

PERENCANAAN FILTER PASIF PADA SISI TEGANGAN RENDAH UNTUK MENGURANGI HARMONISA BEBAN *NON-LINEAR* DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO

Aivelia Mualifatul Risc^{*)}, Mochammad Facta dan Denis

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : aiveliamr@students.undip.ac.id

Abstrak

Maraknya penggunaan beban *non-linier* yang terpasang pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro mengakibatkan timbulnya harmonisa yang dapat mempengaruhi kualitas daya pada sistem kelistrikan. Berdasarkan standar IEEE 519-1992, nilai maksimal untuk harmonisa tegangan adalah 5% dan arus adalah 12%. Pemasangan filter pasif jenis *single-tuned* merupakan salah satu upaya untuk mereduksi harmonisa baik untuk harmonisa tegangan maupun arus. Penelitian Tugas Akhir ini mengulas kinerja dan pengaruh pemasangan filter pasif *single-tuned* dalam mereduksi harmonisa tegangan dan arus. Perancangan filter pasif *single-tuned* mengacu pada kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro yang didesain menggunakan perangkat lunak ETAP v.12.6.0. Setelah dilakukan pemasangan filter pasif *single tuned*, didapatkan adanya perbaikan kualitas daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan empat skenario yang telah dibuat. Pada kondisi pembebanan penuh, faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro meningkat dari 93,4% menjadi 99,5%. Harmonisa tegangan pada saat pembebanan penuh mengalami penurunan dari 2,63% menjadi 2,36% atau reduksi harmonisa tegangannya sebesar 10,2%. Harmonisa arus pada saat pembebanan penuh juga mengalami penurunan pula dari 15,63% menjadi 10,06% atau reduksi harmonisa arusnya sebesar 34,3%. Pada kondisi pembebanan tidak penuh, filter pasif *single tuned* juga tetap mampu untuk memperbaiki nilai faktor daya maupun harmonisa tegangan dan arusnya.

Kata kunci : Harmonisa, IEEE 519-1992, Filter Pasif Single Tuned, ETAP v.12.6.0

Abstract

The use of non-linear loads installed in the electrical system of the Electrical Engineering Department causes the emergence of harmonics that can affect the power quality in the system. Based on IEEE standard 519-1992, the maximum values for voltage and current harmonics are 5% and 12%. The installation of a single tuned passive filter is a way to reduce harmonics for both voltage and current harmonics. The design of a single tuned passive filter refers to full load condition in the Electrical Engineering Department which is designed with software ETAP v.12.6.0. After a single tuned passive filter installed, there was a power quality improvement in the electrical system of the Electrical Engineering Department with four scenarios that have been made. Under full load conditions, the power factor of the Electrical Engineering Department's electrical system increased from 93,4% to 99,5%. The voltage harmonics decreased from 2,63% to 2,36% or the voltage harmonics reduction was 10,2%. The current harmonics also decreased from 15,63% to 10,06% or the current harmonics reduction was 34,3%. When the not load is not full, the single tuned passive filter still able to improve the power factor value as well as the voltage and current harmonics.

Keywords : Harmonics, IEEE std 519-1992, Single Tuned Passive Filter, ETAP v.12.6.

1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan pada Departemen Teknik Elektro (DTE), Universitas Diponegoro merupakan salah satu sistem yang terhubung pada beban yang ada di Gedung Elektro, Gedung Dekanat lama, Gedung Perkapalan, dan Gedung Geodesi. Banyaknya penggunaan komponen *non-linear* sebagai perangkat konversi AC-DC, AC-AC,

DC-DC, maupun DC-AC pada beban yang terpasang di sistem kelistrikan tersebut, mengakibatkan permasalahan baru terhadap kualitas energi listrik seperti timbulnya harmonisa[1]. Munculnya harmonisa pada sistem kelistrikan yang melebihi batas standar menimbulkan berbagai kerugian seperti penurunan kapasitas pada transformator yang dapat berdampak pula pada tambahan biaya investasi serta derating transformator. Seperti

halnya pada sistem kelistrikan di DTE, karena maraknya penggunaan beban non-linear mengakibatkan timbulnya harmonisa yang melebihi batas standar IEEE519-1992. Pada dasarnya harmonisa pada sistem kelistrikan dapat direduksi dengan berbagai caraseperti peningkatan kapasitas hubung sinngkat di PCC, penggunaan harmonics trapper, pemasangan filter harmonisa, dan lain sebagainya. [2]

Penggunaan filter pasif untuk mereduksi harmonisa merupakan salah satu cara yang efektif untuk mereduksi harmonisa karena memiliki keunggulan seperti tidak memerlukannya catu daya tambahan yang apat menambah konsumsi daya pada transformator.[3].

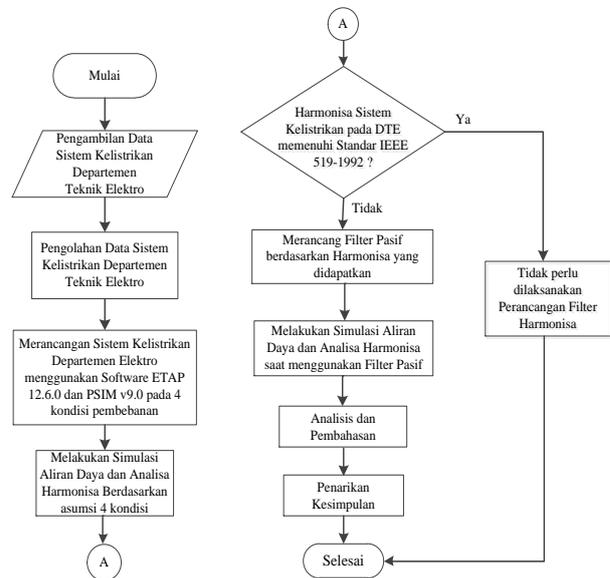
Penelitian mengenai perancangan filter pasif *single-tuned* untuk mengurangi harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik sudah pernah dilakukan oleh Ridla Setya Nur Amina pada PT. Sri Rejeki Isman, Tbk khususnya di Unit Spinning I/II. Pada penelitian tersebut dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP v.12.6.0 dan didapatkan bahwa setelah menggunakan filter pasif *single-tuned* didapatkan bahwa harmonisa tegangan dan arus yang timbul pada beberapa transformator tenagaberkurang sehingga nilainya sudah memenuhi standar yang diacu yaitu IEEE std. 519-2014[4].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Novix Jefri Alfama mengenai filter pasif *single-tuned* didapatkan bahwa adanya pemasangan beban non-linier pada sistem tenaga listrik akan mengakibatkan meningkatnya harmonisa tegangan pada sistem tersebut dan setelah dilakukan perancangan dan pemasangan filter pasif *single-tuned* maka nilai harmonisa tegangan mengalami penurunan berkisar antara 3,29 % sampai dengan 4,54 % dan mampu mengurangi rugi – rugi daya nyata sebesar 17,6 kW.[5]

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, akan dilakukan perencanaan dan pemasangan filter pasif *single-tuned* untuk mereduksi harmonisa pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Eleketro agar sesuai dengan Standar IEEE 519-1992. Pengujian filter pasif yang telah dirancang akan dilakukan dengan cara mengaplikasikannya pada beberapa kondisi pembebanan yang berbeda menggunakan software ETAP v.12.0 dan PSIM v.6.0 untuk mengetahui pengaruh dan kinerja filter dalam mereduksi harmonisa pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

2. Metode Penelitian

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Standar Harmonisa

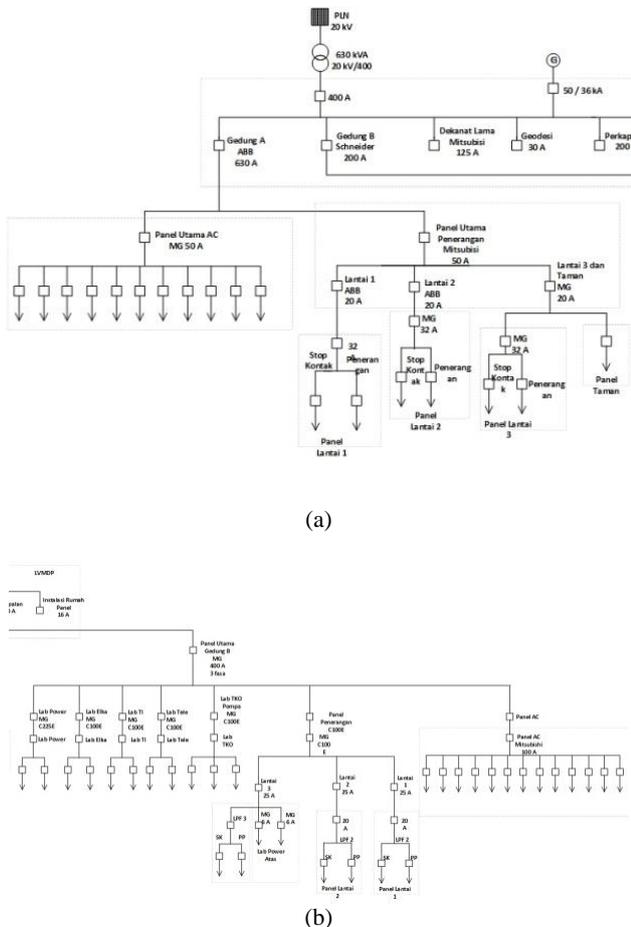
Tabel 1. Batasan Harmonisa Arus untuk Sistem < 65 kV[6]

ISC /IL	Maximum Harmonic Current Distortion (in % of fundamental)					Total
	Harmonic Order					
	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	
< 20	4	2.0	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1.0	0.5	8
50-100	10	4.5	4.0	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15
>1000	15	7.0	6.0	2.5	1.4	20

Tabel 2. Batasan Harmonisa untuk Tegangan[7]

Bus Voltage (V) At PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion (%)
V ≤ 1 kV	5,0	8,0
1 kV < V < 69 kV	3,0	5,0
69 kV < V < 161 kV	1,5	2,5
161 kV < V	1,0	1,5

2.2 Data Penelitian



Gambar 2. Single Line Diagram (a) Gedung A, (b) Gedung B Teknik Elektro UNDIP

Tabel 3. Data Nameplate Trafo

Transformator	
Jenis Trafo	3 fasa
Frekuensi	50 Hz
Nominal Rating	630 kVA
Nominal Voltage	20 kV/400V
Nominal Current	18,187 A/908,327 A
Cooling	ONAN
Impedance (%)	4,05

Tabel 4. Nilai Harmonisa Arus maupun Tegangan pada Semua Kondisi

Keterangan	THD Tegangan (%)	THD Arus (%)
Kondisi 1	2,63	15,63
Kondisi 2	1,55	13,22
Kondisi 3	1,14	10,27
Kondisi 4	0,90	6,6

3. Pengujian dan Analisis

Penelitian harmonisa pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro dilakukan terhadap beberapa kondisi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kondisi penelitian[8]

Kondisi	Keterangan dan Asumsi	Referensi Metode Perhitungan
1	Perhitungan dampak dari harmonisa orde 1 s.d. orde 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban gedung Teknik Elektro 100% ditambah dengan gedung Teknik Pekapalan 40%, gedung Teknik Geodesi 40%, dan Gedung Dekanat Lama 40%	Losses Trafo: IEEE C.57.110-2008 Faktor Derating Trafo: IEEE C.57.110-2008
2	Perhitungan dampak dari harmonisa orde 1 s.d. orde 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban gedung Teknik Elektro 100% (Gedung A 100% dan Gedung B 100%)	Losses Trafo: IEEE C.57.110-2008 Faktor Derating Trafo: IEEE C.57.110-2008
3	Perhitungan dampak dari harmonisa orde 1 s.d. orde 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban gedung Teknik Elektro 80% (Gedung A 100% dan Gedung B 60%)	Losses Trafo: IEEE C.57.110-2008 Faktor Derating Trafo: IEEE C.57.110-2008
4	Perhitungan dampak dari harmonisa orde 1 s.d. orde 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban gedung Teknik Elektro 65% (Gedung A 100% dan Gedung B 30%)	Losses Trafo: IEEE C.57.110-2008 Faktor Derating Trafo: IEEE C.57.110-2008

3.1. Kondisi Existing Sistem

3.1.1. Simulasi Aliran Daya ETAP 12.6.0

Tabel 5. Hasil Simulasi Aliran Daya pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Kondisi	kV(%)	Arus(A)	pF(%)	P(kW)	Q(kVAR)	S(kVA)
1	98,73	343,3	93,40	219	83,86	234,8
2	99,11	236,8	92,61	151	61,31	163
3	99,32	180,3	92,07	114	48,41	124
4	99,47	138,1	91,50	87,10	38,44	95

3.1.2. Simulasi Harmonisa Pada Software ETAP 12.6.0

Tabel 6. Hasil Simulasi Analisis Harmonisa pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Keterangan	THD V (%)	Standar SPLN D5.004-1:2012	THD V (%)	Standar SPLN D5.004-1:2012
Kondisi 1	2,63	5	15,63	12
Kondisi 2	1,55	5	13,22	12
Kondisi 3	1,14	5	10,27	12
Kondisi 4	0,9	5	6,6	12

Tabel 7. Perbandingan Nilai IHD Arus pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Kondisi	Orde 1		Orde 5		Orde 7	
	THDi (%)	RMS (A)	THDi (%)	RMS (A)	THDi (%)	RMS (A)
1	98,73	343,3	93,40	219	83,86	234,8
2	99,11	236,8	92,61	151	61,31	163
3	99,32	180,3	92,07	114	48,41	124
4	99,47	138,1	91,50	87,10	38,44	95

3.1.3. Simulasi Harmonisa Pada Software PSIM
12.6.0

Tabel 8. Hasil Simulasi Analisis Harmonisa Tiap Fasa pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Keterangan		THD I (%)	RMS (A)
Kondisi 1	Fasa R	22.72	3.59
	Fasa S	19.99	3.59
	Fasa T	31.1	5.597
Kondisi 2	Fasa R	16.87	2.82
	Fasa S	12.1	3.16
	Fasa T	23.74	4.95
Kondisi 3	Fasa R	10.1	4.36
	Fasa S	10.1	4.49
	Fasa T	11.9	6.59
Kondisi 4	Fasa R	9.2	0.93
	Fasa S	8.6	1.26
	Fasa T	10.8	1.58

3.2. Perancangan Filter Pasif

Dari hasil simulasi yang telah dibuat, menunjukkan bahwa arus harmonisapada kondisi 1 dan 2 telah melebihi batas standar yang telah dijadikan acuan. Untuk mengurangi besarnya arus harmonisa, maka perlu digunakan sebuah alat yang dapat mereduksi arus harmonisa hingga batas normal. Salah satu cara untuk meredam harmonisa pada sistem kelistrikan adalah dengan menggunakan filter pasif jenis *single-tuned* [1].

3.2.1. Percancangan Filter Pasif *Single-tuned*

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa faktor daya awal pada sistem kelistrikan dengan kondisi 1 sebesar 93,4% dan Daya aktif pada sistem sebesar 219 kW. Berdasarkan data tersebut berikut merupakan hasil perhitungan parameter filter pasif untuk mereduksi harmonisa pada sistem kelistrikan DTE.

$$\theta_1 = \arccos 0,934 = 20,932^\circ$$

$$\theta_2 = \arccos 0,995 = 5,731^\circ$$

$$P_{10} = 219 \text{ KW}$$

Besar daya reaktif yang diperlukan untuk memperbaiki nilai faktor daya dari 93,4% menjadi 99,5% dapat dihitung sesuai persamaan berikut [9]:

$$Q_c = P_{10}(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (1)$$

$$Q_c = 219 \times 10^3 (\tan 20,932 - \tan 5,731)$$

$$Q_c = 61,789 \text{ KVAR}$$

Besar daya reaktif yang dibutuhkan dapat digunakan untuk menghitung nilai komponen kapasitor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2)$$

$$X_c = \frac{231^2}{61789}$$

$$X_c = 0,863697$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c}$$

$$C = 3686 \mu F$$

Komponen induktor berguna untuk menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit atau *skin effect*. Untuk menghitung besar komponen Induktor yang akan dipakai pada filter *single-tuned* orde ke 5 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [9]:

$$\text{Harmonisa Orde} = 5$$

$$h = 5 - 10\%(5) = 5 - 0,5 = 4,5$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (4)$$

$$X_L = 0,0437 \text{ ohm}$$

Rangkaian filter *single-tuned* yang akan dipakai terdiri dari komponen R, L, dan C yang memiliki nilai dan didapat dari perhitungan di atas, sehingga nilai R dapat dihitung sebagai berikut [10] :

$$Q \text{ bernilai antara } 20 - 100, \text{ dipilih } Q = 70$$

$$R = Q_f \times X_L \quad (5)$$

$$R = 3,052 \text{ ohm}$$

Dengan cara yang sama didapatkan data pada Tabel 10

Tabel 9. Komponen *Filter Single-tuned*

Indeks Filter	Q _c (kVAR)	C (μF)	L (mH)	R (Ω)
Filter Orde 5	61,789	3686	0,1361	3,052
Filter Orde 7	61,789	3686	0,0751	1,652

3.2.3. Estimasi Biaya Perancangan Filter

Tabel 10. Total Biaya Komponen Perancangan Filter Pasif

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total
Kapasitor 120 μF	180	Buah	Rp.463.288	Rp.83.391.840
Kapasitor 80 μF	6	Buah	Rp.343.212	Rp.2.059.272
Kapasitor 12 μF	12	Buah	Rp.180.830	Rp.2.169.960
Tembaga 6 mm	184.632	Meter	Rp.35.000	Rp.6.462.120
Tembaga 8 mm	139.38	Meter	Rp.38000	Rp.5.296.440
Resistor 4 Ohm/ 500 watt	474	buah	Rp.350000	Rp.165.900000
Total				Rp.265.279.632

Berdasarkan informasi diatas, setiap komponen yang akan dipakai untuk melakukan perancangan filter didapatkan dari mencari informasi dari internet dan juga survey langsung ke pasaran. Tabel 11 di bawah akan mencakup keseluruhan jenis biaya perancangan filter pasif yang akan dirancang [11].

Adanya pemasangan filter pasif *single-tuned* sebagai alat untuk mereduksi harmonisa merupakan salah satu investasi dalam memperbaiki sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Selain dapat mereduksi timbulnya harmonisa dan memperbaiki kualitas daya pada

sistem kelistrikan, pemasangan filter pasif juga dapat menekan biaya kerugian yang disebabkan adanya *losses* dan *derating* pada trafo[11].

3.3. Perbandingan sebelum dan setelah dilakukan mitigasi

3.3.1. Alira Daya

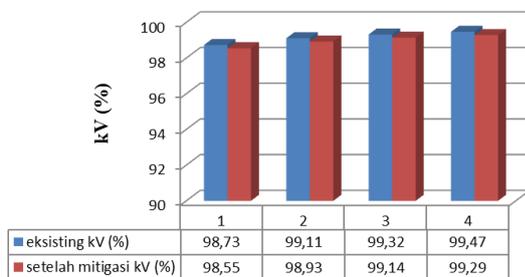
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* ETAP v.12.6.0, didapatkan perubahan nilai aliran daya pada sistem kelistrikan yang dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 11. Hasil Simulasi Tegangan, Arus, dan Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Pasif pada Tiap Kondisi

Kondisi	Tegangan (%)		Arus (A)		Faktor Daya (%)	
	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi
1	98,73	98,55	343,3	501,4	93,4	99,5
2	99,11	98,93	236,8	398,9	92,61	99,9
3	99,32	99,14	180,3	345,8	92,07	-99,9
4	99,47	99,29	138,1	307,1	91,5	-98,8

Dari Tabel 12 didapatkan perubahan tegangan pada masing-masing kondisi eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.

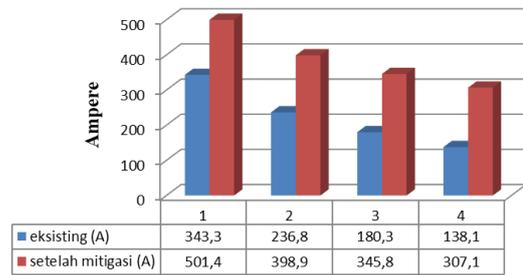
Perbandingan Tegangan



Gambar 2. Perbandingan Tegangan Eksisting dan Setelah Mitigasi pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 2 diperoleh perubahan besar tegangan pada bus trafo yang tidak terlalu signifikan setelah dipasang filter. Tegangan nominal pada tiap kondisi masih berada dibatas toleransi *undervoltage* maupun *overvoltage* SPLN yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan nominal. Kondisi arus pada eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.

Perbandingan Arus

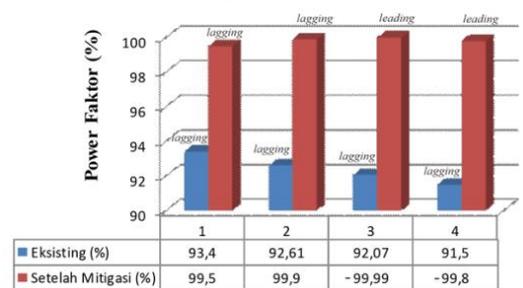


Gambar 3. Perbandingan Arus Eksisting dan Setelah Mitigasi pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 3 diperoleh perubahan besar arus pada bus trafo yang cukup signifikan. Arus pada tiap kondisi mengalami kenaikan dikarenakan adanya pemasangan filter yang terhubung langsung dengan bus utama. Hal tersebut yang menyebabkan bertambahnya arus yang mengalir dari bus utama ke rangkaian filter yang terpasang. Nilai arus fundamental yang bertambah setelah dilakukan pemasangan filter dapat menandakan adanya penurunan nilai THD harmonisa[12].

Selain kondisi arus, faktor daya ada eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.

Perbandingan Faktor Daya



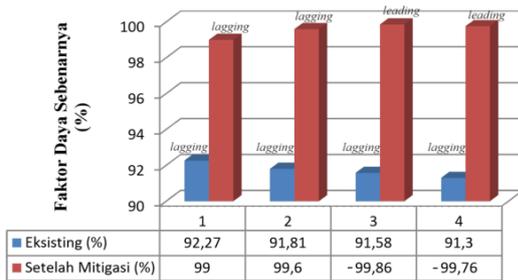
Gambar 4. Perbandingan Faktor Daya pada Eksisting dan Setelah Mitigasi Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Dari gambar 4 Dapat dapat dilihat bahwa nilai faktor daya pada sistem kelistrikan mengalami peningkatan yang cukup signifikan setelah dilakukan pemasangan filter pasif. Adanya peningkatan nilai faktor daya hingga mendekati 100% dapat meningkatkan kualitas daya pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Semakin baik nilai faktor daya pada sistem maka dapat mengurangi kerugian dalam suplai tenaga listrik. Selain itu, nilai faktor daya yang mendekati 1 (*unity*) menandakan daya nyata (P) yang dapat diserap oleh sistem semakin mendekati nilai daya semunya. Hal ini mengakibatkan semakin besar pula efisiensi dari sistem tersebut. Namun, pada kondisi 3 dan Kondisi 4 nilai faktor daya berubah dari *lagging* menjadi *leading*. Hal ini

disebabkan karena filter yang dirancang menggunakan acuan kondisi beban penuh sehingga saat sistem kelistrikan DTE dalam keadaan pembebanan tidak penuh, maka filter akan menghasilkan daya reaktif yang berlebih dan akan mengakibatkan sifat faktor daya berubah dari *lagging* menjadi *leading*[12].

Diagram berikut menunjukkan kondisi faktor daya yang sebenarnya

Perbandingan Faktor Daya Sebenarnya



Gambar 5. Perbandingan Faktor Daya Sebenarnya pada Eksisting dan Setelah Mitigasi Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

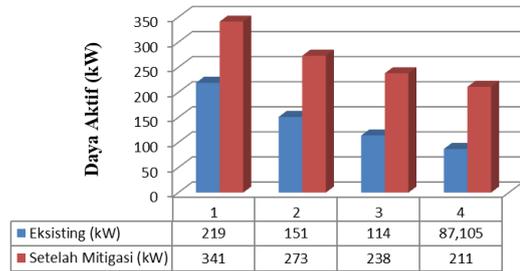
Faktor daya sebenarnya merupakan nilai faktor daya yang telah mengakomodir adanya harmonisa arus pada 4 kondisi di sistem kelistrikan. Dari data diatas didapatkan bahwa terjadi peningkatan nilai faktor daya yang sebenarnya sebesar 6,73% pada kondisi pertama, 7,79% pada kondisi kedua, 8,56% pada kondisi ketiga, dan 8,94% pada kondisi keempat. Hal tersebut menunjukkan bahwa filter pasif *single-tuned* dapat meredam pengaruh harmonisa yang disebabkan adanya beban *non-linear* pada sistem kelistrikan DTE. Tabel 10 menunjukkan perbandingan profil daya pada sistem kelistrikan pada kondisi eksisting dan setelah dilakukan mitigasi.

Tabel 13. Hasil Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Pasif pada Tiap Kondisi

Kondisi	Daya Aktif (kW)		Daya Reaktif (kVAR)		Daya Semu (VA)	
	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi
1	219	341	83,86	32,88	234,8	342
2	151	273	61,31	10,02	163	273
3	114	238	48,41	-3,05	124	238
4	87,10	211	38,44	-13,15	95	211

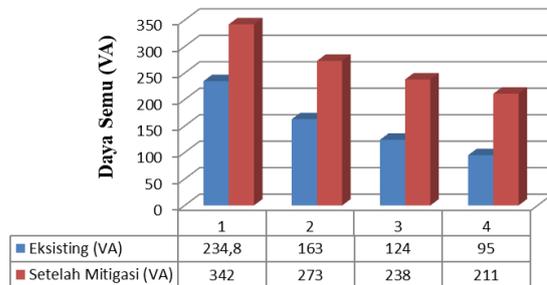
Perubahan daya pada kondisi eksisting dan setelah dilakukan mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.

Perbandingan Daya Aktif



Gambar 6. Perbandingan Daya Aktif pada Eksisting dan Setelah Mitigasi Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Perbandingan Daya Semu

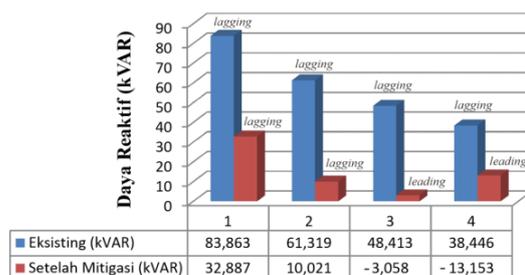


Gambar 7. Perbandingan Daya Reaktif pada Eksisting dan Setelah Mitigasi Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai daya aktif dan daya semu mengalami peningkatan yang sebanding. Dengan adanya peningkatan daya semu dan daya aktif yang pada sistem kelistrikan menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih efisien dengan adanya pemasangan filter pasif. Selain berfungsi mengkompensasi adanya harmonisa, pemasangan filter pasif juga berfungsi untuk mengkompensasi daya reaktif sehingga dapat meningkatkan nilai faktor daya[12].

Diagram berikut menunjukkan perbandingan daya reaktif pada keempat kondisi eksisting dengan setelah dilakukan mitigasi harmonisa.

Perbandingan Daya Reaktif



Gambar 8. Perbandingan Daya Semu pada Eksisting dan Setelah Mitigasi Sistem Kelidtrikan Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat terjadi penurunan daya reaktif yang cukup signifikan pada keempat kondisi sistem kelistrikan. Sistem kelistrikan yang banyak menyerap daya reaktif karena adanya penggunaan beban motor dapat mengakibatkan adanya penurunan tegangan pada saluran distribusi. Semakin kecil nilai daya reaktif menunjukkan bahwa sistem semakin efisien dalam menyalurkan daya aktif. Selain itu daya reaktif yang terlalu besar pada sisi konsumen dapat mengakibatkan berbagai peralatan milik PLN tidak bisa bekerja secara efisien[12].

Dengan adanya peredaman harmonisa pada sistem kelistrikan departemen Teknik Elektro juga dapat mempengaruhi besar komponen daya reaktif yang mengkomodindir adanya beban non linear.

Tabel 14. Hasil Perhitungan Daya Harmonik Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Pasif Pada Tiap Kondisi

Keterangan	Eksisting (kVARh)	Setelah Mitigasi (kVARh)
Kondisi 1	11,7	19,96
Kondisi 2	2,82	10,02
Kondisi 3	6,015	3,058
Kondisi 4	6,35i	13,15i

Dari Tabel 14 terdapat adanya perubahan daya kVARh yang cukup signifikan. Adanya perubahan daya kVARh setelah pemasangan filter pasif pada sistem dipengaruhi oleh nilai Daya aktif, daya Reaktif, dan Daya Semu dari sistem kelistrikan.

3.3.2. Analisa Harmonisa pada Sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Tabel 15. Hasil Simulasi Analisis Harmonisa Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Menggunakan Software ETAP V.12.6.0

Kondisi	THD V (%)			THD I (%)		
	Eksisting	Setelah Mitigasi	Standar	Eksisting	Setelah Mitigasi	Standar
1	2,63	2,36	5	15,63	10,06	12
2	1,55	1,35	5	13,22	7,4	12
3	1,14	0,95	5	10,27	4,99	12
4	0,9	0,68	5	6,6	2,66	12

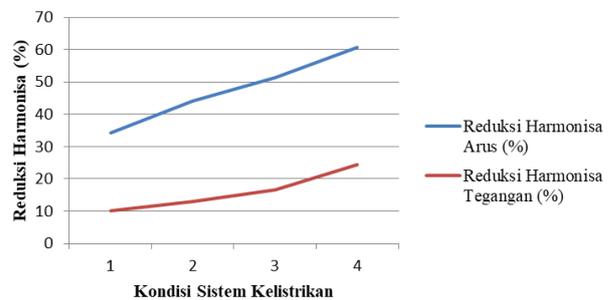
Berdasarkan Tabel 15 dapat dilihat bahwa nilai THDi maupun THDv pada setiap kondisi pembebanan di DTE berhasil teredam. Nilai THD tegangan dan THD arus pada keempat kondisi di sistem kelistrikan telah memenuhi standar SPLN D5.004-1:2012. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui besarnya reduksi harmonisa arus maupun tegangan dengan adanya oleh filter pasif pada masing-masing kondisi[13].

Tabel 16. Hasil Perhitungan Reduksi Harmonisa Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Menggunakan Software ETAP v.12.6.0

Keterangan	Reduksi Harmonis	Reduksi Harmonis
	Tegangan (%)	Arus (%)
Kondisi 1	10,2	34,3
Kondisi 2	12,9	44
Kondisi 3	16,6	51,4
Kondisi 4	24,4	60,6

Grafik berikut menunjukkan pengaruh pemasangan filter pasif dengan spesifikasi pembebanan penuh terhadap kondisi pembebanan yang berbeda dalam mereduksi harmonisa di DTE.

Perbandingan Reduksi Harmonisa



Gambar 9. Perbandingan Besar Reduksi Harmonisa pada Eksisting dan Setelah Mitigasi Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Tabel 17. Perbandingan Nilai IHD Arus Sebelum Dengan Sesudah Pemasangan Filter pada Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Ket	Kondisi Mitigasi	Orde 1		Orde 5		Orde 7		Orde 11	
		THD (%)	RMS (A)						
1	Sebelum	100	343,3	9,3	32,1	10,4	35,8	6,2	21,2
	Sesudah	100	504,1	6,2	31	6,7	33,8	3,7	18,8
2	Sebelum	100	236,8	9,5	22,6	7	16,6	5,7	13,4
	Sesudah	100	398,9	5,5	21,8	3,9	15,7	3	11,8
3	Sebelum	100	180,3	6,7	12	5,5	9,8	5,2	9,4
	Sesudah	100	345,8	3,4	11,6	2,7	9,3	2,4	8,3
4	Sebelum	100	138,1	3,5	4,8	2,1	2,9	4,3	5,9
	Sesudah	100	307,1	1,5	4,6	0,9	2,7	1,7	5,2

Dari gambar 9 menunjukkan bahwa adanya pemasangan filter pasif dengan spesifikasi beban penuh akan tetap berkerja untuk mereduksi nilai harmonisa pada sistem kelistrikan dalam kondisi pembebanan apapun. Adanya pemasangan filter pasif dengan impedansi lebih kecil dari impedansi beban, yaitu sama dengan tahanan induktor R, diharapkan mampu menghasilkan frekuensi yang sama dengan frekuensi resonansi yang akan dialirkan atau dibelokkan sehingga tidak mengalir ke sistem. Dengan demikian *Single-tuned Passive Filter* dapat nilai THD arus sampai dengan 10-30%[13].

Dari hasil penelitian juga didapatkan nilai IHD arus sebelum dan setelah dilakukan mitigasi pada sistem kelistrikan DTE seperti yang ditunjukkan pada Tabel 17.

Berdasarkan pada Tabel 17 didapatkan bahwa penggunaan filter pasif mampu mengurangi distorsi harmonisa pada tiap orde. Namun, dilihat dari nilai arus fundamental, penggunaan filter pasif menyebabkan adanya kenaikan arus fundamental. Hal tersebut juga menandakan penurunan THD Arus mengalami indikasi peredaman adanya harmonik pada sistem walaupun tidak signifikan. Akan tetapi adanya penurunan harmonisa lebih disebabkan karena adanya arus fundamental tambahan dari filter yang sangat besar bila dibandingkan dengan arus fundamental beban[14].

3.3.3. Analisa Harmonisa pada masing-masing fasa di Sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Pengaruh adanya pemasangan filter pada tiap fasa dapat diketahui dari hasil simplifikasi *single line diagram* yang dibuat menggunakan *software PSIM v.9*. Tabel 18 menunjukkan data perbandingan nilai THDi pada saat sebelum dipasang filter dan sesudah dipasang filter pada masing-masing fasa R,S, T

Tabel 18. Hasil Simulasi Analisis Harmonisa Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Menggunakan Software PSIM Version 9

Keterangan		THD I (%)	
		Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi
Kondisi 1	Fasa R	22,7	3,59
	Fasa S	19,99	3,59
	Fasa T	31,1	5,59
Kondisi 2	Fasa R	16,87	2,82
	Fasa S	12,1	3,16
	Fasa T	23,74	4,95
Kondisi 3	Fasa R	10,1	4,36
	Fasa S	10,1	4,49
	Fasa T	11,9	6,59
Kondisi 4	Fasa R	9,2	0,93
	Fasa S	8,6	1,26
	Fasa T	10,8	1,58

Berdasarkan Tabel 18 dapat dilihat bahwa setelah dipasang filter pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro, harmonisa arus yang ada pada sistem tersebut mengalami penurunan yang signifikan pada keempat kondisi. Pada kondisi 1, sebelum menggunakan filter harmonisa arus terbesarnya ada pada Fasa T dengan nilai 31,1 % dan setelah menggunakan filter, nilai harmonisa turun menjadi 3,59 %. Pada kondisi 2, harmonisa arus terbesar ada pada Fasa T dengan nilai 23,7 % dan setelah menggunakan filter, nilai harmonisa arusnya turun menjadi 4,95 %. Pada kondisi 3 harmonisa arus terbesar ada pada Fasa T dengan nilai 11,9 %, dan setelah menggunakan filter, nilai harmonisa arusnya turun menjadi 6,59 %. Pada kondisi 4 harmonisa arus terbesar ada pada Fasa T dengan nilai 10,8 % dan setelah menggunakan filter, nilai harmonisa arusnya turun

menjadi 1,58 %. Baik sebelum maupun sesudah menggunakan filter nilai harmonisa arus tertinggi ada pada Fasa T dikarenakan beban yang terhubung pada fasa ini dominan beban *non linier*[15].

Setelah menggunakan filter, nilai harmonisa arus pada setiap fasa di kondisi 1 sampai dengan kondisi 4 berada dibawah standar IEEE 519-1992 sehingga dapat dikatakan bahwa filter yang dirancang mampu untuk memperbaiki kualitas daya khususnya untuk mengurangi harmonisa dapat bekerja dengan efektif dalam mereduksi harmonisa pada sistem Kelistrikan DTE.

Dengan adanya nilai harmonisa arus pada saat setelah dilakukan pemasangan filter pasif, maka didapatkan kondisi arus RMS pada masing-masing fasa tiap kondisi seperti yang tertera pada Tabel 18

Tabel 19. Hasil Perhitungan Nilai Arus RMS Pada Tiap Fasa

Keterangan		THD I (%)	
		Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi
Kondisi 1	Fasa R	116,6	141,22
	Fasa S	117,5	145,8
	Fasa T	119,75	141,6
Kondisi 2	Fasa R	79,34	96,8
	Fasa S	80,18	101,3
	Fasa T	80,58	97,11
Kondisi 3	Fasa R	53,7	66,6
	Fasa S	65,97	83,14
	Fasa T	44,98	73,52
Kondisi 4	Fasa R	43,12	53,08
	Fasa S	50,92	64,77
	Fasa T	50,92	54,8

Berdasarkan Tabel 19 diperoleh perubahan besar arus rms pada masing-masing fasa R, S, dan T mengalami perubahan yang signifikan. Arus RMS pada tiap kondisi sistem kelistrikan mengalami kenaikan dikarenakan adanya pemasangan filter yang terhubung langsung pada tiap fasa. Hal tersebut yang menyebabkan bertambahnya arus yang mengalir dari fasa ke rangkaian filter yang terpasang. Nilai arus rms yang bertambah pada tiap fasa setelah dilakukan pemasangan filter dapat menandakan adanya penurunan nilai THD harmonisa.

4. Kesimpulan

Agar harmonisa pada sistem kelistrikan DTE dapat memenuhi standar IEEE 519-1992 maka komponen filter pasif *single tuned* yang dirancang menggunakan acuan hasil simulasi aliran daya pada sistem yaitu kapasitor dengan ukuran 3686 μ F baik orde 5 dan orde 7, induktor 0,13616 mH untuk orde 5 dan 0,07515 mH untuk orde 7, serta resistor 3,052 Ohm untuk orde 5 dan 1.652 Ohm untuk orde 7.

Dengan adanya pemasangan filter pasif *single-tuned*, didapatkan adanya perbaikan kualitas daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan empat skenario yang telah dibuat. Pada kondisi pembebanan

penuh, faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro meningkat dari 93,4% menjadi 99,5%. Harmonisa tegangan pada saat pembebanan penuh mengalami penurunan dari 2,63% menjadi 2,36% atau reduksi harmonisa tegangannya sebesar 10,2%. Harmonisa arus pada saat pembebanan penuh juga mengalami penurunan pula dari 15,63% menjadi 10,06% atau reduksi harmonisa arusnya sebesar 34,3%.

Referensi

- [1]. Rochman, A. Analisis Perbandingan Sistem Kelistrikan AC dan DC Pada Jaringan Tegangan Rendah. Skripsi. Universitas Indonesia, 2012.
- [2]. J. Arrillaga, N. R. Watson, *Power System Harmonics Second Edition*. WILEY, 2003.
- [3]. Ear Marison, "Menentukan Kerugian Minimum Akibat Emisi Harmonis pada Populasi Konsumen Industri," Tesis, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 2011.
- [4]. Ridla Setya Nur Armina, "Studi Analisis dan Perancangan Mitigasi Harmonisa Menggunakan Filter Pasif *Single-Tuned* sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Sistem Kelistrikan Unit Spinning I/II di PT Sri Rejeki Isman, TBK," Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2019.
- [5]. Novix Jefri Alfama, "Analisis Harmonik Dan Perancangan *Single-tuned Filter* Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 18 Bus Dengan Menggunakan Software Etap Power Station 4.0," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo, 2010.
- [6]. *IEEE Power and Energy Society, Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Standard 519, 2014.
- [7]. *SPLN Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker, Dan Ketidakseimbangan Tegangan)*, SPLN D5.004-1, 2012.
- [8]. R.C Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power System Quality, Second Edition*, McGraw Hill Professional, 2012.
- [9]. G. J. Wakileh, *Power System Harmonics*. Wakileh, New York: Springer, 2001.
- [10]. Raleigh, NC, *Power System Harmonics Causes and Effects of Variable Frequency Drives*. U.S.A., 1994.
- [11]. Wasito S, *Vademekum Elektronika*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2001.
- [12]. Tanoto, "Simulasi *Active Filter* dan Sistem Kerja Rangkaian Dalam Meredam Harmonisa pada *Vacuum Casting Induction Furnace* Dengan Daya 9 kW, 13.8 kVA, 200 V, 3 Fasa, 50/60 Hz," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2012.
- [13]. Sankaran, C. *Power Quality*. CRC Press LLC. USA. 2002.
- [14]. Kurnaen Jenjem, "Pengaruh Harmonik pada Rugi-Rugi Daya sistem tenaga listrik," Institut Teknologi PLN, Jawa Barat, 2013.
- [15]. T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill Book Company, University of Missouri Columbia, 1986.