

Analisa Perancangan Filter LCL Pada Penyearah PWM Satu Fasa Full Bridge

Hari Anna Lastya

Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
e-mail: halastya@gmail.com

Abstract

Electronics devices need a direct current power supply although now only one alternating current power supply is available. Therefore, 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 fault 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 under IEC 61000-3-2 standard. In this research will reduction of harmonics by using LCL filter. At load of 2 kW, R of 5 Ω , L of 0,05 H at PWM rectifiers single phase full bridge with RL load produce the third harmonics current of 2.57 amperes, the installed LCL filter produces the third harmonics current of 1.26 amperes. According to IEC-61000-3-2 standard, the allowed third harmonics current is 2.3 amperes.

Keywords: controlled rectifiers, PWM rectifiers, LCL filter, harmonics

Abstrak

Peralatan elektronik membutuhkan sumber arus searah, sementara yang tersedia merupakan sumber arus bolak balik, sehingga dibutuhkan konverter ac-dc yang berfungsi mengubah sumber arus bolak balik yang ada menjadi sumber arus searah. Pemakaian konverter ac-dc, menghasilkan distorsi pada bentuk gelombang arus, yang disebut harmonisa. Harmonisa dapat mengganggu kerja peralatan listrik lainnya yang terpasang pada sumber tegangan yang sama. Jadi, harus diupayakan agar harmonisa yang dibangkitkan oleh konverter ac-dc dibawah standar IEC 61000-3-2. Penelitian ini akan dilakukan reduksi arus harmonisa dengan filter LCL. Pada daya output sebesar 2 kW, beban R sebesar 5 Ω dan L sebesar 0,05 H, pada penyearah PWM satu fasa full bridge menghasilkan arus harmonisa ketiga sebesar 2,57 Ampere, sesudah pemasangan filter LCL menjadi 1,26 Ampere. Sedangkan menurut standard IEC 61000-3-2, arus harmonisa ketiga yang diizinkan adalah sebesar 2,3 Ampere.

Keywords: penyearah PWM, filter LCL, harmonisa

1. Pendahuluan

Dewasa ini banyak konsumen tenaga listrik menggunakan beban tidak linear, baik konsumen rumah tangga, perkantoran maupun industri. Contoh beban tidak linear adalah rectifier, converter, inverter, tanur busur listrik, motor-motor listrik, UPS (Uninterubtable Power Supply) dan lain-lain. Pada aplikasi industri bahwa tenaga listrik harus dikontrol terlebih dahulu sebelum diberikan ke beban. Untuk mengontrol tenaga listrik 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 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, masalah resonansi, naiknya distorsi terhadap input, kegagalan fungsi dari peralatan elektronik yang sensitif, menurunkan efisiensi dan pemborosan energi listrik. 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.

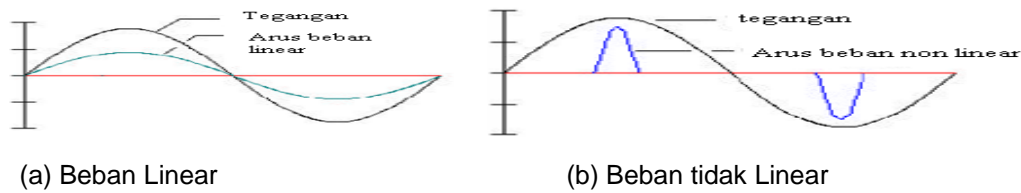
Secara konvensional untuk memfilter harmonisa pada penyearah dilakukan dengan filter pasif karena harganya lebih murah. Filter pasif terdiri dari sebuah bank filter LC yang digunakan untuk menekan harmonisa. Akan tetapi sebuah link filter pasif hanya dapat memfilter satu frekuensi harmonisa, sehingga dibutuhkan sejumlah n link filter pasif untuk meminimalis sejumlah n harmonisa. Alternatif lain untuk filter harmonisa adalah dengan menggunakan filter LCL. Filter LCL dapat digunakan pada catu daya (sumber) 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 yang digunakan lebih kecil untuk mereduksi harmonisa [1].

Permasalahan yang dihadapi pada penelitian ini adalah bagaimana cara menentukan besar komponen L dan komponen C dan mendesain pada filter LCL pada penyearah PWM satu fasa full bridge. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besar harmonisa yang terjadi yang ditimbulkan oleh pemakaian penyearah PWM satu fasa full bridge dan selanjutnya merancang filter LCL yang untuk meredam harmonisa yang terjadi minimal mampu mencapai dibawah standar IEC 1000-3-2.

2. Landasan Teori

2.1 Pengertian Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linear dan beban tidak linear. Beban linear adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linear artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, sehingga gelombangnya bersih dan tidak terdistorsi. Tidak semua beban yang terpasang merupakan beban linear bahkan dewasa ini sebagian besar beban yang terpasang merupakan beban tidak linier. Pada beban tidak linear 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 linear dan beban tidak linear 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 suatu 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.

2.2 Sumber Harmonisa

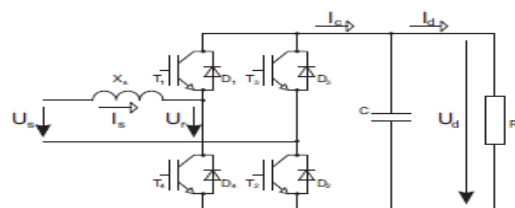
IEEE 519-1992 mengidentifikasi sumber utama dari harmonisa pada sistem tenaga. Sumber harmonisa yang diuraikan pada standard IEEE ini meliputi konverter daya busur peleburan, statik VAR kompensator, inverters, kendali fasa elektronika daya, cycloconverters, power suplai DC dan PWM. Umumnya sumber yang menyebabkan terdistorsinya bentuk gelombang arus dan tegangan dapat dibagi menjadi tiga kelompok: [7]

- a. Beban
- b. Sistem tenaga itu sendiri (seperti HVDC, SVC, FACTS, dan lain lain)
- c. Pembangkit (Generator sinkron)

2.3. Penyearah PWM

Untuk menekan pengaruh negatif dari penyearah aktif maka penyearah menggunakan lebih banyak algoritma kontrol yang canggih. Seperti penyearah yang menggunakan semikonduktor yang dapat di switching off seperti transistor IGBT. Penyearah dikontrol dengan menggunakan modulasi lebar pulsa atau pulse width modulation (PWM). Penyearah dikontrol dengan cara menggunakan bentuk arus yang diperlukan. Cara kerjanya dengan diberikan pemindahan fasa antara penggunaan arus dan sumber tegangan [20].

Bentuk rangkaian dari penyearah PWM satu fasa seperti yang tampak pada gambar 2 berikut.

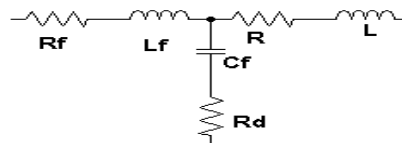


Gambar 2. Rangkaian penyearah PWM satu fasa [20]

Penyearah terdiri dari empat buah transistor IGBT dimana bentuknya seperti itu disebut dengan bentuk *full bridge*, induktansi diletakkan di sisi input dan kapasitansi diletakkan di sisi output yang dikontrol oleh *Pulse Width Modulation (PWM)*. Tujuan untuk mengontrol penyearah yaitu untuk menyerap arus harmonisa dari sumber jaringan, dimana sefasa dengan sumber tegangan. Hal ini didapatkan dengan mengontrol penyearah salah satunya dengan cara modulasi lebar pulsa.

2.4. Filter LCL

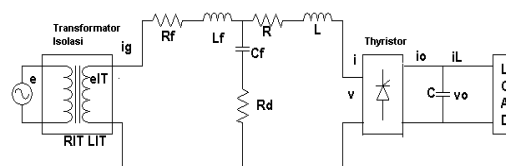
Filter LCL adalah filter pasif yang terdiri dari komponen-komponen pasif R, L dan C, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Filter LCL [1]

Dari Gambar 3 tampak bahwa sebuah filter LCL terbuat dari tiga buah reactor dengan resistansi R dan induktansi L pada sisi converter, tiga reactor dengan resistansi Rf dan induktansi Lf pada sisi jaringan, dan tiga kapasitor Cf (masing-masing teredam dengan resistor Rd).

Prinsip kerja dari filter LCL adalah dengan meng-short circuit-kan harmonisa arus yang ada dekat dengan sumber distorsi. Ini dilakukan agar 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.



Gambar 4. Rangkaian Filter LCL pada Penyearah Terkendali Satu Fasa [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[15]:

$$Z_b = \frac{E_n^2}{S_n} \quad (1)$$

$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_n} \quad (2)$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_n Z_b} \quad (3)$$

Dimana:

- Z_b : Impendansi dasar (Ω)
- L_b : Induktansi dasar (Ω)
- C_b : Kapasitansi dasar (Ω)
- E_n : Tegangan rms (V)
- S_n : Daya yang diserap oleh penyearah aktif pada kondisi rata-rata (KVA)
- ω_n : Frekuensi jaringan (Hz)

Harmonisa tegangan pada sisi penyearah aktif $v(h_{sw}) \neq 0$ dan harmonisa tegangan pada sisi jaringan $v_g(h_{sw}) = 0$. Redaman riak dari sisi converter hingga sisi sumber, dapat dihitung dengan langkah berikut ini:

$$\frac{i_g(h_{SW})}{v(h_{SW})} = \frac{z^2_{LC}}{\omega_{SW}L \cdot |\omega^2_{res} - \omega^2_{SW}|} \tag{4}$$

$$\frac{i(h_{SW})}{v(h_{SW})} \approx \frac{1}{\omega_{SW}L} \tag{5}$$

$$\frac{i_g(h_{SW})}{i(h_{SW})} = \frac{z^2_{LC}}{|\omega^2_{res} - \omega^2_{SW}|} \tag{6}$$

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} = frekuensi switching

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

ω_n = Frekuensi jaringan (Hz)

2.5. Rancangan Filter LCL

Filter LCL akan dirancang dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tentukan parameter daya output, tegangan, frekuensi jaringan, frekuensi switching, dan induktansi jaringan, kapasitansi filter.
2. Pilih daya reaktif yang diserap pada kondisi rata-rata, ini diperlukan untuk menghitung nilai kapasitor. Ambil x sebagai persentase penyerapan daya reaktif dibawah kondisi rata-rata.

$$C_f = x C_b \tag{7}$$

3. Pilih reduksi arus ripel yang diinginkan. Dengan mengetahui indeks r dan induktor luar L_g .

$$\frac{i_g(h_{SW})}{i(h_{SW})} = \frac{1}{|1+r(1-a.x)|} \tag{8}$$

Dimana $a = LC_b \omega_{SW}^2$ sebagai konstanta.

4. Dengan mengetahui induktansi jaringan (L), maka induktansi filter (L_g) bisa dihitung dengan menggunakan indeks r , yang hubungan antara dua induktansi tersebut adalah:

$$L_g = rL \tag{9}$$

Nilai kapasitor dibatasi pada kondisi a di atas.

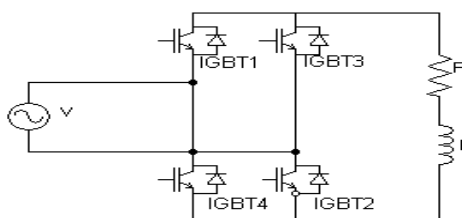
5. Uji frekuensi resonansi yang diperoleh dengan cara

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L_T}{LL_g C_f}} \quad (10)$$

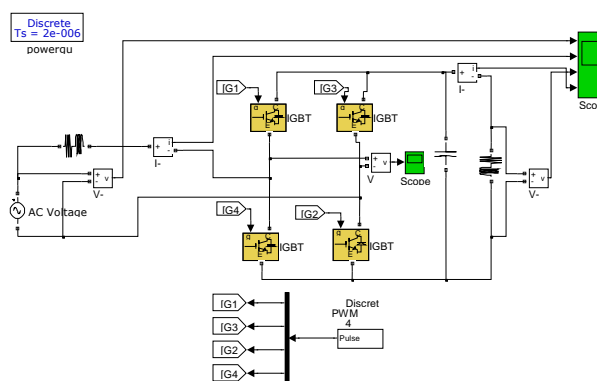
3. Metodologi Penelitian

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 PWM satu fasa *full bridge* untuk mengurangi harmonisa. Langkah-langkah simulasi sebagai berikut:

- a. Gambar rangkaian dengan penyearah PWM satu fasa *full bridge* dengan menggunakan IGBT. Dalam hal ini ada empat rangkaian kerja, yaitu Gambar 5 sampai dengan Gambar 6.

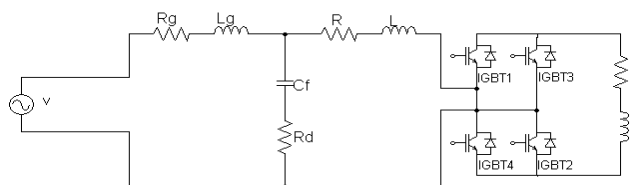


(a). Model rangkaian listrik

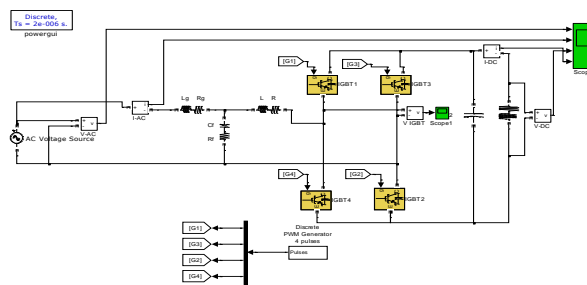


(b). Model Simulasi menggunakan MATLAB/Simulink

Gambar 5. Rangkaian penyearah PWM satu fasa *full bridge* untuk simulasi sebelum pemasangan filter LCL



(a). Model rangkaian listrik



(b). Model Simulasi menggunakan MATLAB/Simulink

Gambar 6. Rangkaian penyearah PWM satu fasa *full bridge* setelah pemasangan filter LCL

- b. *Output* penyearah PWM satu fasa *full bridge* dihubungkan dengan beban resistif (R).
- c. Tentukan daya dan tegangan *output* penyearah PWM.
- d. 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 (hasil ini akan memperlihatkan bentuk gelombang arus *input* dan total THD sebelum pemasangan filter pada beban RL).
- h. Dari sub Bab 2.4, 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 (g), dan (i) akan dianalisa hasil yang diperoleh.

Simulasi Sebelum Pemasangan Filter LCL

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 PWM 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})	: $0,5 \times V_{dm} = 0,5 \times 199 = 99 \text{ V}$
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 $X_L = R$

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

Besarnya kapasitor perata dapat ditentukan:

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

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

Data simulasi dengan program Matlab/Simulink untuk penyearah PWM satu fasa *full bridge* pada beban R untuk tegangan input (V_s), arus input (I_s), tegangan dc (V_{dc}) dan arus dc (I_{dc}) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil simulasi sebelum pemasangan filter LCL penyearah PWM satu fasa *full bridge* dengan beban R

	Penyearah PWM satu fasa <i>full bridge</i>	Arus harmonisa diizinkan kelas D (A)	maksimum
Tegangan sumber (V_s)	220 V		
THDv	0 %		
I sumber (I_s)	21,87 A		
THDi <i>input</i>	38,07 %		
Harmonisa arus <i>input individual</i> (A)			
I_1	30,93		
I_3	11,75	2.3	
I_5	0,74	1.14	
I_7	0,22	0.77	
I_9	0,10	0.4	
I_{11}	0,06	0.33	
I_{13}	0,01	0.21	
Tegangan <i>output</i> (V_{dc})	99,43 V		
Arus <i>output</i> (I_{dc})	20,29 A		

Tabel 1 memperlihatkan arus harmonisa yang dihasilkan penyearah PWM satu fasa *full bridge* dengan beban R hanya harmonisa ke-3 yang belum memenuhi standar IEC 61000-3-2, maka pada penyearah ini diperlukan pemasangan filter untuk mereduksi harmonisa ke-3.

Pada beban RL untuk menghasilkan tegangan dc sebesar 99 V pada penyearah terkendali perlu diatur sudut penyalaan dari Gambar 3.1(b), dengan sudut penyalaan (α) diatur sebesar 158° , dengan sudut tersebut maka didapatkan tegangan dc sebesar 100,7 V (mendekati dengan 99 V). Untuk beban RL pada penyearah *PWM* satu fasa *full bidge*, maka menghasilkan tegangan *input* (V_s), arus *input* (I_s), tegangan dc (V_{dc}) dan arus dc (I_{dc}) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil simulasi sebelum pemasangan filter LCL pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* dan penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban RL

	Penyearah PWM satu fasa <i>full bridge</i>	Arus harmonisa maksimum diizinkan kelas D (A)
Tegangan sumber (Vs)	311 V	
THDv	0 %	
I sumber (Is)	26,26 A (rms)	
THDi <i>input</i>	14,7 %	
Harmonisa arus <i>input</i> individual (A)		
I_1	30,93	
I_3	11,75	2.3
I_5	0,74	1.14
I_7	0,22	0.77
I_9	0,10	0.4
I_{11}	0,06	0.33
I_{13}	0,01	0.21
Tegangan <i>output</i> (Vdc)	99,36 V	
Arus <i>output</i> (Idc)	20,28 A	

Tabel 2 memperlihatkan arus harmonisa yang dihasilkan penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban RL orde 3 arus harmonisa melewati arus harmonisa maksimum yang diizinkan standar IEC 61000-3-2, maka perlu pemasangan filter LCL untuk mereduksi harmonisa dan penyearah *PWM*.

Perhitungan Nilai Filter LCL

Parameter yang diperlukan untuk dapat menghitung komponen filter :

Tegangan sumber (En)	: 220 V
Daya <i>output</i> (Pn)	: 2000 watt
Frekuensi jaringan (f)	: 50 Hz
Frekuensi <i>switching</i> IGBT (f_{sw})	: 2 kHz

Setelah parameter dasar ditentukan, sehingga dapat dihitung impedansi *base* (Z_b), induktansi *base* (L_b) dan kapasitansi *base* dengan menggunakan Persamaan (5), (6) dan (7), maka didapatkan:

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

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

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

Perhitungan nilai filter LCL untuk penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* menggunakan langkah-langkah yang sama, tetapi nilai frekuensi *switching* yang digunakan berbeda antara kedua penyearah tersebut. Untuk penyearah *PWM* yang menggunakan IGBT memiliki frekuensi *switching* hingga 20 kHz, tetapi pada penelitian ini frekuensi *switching* yang dipilih untuk IGBT sebesar 2 kHz. Oleh karena itu, perhitungan nilai filter LCL pada kedua penyearah dilakukan secara berbeda.

Perhitungan nilai filter LCL pada penyearah PWM satu fasa *full bridge* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada Subbab sebelumnya, akan tetapi nilai ω_{sw} pada persamaan (2.9) diganti dengan 2000 Hz. Oleh karena itu, didapatkan Nilai induktansi sisi jaringan, induktansi sisi konverter, kapasitansi filter, resistansi (R_g , R , R_f) setelah dihitung dapat dirangkum seperti Tabel 3.

Tabel 3. Parameter filter LCL penyearah *PWM* satu fasa *full bridge*

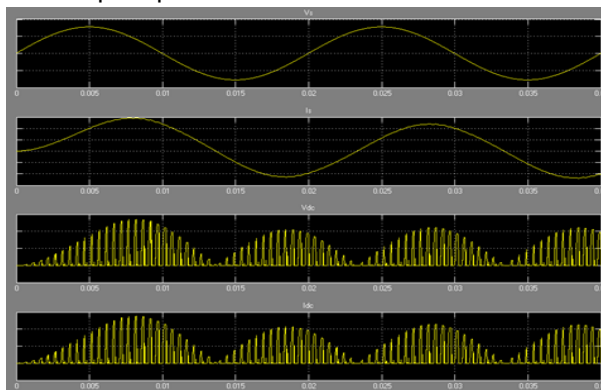
Parameter filter	Nilai dan Satuan
Induktansi sisi jaringan (L_g)	0,00112 H
Induktansi sisi converter (L)	0,008 H
Kapasitansi filter (C_f)	2,64 μ F
Resistansi R filter (R_g , R , R_f)	1 Ω

4. Hasil dan Analisis

4.1 Hasil

4.1.1 Hasil simulasi setelah menggunakan filter LCL pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* dan penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban R

Hasil simulasi *Matlab/simulink* setelah menggunakan filter LCL pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban R seperti pada Gambar 11.



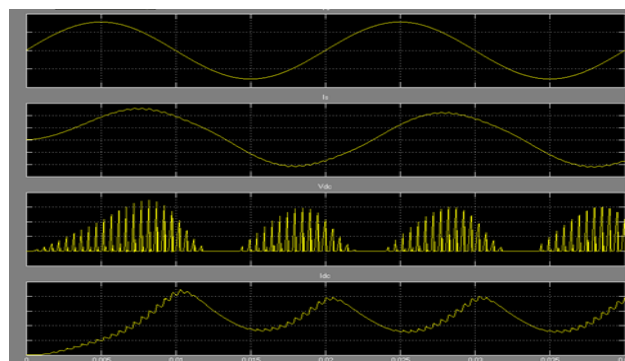
Gambar 11. Bentuk gelombang V_s , I_s , V_{dc} dan I_{dc} pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* setelah pemasangan filter LCL dengan beban R

Data hasil pengujian dengan *Matlab/simulink* dalam bentuk tabel yaitu tegangan dan arus harmonisa orde n dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4 Hasil simulasi pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* setelah pemasangan filter LCL dengan beban R

		Penyearah <i>PWM</i> satu fasa <i>full bridge</i>	Arus harmonisa maksimum yang diizinkan kelas D (A)
<i>THD_v</i>		0 %	
<i>THDi input</i>		9,03 %	
Harmonisa arus input individual (A)	<i>I</i> ₁	6,6	
	<i>I</i> ₃	0,76	2.3
	<i>I</i> ₅	0,12	1.14
	<i>I</i> ₇	0,05	0.77
	<i>I</i> ₉	0,03	0.4
	<i>I</i> ₁₁	0,02	0.33
	<i>I</i> ₁₃	0,02	0.21

Hasil simulasi *Matlab/simulink* setelah menggunakan filter LCL pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban RL seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Bentuk gelombang *V_s*, *I_s*, *V_{dc}* dan *I_{dc}* pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* setelah pemasangan filter LCL dengan beban RL

Data hasil pengujian dengan *Matlab/simulink* dalam bentuk tabel yaitu tegangan dan arus harmonisa orde *n* dapat dilihat pada Tabel 5.

		Penyearah <i>PWM</i> satu fasa <i>full bridge</i>	Arus harmonisa maksimum yang diizinkan kelas D (A)
<i>THD_v</i>		0 %	
<i>THDi input</i>		9,03 %	
Harmonisa arus input individual (A)	<i>I</i> ₁	6,6	
	<i>I</i> ₃	0,76	2.3
	<i>I</i> ₅	0,12	1.14
	<i>I</i> ₇	0,05	0.77
	<i>I</i> ₉	0,03	0.4
	<i>I</i> ₁₁	0,02	0.33
	<i>I</i> ₁₃	0,02	0.21

Dari hasil simulasi Tabel 5 terlihat semua harmonisa ke-n menghasilkan arus harmonisa sudah dibawah kondisi yang diizinkan oleh standar *IEC 61000-3-2*.

4.2 Analisis

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 *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban R dapat dilihat bahwa sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan arus harmonisa yang melebihi standar *IEC 61000-3-2* hanya pada harmonisa ke-3 yakni sebesar 11,75 Ampere (data dari Tabel 1), setelah pemasangan filter LCL arus harmonisa ke-3 menjadi 0,76 Ampere (data dari Tabel 5). Dengan demikian pemasangan filter LCL pada penyearah terkendali satu fasa *full converter* dan penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban R dapat mereduksi arus harmonisa sehingga arus harmonisa yang dihasilkan kedua penyearah menjadi dibawah standar *IEC 61000-3-2*.

Pada beban RL sebelum pemasangan filter LCL pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban RL sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan arus harmonisa di setiap harmonisa ke-n yang melebihi standar *IEC 61000-3-2*. Arus harmonisa terbesar terjadi pada harmonisa ke 3 yakni sebesar 3,67Ampere (data dari Tabel 2), setelah pemasangan filter LCL arus harmonisa ke 3 menjadi 0,35 Ampere (data dari Tabel 6). Dengan demikian pemasangan filter LCL pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban RL dapat mereduksi arus harmonisa sehingga arus harmonisa dihasilkan kedua penyearah menjadi dibawah standar *IEC 61000-3-2*.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

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

1. Penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* 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 *PWM* satu fasa *full bridge* adalah dengan pemasangan filter LCL.
3. Pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban R sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan arus harmonisa yang melebihi standar *IEC 61000-3-2* hanya pada harmonisa ke-3 yakni sebesar 11,75 Ampere, setelah pemasangan filter LCL arus harmonisa ke-3 menjadi 0,76 Ampere.
4. Pada penyearah *PWM* satu fasa *full bridge* dengan beban RL sebelum pemasangan filter LCL menghasilkan arus harmonisa yang melebihi standar *IEC 61000-3-2* hanya pada harmonisa ke 3 yakni sebesar 3,67 Ampere, setelah pemasangan filter LCL arus harmonisa ke 3 menjadi 0,35 Ampere.

5.2. Saran

Adapun saran-saran yang diberikan yaitu:

- a. Untuk masa yang akan datang kiranya setiap penyearah terkendali dan penyearah *PWM* sudah dilengkapi dengan filter dan mencantumkan nilai *THDi* yang dihasilkannya.
- b. Pemakaian filter LCL pada sisi input penyearah terkendali dan penyearah *PWM* 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, The Study of Single Phase Diode Rectifiers with High Power Factor and Low Total Harmonic Distortion, University of Missouri, Columbia. 2005
- [4] Nor Farahaida Abdul Rahman. Single Phase Hybrid Active Power Filter Using Single Switch Parallel Active Filter and Simple Passive Filter, Universiti Teknologi MARA Shah Alam, Malaysia. 2009
- [5] ABS. Guidance On Control Of Harmonic In Electrical Power System. 2006
- [6] Lundquist, Johan. "On Harmonic Distortion in Power Systems," Department Electric Power Engineering, Chalmers University Of Technology, Goteborg, Sweden. 2001.
- [7] Grady Mack. Understanding Power System Harmonics University of Texas at Austin. 2005
- [8] Ward Jewell dan Daniel J. Ward. "Single Phase Harmonic Limits," Wichita State University. 2002
- [9] Kapur, Virat. "Theoretical Modelling Of Single Phase Power Electronics Loadsto Predict Harmonic Distortion At Distribution Feeder Network Using A Reverse Optimization Solution. The University Of Texas At Austin (Doctor of Philosophy Dissertation). 2009.
- [10] Basu, Supratin. "PFC Strategies In Light Of EN66 61000-3-2, Department Of Power Electronics Norwegian University Of Science And Technology, Trondheim, Norway.
- [11] Basu, Supratin. Single Phase Active Power factor Correction Converter, Chalmers University Technology, Goteborg, Sweden. 2006
- [12] Muhammad Rashid. Power Electronics, Circuit Devices and Application,, Third Edition, Prentice Hall. 2004.
- [13] Martti Tuomainen. Harmonics And Reactive Power Compensation in Practice, Nokian Capasitor, EN-TH-04-11. 2004.
- [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. PWM Regenerative Rectifiers: State of the Art, IEEE transaction on industrial electronics, vol. 52, No.1, Februari 2005, pp 5-21. 2005
- [17] J. Bauer, Single-Phase Pulse Width Modulated Rectifier, Vol. 48 No. 3/2008
- [18] Husein A. Kazeem. Low Pass Broadband Harmonic System, World Academy of Science Engineering Technology. 2005
- [19] Sukin Park, Jeong-hyoun Sung, Kwanghee Nam. New Hybrid Parallel Active Filter Configuration Minimizing Activ. 2000
- [20] www.mtecorp.com, (09/30/2011), Solution economics for meet Harmonic Distorsion Limit, [Http://electrical17.wordpress.com/2011/01/29/elektronika-daya/#more-27](http://electrical17.wordpress.com/2011/01/29/elektronika-daya/#more-27)