

# Implementasi *LCL Filter* dalam Mereduksi Harmonisa Akibat Penggunaan VSD (*Variable Speed Drive*) untuk Meningkatkan Kualitas Daya dan Efisiensi Energi

Fandi Juli Wirawan  
NIM. 1312037  
fandiwirawan746@gmail.com

Prof. Dr. Eng Abraham Lomi, MSEE  
Dosen Pembimbing 1

Bambang Prio Hartono, ST, MT  
Dosen Pembimbing 2

**Abstrak**—Kualitas daya listrik dalam sistem tenaga listrik memerlukan suatu perhatian khusus. Kualitas daya yang kurang baik akan menimbulkan banyak kerugian bagi perusahaan tenaga listrik. Salah satu permasalahan kualitas daya listrik adalah harmonisa. VSD (*Variable Speed Drive*) merupakan beban *non-linear* dan penyumbang harmonisa. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan filter LCL untuk mereduksi harmonisa dan meningkatkan faktor daya. THD sistem kelistrikan PT. ADMIRA pada *software PSCAD* sesudah pemasangan filter menghasilkan nilai THD arus maupun THD tegangan yang bervariasi, yaitu pada *subpanel* Spindel 5 (5" I, 5" II dan 9") dapat mereduksi nilai THD<sub>I</sub> dari 27,0202% menjadi 11,7742% dan nilai THD<sub>V</sub> dari 3,34228 menjadi 0,744875%. Sedangkan pada *subpanel* Distribusi 3 dapat mereduksi nilai THD<sub>I</sub> dari 48,8034% menjadi 10,0417% dan nilai THD<sub>V</sub> dari 3,34228 menjadi 0,744875%. Pada faktor daya sebelum pemasangan LCL filter adalah 0,79. Setelah pemasangan LCL filter pada *subpanel* yang mengandung harmonisa melebihi standar, maka diperoleh faktor daya sebesar 0,96. Dari hasil simulasi pemasangan LCL filter pada *subpanel* Spindel 5 (5" I, 5" II dan 9") dan *subpanel* Distribusi 3 nilai THD<sub>I</sub> dapat direduksi dan turun sesuai *standart IEEE 519-1992*

**Kata kunci**—Faktor Daya, Harmonisa, LCL Filter, VSD (*Variable Speed Drive*)

## I. PENDAHULUAN

Permasalahan kualitas daya listrik dalam sistem tenaga listrik memerlukan suatu perhatian khusus. Kualitas daya yang kurang baik akan menimbulkan banyak kerugian bagi perusahaan tenaga listrik. Salah satu permasalahan kualitas daya listrik adalah permasalahan harmonisa [2]. Motor asinkron adalah suatu motor yang mempunyai perbedaan pada kecepatan putar medan magnet pada stator dan kecepatan putar rotor. Motor asinkron ini biasanya digunakan dalam dunia industri yang diaplikasikan pada pompa, conveyor, kompresor, grinda dan lain-lain. Pada perusahaan industri sekarang sebagian besar telah menggunakan VSD atau *Variable Speed Drive* untuk menggerakkan motor tersebut [1].

Banyak metode yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dalam hal meredam harmonisa. Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya berkaitan mengenai filter untuk meredam harmonisa dengan berbagai teknologi, antara lain: Menurut penulis dengan judul "*Improving Passive Filter Compensation Performance with Active Techniques*", jenis filter pasif dan filter aktif dimana THD<sub>V</sub> sebelumnya 7,51% sedangkan setelah dipasang filter THD<sub>V</sub> menjadi 4,7% [5].

Menurut penulis dengan judul "*Single-Tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor*", jenis Filter LCL pada *Voltage Source Converter* (VSC) dimana setelah pemasangan filter THD<sub>I</sub> menjadi 3% dan THD<sub>V</sub> menjadi 1,4% [4].

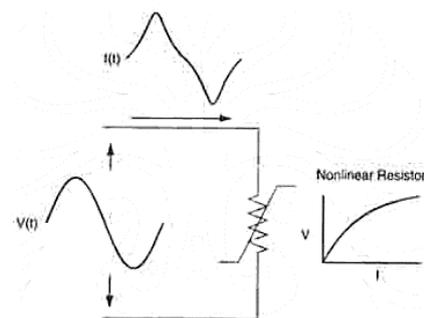
Menurut penulis dengan judul "*Design of LCL Filter for Harmonic Suppression in Co-phase Railway Power Quality Conditioner*", jenis Filter LCL pada *Co-phase Railway* dimana setelah pemasangan filter THD<sub>I</sub> menjadi 4,86% dan THD<sub>V</sub> menjadi 1,64% [3].

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 penggunaan VSD motor, sementara penelitian yang sudah dilakukan penggunaan filter LCL pada *Voltage Source Converter* (VSC) tiga fasa dan *Co-phase Railway* [3]. Dalam skripsi ini akan dianalisa penggunaan filter LCL pada penggunaan VSD motor untuk mereduksi harmonisa dimana analisisnya dilakukan dengan program simulasi yang menggunakan *software PSCAD/EMTDC*. Dengan pemasangan LCL Filter diharapkan dapat mereduksi harmonisa dan kualitas daya pada sistem tenaga listrik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Distorsi Harmonisa

Distorsi harmonik disebabkan oleh peralatan yang memiliki beban *non-linear* pada sistem tenaga listrik. Peralatan yang memiliki beban *non-linear* merupakan kondisi dimana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya [6].



Gambar 1. Distorsi Arus Akibat Beban *Non-linear* [6]

Gambar di atas mengilustrasikan konsep distorsi harmonik apabila suatu rangkaian yang memiliki resistor *non-linear* diberikan tegangan sinusoidal sempurna, maka arus resultannya akan terdistorsi. Ini merupakan sumber dari distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik secara umum [11].

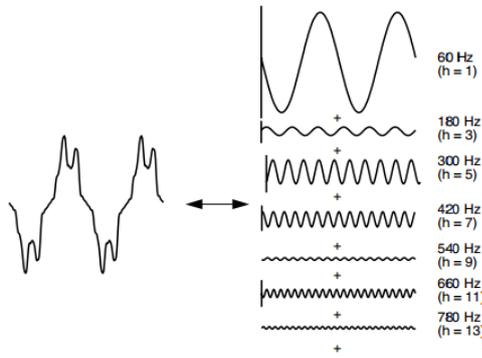
Apabila suatu gelombang yang identik dari suatu siklus ke siklus lain, maka bisa dipresentasikan sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal murni dimana frekuensi dari setiap sinusoidal merupakan kelipatan atau hasil perkalian bilangan bulat dari frekuensi gelombang dasar yang terdistorsi seperti yang terlihat pada gambar 2.1. Gelombang dengan frekuensi kelipatan ini disebut harmonik. Penjumlahan dari gelombang-gelombang sinusoidal menjadi gelombang *non* sinusoidal tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan konsep deret fourier sebagai berikut :

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n2\pi ft - \varphi_n)$$

Keterangan :

- $Y_0$  = Amplitudo dari komponen arus searah dimana biasanya dalam jaringan distribusi bernilai nol.
- $Y_n$  = Nilai rms dari harmonisa komponen ke-n
- $f$  = Frekuensi dasar (50 Hz atau 60 Hz)
- $\varphi_n$  = Sudut fasa dari komponen harmonisa ke-n

Secara umum deret Fourier ini digunakan untuk memecahkan gelombang yang mengandung *ripple* menjadi dua gelombang, yaitu gelombang fundamental (dasar) dan gelombang harmonisa. Dengan menggunakan perhitungan secara aljabar antara gelombang dasar dengan gelombang-gelombang harmonisa yang mempunyai frekuensi, amplitudo dan sudut fasa yang bervariasi untuk mendapatkan bentuk gelombang tegangan dan arus



Gambar 2. Representasi Deret Fourier Dari Suatu Gelombang Terdistorsi [6]

**B. Indeks Harmonisa**

Ada dua hal umum yang digunakan indeks untuk mengukur suatu bentuk gelombang harmonisa adalah THD (*Total Harmonic Distortion*) dan TDD (*Total Demand Distortion*) [6]. Kedua langkah ini merupakan perhitungan yang efektif dalam menentukan nilai suatu gelombang dan dapat diterapkan untuk tegangan maupun arus.

**1. Total Harmonic Distortion (THD)**

THD merupakan alat ukur yang efektif dari komponen-komponen harmonik [6]. Nilai ini dapat dihitung baik untuk tegangan maupun arus:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{h_{max}} M_n^2}}{M_1}$$

Keterangan:

- $M_h$  = Nilai rms dari komponen harmonik ke-n (arus atau tegangan)
- $M_1$  = Nilai rms dari arus atau tegangan pada frekuensi dasar

THD yang berkaitan dengan nilai rms dari distorsi gelombang sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2}$$

**2. Total Demand Distortion (TDD)**

TDD merupakan distorsi permintaan total yang dilihat dari nilai THD arus yang tinggi dan hal ini masuk di Standar IEEE 519-1992, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems* [6]. TDD didefinisikan sebagai berikut:

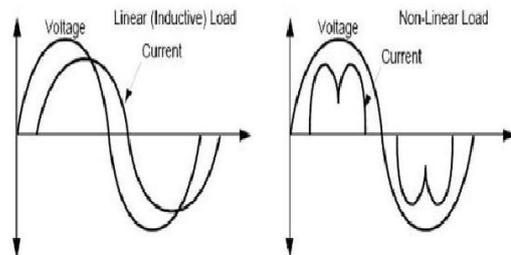
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{h_{max}} M_n^2}}{M_1}$$

Keterangan:

- $I_L$  = Arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada PCC (*Point of Common Coupling*)

**C. Sumber-sumber Harmonisa**

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada sistem tenaga elektrik terdiri dari 2 macam yaitu berupa beban *linear* dan beban *non-linear*. Beban *linear* berupa beban yang bersifat resistif sehingga arus dan tegangannya tidak saling mendahului pada gelombang sinusoidalnya. Sedangkan beban *non-linear* berupa beban-beban kapasitif, induktif dan beban lain pada komponen elektronika daya seperti *thyristor*, *diode*, dll. Karakteristik beban *non-linear* yang mana gelombang sinusoidal dari arus dan tegangannya saling [6]. Hal tersebut merupakan penyebab utama terjadinya distorsi gelombang harmonisa.



Gambar 3. Gelombang Beban *Linear* dan *Non Linear* [6]

**D. Dampak Harmonisa**

Pengaruh harmonisa pada peralatan listrik secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Nilai rms baik tegangan maupun arus meningkat.
2. Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus meningkat.
3. Frekuensi sistem menurun.

Secara khusus efek yang ditimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi:

- a) Efek negatif jangka pendek
  - Tegangan harmonisa dapat mengganggu pengendalian yang digunakan pada sistem elektronik.
  - Harmonisa dapat menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik yang menggunakan prinsip induksi magnetik.
- b) Efek yang bersifat kontinu dan yang dapat mengakibatkan pemanasan.
  - Pemanasan kapasitor  
Kapasitor sensitif terhadap perubahan beban maka ketika terjadi harmonisa akan menyebabkan rugi-rugi meningkat
  - Pemanasan pada mesin-mesin listrik  
Akibat harmonisa pada mesin adalah bertambahnya rugi-rugi pada sistem. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya rugi-rugi pada stator dan perbedaan kecepatan yang diakibatkan oleh medan yang dihasilkan oleh harmonisa dengan rotor
  - Transformator  
Transformator distribusi yang mencatu daya beban *non-linear* akan menimbulkan arus harmonisa kelipatan tiga ganjil. Harmonisa ini akan menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa. Akibatnya terjadi peningkatan temperatur pada kawat netral

**E. Batasan Harmonisa**

Beberapa standar batasan harmonisa pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan diantaranya adalah standar IEEE std. 519-1992, IEC61000-3-6 dan lain-lain. IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan standar ANSI banyak digunakan di Amerika. Berikut adalah standar yang digunakan dalam skripsi ini [6]:

TABLE 1  
BATASAN HARMONISA PADA TEGANGAN

Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69 kV – 161 kV	1.5	2.5
161 kV	1.0	1.5

Sumber: IEEE std 519-1992

TABLE 2  
BATASAN HARMONISA PADA ARUS

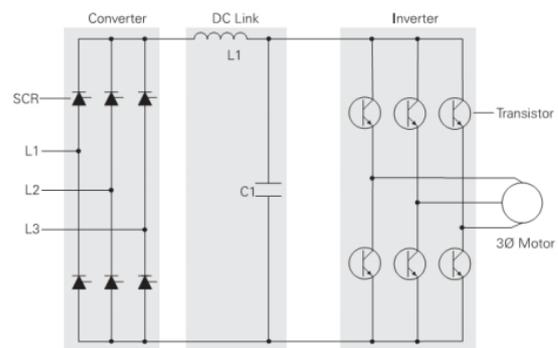
Maximum Harmonics Current Distortion $I_n \% I_L$						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
$I_{sc}/ I_L$	< 11	11= $\leq$ h<17	17= $\leq$ h<23	23= $\leq$ h<35	35= $\leq$ h	T H D
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Sumber: IEEE std 519-1992

**F. Variable Speed Drive (VSD)**

VSD merupakan komponen elektronika daya yang mengatur kecepatan motor asinkron dengan memotong lebar pulsa dari gelombang sinusoidal gelombang AC.

Prinsip kerjanya yaitu dengan menyearahkan gelombang AC menjadi DC menggunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*). Setelah gelombang sinusoidal menjadi DC kemudian melewati rangkaian elektronika daya berupa kapasitor dan induktor sebagai filter gelombang karena masih terdapat *ripple*. Tegangan dan arus yang telah menjadi DC kemudian dikonversi lagi menjadi AC dengan penggunaan IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Penggunaan IGBT ini merencanakan gelombang DC agar serupa dengan gelombang AC yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal melalui *switching* IGBT. Dimana *switching* IGBT dilakukan oleh kontroler yang tertanam pada prosesor VSD. Demikian pula dalam menyearahkan gelombang AC 3 fasa SCR juga akan melakukan *switching* yang dilakukan oleh kontroler yang tertanam pada prosesor VSD.

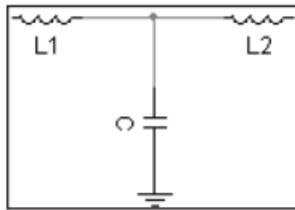


Gambar 4. Rangkaian Variable Speed Drive (VSD)

Harmonisa yang ditimbulkan oleh VSD berbeda-beda, tergantung dari jumlah *pulse drive* yang ada pada VSD tersebut. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan karakteristik ordo harmonisa pada tiap-tiap peralatan elektronik termasuk VSD.

**G. Filter LCL**

Filter LCL adalah filter pasif yang terdiri dari komponen-komponen pasif R, L dan C, seperti diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. LCL Filter Design in PSCAD Simulation

LCL Filter ini dapat mereduksi harmonisa arus karena filter ini memakai kapasitor (C) yang memiliki impedansi rendah dan disusun secara paralel untuk mengalirkan harmonisa arus yang memiliki frekuensi tinggi. Filter L dapat dipasang secara seri terhadap beban karena arus yang mengalir melalui L akan sulit berubah berbanding lurus dengan besarnya L.

Berikut merupakan pemilihan komponen LCL Filter agar dapat mereduksi harmonisa dengan baik. Nilai filter diperoleh sebagai persentase dari nilai dasar, yang diberikan dengan:

$$Z_b = \frac{E_n^2}{P_n} \dots\dots\dots(1)$$

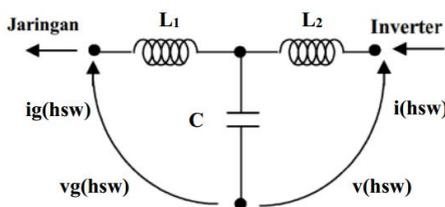
$$C_b = \frac{1}{\omega_n Z_b} \dots\dots\dots(2)$$

$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_n} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- $Z_b$  : Impedansi dasar ( $\Omega$ )
- $C_b$  : Kapasitansi dasar (F)
- $L_b$  : Induktansi dasar (H)
- $E_n$  : Tegangan rms (V)
- $P_n$  : Daya aktif (Watt)
- $\omega_n$  :  $2 \times 3.14 \times f_g$  (Hz)

Harmonisa tegangan pada sisi penyearah aktif  $v(hsw) \neq 0$  dan harmonisa tegangan pada sisi jaringan  $vg(hsw) = 0$ . Rangkaian ekivalen filter LCL untuk h harmonisa dapat dilihat seperti gambar 6. Pada gambar 6 terdapat  $i(h)$  dan  $v(h)$  menunjukkan harmonisa arus dan harmonisa tegangan, sementara hsw adalah orde harmonisa [4].



Gambar 6. Ekivalen filter LCL satu fasa pada harmonisa h [4].

1. Rancangan Filter LCL

Filter yang akan dirancang dengan langkah-langkah sebagai berikut [4]:

- a. Dengan memilih daya reaktif yang diserap kondisi rata-rata (x), digunakan x dibawah 5% dengan demikian besar kapasitor pada filter dapat dihitung.  
 $C_f = x \cdot C_b$
- b. Pilih arus ripple untuk dapat menghitung induktansi sisi inverter ( $L_2$ ).
- c. Pilih reduksi arus ripple yang diinginkan. Dengan mengetahui nilai x, reduksi arus ripple dapat dihitung.

$$\frac{i_g(hsw)}{i(hsw)} = \frac{1}{|1 + r(1 - a \cdot x)|}$$

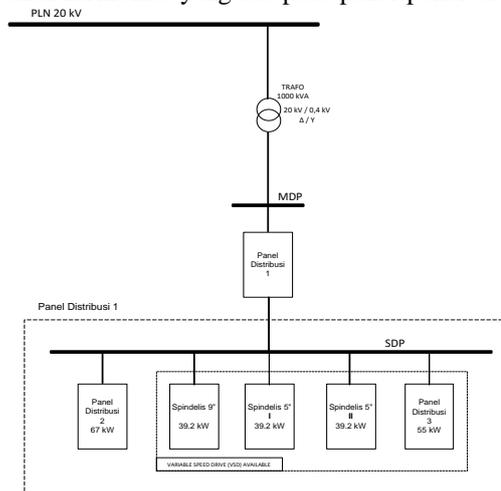
Dimana  $a = L_2 \cdot C_b \omega_{sw}^2$  sebagai konstanta.

- d. Dengan mengetahui induktansi sisi inverter ( $L_2$ ), maka induktansi sisi jaringan ( $L_1$ ) dihitung menggunakan indeks r, hubungan dua induktansi:  
 $L_1 = r \cdot L_2$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Study yang akan dilakukan pada sistem kelistrikan PT. ADMIRA (Alam Damai Mitra Raya) Trenggalek, dimana nantinya akan dilakukan proses pengukuran harmonisa pada masing-masing panel. Setelah mengetahui apakah pada panel-panel tersebut terdapat harmonisa yang tidak sesuai dengan standar IEEE 519-1992, maka langkah selanjutnya akan dilakukan perancangan dan pemasangan LCL Filter pada panel-panel yang mengandung harmonisa.

Simulasi kali ini akan dilakukan menggunakan software PSCAD dengan bantuan tools harmonic analysis untuk mengetahui harmonisa yang ada pada panel-panel tersebut.



Gambar 7. Single Line Diagram PT. ADMIRA

Berikut merupakan data hasil pengukuran harmonisa pada PT. ADMIRA.

TABLE 3  
DATA PENGUKURAN HARMONISA TEGANGAN

Panel	Ordo	Harmonic	THDv (%)
Semua Panel	3	2	2,7
	5	9	
	7	3	
	9	1	
	11	1	
	13	3	
	15	1	

Sumber: PT. ADMIRA, 16 Maret 2017

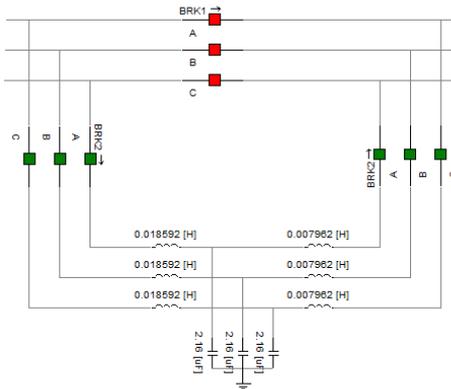
TABLE 4  
DATA PENGUKURAN HARMONISA ARUS

Panel	Ordo	Harmonic	THD <sub>i</sub> (%)
Distribusi 2	3	0,004	1,26
	5	0,004	
	7	0,004	
	9	0,004	
	11	0,004	
	13	0,004	
Distribusi 3	3	0,5	45,5
	5	16,8	
	7	5,8	
	9	0,2	
	11	2,4	
	13	0,7	
Spindelis (5" I, 5" II & 9')	3	0,3	25,9
	5	2,5	
	7	1,3	
	9	0,1	
	11	1,1	
	13	0,7	

Sumber: PT. ADMIRA, 16 Maret 2017

A. Desain dan Perhitungan LCL Filter

Desain filter yang penulis rancang adalah jenis filter pasif yaitu berupa single tuned filter yang digabung dengan dua line reactor (LCL Filter). Berikut ini gambaran LCL filter yang sudah terkoneksi ke sistem.



Gambar 8. LCL Filter pada Software PSCAD

Filter yang akan dirancang dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Pilih daya reaktif yang diserap pada kondisi rata-rata, ambil x sebagai persentase penyerapan daya reaktif di bawah kondisi rata-rata, tidak boleh melebihi 5%

$$C_f = x \cdot C_b$$

- b. Pilih arus ripple untuk dapat menghitung induktansi sisi inverter (L<sub>2</sub>) dengan menggunakan Persamaan.

$$\frac{i(hsw)}{v(hsw)} = \frac{1}{\omega_{SW} L_2}$$

- c. Pilih reduksi arus ripple yang diinginkan. Dengan mengetahui nilai x, reduksi arus ripple dapat dihitung dengan Persamaan.

$$\frac{i(hsw)}{i(hsw)} = \frac{1}{|1 + r(1 - a \cdot x)|}$$

- d. Dengan mengetahui induktansi sisi inverter (L<sub>2</sub>), maka induktansi sisi jaringan (L<sub>1</sub>) dihitung menggunakan indeks r, hubungan dua induktansi:

$$L_1 = r \cdot L_2$$

IV. ANALISA HASIL

A. Simulasi Sesudah Pemasangan LCL Filter pada Sistem Kelistrikan PT. ADMIRA

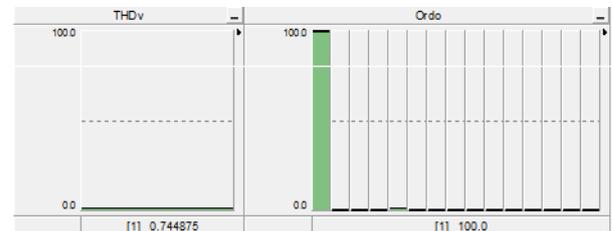
Berikut ini merupakan hasil dari simulasi sesudah pemasangan LCL filter pada panel-panel yang mengandung harmonisa di atas standart IEEE 519-1992.

1. Panel Spindelis

- a). Gelombang tegangan dan harmonisa tegangan sistem sesudah pemasangan filter pada panel spindelis

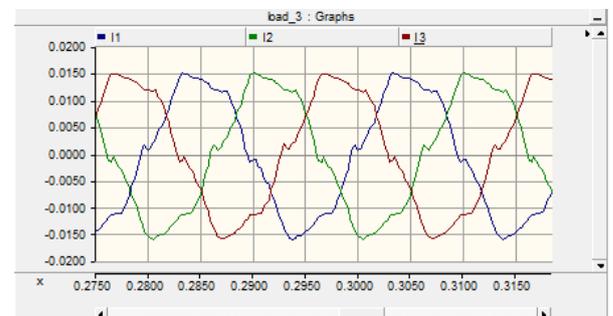


Gambar 12. Gelombang Tegangan Sesudah Pemasangan Filter

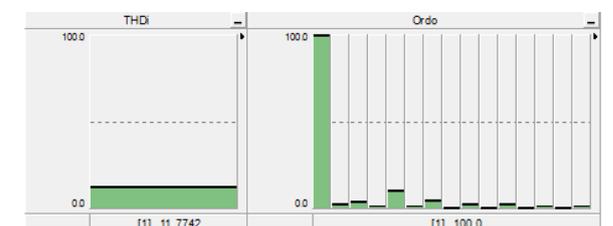


Gambar 13. Harmonisa Tegangan Sesudah Pemasangan Filter

- b). Gelombang arus dan harmonisa arus sistem sesudah pemasangan filter pada panel spindelis



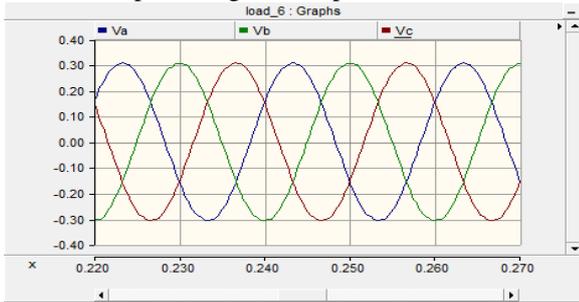
Gambar 14. Gelombang Arus Sesudah Filter



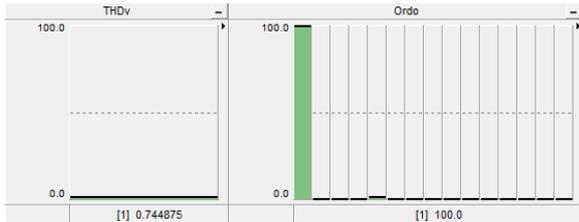
Gambar 15. Harmonisa Arus Sesudah Filter

2. Panel Distribusi 3

a). Gelombang tegangan dan harmonisa tegangan sistem sesudah pemasangan filter pada Panel distribusi 3

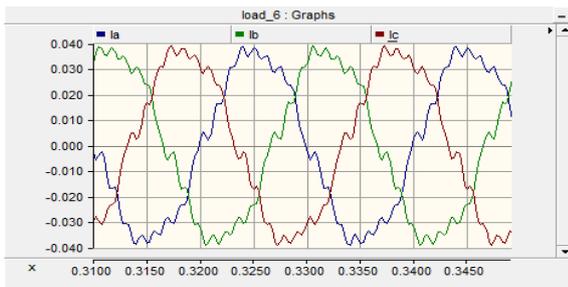


Gambar 16. Gelombang Tegangan Sesudah Pemasangan Filter

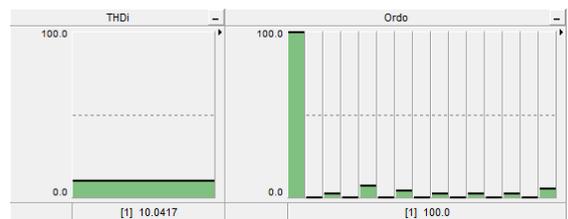


Gambar 17. Harmonisa Tegangan Sesudah Pemasangan Filter

b). Gelombang arus dan harmonisa arus sistem sesudah pemasangan filter pada distribusi 3



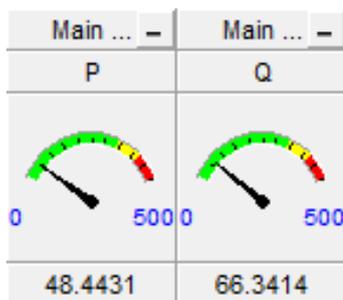
Gambar 18. Gelombang Arus Sesudah Pemasangan Filter



Gambar 19. Harmonisa Arus Sesudah Pemasangan Filter

3. Faktor Daya pada Sistem Kelistrikan PT. ADMIRA Sesudah Pemasangan LCL Filter

Berikut ini merupakan perhitungan faktor daya sesudah pemasangan filter.



Gambar 20. Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q)

Diketahui:

$$P_{awal} = 64,5332 \text{ kW}$$

$$Q_{awal} = 49,9804 \text{ kVAr}$$

$$P_{reduce} = 48,4431 \text{ kW}$$

$$Q_{reduce} = 66,3414 \text{ kVAr}$$

$$Q_{akhir} = Q_{reduce} - Q_{awal}$$

$$= 66,3414 \text{ kVAr} - 49,9804 \text{ kVAr}$$

$$Q_{akhir} = 16,361 \text{ kVAr}$$

$$S_{akhir} = \sqrt{P_{awal}^2 + Q_{akhir}^2}$$

$$= \sqrt{(64,5332)^2 + (16,361)^2}$$

$$S_{akhir} = 66,574892 \text{ kVA}$$

Penyelesaian:

$$\cos\phi_{akhir} = \frac{P_{awal}}{S_{akhir}}$$

$$= \frac{64,5332}{66,574892} \times 100\%$$

$$\cos\phi_{akhir} = 0,96 \times 100\%$$

$$\cos\phi_{akhir} = 96\%$$

TABLE 5  
PERBANDINGAN HARMONISA DAN FAKTOR DAYA SESUDAH PEMASANGAN FILTER PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. ADMIRA

Sistem Kelistrikan PT. ADMIRA						
Nama Panel	THDv (%)		THDi (%)		COSφ (%)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Spindelis 5" I, 5" II dan 9"	3,34228	0,744875	27,0202	11,7742	79	96
Distribusi 2			0,798138	0,160212		
Distribusi 3			48,8034	10,0417		

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa, maka:

1. Dengan melakukan perhitungan kapasitas filter pada subpanel Spindelis diperoleh nilai induktansi jaringan ( $L_1$ ) sebesar 0,018592 H, induktansi inverter ( $L_2$ ) sebesar 0,007962 H dan kapasitor ( $C_f$ ) sebesar 2,16  $\mu F$ . Dengan rancangan LCL filter ini dapat mereduksi nilai THDi dari 27,0202% menjadi 11,7742% dan nilai THDv dari 3,34228 menjadi 0,744875%.
2. Pada subpanel Distribusi 3 diperoleh nilai induktansi jaringan ( $L_1$ ) sebesar 0,00491 H, induktansi inverter ( $L_2$ ) sebesar 0,007962 H dan kapasitor ( $C_f$ ) sebesar 5,96  $\mu F$ . Dengan rancangan LCL filter ini dapat mereduksi nilai THDi dari 48,8034% menjadi 10,0417% dan nilai THDv dari 3,34228 menjadi 0,744875%.
3. Faktor daya sebelum pemasangan LCL filter adalah 0,79. Setelah pemasangan LCL filter pada subpanel yang mengandung harmonisa melebihi standar, maka diperoleh faktor daya sebesar 0,96.
4. Dari hasil simulasi pemasangan LCL filter pada subpanel Spindelis dan subpanel Distribusi 3 nilai THDi dapat direduksi dan turun sesuai standart IEEE 519-1992.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *IEEE Standards Board.* (1995). IEEE Std. 1159-1995. *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.* IEEE Inc. New York.
- [2] Irawan, Heri. (2011). Analisis Pengaruh Pemasangan *Filter Pasif Terhadap Penurunan Harmonik pada Sistem Multi Mesin 9 BUS IEEE.* Semarang.
- [3] LAO, Keng-Weng., WONG, Man-Chung., DAI, NingYi., dan WONG, Chi-Kong. (2008). *Design of LCL Filter for Harmonic Suppression in Co-phase Railway Power Quality Conditioner.* University of Macau Faculty of Science and Technology. China
- [4] Liserre, Marco., Blaabjerg, Frede., dan Hansen, Steffan. (2008). *Design and Control of an LCL Filter Based Three Phase Active Rectifier.* IEEE vol. 41, nomor 5.
- [5] Rivas, Darwin., Moran, Luis., Dixon, Juan W., dan Espinoza, Jose R. (2003). *Improving Passive Filter Compensation Performance with Active Techniques.* IEEE Transactions on Industrial Electronics.
- [6] Roger, C. Dugan., Mark, F. McGranaghan., Santoso, Surya., dan Beaty, H. Wayne. (2003). *Electrical Power Systems Quality.* McGraw-Hill.

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Nabire, Papua pada tanggal 24 Juli 1995 dari Bapak Imran Tunggal dan Ibu Puspo Wahyuni. Penulis memulai pendidikan pada tahun 2001 di SD Al-Hikmah Yapis Nabire hingga 2007. Pada tahun 2007 penulis menempuh pendidikan di SMP Negeri 1 Nabire hingga tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Nabire dengan jurusan IPA dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis memilih Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri dan diwisuda pada tanggal 30 September 2017, dengan judul skripsi “Implementasi *LCL Filter* Dalam Mereduksi Harmonisa Akibat Penggunaan *Vsd (Variable Speed Drive)* Untuk Meningkatkan Kualitas Daya Dan Efisiensi Energi”. Selama menjabat sebagai mahasiswa, penulis memiliki pengalaman menjadi Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik pada tahun 2015 hingga 2017 dan menjabat sebagai *Trainer* Pelatihan *Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program)* pada periode tahun 2015-2017. Pada tahun 2013 penulis menjadi finalis Lomba Olimpiade Sains Nasional (OSN-PT) tahun 2013 regional Jatim. Pada tahun 2016 penulis melaksanakan kerja praktek di PT PJB Pembangunan Brantas Distrik D-PLTA Selorejo selama kurun waktu 1 bulan.