisa adalah untuk mengurangi amplitudo satu frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa keseluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem. Filter LCL adalah filter pasif yang terdiri dari komponen-komponen pasif R, L dan C. Prinsip kerja dari filter LCL adalah dengan meng-*short circuit*-kan harmonisa arus yang ada dekat dengan sumber distorsi. Ini dilakukan supaya menjaga harmonisa arus yang masuk tersebut tidak keluar menuju peralatan lain dan sumber *supply* energi listrik. Filter LCL dapat mereduksi harmonisa arus karena arus harmonisa akan mengalir pada reaktansi yang lebih rendah. Dengan pemasangan C, arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melalui kapasitor karena kapasitor memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tinggi. Agar tegangan beban bebas harmonisa, dipasang filter C yang paralel dengan beban. Dengan menggunakan filter C ini semua riak arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melewati kapasitor bukan ke beban. Filter L biasanya dipasang secara seri terhadap beban. Dengan menggunakan filter L, arus yang mengalir melalui L akan sulit berubah berbanding lurus dengan besarnya L. Filter LCL diletakkan antara jaringan dan beban, seperti yang tampak pada Gambar 3 dibawah ini [1].



Gambar 3. Rangkaian Filter LCL pada Penyearah Terkendali Satu Fasa [1]

Filter LCL bertujuan untuk mengurangi harmonisa orde tinggi pada sisi jaringan, tetapi desain filter yang buruk dapat menyebabkan redaman yang lebih rendah dibandingkan dengan apa yang diharapkan. Penyearah arus harmonisa dapat menyebabkan kejenuhan induktor atau resonansi filter. Oleh karena itu, induktor harus benar dirancang dengan mempertimbangkan arus ripple, dan filter harus teredam untuk menghindari resonansi. Namun, tingkat redaman dibatasi oleh biaya, nilai dari induktor, kerugian dari kinerja filter [1].

Prosedur untuk memilih filter LCL menggunakan parameter seperti daya dari penyearah aktif, frekuensi jaringan dan frekuensi switching sebagai *input*. Nilai filter diperoleh sebagai persentase dari nilai dasar, yang diberikan dengan:

$$Z_b = \frac{E_n^2}{P_n} \tag{4}$$

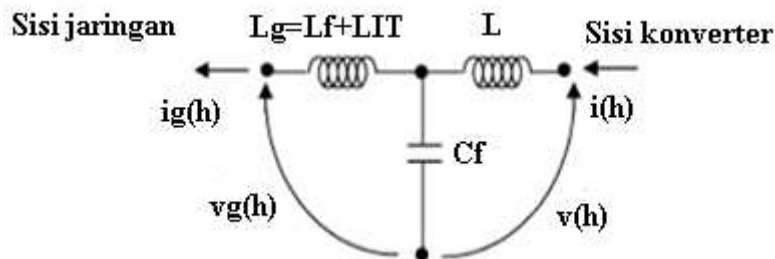
$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_n} \tag{5}$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_n Z_b} \tag{6}$$

Dimana:

- Z<sub>b</sub> : Impendansi dasar (Ω)
- L<sub>b</sub> : Induktansi dasar (Ω)
- C<sub>b</sub> : Kapasitansi dasar (Ω)
- E<sub>n</sub> : Tegangan rms (V)
- P<sub>n</sub> : Daya aktif yang diserap oleh penyearah (Watt)
- ω<sub>n</sub> : Frekuensi jaringan (Hz)

Harmonisa tegangan pada sisi penyearah aktif  $v(h_{sw}) \neq 0$  dan harmonisa tegangan pada sisi jaringan  $v_g(h_{sw}) = 0$ . Rangkaian ekivalen filter LCL untuk h harmonisa dapat dilihat seperti Gambar 4, dengan mengabaikan R, R<sub>g</sub> dan R<sub>d</sub> (Gambar 3).  $i(h)$  dan  $v(h)$  menunjukkan harmonisa arus dan harmonisa tegangan, sementara h<sub>sw</sub> adalah order harmonisa [1].



Gambar 4. Ekivalen filter LCL satu fasa pada harmonisa h [1]

Redaman riak dari sisi *converter* hingga sisi sumber, dapat dihitung dengan langkah :

$$\frac{i_g(h_{sw})}{v(h_{sw})} = \frac{z^2_{LC}}{\omega_{sw}L|\omega^2_{res} - \omega^2_{sw}|} \tag{7}$$

$$\frac{i(h_{sw})}{v(h_{sw})} \approx \frac{1}{\omega_{sw}L} \tag{8}$$

$$\frac{i_g(h_{sw})}{i(h_{sw})} = \frac{z^2_{LC}}{|\omega^2_{res} - \omega^2_{sw}|} \tag{9}$$

Dimana:

$$z^2_{LC} = \frac{1}{L_g C_f}, \text{ dengan } L_g = L_f + L_{IT}$$

$$\omega^2_{res} = \frac{L_T z^2_{LC}}{L}, \text{ dengan } L_T = L + L_f + L_{IT}$$

$$\omega^2_{sw} = (2\pi f_{sw})^2$$

$$f_{SW} = \text{frekuensi switching}$$

$$h_{SW} = \text{order frekuensi harmonisa} = \frac{\omega_{SW}}{\omega_1}$$

$$\omega_n = \text{Frekuensi jaringan (Hz)}$$

Untuk mendesain filter, beberapa batasan dari nilai-nilai parameter harus dijadikan tolak ukur dalam parameter filter. Batasan-batasan parameter filter adalah:

- Nilai kapasitansi dibatasi dengan peningkatan faktor daya, ini harus kurang dari 5% saat daya rata-rata. Persentase ini berupa persentase penyerapan daya reaktif dalam kondisi rata-rata.
- Nilai total dari induktansi filter kurang dari 0,1 pu untuk filter pada daya *output* yang rendah. Sedangkan untuk level daya tinggi, tujuan utama untuk mengurangi saturasi induktansi.
- Frekuensi resonansi dari filter harus lebih besar dari sepuluh kali lipat dari frekuensi jaringan dan lebih dari setengah frekuensi *switching*.

Filter LCL akan dirancang dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Pilih daya reaktif yang diserap pada kondisi rata-rata, ambil  $x$  sebagai persentase penyerapan daya reaktif dibawah kondisi rata-rata, tidak boleh melebihi batas parameter filter kondisi b. Dengan demikian besar kapasitor pada filter dapat dihitung dengan Persamaan 10.

$$C_f = xC_b \quad (10)$$

- Pilih arus *ripple* untuk dapat menghitung induktansi sisi konverter (L) dengan menggunakan Persamaan (8).
- Pilih reduksi arus ripel yang diinginkan. Dengan mengetahui nilai  $x$ , redaman riak dapat dihitung dengan dengan Persamaan (11):

$$\frac{i_g(h_{SW})}{i(h_{SW})} = \frac{1}{|1+r(1-ax)|} \quad (11)$$

Dimana  $a = LC_b \dot{S}_{SW}^2$  sebagai konstanta.

- Dengan mengetahui induktansi sisi konverter (L), maka induktansi sisi jaringan (L<sub>g</sub>) dihitung dengan menggunakan indeks  $r$ , hubungan antara dua induktansi:

$$L_g = rL \quad (12)$$

- Uji frekuensi resonansi yang diperoleh dengan cara

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L+L_g}{L.L_g.C_f}} \quad (13)$$

Nilai frekuensi resonansi dibatasi dengan kondisi (c). Jika tidak memenuhi syarat maka persentase penyerapan daya reaktif pada langkah 1 dan reduksi arus *ripple* pada langkah 3 harus diubah.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi dengan menggunakan program *Matlab/simulink* untuk melihat pengaruh pemasangan filter LCL pada sisi input dari penyearah terkendali satu fasa *full converter* untuk mengurangi harmonisa. Dengan demikian, langkah-langkah simulasi dapat diurut sebagai berikut.

- Gambar rangkaian penyearah terkendali satu fasa *full converter* dengan thyristor.
- Output* penyearah terkendali satu fasa *full converter* dihubungkan dengan beban resistif (R).
- Tentukan daya dan tegangan *output* penyearah terkendali.
- Dari daya *output*, dihitung besar R yang terpasang.

- e. *Matlab/simulink* untuk melihat bentuk gelombang arus dan tegangan pada sisi *input* maupun *output*, serta total *THDi* dan *THDv* yang dihasilkan (hasil ini akan memperlihatkan bentuk gelombang tegangan *input*, arus *input*, tegangan dc dan arus dc serta total *THD* sebelum pemasangan filter) pada beban resistif (R).
- f. Ganti beban resistif (R) dengan beban RL. Nilai R dan L dihitung dari daya *output* yang terpasang.
- g. Kemudian jalankan dengan *Matlab/simulink* untuk melihat bentuk gelombang arus dan tegangan pada sisi *input* maupun *output*, serta total *THDi* dan *THDv* yang dihasilkan.
- h. Dari sub Bab 2.9, dapat dihitung harga  $L_g$ , L dan  $C_f$ , sebagai nilai komponen pada filter LCL.
- i. *Matlab* dijalankan lagi, untuk melihat bentuk gelombang arus dan tegangan pada sisi *input* serta *THDi* dan *THDv* yang dihasilkan (hasil memperlihatkan bentuk gelombang arus, tegangan, *THDi* dan *THDv* setelah pemasangan filter LCL yang dihubungkan ke beban resistif (R) dan beban RL).
- j. Dari hasil (e) dan (i) akan dianalisa hasil yang diperoleh.

Sebelum dilakukan simulasi maka terlebih dahulu dihitung besar tahanan (R) dan induktansi (L) yang terpasang pada rangkaian dengan tegangan output dc ( $V_{dc}$ ) sebesar 50% dari tegangan output maksimal ( $V_{dm}$ ). Dalam hal ini harus ditetapkan besaran penyearah terkendali sebagai berikut:

Tegangan <i>input</i> (V)	: 220 Volt
Daya <i>Output</i> beban ( $P_{out}$ )	: 2000 Watt
Frekuensi <i>input</i>	: 50 Hz
Frekuensi switching IGBT	: 2 kHz
Tegangan <i>output</i> maksimal ( $V_{dm}$ )	: $\frac{2 \times \sqrt{2} \times V}{\pi}$ $= \frac{2 \times \sqrt{2} \times 220}{\pi} = 198 \text{ V}$
Tegangan output dc ( $V_{dc}$ )	: $0,5 \times V_{dm} = 0,5 \times 198 = 99 \text{ V}$
Arus <i>output</i>	: $I_{dc} = \frac{P_{out}}{V_{dc}} = \frac{2000}{99} = 20,20 \text{ A}$
Tahanan beban (R)	: $R = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} = \frac{99}{20,20} = 4,9 \ \Omega$
Induktansi beban (L)	: dianggap $X_L = R$ $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \rightarrow 4,9 = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot L$

$$L = \frac{4,9}{314} = 0,016 \text{ H}$$

Besarnya kapasitor perata dapat ditentukan:

$$V_{dc} = V_{dm} - \frac{V_{dm}}{4fRC}$$

$$C = \frac{V_{dm}}{4(V_{dm} - V_{dc})fR} = \frac{198}{4(198 - 99)50 \cdot 4,9} = \frac{198}{97020} = 0,002 \text{ F}$$

$$Z_b = \frac{E_n^2}{P_n} = \frac{220^2}{2000} = 24,2 \ \Omega$$

$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_n} = \frac{24,2}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,077 \text{ H}$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_n \cdot Z_b} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 24,2} = 1,32 \times 10^{-5} \text{ F} = 132 \ \mu\text{F}$$



Parameter filter LCL dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Daya reaktif yang diserap pada kondisi rata-rata dipilih, dengan mengambil  $x$  sebagai persentase penyerapan daya reaktif dibawah kondisi rata-rata. Nilai  $x$  dipilih sebesar 2% (dibawah kondisi yang diizinkan).

$$C_f = x \cdot C_b = 0,02 \cdot 132 = 2,64 \mu\text{F}$$

2. Dengan memilih arus *ripple* 1%, dapat menghitung induktansi sisi konverter (L) dengan menggunakan Persamaan

$$\frac{i_i(h_{sw})}{v_i(h_{sw})} \approx \frac{1}{\omega_{sw} L} = 0,01 \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot L} \Rightarrow L \approx \frac{1}{3,14} \approx 0,318 \text{ H}$$

3. Arus ripel *attenuation* dipilih 20%. Redaman riak dihitung untuk mengetahui besar indeks  $r$  :

$$\frac{i_g(h_{sw})}{v(h_{sw})} = \frac{1}{|1 + r(1 - a \cdot x)|}$$

$$a = LC_b \omega_{sw}^2 = 0,318 \cdot 132 \times 10^{-6} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50)^2 = 4,14$$

$$0,2 = \frac{1}{|1 + r(1 - 4,14 \cdot 0,02)|} = \frac{1}{|1 + r(1 - 0,08)|} = \frac{1}{|1 + r(0,92)|}$$

$$0,2 + 0,184 r = 1$$

$$0,184 r = 1 - 0,2$$

$$r = \frac{0,8}{0,184} = 4,35$$

4. Dengan mengetahui induktansi sisi konverter (L), maka induktansi sisi jaringan ( $L_g$ ) dihitung dengan menggunakan indeks  $r$ , hubungan antara dua induktansi:

$$L_g = r \cdot L = 4,35 \cdot 0,318 = 1,38 \text{ H}$$

5. Setelah nilai-nilai komponen filter diketahui, maka perlu pengujian frekuensi resonansi. Frekuensi resonansi dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.26).

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L + L_g}{L \cdot L_g \cdot C_f}} = \sqrt{\frac{0,318 + 1,38}{0,318 \cdot 1,38 \cdot 2,64 \times 10^{-6}}} = 615,45$$

$$f_{res} = \frac{\omega_{res}}{2 \cdot \pi} = \frac{615,45}{2 \cdot \pi} = 98 \text{ Hz}$$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada beban R dan RL, penyearah terkendali satu fasa *full converter* menghasilkan arus harmonisa yang melebihi standar IEC 61000-3-2 terjadi pada setiap harmonisa ke- $n$ . Oleh karena itu, kedua penyearah tersebut diperlukan pemasangan filter. Filter yang digunakan berupa filter LCL. Filter LCL dipasang pada sisi input penyearah. Pemodelan pemakaian filter LCL dengan *Matlab/simulink* sesuai data dilakukan untuk mengetahui hasil peredaman harmonisa. Sebelum pemodelan di *run*-kan perlu dilakukan perhitungan komponen filter untuk menghasilkan reduksi harmonisa dengan nilai yang tepat pada penyearah terkendali satu fasa *full converter*.

Data hasil pengujian dengan *Matlab/simulink* dalam bentuk Tabel yaitu tegangan dan arus harmonisa orde  $n$  dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil simulasi pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* setelah pemasangan filter LCL dengan beban R

		Penyearah terkendali satu fasa <i>full converter</i>	Arus harmonisa maksimum yang diizinkan kelas D (A)
<i>THDv</i>		0,08 %	
<i>THDi input</i>		10,34 %	
Harmonisa arus <i>input</i> individual (A)	$I_1$	0,58	
	$I_3$	0,02	2.3
	$I_5$	0,01	1.14
	$I_7$	0,01	0.77
	$I_9$	0	0.4
	$I_{11}$	0	0.33
	$I_{13}$	0	0.21

Tabel 2. Hasil simulasi pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* setelah pemasangan filter LCL beban RL

		Penyearah terkendali satu fasa <i>full converter</i>	Arus harmonisa maksimum yang diizinkan kelas D (A)
<i>THDv</i>		0,04 %	
<i>THDi input</i>		10,44%	
Harmonisa arus <i>input</i> individual (A)	$I_1$	0,58	
	$I_3$	0,02	2.3
	$I_5$	0,01	1.14
	$I_7$	0	0.77
	$I_9$	0	0.4
	$I_{11}$	0	0.33
	$I_{13}$	0	0.21

Dari hasil simulasi Tabel 1 dan Tabel 2 terlihat semua harmonisa ke-n menghasilkan arus harmonisa sudah dibawah kondisi yang di izinkan oleh standar *IEC 61000-3-2*.

Besar arus untuk masing-masing harmonisa baik sebelum pemasangan filter LCL maupun sesudah pemasangan filter LCL dan dibandingkan dengan standar *IEC 61000-3-2* dapat pada penyearah terkendali *full converter* dengan beban R dan RL dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Perbandingan harmonisa sebelum dan setelah menggunakan filter LCL pada penyearah terkendali *full converter* dengan beban R

Harmonisa orde n	Penyearah terkendali		Arus maksimum diizinkan (A)
	Arus sebelum dipasang filter (A)	Arus sesudah dipasang filter (A)	
1	30,30	0,58	
3	30,33	0,02	2.3

5	30,31	0,01	1.14
7	30,28	0,01	0.77
9	30,24	0	0.4
11	30,18	0	0.33
13	30,12	0	0.21
<i>THD</i>	244,49 %	10,34 %	

Tabel 4. Perbandingan harmonisa sebelum dan setelah menggunakan filter LCL pada penyearah terkendali *full converter* dengan beban RL

Harmonisa orde n	Penyearah terkendali		Arus maksimum diizinkan (A)
	Arus sebelum dipasang filter (A)	Arus sesudah dipasang filter (A)	
1	40,32	0,58	
3	40,36	0,02	2.3
5	40,33	0,01	1.14
7	40,29	0	0.77
9	40,22	0	0.4
11	40,15	0	0.33
13	40,05	0	0.21
<i>THD</i>	244,42 %	10,44 %	

Pada Tabel 3 dan 4 dapat dilihat bahwa penyearah terkendali satu fasa *full converter* dengan beban R dan RL sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan arus harmonisa di setiap harmonisa ke-n yang melebihi dari standar *IEC 61000-3-2*, arus harmonisa yang terbesar dihasilkan pada harmonisa ke-3 yaitu sebesar 40,36 Ampere, sesudah dipasang filter LCL arus harmonisa ke 3 menjadi 0,02 Ampere, hal ini sudah didalam kondisi yang diizinkan standar *IEC 61000-3-2* yaitu untuk harmonisa ke 3, arus harmonisa yang diizinkan sebesar 2,3 Ampere. Dengan demikian pemasangan filter LCL pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* dengan beban RL telah dapat mereduksi arus harmonisa sehingga arus harmonisa yang dihasilkan oleh kedua.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penyearah terkendali satu fasa *full converter* d menghasilkan *THDi* yang melebihi standar *IEC 61000-3-2*. Oleh karena itu perlu direduksi dengan pemasangan filter pada sisi input penyearah.
2. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi nilai arus harmonisa dari penyearah terkendali satu fasa *full converter* adalah dengan pemasangan filter LCL.
3. Pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* dengan beban R sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan arus harmonisa pada setiap harmonisa ke n, arus harmonisa yang terbesar adalah arus harmonisa ke 3 yakni sebesar 30,33 Ampere,

sesudah dipasang filter LCL arus harmonisa ke 3 menjadi 0,02 Ampere, hal ini sudah didalam kondisi yang diizinkan standar *IEC 61000-3-2*.

4. Pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* dengan beban RL sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan harmonisa arus melebihi dari standar *IEC 61000-3-2* pada harmonisa ke 3, yakni sebesar 40,36 Ampere, sesudah dipasang filter LCL arus harmonisa ke 3 menjadi 0,02 Ampere, hal ini sudah didalam kondisi yang diizinkan standar *IEC 61000-3-2*.

## 5.2 Saran

Adapun saran-saran yang diberikan yaitu:

- a. Untuk masa yang akan datang kiranya setiap penyearah terkendali sudah dilengkapi dengan filter dan mencantumkan nilai *THDi* yang dihasilkannya.
- b. Pemakaian filter LCL pada sisi input penyearah terkendali masih dapat dikembangkan lagi analisisnya ke faktor daya beban sehingga masih perlu dianalisa pengaruh pemasangan filter LCL terhadap faktor daya beban.

## Referensi

- [1]. Liserre, Marco dkk, *Design and Control of an LCL Filter Based Three Phase Active Rectifier*, *IEEE* vol. 41, no. 5, September/Oktobre 2008.
- [2]. Darwin Rivas, Luis Morán, Juan W. Dixon José R. Espinoza, *Improving Passive Filter Compensation Performance With Active Techniques*, *IEEE* vol. 50, no. 1 February 2003.
- [3]. Pranavi Chowdari Tella, 2005, *The Study of Single Phase Diode Rectifiers with High Power Factor and Low Total Harmonic Distortion*, University of Missouri, Columbia.
- [4]. Nor Farahaida Abdul Rahman, dkk, 2009, *Single Phase Hybrid Active Power Filter Using Single Switch Parallel Active Filter and Simple Passive Filter*, Universiti Teknologi MARA Shah Alam, Malaysia.
- [5]. ABS, Mei 2006, *Guidance On Control Of Harmonic In Electrical Power System*.
- [6]. Lundquist, Johan, 2001 "On Harmonic Distortion in Power Systems," Department Electric Power Engineering, Chalmers University Of Technology, Goteborg, Sweden.
- [7]. Grady Mack, 2005, *Understanding Power System Harmonics* University of Texas at Austin.
- [8]. Ward Jewell dan Daniel J. Ward, 2002 "Single Phase Harmonic Limits," Wichita State University.
- [9]. Kapur, Virat. "Theoretical Modelling Of Single Phase Power Electronics Loadsto Predict Harmonic Distortion At Distribution Feeder Network Using A Reverse Optimization Solution, 2009, The University Of Texas At Austin (Doctor of Philosophy Dissertation).
- [10]. Basu, Supratin dkk, "PFC Strategies In Light Of EN66 61000-3-2, Department Of Power Electronics Norwegian University Of Science And Technology, Trondheim, Norway.
- [11]. Basu, Supratin. 2006, *Single Phase Active Power factor Correction Converter*, Chalmers University Technology, Goteborg, Sweden.
- [12]. Muhammad Rashid, 2004, *Power Electronics, Circuit Devices and Application*, Third Edition, Prentice Hall.
- [13]. Martti Tuomainen, 2004, *Harmonics And Reactive Power Compensation in Practice*, Nokian Capasitor, EN-TH-04-11.
- [14]. Xiadong Liang dkk, "Investigation Of Input Harmonic Distortion Of Variable Frequency Drives, *IEEE* 1-4244-1291-9, 2007.
- [15]. Een Tariyana, Slamet Riyadi, *studi komparasi pengontrolan arus masukan pada penyearah PWM tiga-fasa dengan tiga saklar dan dua saklar*, Bandung.
- [16]. Jose R. Rodriguez, Juan W. Dixon, Jose R. Espinoza, Jorge Pont, Pablo Lezana, 2005, *PWM Regenerative Rectifiers: State of the Art*, *IEEE transaction on industrial electronics*, vol. 52, No.1, Februari 2005, pp 5-21.
- [17]. J. Bauer, *Single-Phase Pulse Width Modulated Rectifier*, Vol. 48 No. 3/2008
- [18]. Husein A. Kazeem dkk, 2005, *Low Pass Broadband Harmonic System*, World Academy of Science Engineering Technology.

- [19]. Sukin Park, Jeong-hyoun Sung, Kwanghee Nam, 2000, *New Hybrid Parallel Active Filter Configuration Minimizing Active Filter Size*, *IEEE proseding power Appl.* Vol 147 No.2, Maret 2000, hal 93.
- [20]. [www.mtecorp.com](http://www.mtecorp.com), tgl 09/30/2011, *Solution economic for Meet Harmonic Distortion Limit*, <http://electrical17.wordpress.com/2011/01/29/elektronika-daya/#mo>