



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

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

**TUGAS AKHIR**

**AIVELIA MUALIFATUL RISCA  
21060117130064**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM STUDI SARJANA**

**SEMARANG  
SEPTEMBER 2021**



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

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

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**AIVELIA MUALIFATUL RISCA  
21060117130064**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM STUDI SARJANA**

**SEMARANG  
SEPTEMBER 2021**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : AIVELIA MUALIFATUL RISCA

NIM : 21060117130064

Tanda Tangan :

Tanggal : 27 September 2021

## **HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : AIVELIA MUALIFATUL RISCA  
NIM : 21060117130064  
Departemen/Program Studi : TEKNIK ELEKTRO / SARJANA (S1)  
Judul Skripsi : PERENCANAAN FILTER PASIF PADA  
SISI TEGANGAN RENDAH UNTUK  
MENGURANGI HARMONISA BEBAN  
*NON-LINEAR* DI DEPARTEMEN TEKNIK  
ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai  
bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik pada Program Studi Sarjana, Departemen Teknik Elektro, Fakultas  
Teknik, Universitas Diponegoro**

### **TIM PENGUJI**

Pembimbing 1 : Mochammad Facta, S.T., M.T., Ph.D. (.....)  
Pembimbing 2 : Denis, S.T., M.Eng. (.....)  
Penguji 1 : Dr. Susatyo Handoko, S.T., M.T. (.....)  
Penguji 2 : Dr. Darjat, S.T., M.T. (.....)  
Penguji 3 : Ir. Nugroho Agus Darmanto, M.T. (.....)

Semarang, 27 September 2021  
Ketua Departemen Teknik Elektro

Aghus Sofwan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197302041997021001

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : AIVELIA MUALIFATUL RISCA  
NIM : 21060117130064  
Program Studi : SARJANA (S1)  
Departemen : TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : TUGAS AKHIR

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Nonekslusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

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

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Nonekslusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : 27 September 2021

Yang menyatakan,



(Aivelia Mualifatul Risca)  
21060117130064

## **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 dan arus adalah 5% dan 12%. Pemasangan filter pasif jenis single-tuned adalah 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 pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro yang didesain menggunakan perangkat lunak ETAP 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 pembebahan penuh, faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro meningkat dari 93,4% menjadi 99,5%. Harmonisa tegangan pada saat pembebahan penuh mengalami penurunan dari 2,63% menjadi 2,36% atau reduksi harmonisa tegangannya sebesar 10,2%. Harmonisa arus pada saat pembebahan penuh juga mengalami penurunan pula dari 15,63% menjadi 10,06% atau reduksi harmonisa arusnya sebesar 34,3%. Pada kondisi pembebahan 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 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 Electricel Engineering Department which is designed with software ETAP 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 12.6.0*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat, karunia, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan penyusunan laporan ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, semoga kita semua atas izin Allah mendapatkan syafaatnya kelak di hari kiamat.

Tugas akhir dengan judul "PERENCANAAN FILTER PASIF PADA SISI TEGANGAN RENDAH UNTUK MENGURANGI HARMONISA BEBAN NON-LINEAR DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO" ini diajukan untuk memenuhi syarat akhir untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata 1 pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Adapun penyusunan dan penyelesaian laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Aghus Sofwan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Munawar Agus Riyadi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
3. Bapak Yuli Christyono, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
4. Bapak Mochammad Facta, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang membimbing saya dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Denis, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang membimbing saya dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
6. Segenap Pihak Teknik Elektro UNDIP atas kesediaan, penerimaan, dan bimbingan selama proses penelitian.

7. Bapak Joko Purwoto dan Ibu Winarsih orang tua penulis yang senantiasa mengiringi perjalanan penulis dengan doa, cinta dan kasih serta memberikan dukungan moril dan materiil kepada penulis.
8. Byan Bagas Pradana yang selalu memberikan semangat, motivasi dan dukungan agar bisa terus melanjutkan studi hingga selesai.
9. Ani Pratiwi dan Azzahra Aurel yang selalu menghibur, memotivasi penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
10. Ilham Prima selaku *partner* TA penulis yang selalu memotivasi, berbagi cerita keluh dan kesah serta bertukar pikiran dengan penulis.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dengan ikhlas baik secara moril maupun materiil.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangan, dan oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diperlukan oleh penulis demi kebaikan dan kesempurnaan penyusunan laporan di masa yang akan datang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan bagi kita semua.

Semarang, 27 September 2021

Penulis

## **DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	iv
<b>ABSTRAK.....</b>	v
<b>ABSTRACT .....</b>	vi
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	vii
<b>DAFTAR ISI .....</b>	ix
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xxii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Metodelogi Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	6
2.1 Harmonisa .....	6
2.1.1 Sumber Harmonisa .....	8
2.1.2 Jenis – Jenis Harmonisa.....	11
2.1.3 <i>Total Harmonic Distortion (THD)</i> .....	13
2.1.4 <i>Individual Harmonic Distortion (IHD)</i> .....	14
2.1.5 <i>Total Deman Distortion (TDD)</i> .....	15
2.1.6 <i>True Power Factor</i> .....	15

2.1.7	Standar Harmonisa .....	17
2.2	Propagasi Harmonisa.....	19
2.3	Mitigasi Harmonisa .....	19
2.3.1	Pengaruh Harmonisa Terhadap Transformator.....	20
2.3.2	Pengaruh Harmonisa Terhadap Peralatan Lainnya .....	22
2.4	Menanggulangi Harmonisa.....	23
2.5	Filter Pasif.....	24
2.5.1	Filter Pasif <i>Single-tuned</i> .....	26
2.6	<i>Software ETAP</i> .....	31
2.7	<i>Software PSIM</i> .....	33
<b>BAB III</b>	<b>METODELOGI PENELITIAN</b> .....	34
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	34
3.2	Gambaran Umum Objek Penelitian .....	36
3.3	Pengambilan dan Pengolahan Data .....	37
3.3.1	Alat Ukur yang Digunakan .....	38
3.3.2	<i>Single line diagram</i> .....	39
3.3.3	Data Beban.....	41
3.3.4	Data Transformator .....	48
3.3.5	Pengolahan Data.....	48
3.4	Pemodelan dan Simulasi ETAP 12.6.0.....	49
3.4.1	<i>Inisialisasi Project</i> .....	49
3.4.2	Pembuatan <i>Single line diagram</i> .....	50
3.4.3	<i>Run Load Flow</i> .....	53
3.4.4	<i>Run Harmonic Analysis</i> .....	54
3.5	Pemodelan dan Simulasi PSIM Version 9.0 .....	55

3.5.1	Inisialisasi <i>Project</i> .....	56
3.5.2	Pembuatan Simplifikasi <i>Single Line Diagram</i> .....	56
3.5.3	<i>Run SIMVIEW Simulation</i> .....	61
3.6	Pemodelan dan Simulasi Pemasangan Filter Pasif.....	64
3.9	Evaluasi Hasil Simulasi .....	67
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	69
4.1	Simulasi Sistem Tenaga Menggunakan ETAP 12.6.0.....	70
4.1.1	Simulasi Aliran Daya .....	70
4.1.2	Simulasi Analisis Harmonisa .....	79
4.2	Simulasi Simplifikasi Sistem Tenaga Tanpa Filter Menggunakan <i>Software PSIM 9.0</i> .....	96
4.3	Perancangan Filter Pasif <i>Single-tuned</i> .....	110
4.3.1	Perancangan Filter <i>Single-tuned</i> Orde 5.....	112
4.3.2	Perancangan Filter <i>Single-tuned</i> orde 7.....	114
4.3.3	Pemilihan Komponen Filter Pasif .....	117
4.4	Simulasi Sistem Tenaga Dengan Filter Pasif Menggunakan <i>Software ETAP 12.6.0</i> .....	124
4.4.1	Simulasi Aliran Daya .....	125
4.4.2	Simulasi Analisa Harmonisa.....	134
4.5	Simulasi Sistem Tenaga Dengan Filter Pasif Menggunakan <i>Software PSIM 9.0</i> .....	141
4.5.1	Simulasi <i>SIMVIEW Simulation</i> .....	141
4.6	Perbandingan Sistem Tenaga Tanpa dan Dengan Filter Pasif .....	151
4.6.1	Aliran Daya.....	151
4.6.2	Harmonisa .....	160

<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	182
5.1	Kesimpulan .....	182
5.2	Saran .....	185
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		185
<b>BIODATA .....</b>		188
<b>LAMPIRAN A .....</b>		190
<b>LAMPIRAN B.....</b>		197

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga & Hasil Penjumlahannya .....	7
Gambar 2.2	Gelombang Tegangan dan Arus.....	9
Gambar 2.3	Spektrum Harmonis.....	11
Gambar 2.4	Fasor harmonik ke-1, urutan positif .....	12
Gambar 2.5	Fasor harmonik ke-5, urutan negatif .....	12
Gambar 2.6	Fasor harmonik ke-3, urutan nol.....	13
Gambar 2.7	Diagram fasor .....	16
Gambar 2.8	Transformator daya Teknik Elektro UNDIP .....	20
Gambar 2.9	Rangkaian filter pasif serta konfigurasi dan impedansinya.....	24
Gambar 2.10	(a) Rangkaian Filter <i>Single-tuned</i> (b) Kurva Impedansi terhadap frekuensi .....	25
Gambar 2.11	ETAP 12.6 .....	30
Gambar 2.12	Contoh <i>harmonic analysis</i> dalam program ETAP 12.6.0 .....	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 3.2	Contoh beban di ruang kelas Departemen Teknik Elektro .....	36
Gambar 3.3	Contoh beban di Laboratorium Departemen Teknik Elektro .....	36
Gambar 3.4	Proses pengambilan data .....	37
Gambar 3.5	<i>Single line diagram</i> .....	40
Gambar 3.6	<i>Inisialisasi project</i> ETAP 12.6.0.....	49

Gambar 3.7 Pemodelan sumber kelistrikan pada <i>single line diagram</i> Departemen Teknik Elektro UNDIP .....	50
Gambar 3.8 Pemodelan <i>single line diagram</i> gedung A Teknik Elektro .....	51
Gambar 3.9 Pemodelan <i>single line diagram</i> gedung B Teknik Elektro.....	51
Gambar 3.10 Pemodelan <i>single line diagram</i> gedung Geodesi.....	52
Gambar 3.11 Pemodelan <i>single line diagram</i> gedung Dekanat Lama.....	52
Gambar 3.12 Pemodelan <i>single line diagram</i> gedung Instalasi Rumah Panel....	52
Gambar 3.13 Pemodelan <i>single line diagram</i> gedung Perkapalan .....	53
Gambar 3.14 <i>Load flow analysis</i> .....	53
Gambar 3.15 <i>Load flow analysis single line diagram</i> pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro UNDIP.....	54
Gambar 3.16 <i>Harmonic analysis</i> .....	54
Gambar 3.17 Hasil <i>harmonic analysis</i> .....	55
Gambar 3.18 Inisialisasi <i>project PSIM Version 9.0</i> .....	56
Gambar 3.19 Spesifikasi parameter sumber tiga fasa .....	57
Gambar 3.20 Parameter Transfomator .....	58
Gambar 3.21 <i>Nameplate</i> trafo pada Departemen Teknik Elektro.....	58
Gambar 3.22 Spesifikasi sumber harmonisa .....	59
Gambar 3.23 Spesifikasi nilai resistansi.....	59
Gambar 3.24 Pemodelan simplifikasi <i>single line diagram</i> gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro .....	61
Gambar 3.25 <i>Run simulation engine</i> .....	61
Gambar 3.26 <i>Variables</i> yang tersedia saat SIMVIEW <i>simulation</i> .....	62

Gambar 3.27	Hasil gelombang arus simplifikasi <i>single line diagram</i> .....	62
Gambar 3.28	FFT .....	62
Gambar 3.29	Bentuk Gelombang Spektrum FFT Arus fasa R pada sisitem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	63
Gambar 3.30	Spesifikasi parameter filter pasif <i>single-tuned</i> pada <i>software ETAP 12.6.0</i> .....	64
Gambar 3.31	Simulasi pemasangan filter pasif pada <i>software ETAP 12.6.0</i> .....	65
Gambar 3.32	Spesifikasi parameter filter pasif pada PSIM 9.0.....	65
Gambar 3.33	Simulasi pemasangan filter pasif pada software PSIM 9.0 .....	66
Gambar 4.1	Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 1 .....	72
Gambar 4.2	Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 2 .....	74
Gambar 4.3	Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 3 .....	76
Gambar 4.4	Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 4 .....	78
Gambar 4.5	Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	79
Gambar 4.6	Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	80
Gambar 4.7	Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro .....	85

Gambar 4.8	Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro.....	86
Gambar 4.9	Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B .....	89
Gambar 4.10	Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B .....	89
Gambar 4.11	Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B .....	92
Gambar 4.12	Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B .....	93
Gambar 4.13	Gelombang Arus harmonisa dengan kondisi pembebahan 100 % dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40 % dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	97
Gambar 4.14	Spektrum Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40 % dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	98
Gambar 4.15	Gelombang Arus harmonisa dengan kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro .....	101
Gambar 4.16	Spektrum Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro .....	101
Gambar 4.17	Gelombang Arus harmonisa dengan kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B .....	104
Gambar 4.18	Spektrum Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B .....	105
Gambar 4.19	Gelombang Arus harmonisa dengan kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B .....	107

Gambar 4.20 Spektrum Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebangan 100% gedung A dan 30% gedung B .....	108
Gambar 4.21 Rangkaian kapasitor ukuran 3686 $\mu\text{F}$ .....	118
Gambar 4.22 Produk kapasitor di pasaran.....	118
Gambar 4.23 Produk tembaga di pasaran.....	121
Gambar 4.24 Rangkaian resistor ukuran 3,052 Ohm.....	122
Gambar 4.25 Rangkaian resistor ukuran 1,652 Ohm.....	122
Gambar 4.26 Contoh produk resistor <i>dummy load</i> di pasaran.....	123
Gambar 4.27 Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 1 .....	127
Gambar 4.28 Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 2 .....	129
Gambar 4.29 Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 3 .....	131
Gambar 4.30 Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 4 .....	134
Gambar 4.31 Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif pada pembebangan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	135
Gambar 4.32 Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebangan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	136

Gambar 4.33 Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro.....	136
Gambar 4.34 Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro .....	137
Gambar 4.35 Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban Gedung A dan 60% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro .....	138
Gambar 4.36 Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban Gedung A dan 60% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro .....	139
Gambar 4.37 Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban Gedung A dan 30% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro .....	140
Gambar 4.38 Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban Gedung A dan 30% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro .....	140
Gambar 4.39 Gelombang Arus harmonis tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	141
Gambar 4.40 Gelombang FFT arus tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	142

Gambar 4.41 Gelombang Arus harmonisa tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro .....	144
Gambar 4.42 Gelombang FFT arus tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro.....	145
Gambar 4.43 Gelombang Arus harmonisa tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100 % gedung A dan 60 % Gedung B .....	147
Gambar 4.44 Gelombang FFT arus tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% Gedung B.....	147
Gambar 4.45 Gelombang Arus harmonisa tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% Gedung B .....	150
Gambar 4.46 Gelombang FFT arus tiap fasa setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 3% Gedung B.....	150
Gambar 4.47 Perbandingan tegangan pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	153
Gambar 4.48 Perbandingan arus pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.....	154
Gambar 4.49 Perbandingan faktor daya pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	155
Gambar 4.50 Perbandingan faktor daya sebenarnya pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	156
Gambar 4.51 Perbandingan daya aktif pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	158

Gambar 4.52	Perbandingan daya semu pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	158
Gambar 4.53	Perbandingan daya reaktif pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	159
Gambar 4.54	Perbandingan besar reduksi harmonika pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	162
Gambar 4.55	(a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan  (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan .....	167
Gambar 4.56	(a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro  (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro.....	167
Gambar 4.57	(a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B  (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B.....	168
Gambar 4.58	(a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B  (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B .....	169
Gambar 4.59	Gelombang Arus kondisi 1 sebelum menggunakan filter .....	172

Gambar 4.60	Gelombang Arus kondisi 1 sesudah menggunakan filter .....	172
Gambar 4.61	Gelombang Arus kondisi 2 sebelum menggunakan filter .....	173
Gambar 4.62	Gelombang Arus kondisi 2 sesudah menggunakan filter .....	173
Gambar 4.63	Gelombang Arus kondisi 3 sebelum menggunakan filter .....	174
Gambar 4.64	Gelombang Arus kondisi 3 sesudah menggunakan filter .....	174
Gambar 4.65	Gelombang Arus kondisi 4 sebelum menggunakan filter .....	175
Gambar 4.66	Gelombang Arus kondisi 4 sesudah menggunakan filter .....	175
Gambar 4.67	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 1 sebelum menggunakan filter harmonik .....	176
Gambar 4.68	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 1 sesudah menggunakna filter harmonik .....	176
Gambar 4.69	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 2 sebelum menggunakan filter harmonik .....	177
Gambar 4.70	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 2 sesudah menggunakna filter harmonik .....	177
Gambar 4.71	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 3 sebelum menggunakan filter harmonik .....	178
Gambar 4.72	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 3 sesudah menggunakna filter harmonik .....	178
Gambar 4.73	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 4 sebelum menggunakan filter harmonik .....	179
Gambar 4.74	Gelombang FFT THD Arus Kondisi 4 sesudah menggunakna filter harmonik .....	179

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor-faktor Penyebab Harmonisa .....	9
Tabel 2.2	Harmonik berdasarkan orde dan polaritasnya pada sistem tiga-fasa..	13
Tabel 2.3	Batasan Harmonisa Arus untuk Sistem < 65 kV .....	17
Tabel 2.4	Batasan Harmonisa untuk Tegangan .....	18
Tabel 2.5	Alternatif Mengurangi Dampak Harmonisa.....	23
Tabel 3.1	Agenda Pengambilan Data Penelitian.....	38
Tabel 3.2	Data beban gedung A lantai 1 .....	41
Tabel 3.3	Data beban gedung A lantai 2 .....	42
Tabel 3.4	Data beban gedung A lantai 3 .....	42
Tabel 3.5	Data beban gedung B lantai 1 .....	43
Tabel 3.6	Data beban gedung B lantai 2 .....	44
Tabel 3.7	Data beban gedung B lantai 3 .....	46
Tabel 3.8	Spesifikasi transformator pada Departemen Teknik Elektro .....	48
Tabel 3.9	Contoh komponen ETAP 12.6.0 .....	50
Tabel 3.10	Contoh komponen PSIM 9.0.....	57
Tabel 4.1	Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro .....	70
Tabel 4.2	Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung A .....	81
Tabel 4.3	Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung B.....	82
Tabel 4.4	Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Dekanat Lama .....	82

Tabel 4.5 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Perkapalan .....	83
Tabel 4.6 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Geodesi.....	83
Tabel 4.7 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Rumah Panel..	84
Tabel 4.8 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung A .....	87
Tabel 4.9 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung B.....	87
Tabel 4.10 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Rumah Panel..	88
Tabel 4.11 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung A .....	90
Tabel 4.12 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung B.....	91
Tabel 4.13 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Rumah Panel..	91
Tabel 4.14 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung A .....	94
Tabel 4.15 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung B.....	95
Tabel 4.16 Data <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Gedung Rumah Panel..	95
Tabel 4.17 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 1 .....	99
Tabel 4.18 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 1 .....	100
Tabel 4.19 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 2 .....	102
Tabel 4.20 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 2 .....	103
Tabel 4.21 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 3 .....	105
Tabel 4.22 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 3 .....	106
Tabel 4.23 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 4 .....	109
Tabel 4.24 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 4 .....	110
Tabel 4.25 Total biaya komponen perancangan filter pasif .....	123
Tabel 4.26 Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.....	125

Tabel 4.27 Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro Kondisi 1 .....	125
Tabel 4.28 Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro Kondisi 2 .....	128
Tabel 4.29 Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro Kondisi 3 .....	130
Tabel 4.30 Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro Kondisi 4 .....	132
Tabel 4.31 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 1 .....	142
Tabel 4.32 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 1 .....	143
Tabel 4.33 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 2 .....	145
Tabel 4.34 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 2 .....	146
Tabel 4.35 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 3 .....	148
Tabel 4.36 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 3 .....	149
Tabel 4.37 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Kondisi 4 .....	151
Tabel 4.38 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) Arus Kondisi 4 .....	151
Tabel 4.39 Hasil simulasi tegangan, arus, dan faktor daya sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi .....	152
Tabel 4.40 Hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada setiap kondisi.....	157
Tabel 4.41 Hasil perhitungan daya harmonik sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi .....	160
Tabel 4.42 Hasil simulasi analisis harmonisa sebelum dan sesudah menggunakan filter menggunakan <i>software</i> ETAP 12.6.0 .....	161
Tabel 4.43 Hasil perhitungan reduksi harmonisa .....	162

Tabel 4.44 Perubahan bentuk gelombang tegangan harmonisa pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan DTE.....	163
Tabel 4.45 Perubahan bentuk gelombang arus harmonisa pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan DTE .....	164
Tabel 4.46 Perbandingan nilai IHD arus sebelum dengan sesudah pemasangan filter pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.....	169
Tabel 4.47 Hasil simulasi analisis harmonisa sebelum dan sesudah menggunakan filter menggunakan <i>software</i> PSIM 9.0.....	170
Tabel 4.48 Hasil perhitungan nilai arus RMS pada tiap fasa sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi .....	180

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di didang elektronika mendorong maraknya penggunaan komponen *non-linear* seperti dioda, *thyristor*, transistor sebagai perangkat konversi AC-DC, AC-AC, DC-DC, maupun DC-AC. Komponen tersebut banyak ditemui pada beban *non-linear* seperti motor induksi, *air conditioner*, kipas angin, kulkas, komputer, dispenser, lampu LED, *power supply* dan beban *non-linear* lainnya yang digunakan untuk memudahkan kehidupan manusia. Penggunaan beban *non-linear* yang semakin meningkat menimbulkan masalah baru terhadap kualitas energi listrik, yaitu terjadinya distorsi bentuk gelombang tegangan atau arus karena munculnya harmonisa[1].

Penelitian mengenai rugi – rugi yang diakibatkan oleh harmonisa pada suatu kualitas sistem tenaga listrik untuk konsumen industri sudah pernah dilakukan oleh Ear Marison pada tahun 2011, dari penelitian tersebut didapatkan bahwa harmonisa menimbulkan kerugian berupa penurunan kapasitas pada transformator tenaga dan pada kabel, sehingga akan berdampak pula pada tambahan biaya investasi berupa penambahan kapasitas transformator, kabel, serta pemasangan filter. Penelitian mengenai perancangan filter pasif *single-tuned* untuk mengurangi harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti[1].

Penelitian yang dilakukan oleh Ridla Setya Nur Amina dilakukan di PT. Sri Rejeki Isman, Tbk khususnya di Unit Spinning I/II. Pada penelitian tersebut dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dan didapatkan bahwa setelah menggunakan filter pasif *single-tuned* pada sistem tenaga listrik di PT. Sri Rejeki Isman, Tbk, harmonisa tegangan yang diamati pada beberapa transformator tenaga yang ada berkurang sehingga nilainya sudah memenuhi standar yang diacu, akan tetapi pada harmonisa arus yang diamati terjadi

peningkatan yang tidak begitu signifikan sehingga nilainya masih mendekati standar yang diacu[2].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Novix Jefri Alfama mengenai filter pasif *single-tuned* didapatkan bahwa dengan adanya pemasangan beban *non-linear* 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 akan mengalami penurunan berkisar antara 3,29 % sampai dengan 4,54 % dan mampu mengurangi rugi – rugi daya nyata sebesar 17,6 kW[3].

Sebagian besar beban yang digunakan di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro merupakan beban *non-linear* seperti *Personal Computer* (PC), lampu LED, lampu TL, lampu SL, *Air Conditioner* (AC), dispenser, *Amplifier* dan yang lainnya. Munculnya harmonisa merupakan hal yang wajar melihat sebagian besar beban yang digunakan adalah beban *non-linear*. Harmonisa yang timbul dapat memberikan dampak buruk pada peralatan listrik seperti munculnya panas lebih pada transformator dan pada kawat netral sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga, adanya arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa, meningkatkan rugi-rugi dari trafo, menurunkan tingkat efisiensi kerja dari motor, dan menurunkan rating pada peralatan proteksi. Distorsi harmonisa juga dapat mengakibatkan terganggunya pengoperasian peralatan seperti komputer, transformator, kabel listrik, dan peralatan kontrol[3].

Munculnya dampak distorsi harmonisa pada transformator tentunya menjadi salah satu permasalahan sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro karena menggunakan trafo pemakaian sendiri yaitu trafo merk B&D 630 kVA. Berdasarkan kasus tersebut, penulis melakukan analisis dan perancangan mitigasi harmonisa dengan menggunakan *software* bantu ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) 12.6.0 dan *software* PSIM 9.0.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan penelitian ini adalah :

1. Memberikan rekomendasi pengurangan harmonisa secara efektif dan optimal dengan menggunakan filter pasif.
2. Memberikan rekomendasi desain filter pasif dilengkapi dengan prakiraan ukuran dan nilai secara real dengan komponen yang ada.
3. Mengetahui komposisi daya listrik dari beban listrik di Departemen Teknik Elektro untuk beberapa kondisi pembebanan saat sebelum dan sesduah dilakukan mitigasi harmonisa.

## 1.3 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Hanya membahas mengenai mitigasi harmonisa di Departemen Teknik Elektro.
2. Hanya membahas evaluasi harmonisa dan rekomendasi perencanaan serta pemasangan filter pasif di Departemen Teknik Elektro.
3. Rekomendasi perancangan filter pasif yang diberikan hanya sampai pada perancangan pembiayaan berdasarkan komponen yang ada.
4. Peluang perbaikan kualitas daya berdasarkan analisa data historis dan pengukuran kualitas data beserta korelasinya terhadap adanya harmonisa.
5. Analisa dan simulasi perancangan filter berdasarkan data pengukuran yang disimulasikan sesuai kondisi *real* yang dilakukan dengan bantuan program ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0 karena program tersebut memberikan fasilitas yang memudahkan melakukan simulasi aliran daya dan mendapatkan nilai harmonisa yang sesuai pada kondisi *real*.
6. Standar yang digunakan pada penelitian SPLN D5.004-1:2012 dan IEEE 519-1992 yang merupakan standar yang umum digunakan sebagai regulasi harmonisa pada saluran distribusi.

## 1.4 Metodelogi Penelitian

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah :

### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dengan mempelajari jurnal-jurnal ilmiah luar negeri maupun dalam negeri, untuk mengetahui sejauh mana penelitian tentang hal ini akan dikembangkan. Kemudian dilanjutkan dengan membaca beberapa buku yang berhubungan secara langsung dengan materi maupun metode penelitian yang akan dipakai.

### 2. Survey Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data – data berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data dilakukan dengan mengkaji data pengukuran pada penelitian yang pernah dilakukan dan melakukan pengukuran langsung ke Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

### 3. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data dengan pembuatan simulasi dengan menggunakan program bantu ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0 yang disesuaikan dengan hasil pengukuran pada saat kondisi *real*.

### 5. Analisis Hasil Simulasi

Pada tahap ini data yang telah didapat akan dianalisis dengan menggunakan program bantu ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tujuan, lingkup penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II LANDASAN TEORI**

Memuat tinjauan pustaka mengenai harmonisa, beban *non-linear*, filter pasif, transformator, *Power Quality Analyzer* (PQA), *Software ETAP 12.6.0* dan *Software PSIM 9.0*.

**BAB III PERANCANGAN**

Bab ini berisi tentang metodologi penelitian yang berupa : diagram alir, langkah penelitian yang akan dilakukan, data-data tiap komponen yang digunakan dalam penelitian tugas akhir, dan tampilan-tampilan simulasi pada program.

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Memaparkan data hasil penelitian dan menganalisis hasil penelitian.

**BAB V PENUTUP**

Mengemukakan kesimpulan hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.

**DAFTAR PUSTAKA****BIODATA MAHASISWA****LAMPIRAN**

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Harmonisa

Sistem tenaga listrik umumnya bekerja pada frekuensi normal 50 Hz atau 60 Hz dengan bentuk gelombang arus dan tegangan yang sinusoidal yang dikenal juga dengan frekuensi dasar. Salah satu bentuk gelombang sinus yang ideal adalah bentuk gelombangnya bersih dan tidak terdistorsi. Sistem yang bekerja menyuplai beban *linear* tidak mengalami perubahan pada bentuk gelombang listrik yang dihasilkan[4].

Sebagian besar beban yang terpasang pada sistem kelistrikan merupakan beban *non-linear*. Adanya beban *non-linear* menyebabkan bentuk gelombang arus maupun tegangan yang tidak sinusoidal. Kondisi tersebut mengakibatkan terbentuknya gelombang terdistorsi yang akan menghasilkan harmonisa[4].

Harmonisa merupakan distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya yang besar frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar yang muncul disebabkan oleh beban *non-linear*[5]. Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya atau dapat disebut dengan orde harmonisa yang dinyatakan pada persamaan berikut [6] :

$$f_h = (h) \times f \quad (2.1)$$

Keterangan :

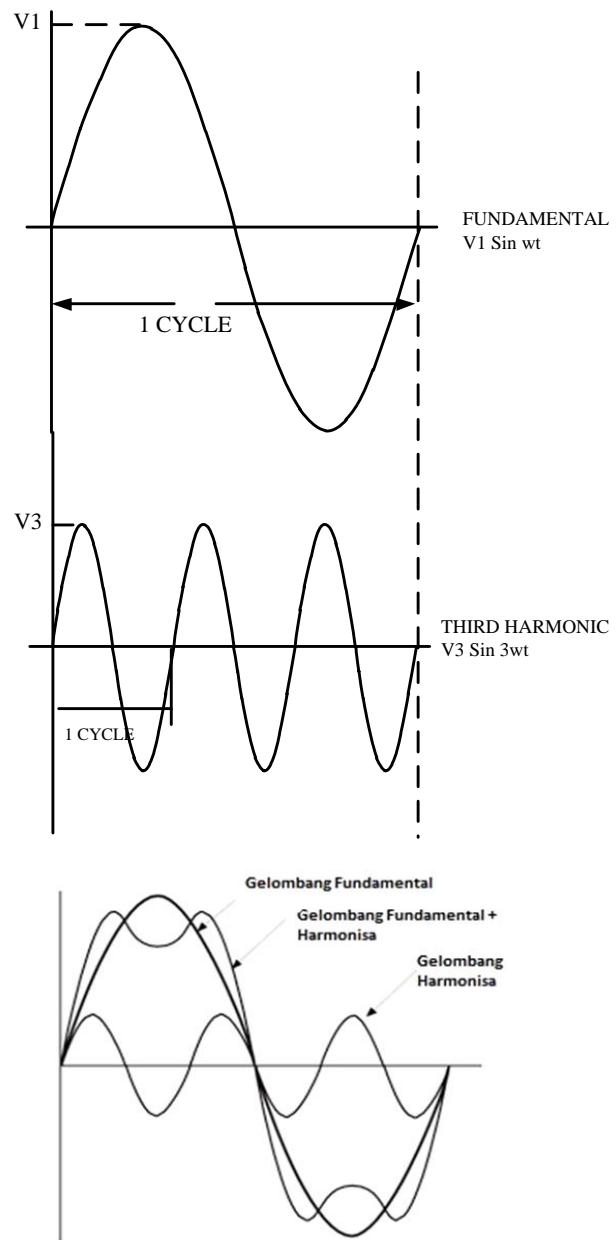
$f_h$  : Frekuensi harmonik ke-h (Hz)

$h$  : Bilangan bulat positif

$f$  : Frekuensi fundamental (Hz)

Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ( $h_1$ ,  $h_2$ , dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya. Gelombang harmonisa yang banyak diikutsertakan pada gelombang

fundamentalnya, maka akan mempengaruhi bentuk gelombang menjadi gelombang *non-sinusoidal* atau mendekati gelombang kotak. Peristiwa pembentukan gelombang yang terdistorsi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga & Hasil Penjumlahannya [6].

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa bentuk gelombang keluaran yang sudah terdistorsi oleh harmonika sehingga tidak terlihat sebagai gelombang sinusoidal

sempurna. Hal ini akan menyebakan perubahan pada nilai besaran-besaran gelombang tersebut (nilai rms)[6].

### **2.1.1 Sumber Harmonisa**

Penyebab munculnya harmonisa sering disebabkan karena adanya penggunaan beban *non-linear*. Sumber penyebab terdistorsinya suatu bentuk gelombang arus dan tegangan sehingga timbulnya harmonisa pada umumnya dapat dibagi tiga kelompok, yakni [7]:

- a. Beban
- b. Sistem tenaga itu sendiri (seperti HVDC, SVC, FACTS/*Flexible AC Transmission System*, dan lain lain)
- c. Pembangkit (Generator sinkron)

Ketiga kelompok penyebab timbulnya sumber harmonisa diatas merupakan kelompok yang paling sering ditemukan. Generator dan peralatan dengan inti besi (seperti transformator) juga motor induksi dengan sistem saturasi jenuh biasanya menjadi penyebab harmonisa namun tidak terlalu signifikan dan sangat kecil. Sistem distribusi listrik dikenal memiliki dua jenis beban, yaitu[7]:

- a. Beban Linier

Beban linier merupakan beban yang memiliki bentuk gelombang keluaran yang linier atau beban yang memiliki arus mengalir sebanding dengan impedensi dan perubahan tegangan[7].

- b. Beban *Non-linear*

Beban *non-linear* merupakan beban yang bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Gangguan yang terjadi akibat distorsi gelombang arus dan tegangan disebut dengan harmonisa. Contoh dari beban-beban *non-linear* ini seperti, Tungku Api Busur (Pengecoran Logam), Las, Inti Magnet Pada Trafo, *Solid State Switch*, *High Voltage DC Transmisi*, *Power*

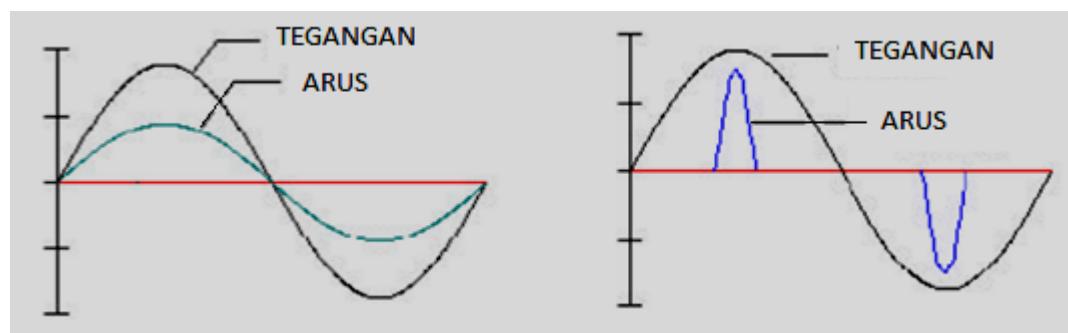
*Rectifier*, UPS, Komputer, *Charger*, Laptop, dan Peralatan Elektronika Daya[7]. Berikut adalah faktor komponen penyebab munculnya harmonisa pada beban *non-linear* yang dikelompokkan dalam Tabel 2.1 :

**Tabel 2.1** Faktor-faktor Penyebab Harmonisa[7]

<b>Faktor</b>	<b>Emisi Harmonisa</b>	<b>Emisi Harmonisa</b>
	<b>Tinggi</b>	<b>Rendah</b>
Semua peralatan dengan <i>Switched Mode Power Supply</i>	AC Drive 6 pulsa, <i>Buck-Boost</i> , komputer, printer, televisi, Dimmer, UPS, PWM Drive 6 pulsa	AC Drive, <i>capacitor bank</i> , PWM Drive 12 pulsa, PWM Drive 18 pulsa
Semua peralatan yang mudah mengalami saturasi inti besi	Tanur Listrik Las Listrik	Transformator daya
Semua peralatan dengan <i>ballast magnetic</i>	-	Lampu tabung
Semua peralatan dengan <i>ballast</i> elektronik	Lampu Hemat Energi	-

### c. Perbedaan Beban *Linear* dan Beban *Non-linear*

Perbedaan dari beban linier dan *non-linear* adalah pada bentuk gelombang keluarannya. Berikut ini adalah bentuk gelombang sinusoidal arus dan tegangan pada beban linier dan *non-linear*[8].



**Gambar 2.2** Gelombang Tegangan dan Arus pada (a) Beban Linier (b) beban *non-linier* [8]

Pada Gambar 2.2 diatas terlihat bahwa terdapat perbedaan gelombang arus pada beban linier dan beban *non-linier*, dimana pada beban linier gelombang arus dan tegangan masih berbentuk sinusoidal murni, namun pada beban *non-linear* gelombang arusnya sudah terdistorsi sehingga tidak berbentuk sinusoidal murni. Keluaran dari beban *non-linear* ini tergantung dari besar THD yang dihasilkan, semakin besar THD maka gelombang keluaran dari beban *non-linear* semakin rusak atau semakin tidak mendekati sinusoidal[9].

Penjumlahan gelombang harmonis dan gelombang yang terdistorsi bersifat kontinyu dan periodik (gelombang tersebut mempunyai periode T bila  $f(t)=f(t+T)$  untuk semua t). Jika  $f(t)$  periodik, maka karakteristik harmonis dapat direpresentasikan dengan menggunakan deret Fourier sebagai berikut :

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t \quad (2.2)$$

Keterangan:

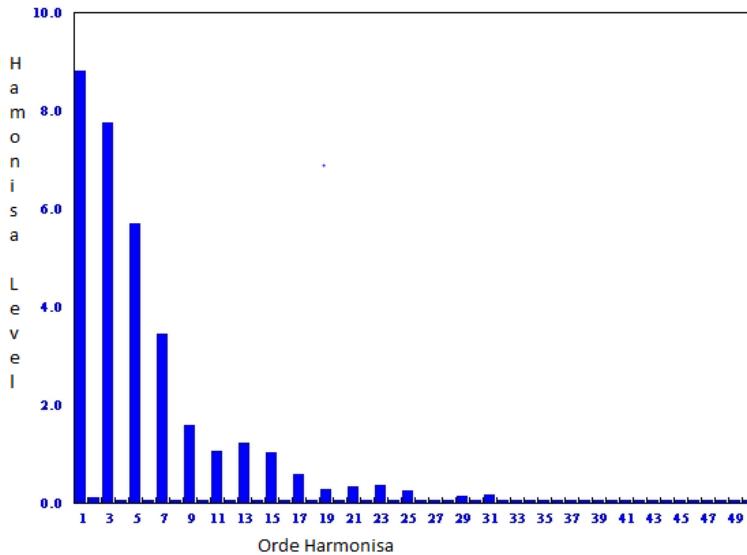
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.3)$$

$$a_n = \frac{\omega}{T} \int_0^{2\pi/\omega} f(t) \cos n\omega t dt = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \quad (2.4)$$

$$b_n = \frac{\omega}{T} \int_0^{2\pi/\omega} f(t) \sin n\omega t dt = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt \quad (2.5)$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.6)$$

Untuk nilai kapasitor digambarkan dalam suatu *barchart* yang disebut dengan spektrum harmonis. Berikut ini adalah contoh gambar spektrum FFT harmonis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3:



Gambar 2.3 Spektrum Harmonisa[9]

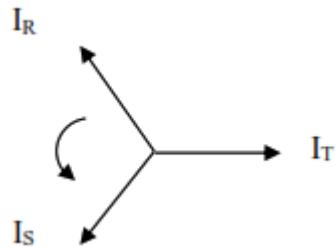
### 2.1.2 Jenis – Jenis Harmonisa

Jenis harmonisa dapat dibedakan menjadi harmonik ganjil dan genap. Haemoni dengan orde genap terdiri dari harmonik ke- 2, -4, -6, -8, dan seterusnya. Sedangkan harmonik ganjil terdiri dari harmonik ke-3, -5, -7, -9, dan seterusnya. Adapun harmonik pertama tidak masuk kedalam harmonik ganjil karena merupakan frekuensi fundamental (dasar). Sedangkan harmonik orde 0 menunjukkan konstanta atau komponen DC dari suatu gelombang [9].

Berdasarkan urutan fasenya harmonik dapat dibedakan atas tiga yaitu harmonik urutan positif, harmonik urutan negatif dan harmonik urutan nol.

#### 1. Harmonisa Urutan Positif

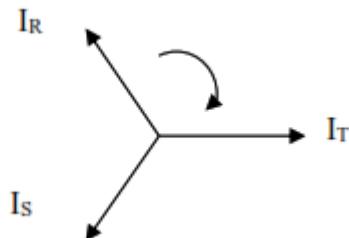
Harmonik urutan positif mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan beda fasanya masing-masing  $120^\circ$  dengan urutan fasa R-S-T. Harmonik urutan positif ini terdiri atas harmonik ke-1, ke-4, ke-7, ke-13, dan seterusnya. Harmonisa positif dapat menyebabkan penambahan panas pada konduktor, *circuit breaker*, dan panel-panel lainnya. Gambar 2.4 menunjukkan fasor dari harmonik urutan positif[9].



**Gambar 2.4** Fasor harmonik ke-1, urutan positif[9]

## 2. Harmonisa Urutan Negatif

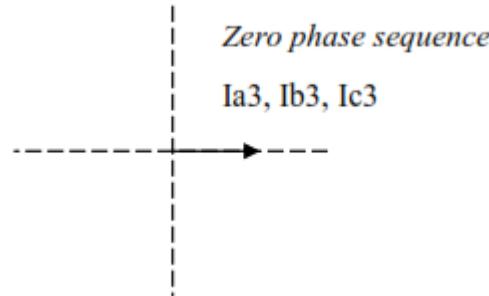
Harmonik urutan negatif mempunyai urutan fase yang berlawanan dengan fasor aslinya yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan mempunyai beda fase masing-masing  $120^\circ$  dengan urutan fase R-T-S. Harmonisa urutan negative dapat mengakibatkan panas pada peralatan dan menyebabkan masalah pada motor induksi sehingga dapat menyebabkan adanya perlambatan pada motor. Harmonisa urutan negatif ini terdiri dari harmonik ke-2, ke-5, ke-8, ke-17 dan seterusnya. Gambar 2.5 menunjukkan fasor dari harmonik ke-5 [9].



**Gambar 2.5** Fasor harmonik ke-5, urutan negative[9].

## 3. Harmonisa Urutan Nol

Harmonik urutan nol memiliki fasor yang sama besarnya dan mempunyai beda fase  $0^\circ$ . Harmonik urutan nol dapat mengakibatkan panas yang lebih besar daripada harmonik urutan positif dan negatif dikarenakan harmonik pada orde nol tidak memproduksi perputaran medan. Harmonik urutan nol juga mengakibatkan munculnya arus normal yang lebih besar dan dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa. Harmonik urutan nol ini terdiri dari harmonik ke-3, ke-9, ke-15 dan seterusnya. Gambar 2.6 menunjukkan fasor dari harmonik ke-3[9].



**Gambar 2.6** Fasor harmonik ke-3, urutan nol[9]

Dari jenis-jenis harmonik berdasarkan urutan fasa diatas maka dapat disimpulkan beberapa komponen harmonik ke dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Harmonik berdasarkan orde dan polaritasnya pada sistem tiga-fase.

Harmonik Ke-	Frekuensi(Hz)	Urutan
1	50	Positif
2	100	Negatif
3	150	Nol
4	200	Positif
5	250	Negatif
6	300	Nol

### 2.1.3 Total Harmonic Distortion (THD)

*Total Harmonic Distortion* (THD) adalah perbandingan penjumlahan nilai RMS seluruh komponen harmonis hingga orde tertentu terhadap nilai RMS fundamentalnya. THD biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase [10].

Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonis dari gelombang sinusoidal murninya. Semakin kecil nilai THD maka gelombang tersebut semakin mendekati bentuk gelombang sinus murni. Gelombang sinusoidal sempurna memiliki nilai THD sebesar 0%, untuk menghitung THD dari arus dan tegangan distorsi dapat digunakan persamaan 2.7[10]:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana:

$V_{THD}$  = THD Tegangan (%)

$V_n$  = Nilai tegangan harmonisa (V)

$V_1$  = Nilai tegangan fundamental (V)

$n$  = komponen harmonisa maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana:

$I_{THD}$  = THD Arus (%)

$I_n$  = Nilai arus harmonisa (A)

$I_1$  = Nilai arus fundamental (A)

$n$  = komponen harmonisa maksimum yang diamati

#### 2.1.4 Individual Harmonic Distortion (IHD)

*Individual Harmonic Distortion* (IHD) adalah perbandingan nilai rms komponen harmonisa pada orde tertentu terhadap nilai rms fundamentalnya. IHD ini berlaku untuk tegangan dan arus[10]:

$$IHD_n = \frac{Ih_n}{I_1} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$Ih_n$  = Nilai Individual harmonisa orde n (A)

$I_1$  = Nilai rms fundamental (A)

$IHD_n$  = *Individual Harmonic Distortion* (A)

### 2.1.5 Total Deman Distortion (TDD)

*Total Demand distortion* (TDD) merupakan perbandingan dari jumlah akar kuadrat nilai RMS komponen harmonisa arus hingga orde tertentu terhadap nilai RMS arus beban maksimum. Total kandungan harmonisa diukur berdasarkan besar nilai dari arus beban. Rumus perhitungan *Total Demand Distortion* adalah[10]:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad (2.10)$$

Dimana

$I_h$  = Arus Harmonisa (A)

$I_L$  = Arus beban (A)

$TDD$  = *Total Demand distortion* (A)

### 2.1.6 True Power Factor

Seperti yang kita ketahui, *power factor* adalah rasio antara *active power* (kW) dan *apparent power* (kVA). Tetapi jika didalam sistem tersebut terdapat harmonisa, maka harmonisa tersebut akan mempengaruhi nilai *power factor* tersebut, sehingga akan muncul *displacement power factor* ( $PF_{disp}$ ) dan *distortion power factor* ( $PF_{dist}$ ). Dan perkalian antara keduanya adalah yang disebut dengan *true power factor* atau faktor daya sesungguhnya[11]:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist} \quad (2.11)$$

Setelah didapat nilai THD arus ( $THD_V$ ) maupun THD tegangan ( $THD_i$ ) maka untuk mengetahui nilai arus rms ( $I_{rms}$ ) dan tegangan rms ( $V_{rms}$ ) dapat digunakan rumus berikut[11]:

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + (THD_V)^2} \quad (2.12)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + (THD_I)^2} \quad (2.13)$$

Dari rumus diatas maka kita dapat menghitung nilai PF sebagai berikut[11]:

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}} \quad (2.14)$$

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{1rms} I_{2rms} \sqrt{1+(THD_V)^2} \sqrt{1+(THD_I)^2}} \quad (2.15)$$

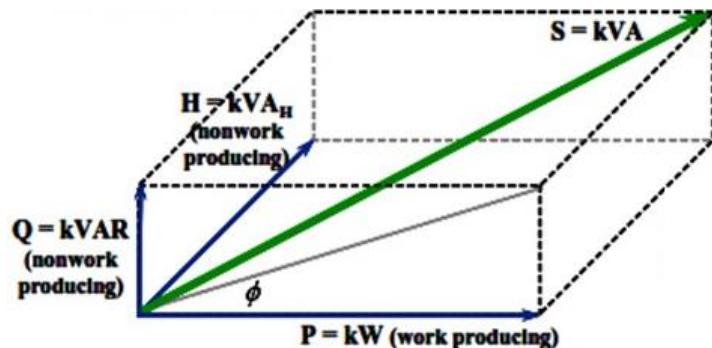
Karena nilai daya rata-rata ( $P_{avg}$ ) yang dihasilkan dari orde harmonis diatas fundamental sangat kecil maka nilainya diasumsikan sebagai 1. Sehingga didapat rumus seperti dibawah ini[11]:

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{1rms} I_{1rms}} \frac{1}{\sqrt{1+(THD_I)^2}} \quad (2.16)$$

Maka rumus menghitung  $PF_{dist}$  adalah sebagai berikut[11]:

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1+(THD_I)^2}} \quad (2.17)$$

Hubungan antara *active power*, *apparent power*, *reactive power*, dan *distortion power* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.7** Diagram fasor[11]

### 2.1.7 Standar Harmonisa

Standar harmonisa merupakan suatu panduan, rekomendasi praktis ataupun batasan harmonisa agar sistem kelistrikan yang ada tidak mengalami hal-hal yang tidak diinginkan. Standar yang membahas mengenai batasan harmonisa antara lain IEEE 519-1992, IEC 61000-2-2, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4. Standar-standar ini membatasi harmonisa yang diakibatkan dari sisi beban agar tidak menimbulkan cacat gelombang saat keadaan normal serta membatasi cacat gelombang akibat adanya harmonisa dari sisi *utility*[12].

IEEE 519-1992; bahwa dalam menentukan standar harmonisa terdapat dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu batasan harmonisa untuk arus ( $I_{THD}$ ) dan batasan untuk harmonisa tegangan ( $V_{THD}$ ).

Persentase (%)  $I_{THD}$  merupakan persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Batasan untuk harmonisa arus ( $I_{THD}$ ) ditentukan oleh perbandingan  $I_{SC} / I_L$ , dimana  $I_{SC}$  merupakan arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*) dan  $I_L$  merupakan arus beban fundamental nominal. Berbeda dengan batasan arus, persentase batasan tegangan ( $V_{THD}$ ) ditentukan dari besarnya tegangan sistem yang terpasang[12].

Tabel 2.3 memperlihatkan batasan harmonisa arus untuk sistem  $< 65$  kV[12].

**Tabel 2.3** Batasan Harmonisa Arus untuk Sistem  $< 65$  kV[12]

$I_{SC} / I_L$	Maximum Harmonic Current Distortion (in % of fundamental)					Total Harmonic Distortion (THD%)	
	Harmonic Order						
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$		
Individual Harmonic Distortion (IHD %)							
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5	
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8	
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12	
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15	
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20	

Untuk harmonisa genap (*even harmonics*) dibatasi 25% dari batas harmonisa ganjil. Nilai  $SC_{ratio}$  dapat dihitung dengan persamaan 2.18 [12]:

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (2.18)$$

Dimana  $I_L$  merupakan arus beban maksimum dan  $I_{sc}$  merupakan arus hubung singkat maksimum pada titik sambung pelanggan. Nilai  $I_{sc}$  dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19 [12]:

$$I_{sc} = \frac{KVA_{TF}}{\sqrt{3} \times kV_{\emptyset-\emptyset} \times Z_{pu}} \quad (2.19)$$

Keterangan :

$KVA_{TF}$  = daya yang terpasang (kVA)

$Z_{pu}$  = per unit impedansi trafo pada daya terpasang

$kV_{\emptyset-\emptyset}$  = Tegangan nominal (kV)

$I_L$  merupakan arus beban maksimum yang dapat dihitung berdasarkan daya kontrak atau menggunakan persamaan 2.20 berikut [12]:

$$I_L = \frac{KW}{\sqrt{3} \times kV_{\emptyset-\emptyset} \times Pf} \quad (2.20)$$

Keterangan :

$KW$  = total daya aktif (kW)

$Pf$  = faktor daya

$kV_{\emptyset-\emptyset}$  = Tegangan nominal fasa-fasa (kV)

Nilai batas maksimum distorsi harmonisa pada sistem diatur berdasarkan Standar VTHD IEEE 519-1992. Tabel 2.4 menunjukkan batasan nilai harmonisa tegangan yang dibedakan berdasarkan besarnya tegangan pada titik sambung.

**Tabel 2.4** Batasan Harmonisa untuk Tegangan[12].

Bus Voltage (V) At PCC	Individual	Total Harmonic
	Harmonic (%)	Distorsion (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

## 2.2 Propagasi Harmonisa

Harmonisa merupakan gangguan pada sistem tenaga listrik yang bersifat paralel dan memiliki karakteristik untuk merambat (propagasi). Sifat harmonisa yang merambat menyebabkan harmonisa akan dirasakan oleh sub-sistem lain yang memiliki terminal pasokan pada sumber yang sama. Propagasi harmonisa dipengaruhi oleh[13]:

1. Kapasitas hubung singkat, peningkatan kapasitas hubung singkat akan memperkecil distorsi tegangan akibat harmonisa arus.
2. Impedansi penghantar, peningkatan luas penampang penghantar akan memperkecil distorsi tegangan akibat harmonisa arus.
3. Tipe koneksi trafo (Y, D), trafo hubungan delta akan menahan harmonik kelipatan tiga (*triplen n harmonics*), trafo hubungan Dyd akan memblokir harmonik orde 5 dan 7, sedangkan trafo dengan hubungan Dyd akan memblokir harmonik orde 5.
4. Sistem jaringan distribusi, sistem distribusi tiga fase empat kawat akan meneruskan harmonisa urutan nol sedangkan sistim distribusi tiga fase tiga kawat akan memblokir harmonisa urutan nol.

## 2.3 Mitigasi Harmonisa

Harmonisa menyebabkan munculnya gangguan yang sangat kompleks mulai dari pemanasan berlebih hingga osilasi. Dampak harmonisa yang paling signifikan adalah meningkatnya rugi-rugi, penurunan kinerja/efisiensi, penurunan kapasitas dan kegagalan fungsi peralatan. Harmonisa arus dihasilkan akibat beban *non-*

*linear*, dapat menyebabkan harmonisa tegangan apabila impedansi hubung singkat pada PCC dan kapasitas penghantar terlalu kecil[13].

Setiap komponen sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonik walaupun dengan akibat yang berbeda. Distorsi harmonik disebabkan oleh beban-beban tak linier dalam sistem daya, dimana besar arus tidak proporsional dengan tegangan yang digunakan[13].

### 2.3.1 Pengaruh Harmonisa Terhadap Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Transformator yang mensupply beban *non-linear* dapat menimbulkan arus harmonisa yang dapat mengganggu kinerja pada trafo dari sisi tegangan rendah[13].



**Gambar 2.8** Transformator daya Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro

Gambar 2.8 merupakan contoh transformator daya yang terpasang di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Transformator dirancang untuk menyalurkan daya yang dibutuhkan ke beban dengan rugi-rugi minimum pada frekuensi fundamentalnya. Arus dan juga tegangan harmonik secara signifikan menimbulkan panas berlebih pada transformator yang melebihi batas standar, hal ini membuktikan bahwa transformator mengalami distorsi harmonik[13].

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan panas pada transformator ketika mengandung distorsi harmonik. Dampak harmonisa pada trafo tenaga berupa peningkatan rugi-rugi yang mengakibatkan peingkatan panas sehingga trafo mengalami penurunan kapasitas (*derating*). Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi suhu inti trafo yaitu[13]:

1. Kenaikan arus RMS

Arus harmonik dapat mengakibatkan kenaikan arus rms menjadi lebih besar dari kapasitasnya. Meningkatnya arus RMS menyebabkan rugi-rugi penghantar juga bertambah. Kenaikan rugi-rugi ini sebanding dengan kuadrat arus beban termasuk nilai rms arus harmonisa.

2. Peningkatan rugi-rugi arus eddy

Arus induksi yang mengalir pada belitan, inti dan beban penghantar lain yang terlingkupi oleh medan magnet dari transformstor dan menyebabkan panas. Komponen rugi-rugi transformator ini menyebakan adanya rugi-rugi *eddy-current*. Kenaikan rugi-rugi ini akibat harmonisa sebanding kuadrat arus dan kuadrat frekuensi arus sehingga nilainya cukup signifikan.

3. Rugi inti

Semakin besar distorsi tegangan maka semakin tinggi pula *eddy-current* di laminasi inti. Peningkatan rugi inti karena harmonik tidak sekritis *eddy-current losses* dan rugi arus RMS.

Pergeseran faktor daya berakibat pada peningkatan rugi-rugi, untuk menghindari ini dapat digunakan kapasitor bank untuk menaikkan faktor daya dan kadangkala dapat digabungkan dengan filter harmonik (*harmonics filter*).

### **2.3.2 Pengaruh Harmonisa Terhadap Peralatan Lainnya**

Selain berdampak pada transformator, mundulnya harmonisa pada sistem kelirikan juga menyebabkan berbagai kerugian pada peralatan Elektronik. Berikut merupakan beberapa kerugian secara umum yang diakibatkan tingginya nilai harmonisa[13]:

- Pada beban motor akan meningkatkan pemanasan akibat rugi besi dan rugi tembaga (menurunkan efisiensi motor)
- Mengakibatkan pemanasan berlebih pada stator dan rotor akan mengalami pemanasan total, berkurangnya torsi, dan torsi yang dihasilkan tidak stabil
- Meningkatkan fenomena yang disebut *cogging* (penolakan untuk starting dengan halus) dan *crawling* (slip sangat tinggi) pada motor induksi
- Pada pengantar akan menaikkan rugi daya  $I^2R$  serta pada kapasitor, akan memperpendek usia kapasitor
- Pada peralatan pensaklaran dan proteksi, akan menurunkan kapabilitas arus rating komponen dan memperpendek umur peralatan isolasi
- Pada sekring, akibat panas yang dihasilkan oleh harmonisa akan mengakibatkan *derating*
- Penurunan faktor daya dan peningkatan rugi-rugi pada motor hampir sama seperti yang terjadi pada trafo, sedangkan osilasi mekanis pada motor terjadi karena pada saat proses konversi gaya gerak listrik (*electro motive force*) menjadi gaya gerak torsi (*torque motive force*) sehingga menimbulkan dampak dari harmonik yang akan mengakibatkan terjadinya osilasi dan penurunan kinerja motor tersebut.

## 2.4 Menanggulangi Harmonisa

Menurunkan emisi harmonisa pada instalasi penyedia maupun instalasi pemanfaatan bukan semata-mata tindakan preventif teknis tapi juga tindakan preventif ekonomis karena secara langsung akan mengeliminir semua kerugian yang ditimbulkan akibat emisi harmonisa yang berlebih sehingga terjadi peningkatan efisiensi, penurunan biaya (operasi, pemeliharaan dan produksi) dan masa investasi peralatan semakin maksimum. Mengurangi tingkat harmonisa dapat dilakukan dengan beberapa tahap yaitu[14]:

1. Identifikasi sistem tenaga listrik
2. Identifikasi beban
3. Perhitungan Total Demand Distortion (TDD)

Karena sifatnya yang merambat maka strategi untuk mengurangi harmonisa (mitigasi) harus pada beban yang terkait, terdapat dua cara, pertama yaitu menurunkan emisi harmonisa dari pemanfaat yang berharmonisa tinggi dengan menggunakan pemanfaat yang lebih baik, yang kedua dengan meredam emisi harmonisa yang dihasilkan dengan cara sebagai berikut[14]:

1. Peningkatan kapasitas hubung singkat di PCC (peningkatan kapasitas trafo dan kabel)
2. Meningkatkan kapasitas pengantar netral
3. Pemasangan penapis/filter harmonisa (filter aktif, filter pasif, filter hibrid)
4. Penggunaan *harmonics trapper* (trafo zig-zag, *phase shifting*)
5. Menggunakan pemanfaat dengan harmonisa rendah (PWM 18 pulse)

Disisi penyediaan, cara 1 dan cara 2 bisa dilakukan namun cara 3, 4, dan 5 tidak ekonomis, begitu pula disisi pemanfaatan. Pembagian biaya untuk mengurangi tingkat harmonisa pada sistem tenaga listrik harus ditinjau dari masing-masing sisi seperti Tabel 2.5 berikut.

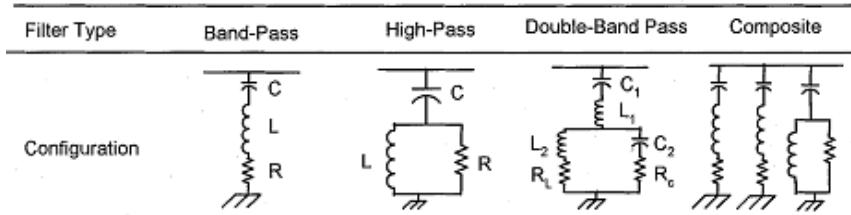
**Tabel 2.5** Alternatif Mengurangi Dampak Harmonisa[15]

<b>Cara</b>	<b>Di Sisi Penyedia</b>	<b>Di Sisi Pemanfaatan</b>
Peningkatan kapasitas hubung singkat PCC	( <i>Upsizing Condutor, Uprating Trafo</i> )	Tanggung jawab diluar cakupan instalasinya
Meningkatkan kapasitas penghantar netral	Tanggung jawab diluar cakupan instalasinya	( <i>Upsizing Neutral Condutor</i> ) Biaya : Ekonomis
Pemasangan filter harmonisa	( <i>passive, active dsb</i> )	( <i>passive, active dsb</i> )
Penggunaan <i>harmonics trapper</i>	( <i>zig-zag transformer, phase shifting</i> )	( <i>zig-zag transformer, phase shifting</i> )
Menggunakan pemanfaat dengan harmonisa rendah	Tanggung jawab diluar cakupan instalasinya	(PWM 12, 18 pulsa, DC <i>choke, Line Inductor, C shunt</i> dsb)

## 2.5 Filter Pasif

Filter pasif merupakan salah satu cara yang efektif dan ekonomis untuk mereduksi timbulnya harmonisa. Filter pasif terdiri dari induktor, kapasitor, resistor (R, L, C) dan unsur-unsur tahanan untuk meredam harmonisa. Kasitor dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan kVAR yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit (*skin effect*)[15].

Terdapat dua jenis filter pasif yaitu filter pasif seri dan filter pasif shunt. Filter pasif shunt dirancang untuk membawa arus harmonik dan sebagian arus fundamental yang lebih kecil dari arus yang berada pada rangkaian utama, sedangkan filter pasif seri dirancang untuk membawa arus maksimum dari rangkaian utama. Filter pasif shunt dapat menyupai daya reaktif pada frekuensi fundamental. Filter pasif jenis shunt memiliki berbagai bentuk yang dapat digunakan yaitu *single-tuned filter* dan *high pass filter*. Gambar 2.9 merupakan bentuk dari berbagai macam filter pasif :



**Gambar 2.9** Rangkaian filter pasif serta konfigurasi dan impedansinya[15]

Tipe filter pasif yang paling umum digunakan adalah *single-tuned* filter. Filter umum ini biasa digunakan pada tegangan rendah. Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah. Sebelum merancang suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya kebutuhan daya reaktif pada sistem. Daya reaktif sistem ini diperlukan untuk menghitung besarnya nilai kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki sistem tersebut. Untuk menghitung nilai kapasitor pada filter pasif [15]:

$$C_n = \frac{Q_n}{V_{LN}^2 \omega} \quad (2.21)$$

Keterangan:

$C_n$  = Kapasitansi (F)

$Q_n$  = Besar kompensasi daya reaktif yang diperlukan

$V_{LN}$  = Tegangan *line-to-netral* (V)

Untuk menghitung nilai induktor pada filter pasif dapat digunakan persamaan :

$$L_n = \frac{1}{(2 \times \pi \times f)^2 \times C_n} \quad (2.22)$$

Keterangan:

$C_n$  = Kapasitansi (F)

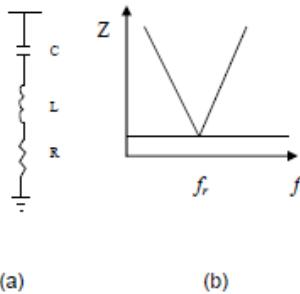
$Q_n$  = Besar kompensasi daya reaktif yang diperlukan

$L_n$  = Induktansi (H)

F = Frekuensi (Hz)

### 2.5.1 Filter Pasif Single-tuned

Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, reaktor dan resistor (RLC) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16 dibawah ini:



**Gambar 2.10** (a) Rangkaian Filter *Single-tuned* (b) Kurva Impedansi terhadap frekuensi[15]

Impedansi dari rangkaian Gambar 2.10 dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Z_f = R + j (\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (2.23)$$

Keterangan:

$Z_f$  = Impedansi jaringan ( $\Omega$ )

$R$  = Resistansi ( $\Omega$ )

$\omega L$  = Frekuensi sudut induktansi

$\omega C$  = Frekuensi sudut kapasitansi

Filter pasif *single-tuned* mempunyai impedansi yang kecil dari impedansi beban, yaitu sama dengan tahanan induktor R, sehingga arus harmonika yang mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi resonansi akan dialirkan Filter pasif *single-tuned* dan tidak mengalir ke sistem. Dengan demikian Filter pasif *single-tuned* diharapkan dapat mengurangi IHD tegangan dan IHD arus sampai dengan 10-30%. Besarnya tahanan R dari induktor dapat ditetukan oleh faktor kualitas dari induktor. Faktor kualitas (Q) adalah kualitas listrik suatu induktor. Secara matematis Q adalah perbandingan nilai reaktansi induktif atau reaktansi

kapasitif pada frekuensi resonansi dengan tahanan R. Semakin besar nilai Q yang dipilih maka semakin kecil nilai R dan semakin bagus kualitas dari filter dimana energi yang dikonsumsi oleh filter akan semakin kecil, artinya rugi-rugi panas filter adalah kecil [15].

Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada suatu sistem. Komponen utama yang terdapat pada filter pasif adalah[15]:

1. Kapasitor

Pada rangkaian filter pasif, kapasitor dapat dihubungkan secara seri maupun paralel dalam suatu sistem. Komponen kapasitor digunakan untuk memperoleh sebuah total rating tengangan dan kVAR yang diinginkan.

2. Induktor

Komponen induktor pada rangkaian filter pasif juga dapat dihubungkan secara seri maupun paralel pada sistem. Kegunaan induktor dalam rangkaian filter adalah untuk menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit atau *skin effect*.

3. Resistor

Komponen resistor pada rangkaian filter pasif *single-tuned* berfungsi untuk mengalirkan arus harmonisa yang akan difilter sesuai dengan orden yang yang akan ditunning.

Filter pasif *single-tuned* yang diletakkan secara paralel akan menghubung singkatkan arus harmonisa yang ada dekat dengan sumber distorsi. Ini dilakukan untuk menjaga arus harmonisa yang masuk tidak keluar menuju peralatan lain dan ke sumber tenaga listrik. Filter pasif *single-tuned* yang merupakan hubungan seri komponen R, L, dan C memberikan keuntungan tersendiri bagi sistem tenaga listrik, disamping mampu mereduksi tingkat harmonisa, penggunaan kapasitor dapat memperbaiki  $\cos \phi$  sistem, sedangkan induktor berfungsi sebagai filter dan juga melindungi kapasitor dari over kapasitif akibat adanya resonansi[15].

Pada saat resonansi terjadi nilai reaktansi induktif sama dengan nilai reaktansi kapasitif tetapi berbeda fasa  $180^\circ$  sehingga akan saling menghilangkan.

Pada keadaan ini nilai impedansi filter menjadi sangat kecil hanya sebesar nilai R dari induktor sehingga akan mengalirkan arus harmonik ke netral. Frekuensi ini diberikan oleh persamaan [16]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.24)$$

Keterangan :

$f_r$  = Frekuensi Resonansi (Hz)

$C$  = Kapasitansi (F)

$L$  = Induktansi (H)

Pada frekuensi  $f_r$ , *single-tuned* memiliki impedansi minimum, sebesar nilai resistansi R dari induktor. Oleh karena itu, tapis ini menyerap semua arus harmonik yang dekat dengan frekuensi yang diinjeksikan, dengan distorsi harmonik yang rendak pada frekuensi ini. Pada prinsipnya, sebuah Filter pasif *single-tuned* dipasang untuk setiap harmonik yang akan dihilangkan. Filter ini dihubungkan pada busbar dimana pengurangan tegangan harmonik ditentukan.

Untuk merancang filter, perlu diketahui beberapa parameter terkait sistem tersebut, antara lain:

1. Kapasitas beban terpasang (kVA)
2. Tegangan pada bus penyuplai beban (kV)
3. Orde harmonik dominan dan besar IHDnya
4. Faktor daya semula dan faktor daya yang diinginkan
5. Kapasitas dan impedansi transformator penyuplai

Ada beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan nilai R, L dan C, yaitu :

1. Daya reaktif pada tegangan nominal (VAR)
2. Frekuensi tuning (Hz)
3. Faktor kualitas (*Quality factor*, Q)
4. Penyimpangan frekuensi relatif (*Relative Frequency Deviation*,  $\delta$ )

Langkah-langkah dalam merancang filter pasif adalah sebagai berikut:

1. Menentukan faktor daya awal dan faktor daya yang diinginkan
2. Menentukan nilai kapasitansi kapasitor sesuai dengan kebutuhan kompensasi faktor daya yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_c = P (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (2.25)$$

Keterangan :

$Q_c$  = Besarnya kompensasi daya reaktif yang diperlukan

$P$  = Daya reaktif (kW)

$\theta_1$  = Sudut kondisi eksiting

$\theta_2$  = Sudut kondisi yang diinginkan

3. Menentukan frekuensi tuning filter
4. Menentukan nilai kapasitor yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2.25)$$

$$\frac{1}{2\pi f C} = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2.26)$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \quad (2.27)$$

Keterangan:

$C$  = Kapasitansi (F)

$V$  = Tegangan Sistem Yang Digunakan. (V)

$f$  = Frekuensi Fundamental (Hz)

$Q_c$  = Kompensasi Daya Reaktif

5. Menentukan nilai induktor yang dicari berdasarkan prinsip resonansi pada orde tuningnya[16]. Dimana frekuensi resonasi  $X_o = L = X_c$

$$X_0 = \omega_n L \quad (2.28)$$

$$X_0 = \frac{1}{\omega_n C} \quad (2.29)$$

$$X_0 = \frac{L}{C} \quad (2.30)$$

Sehingga, didapatkan rumus persamaan untuk nilai induktansi dan reaktansi sebagai berikut[16]:

$$L = \frac{1}{(\omega_n)^2 C} \quad (2.31)$$

$$X_L = \omega L \quad (2.32)$$

Keterangan :

$X_0$  = Reaktansi Resonansi ( $\Omega$ )

$n$  = Orde Harmonik Yang Difilter

$L$  = Induktansi (H)

$C$  = Kapasitansi (F)

6. Faktor Kualitas ( $Q$ ) filter didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi ( kapasitansi) pada saat resonansi dengan besaran resistensi[16].

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (2.33)$$

Keterangan :

$X_0$  = reaktansi resonansi ( $\Omega$ )

$R$  = Resistansi ( $\Omega$ )

$Q$  = Kualitas Filter

Kualitas sebuah filter ( $Q$ ) ditentukan dari ketajaman tuning. Filter dengan  $Q$  yang tinggi ditala secara tajam pada satu frekuensi harmonis yang rendah (contohnya ke-5) dengan harga faktor kualitas ( $Q$ ) dapat ditentukan sesuai dengan

nilai yang sering diterapkan pada frekuensi 50 Hz yaitu  $30 < Q < 100$ . Nilai Q bergantung dari besarnya resistansi filter, jika menginginkan Q tinggi, maka R harus kecil[16].

## 2.6 ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) merupakan suatu *software* (perangkat lunak) yang digunakan suatu sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan *offline* yaitu untuk simulasi tenaga listrik, dan juga dalam keadaan online untuk pengelolaan data *real time*. Gambar 2.11 merupakan tampilan ETAP 12.6 :



**Gambar 2.11** ETAP 12.6

Analisis tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP antara lain :

1. Analisis Aliran Daya (*Load Flow Analysis*).
2. *Harmonics Power System*.
3. Analisis Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*).
4. *Motor Starting*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat menggunakan ETAP antara lain:

1. *One Line Diagram*

Notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa.

2. *Library*

Informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan sehingga mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi ataupun analisis.

### 3. Standar yang dipakai

Mengacu pada standar IEC dan ANSI. Perbedaan antara standar IEC dan ANSI terletak pada standar frekuensi sehingga mengakibatkan perbedaan spesifikasi peralatan yang digunakan.

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk menghitung aliran daya, antara lain[17]:

#### a. Accelerated Gauss-Seidel Method

Hanya butuh sedikit nilai masukan, tetapi lambat dalam kecepatan perhitungan[17].

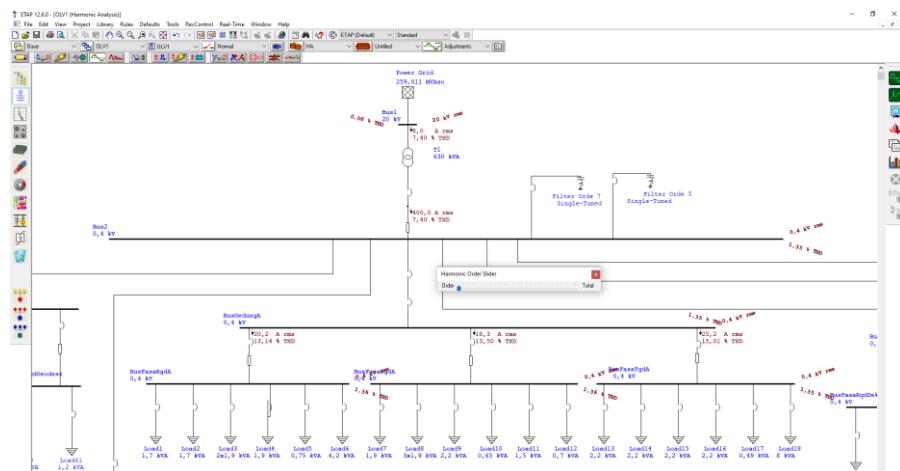
#### b. Newton Raphson Method

Cepat dalam perhitungan tetapi membutuhkan banyak nilai masukan dan parameter. *First Order Derivative* digunakan untuk mempercepat perhitungan[17].

#### c. Fast Decoupled Method

Dua set persamaan iterasi, antara sudut tegangan, daya reaktif dengan magnitude tegangan. Baik untuk sistem radial dan sistem dengan jalur panjang[17].

Gambar 2.12 berikut merupakan contoh dari *harmonic analysis* dalam *software ETAP 12.6.0*:



**Gambar 2.12** Contoh *harmonic analysis* dalam program ETAP 12.6.0.

## 2.7 PSIM

PSIM merupakan *software* simulasi yang diciptakan oleh Powersim Inc. *Software* PSIM dirancang untuk melakukan analisa elektronika daya, penggerak motor, dan sistem konversi daya. Proses simulasi dari PSIM terdiri dari rangkaian skematik PSIM (*PSIM schematic*), simulasi PSIM (*PSIM simulator*), serta program pemroses bentuk gelombang (*SIMVIEW*). Struktur rangkaian pada PSIM direpresentasikan dalam empat bagian atau blok, yaitu : rangkaian daya (*power circuit*), rangkaian kendali (*control circuit*), sensor (*sensors*), serta pengendali saklar (*switch controller*)[18].

PSIM merupakan *software* yang dapat dipakai sebagai alat bantu simulasi dari perencanaan rangkaian elektronika. Dari hasil simulasi menunjukkan tampilan output dari alat ukur osiloskop dan multimeter menunjukkan secara grafis nilai tegangan dan arus dari rangkaian. Komponen yang disediakan oleh PSIM terdapat dua jenis yaitu [18]:

1. Komponen yang bersifat virtual

Komponen virtual yang disediakan oleh PSIM mempunyai nilai yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dan dianggap mempunyai nilai yang ideal.

2. Komponen yang bersifat *real*

Komponen *real* yang disediakan oleh PSIM ini mempunyai nilai yang tidak dapat diubah dan memiliki sifat praktis seperti yang dimiliki oleh komponen elektronika yang digunakan pada dunia nyata.

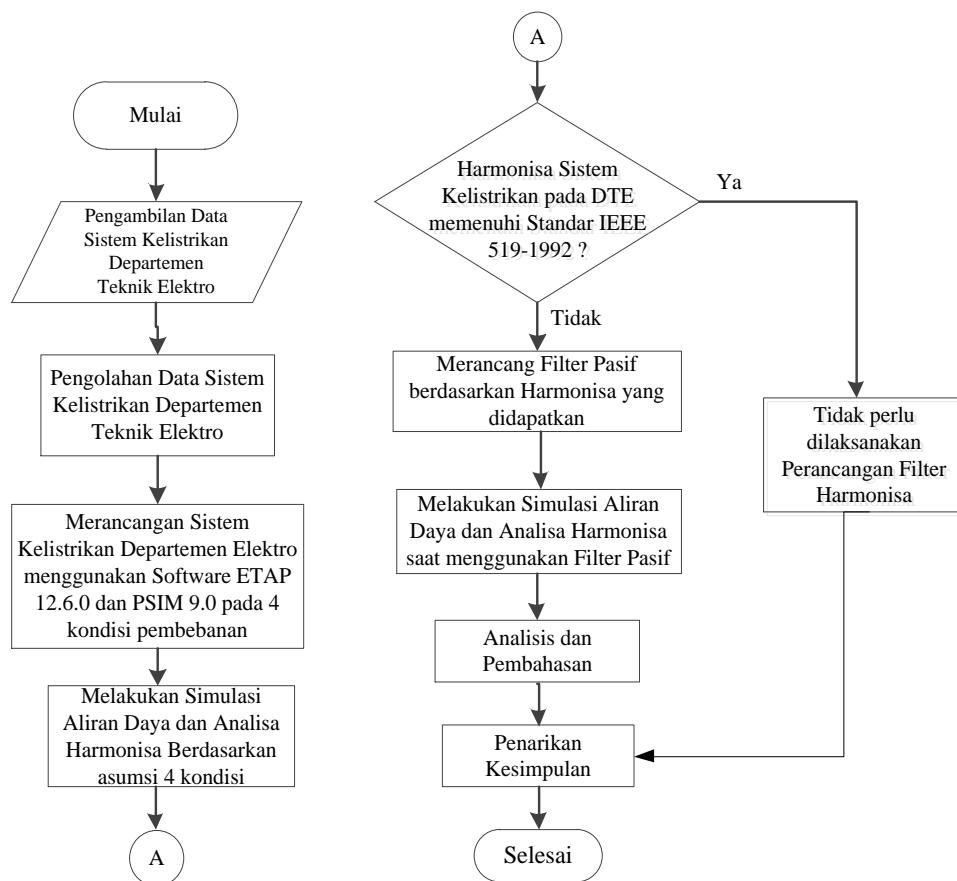
## BAB III

### METODELOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian menjelaskan tentang proses perancangan filter pasif pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro untuk memperbaiki harmonia dengan menggunakan perangkat lunak *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) 12.6.0 dan PSIM Version 9.0.

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tugas akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahap penelitian. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menerangkan bahwa pada penelitian ini dimulai dari pengumpulan data sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponogoro melalui media perantara atau secara tidak langsung yang berupa buku, catatan, bukti yang telah ada, atau arsip baik yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan secara umum setelah data terkumpul. Data sistem kelistrikan yang telah dikumpulkan akan diolah untuk menentukan komponen-komponen yang akan dipakai dalam simulasi. Hasil pengolahan data pada *Sub Distribution Panel* dan *Main Distribution Panel* yang telah disesuaikan dengan *Single line diagram* kemudian dimodelkan menggunakan simulator ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0 dengan asumsi 4 kondisi pembebanan. Apabila hasil simulasi sudah sesuai dengan data yang diperoleh maka akan melakukan simulasi aliran daya dan analisa harmonisa untuk memastikan bahwa pemodelan jaringan sudah sesuai dengan yang ada di lapangan. Setelah itu data hasil simulasi aliran daya dan analisa harmonisa akan diolah sehingga nantinya dapat dilakukan perancangan filter pasif menggunakan hasil olahan data simulasi tersebut. Selanjutnya menentukan perancangan pasif dilakukan berdasarkan nilai harmonisa yang dilengkapi dengan prakiraan ukuran dan nilai secara *real* dengan komponen yang ada. Nantinya hasil perancangan filter pasif akan disimulasikan untuk mengurangi adanya harmonisa pada sistem kelistrikan, apabila hasil perancangan belum berjalan dengan baik dan belum sesuai dengan standart IEEE 519-1992 maka dilakukan perbaikan perancangan filter, apabila simulasi sudah berjalan dengan baik dan sesuai dengan standart IEEE 519-1992 dilanjutkan dengan mengidentifikasi konsumsi energi listrik di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro saat menggunakan filter pasif. Setelah itu dilanjutkan dengan menganalisis hasil dan memvalidasi data yang ada serta dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

### 3.2 Gambaran Umum Objek Penelitian

Teknik Elektro UNDIP adalah salah satu prodi (program studi) di Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang terletak di Tembalang, Semarang, Jawa Tengah. Teknik Elektro UNDIP ini memiliki 2 gedung utama yaitu gedung A dan gedung B. Gedung A adalah tempat untuk melakukan berbagai kegiatan administrasi dan terdapat ruang dosen, ruang Ketua Departemen, ruang sidang, ruang seminar, dan musholla. Sedangkan gedung B adalah tempat untuk melakukan berbagai kegiatan perkuliahan sehingga banyak terdapat laboratorium dan kelas. Selain gedung juga terdapat beberapa fasilitas umum seperti kantin, lapangan basket, parkiran dan lainnya.

Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 merupakan beberapa contoh beban yang terdapat di Teknik Elektro Universitas Diponegoro.



**Gambar 3.2** Contoh beban di ruang kelas Departemen Teknik Elektro



**Gambar 3.3** Contoh beban di Laboratorium Departemen Teknik Elektro

### 3.3 Pengambilan dan Pengolahan Data

Pada penelitian ini telah dilakukan serangkaian proses pengambilan data primer dan data sekunder. Pengambilan data sekunder dilakukan pada awal penelitian dengan cara melakukan kunjungan langsung pada Teknik Elektro UNDIP yang sebelumnya sudah berkoordinasi dengan pihak *staff* Teknik Elektro yang mengerti terkait data sekunder yang dibutuhkan untuk penelitian. Gambar 3.4 menunjukkan proses pengambilan data lapangan :



Gambar 3.4 Proses pengambilan data

Selain itu, untuk validasi data simulasi, dilakukan pengambilan data lebih lanjut untuk memastikan pemodelan sudah mendekati kondisi lapangan. Oleh karena itu, diperlukan pengambilan data primer. Data primer adalah sumber data penelitian yang diperoleh secara langsung dari sumber aslinya. Berupa wawancara, jejak pendapat dari individu atau kelompok (orang) maupun hasil observasi dari suatu objek, kejadian atau hasil pengujian. Pada penelitian ini, pengambilan data primer dilakukan dengan pengukuran parameter kualitas daya sistem kelistrikan di tiap MDP, pengukuran arus dan tegangan di tiap SDP seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Agenda Pengambilan Data Penelitian

<b>Periode</b>	<b>Tanggal</b>	<b>Data Yang Diambil</b>
1	Rabu, 7 April 2021	Survey panel-panel dan sistem kelistrikan di Teknik Elektro untuk pembuatan <i>Single line diagram</i>
2	Jum'at, 23 April 2021	Mencatat dan mendata seluruh beban yang ada di Teknik Elektro
3	Senin, 3 Mei 2021	Mengecek profil harmonisa dari setiap beban yang ada di Teknik Elektro

### 3.3.1 Alat Ukur yang Digunakan

Untuk keperluan pengukuran kualitas kelistrikan pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro, digunakan beberapa alat ukur, yaitu :

#### 1. Power Quality Analyzer (PQA)

*Power Quality Analyzer* digunakan untuk pengukuran nilai profil harmonisa dari tiap beban dan *record* data kualitas daya terutama nilai THD pada tiap SDP. PQA meter yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tipe : HIOKI 3197 Power Quality Analyzer

Arus : Clamp on sensor CAT III 500 A (1  $\phi$  dan 3  $\phi$ )

Tegangan : 600Vrms (1  $\phi$  dan 3  $\phi$ )

Harmonik: 50 orde

#### 2. Tang Ampere

Digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada SDP (*Sub-Distribution Panel*) saat pengukuran data primer dan arus yang mengalir

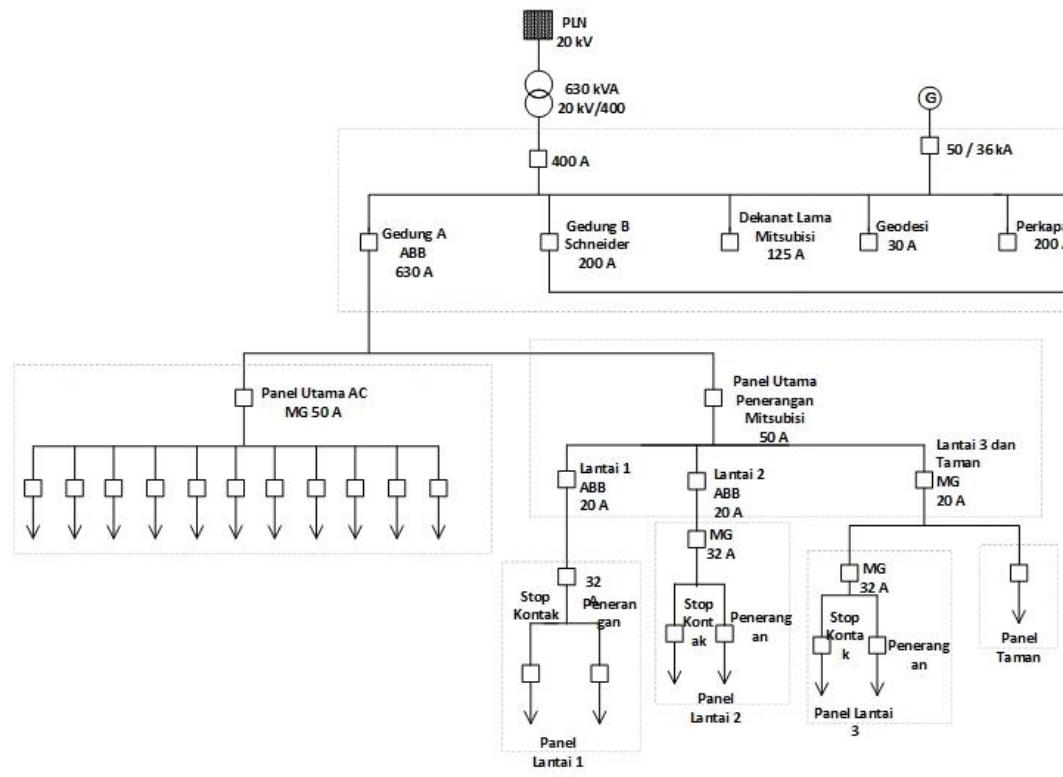
beban saat pengukuran profil harmonisa. Tang ampere yang digunakan memiliki spesifikasi alat sebagai berikut:

Tipe : Digital Clamp Meter Sanfix BM528

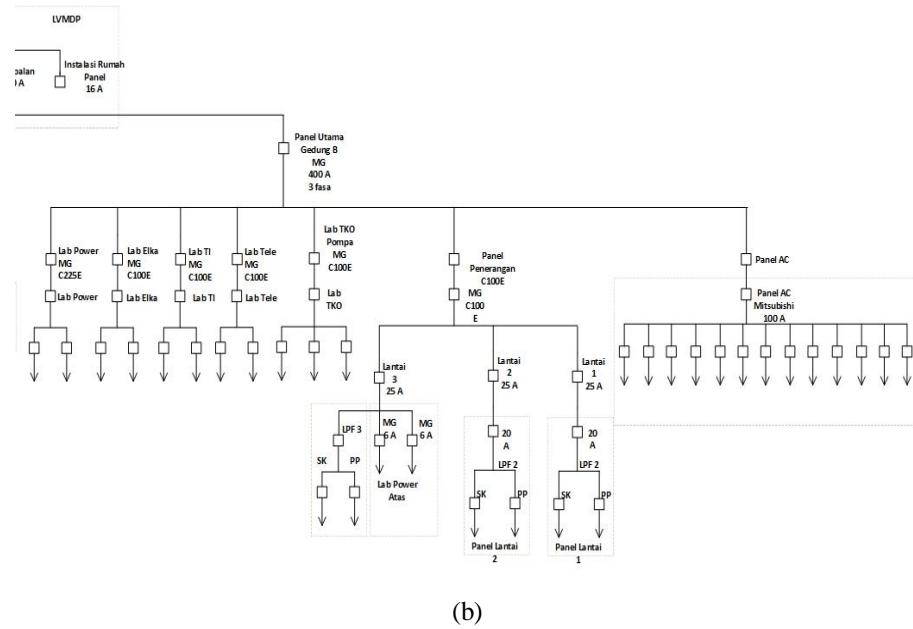
Tegangan : 20 – 600 V DC; 20 - 600V AC (1 φ)

Arus : 20 - 600 A (1 φ)

### 3.3.2 Single Line Diagram



(a)



(b)

**Gambar 3.5 Single line diagram Teknik Elektro (a) Gedung A (b) Gedung B**

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa pada sistem tenaga listrik yang ada pada Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro memiliki beberapa percabangan dikarenakan transformator tenaga yang ada digunakan untuk menyuplai beberapa gedung seperti Gedung A Departemen Teknik Elektro, Gedung B Departemen Teknik Elektro, Gedung Departemen Teknik Sistem Komputer, dan Gedung Dekanat Lama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Pada penelitian ini beban yang akan diolah hanyalah beban yang terpasang di Gedung A & B Departemen Teknik Elektro dikarenakan beban yang terpasang di kedua gedung tersebut lebih dominan dibandingkan beban yang terpasang di gedung lainnya. Untuk detail keseluruhan dapat dilihat pada lampiran.

### 3.3.3 Data Beban

Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5, Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 berikut menunjukkan seluruh data beban Teknik Elektro pada setiap lantai di tiap gedungnya.

**Tabel 3.2** Data beban gedung A lantai 1

RUANG	JENIS BEBAN	JUMLAH PERALATAN
Ruang TU	Lampu LED	5
	AC Panasonic CS PN18RKP 2PK	1
	Komputer Lenovo Hitam Kecil	3
	Komputer Lenovo Hitam Besar	3
	Kipas	2
	Printer	4
	Dispenser Royal RCA 2111 IX	2
	Lampu LED	1
	Lampu SL	1
	Laptop	1
Ruang FC	Cannon IR 3300	2
	Kulkas Polytron SCP 15 series	1
	Lampu LED	3
	Lampu SL	2
	AC Panasonic CS PC18MKP 2PK	1
Ruang Perpustakaan Teknik Elektro	Dispenser Royal RCA 2111 IX	1
	Printer	1
	Kipas Kosmos	1
	komputer Lenovo Hitam	1
	Lampu LED	2
Ruang Sekretariat Yayasan Alumni Teknik Elektro UNDIP	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	1
	Komputer Lenovo Hitam (Ben-Q 16:9)	1
	Printer EPSON L4150	1
	Printer EPSON L365	1
	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	1
Ruang Magister Teknik Elektro	Lampu LED	5
	Komputer Lenovo Hitam Besar	2
	Komputer Lenovo Hitam Kecil	2
	LCD Epson EB 1955	1
	Finger Print	1
Lobby Departemen Teknik Elektro	Sony BRAVIA 60 in. KDL-60R520A	1
	Lampu LED	9
	Lampu sorot Goll CEIP65	2
Toilet	Lampu LED	2

**Tabel 3.3** Data beban gedung A lantai 2

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
Ruang Dosen	Amplifier TOA ZA 1025	1
	Printer	4
	PC LG kecil type lama hitam	8
	PC LG besar type lama hitam	2
	PC Lenovo putih	2
	Lampu LED	23
	Lampu SL	4
	Lampu TL	5
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	3
	Telepon danl Fax 275	1
Lobby	Running LED	1
	Kulkas	1
	Dispenser	1
	CCTV	1
	TV LCD LG	1
Ruang Pak Trias	Lampu SL	2
	Lampu LED	7
	Exhaust	1
	Lampu LED	2
Ruang Kadep	Lampu LED	6
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	1
	PC Lenovo Putih Hitam Besar	2
Toilet	Printer SONY	1
	LCD Epson EB X36	1
	Lampu LED	2

**Tabel 3.4** Data beban gedung A lantai 3

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
Mushola	Running LED	1
	Lampu LED	6
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	kipas Maspion	2
Ruang Kelas	LCD Proyektor EPSON	1
	Lampu LED	1

**Tabel 3.4 Lanjutan**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
Ruang Sidang	Lampu LED	6
	Lampu SL	2
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	2
	LCD Epson EB X36	1
	Lampu SL	3
	Lampu LED	5
Ruang Seminar	Amplifier TOA ZA 1025	1
	AC Hitachi	1
	CCTV	1
	AC Panasonic	1
Toilet	LCD SONY VPL EW255	1
	Lampu LED	2
	Lampu LED	4
Ruang Dosen	Komputer Lenovo Putih	2
	TV Polytron Tabung	1
Lobby	Lampu SL	1
	Lampu LED	7

**Tabel 3.5 Data beban gedung B lantai 1**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
101 (Lab. Konversi Energi Listrik)	Lampu TL	8
	Lampu LED	1
	AC Panasonic CS PN18RKP 2PK	2
	AC National	2
	Komputer Lenovo Putih	1
	Komputer LG	1
	Lampu TL	2
102 (Lab. Komputer dan Teknologi Informasi)	Lampu SL	2
	Lampu LED	7
	AC Daikin	2
	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	2
	Komputer Lenovo Putih	12
	Komputer Lenovo Hitam	10
	Dispenser Miyako	1
	Monitor Samsung PS 42E7S	1

**Tabel 3.5 Lanjutan**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
103 (Lab. Komunikasi dan Pengolahan Sinyal)	Lampu TL	10
	Lampu LED	1
	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	2
	AC Panasinic CS PN18SKP 2PK	2
	Komputer Lenovo Putih	2
	Komputer Lenovo Hitam	3
	CCTV	1
	Lampu SL	7
	Lampu LED	12
	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	2
104 (Lab. Elektronika)	AC Panasinic CS PN18SKP 2PK	2
	Komputer Lenovo Putih	4
	Komputer	12
	CCTV	2
	Lampu SL	2
105 (Ruang Sekretariat HME)	Kipas Maspion	1
	Kulkas Polytron SCP 15 series	1
	Kipas Besar	1
Toilet	Lampu SL	1
	Lampu LED	2
	Lampu SL	1
	Lampu LED	1
Musholla Al Muhandis	Kipas Maspion MPF 50K	3
	AC Midea	1
	Running LED	1
	Lampu SL	5
Lorong	Lampu LED	10
	CCTV	2

**Tabel 3.6 Data beban gedung B lantai 2**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
201	Lampu TL + LED	11
	AC Panasonic CS PN18RKP 2PK	1
	AC Nasional	1
	LCD Epson EB X36	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	CCTV	1

**Tabel 3.6 Lanjutan**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
202	Lampu SL (1)	4
	Lampu LED	7
	AC National	1
	AC Panasinic CS PN18SKP 2PK	1
	LCD SONY VPL EW255	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	CCTV	1
	Komputer Lenovo Hitam	1
	Lampu SL (1)	9
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	2
203	LCD Epson EB 1955	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	CCTV	1
	Lampu LED	2
	Komputer Lenovo Hitam	1
	Lampu SL (1)	6
	Lampu LED	5
	AC National	1
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	1
	LCD Epson EB 1955	1
204	Amplifier TOA ZA 1025	1
	CCTV	1
	Komputer Lenovo Hitam	1
	Lampu SL	1
	Lampu LED	10
	AC Panasonic CS PN18RKP 2PK	1
	AC Panasonic CS PN18SKP 2PK	1
	LCD SONY VPL EW255	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	CCTV	1
205	Komputer Lenovo Hitam	1

**Tabel 3.6 Lanjutan**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
206	Lampu SL	5
	AC Nasional	1
	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	1
	LCD Acer XD1150	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	CCTV	1
	Lampu LED	6
Toilet A	Komputer Lenovo Hitam	1
	Pompa Air GrundFos JD Basic 5	2
Toilet B	Lampu LED	2
	Lampu SL	3
Ruang Absen	Lampu LED	1
	Komputer Lenovo Hitam	1
Lorong	Lampu TL	1
	Lampu SL	1
	Lampu LED	6
	CCTV	4

**Tabel 3.7 Data beban gedung B lantai 3**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
301 (Lab. Komputer dan Simulasi Sistem Kontrol)	Lampu LED	3
	Lampu SL	6
	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	2
	Komputer Lenovo Putih	2
	Komputer HP Hitam	4
	Lampu TL	2
	AC Daikin	1
302 (Ruang Biro Mahasiswa)	Komputer Samsung	1
	Dispenser	1
	Prinet Epson L365	1
	Lampu SL + LED	9
	komputer Lenovo Hitam	30

**Tabel 3.6** Lanjutan

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
	Lampu TL	14
	Lampu SL	6
	AC Panasonic CS PC18PKP 2PK	1
303 (Lab.	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	2
Komputer dan	AC Hitachi	1
Simulasi Sistem	LCD ViewSonic	1
Tenaga)	Komputer Lenovo Putih	2
	Komputer Lenovo Hitam	6
	Kipas Cosmos 16WFO2	1
	Kipas Besar	2
	Lampu TL (3)	4
	Lampu SL (1)	8
	Lampu LED	2
304 (Lab . Teknik	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	2
Kontrol Otomat)	Komputer Lenovo Putih	2
	Kipas Maspion F 167 S	2
	Komputer BenQ	1
	Lampu TL	12
	Lampu SL	3
	Lampu LED	2
305	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	1
	AC Panasonic CS PC18PKP 2 PK	1
	LCD Acer XD1150	1
	Amplifier TOA ZA 1061	1
	Komputer Lenovo Hitam	1
	Lampu TL	8
	Lampu SL	4
	AC Panasonic CS PC18PKP 2 PK	1
306	AC Panasonic CS PC18NKP 2PK	1
	LCD SONY VPL EW255	1
	Amplifier TOA ZA 1025	1
	Lampu LED	4
	Komputer Lenovo Hitam	1
Toilet A	Lampu SL	2

**Tabel 3.7 Lanjutan**

<b>RUANG</b>	<b>JENIS BEBAN</b>	<b>JUMLAH PERALATAN</b>
Toilet B	Lampu SL	3
	Lampu LED	1
	Lampu LED	5
Lorong	Lampu SL	3
	Lampu sorot Goll CEIP65	2

### 3.3.4 Data Transformator

Spesifikasi transformator yang digunakan Teknik Elektro UNDIP ditunjukkan pada Tabel 3.8 sebagai berikut:

**Tabel 3.8 Spesifikasi transformator pada Departemen Teknik Elektro**  
**Transformator**

Jenis Trafo	3 fasa
Frekuensi	50 Hz
<i>Nominal Rating</i>	630 kVA
<i>Nominal Voltage</i>	20 kV/400V
<i>Nominal Current</i>	18,187 A/908,327 A
<i>Cooling</i>	ONAN
<i>Impedance (%)</i>	4.05

### 3.3.5 Pengolahan Data

Pengolahan hasil pengambilan data akan dilakukan untuk memudahkan dalam pembuatan pemodelan dan simulasi dikarenakan data yang didapatkan hanya berupa data beban yang terpasang dan data transformator tenaga yang terpasang. Nantinya, dalam pemodelan akan dibuat simplifikasi dan simulasi berdasarkan data beban yang telah diperoleh. Beban-beban tersebut nantinya akan disimulasikan menjadi *static load*.

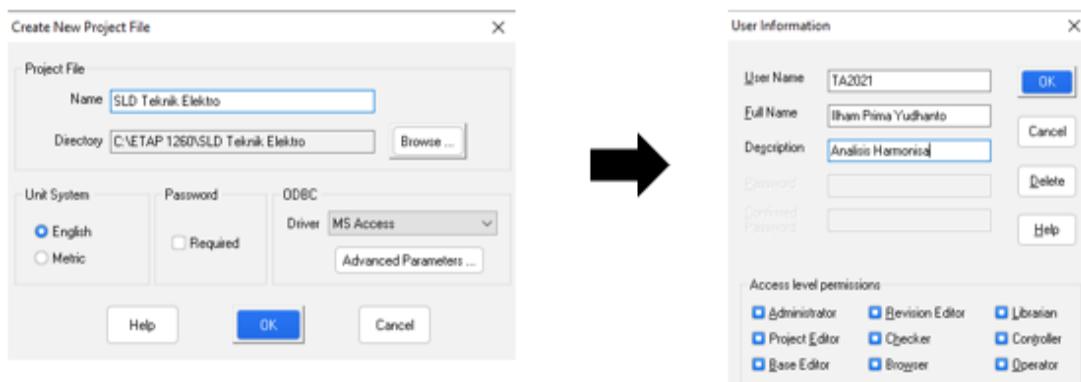
### 3.4 Pemodelan dan Simulasi ETAP 12.6.0

Dalam pemodelan dan simulasi sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP ini menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk menggambar *single line diagram*. Agar mendapatkan nilai distorsi harmonik yang sesuai dengan kondisi lapangan, maka parameter-parameter berdasarkan data yang sudah diolah akan dimasukkan dan disimulasikan dengan *single line diagram*. Langkah selanjutnya adalah menganalisa harmonis yang ada, sehingga dapat dilakukan perancangan filter pasif yang tepat untuk sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Beberapa tahap yang harus dilakukan dalam penggunaan ETAP 12.6.0 antara lain:

1. Inisialisasi *Project*
2. Pembuatan *single line diagram*
3. *Run Load Flow*
4. *Run Harmonic Analysis*

#### 3.4.1 Inisialisasi *Project*

Saat pertama kali membuka ETAP 12.6.0, maka kita perlu membuat *new project* yang dapat kita temui dalam *tab file* dan mengisi beberapa data seperti yang ditunjukkan Gambar 3.6 dibawah ini:



**Gambar 3.6** Inisialisasi *project* ETAP 12.6.0

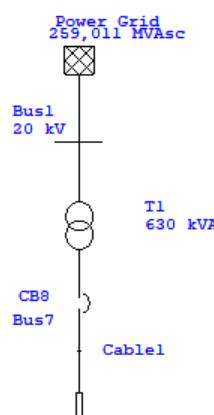
### 3.4.2 Pembuatan Single Line Diagram

Setalah inisiasi *project* selesai maka lembar kerja *project* akan muncul untuk membuat *single line diagram* sesuai dengan yang diinginkan. Pada bagian sebelah kanan lembar kerja terdapat komponen-komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan *single line diagram*, Tabel 3.9 berikut menunjukkan komponen yang digunakan dalam pemodelan sistem kelistrikan di Teknik Elektro :

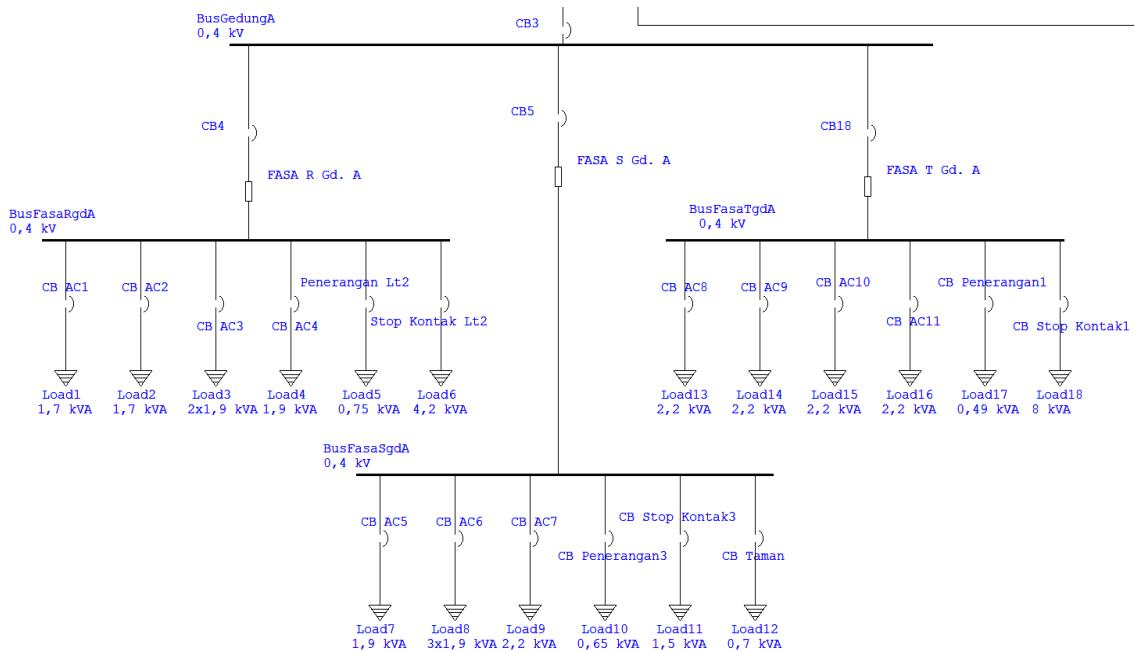
**Tabel 3.9** Contoh komponen ETAP 12.6.0

No.	Simbol	Keterangan
1.		<i>Power Grid</i>
2.		Transformator
3.		Bus AC
4.		<i>Low Voltage Circuit Breaker</i>
5.		<i>Motor Load</i>
6.		<i>Static Load</i>

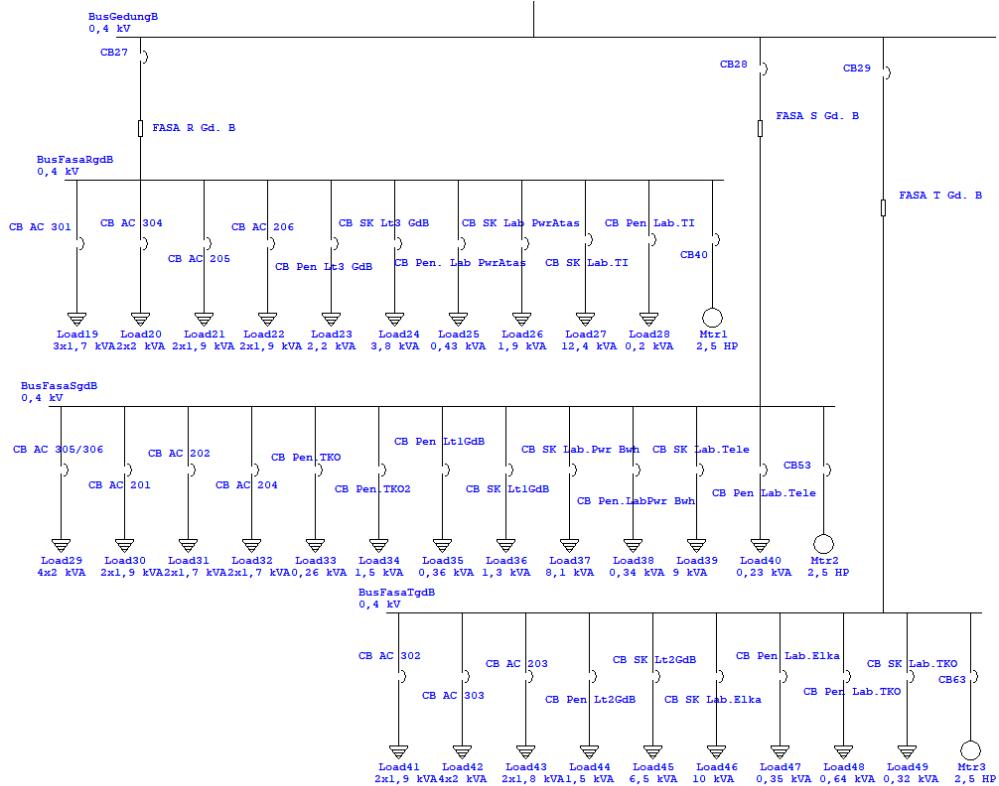
Dengan menggunakan komponen-komponen diatas, dapat disimulasikan Sistem Kelistrikan Departemen Teknik Elektro. Untuk mengetahui detail gambar keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Hasil simulasi *single line diagram* dengan menggunakan ETAP 12.6.0 ditunjukkan pada Gambar 3.7, Gambar 3.8. Gambar 3.9, Gambar 3.10, Gambar 3.11 berikut :



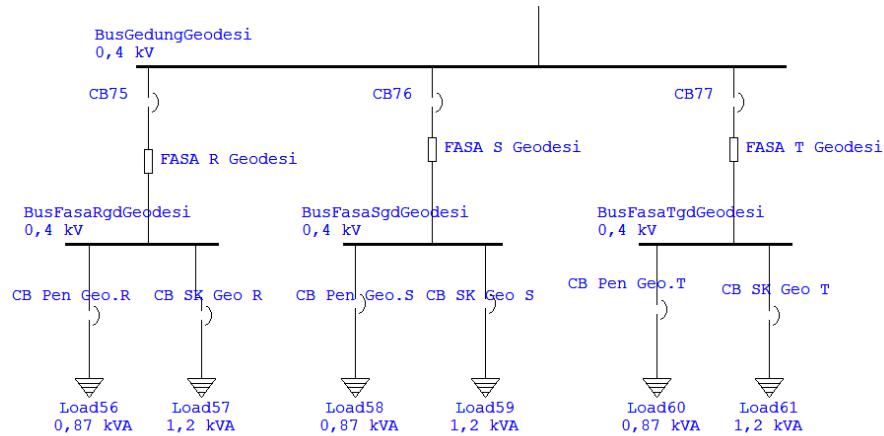
**Gambar 3.7** Pemodelan sumber kelistrikan pada *single line diagram* Teknik Elektro UNDIP



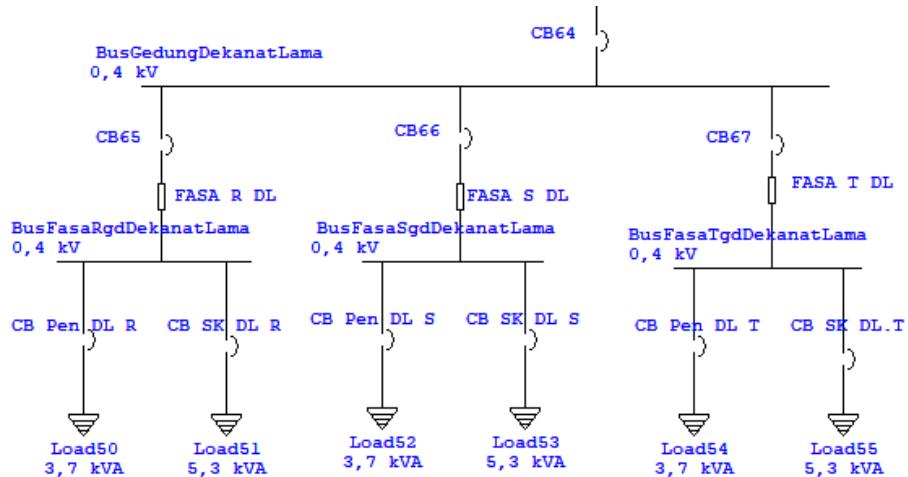
Gambar 3.8 Pemodelan single line diagram gedung A Teknik Elektro



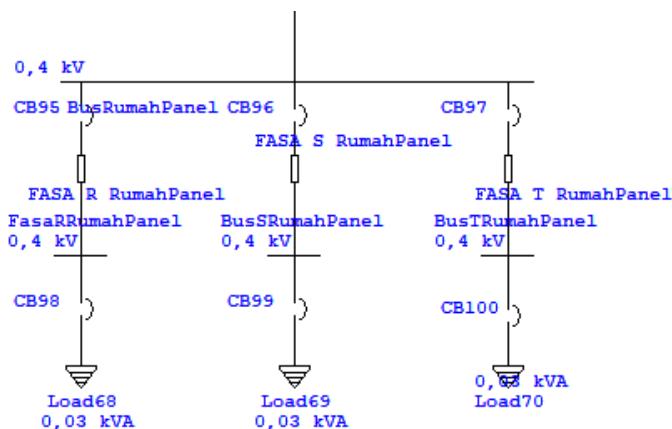
Gambar 3.9 Pemodelan single line diagram gedung B Teknik Elektro



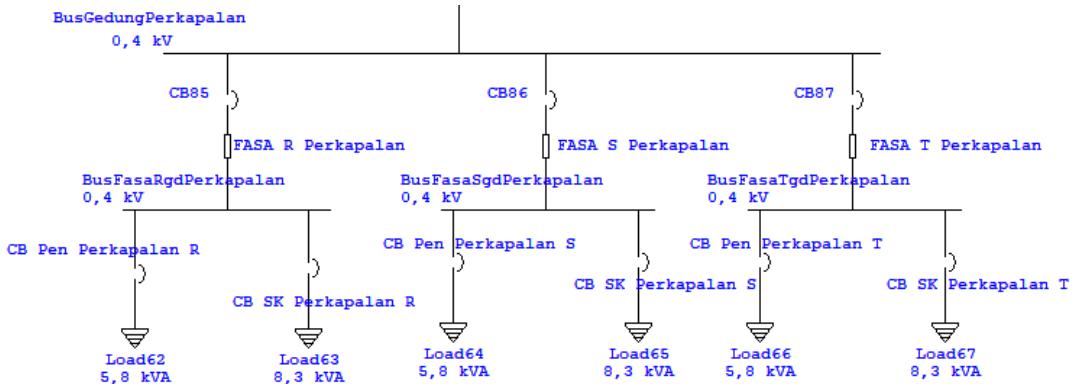
Gambar 3.10 Pemodelan *single line diagram* gedung Geodesi



Gambar 3.11 Pemodelan *single line diagram* gedung Dekanat Lama



Gambar 3.12 Pemodelan *single line diagram* gedung Instalasi Rumah Panel



Gambar 3.13 Pemodelan *single line diagram* gedung Perkapalan

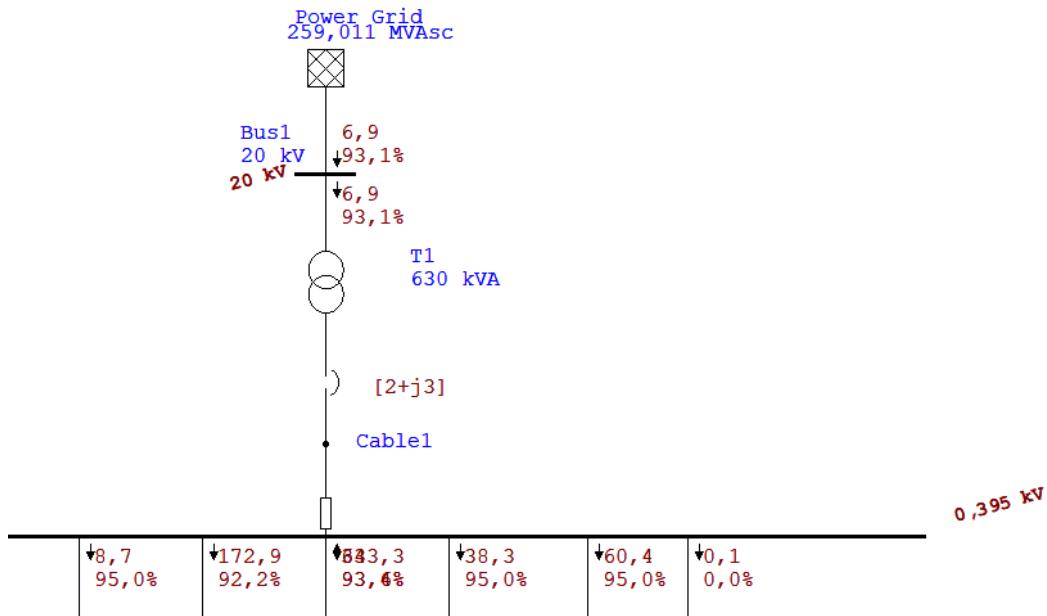
### 3.4.3 Run Load Flow

Analisa aliran daya (*load flow*) ini digunakan untuk mengetahui nilai arus, tegangan, dan faktor daya yang mengalir pada beban di tiap bus yang nantinya akan digunakan dalam menentukan nilai standar THD arus. *single line diagram* yang telah sesuai dengan sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP, dapat dianalisa aliran daya nya dengan cara klik *load flow analysis* seperti Gambar 3.14 dibawah ini:



Gambar 3.14 *Load flow analysis*

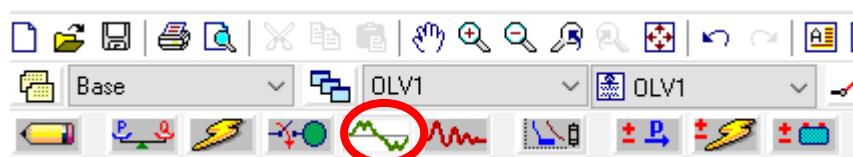
Hasil *load flow analysis* ditunjukkan pada gambar 3.15 dibawah ini yang menunjukkan arus yang mengalir pada beban di tiap bus untuk diolah dalam menentukan standar THD arus.



Gambar 3.15 Load flow analysis SLD gedung Teknik Elektro UNDIP

#### 3.4.4 Run Harmonic Analysis

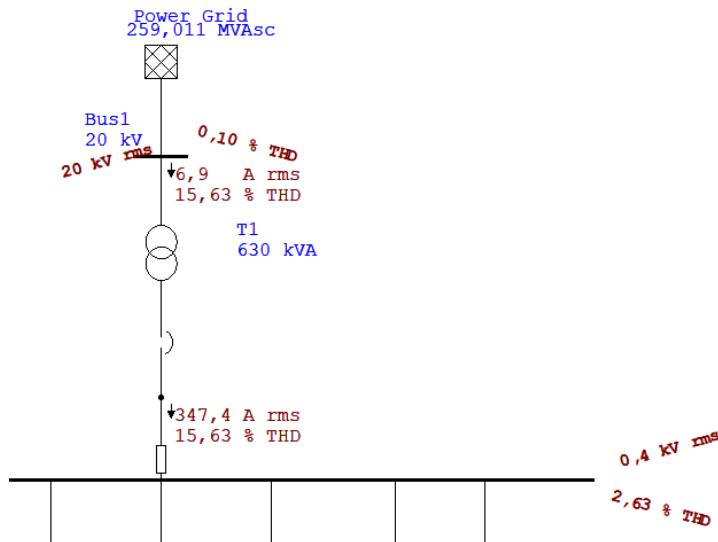
Setelah mencatat setiap nilai arus beban dan hubung singkat maksimum, maka sudah bisa mendapatkan nilai standar THD<sub>i</sub> yang dapat ditoleransi sesuai dengan standar IEEE 519-2014. Selanjutnya, jalankan *run harmonic analysis* dengan mengklik tools *harmonic analysis* seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Harmonic analysis

*Alert view* akan muncul saat kita menjalankan simulasi *harmonic analysis* dan memperlihatkan bus yang memiliki nilai harmonica melebihi batas standar yang kita tetapkan. Hasil dari simulasi *harmonic analysis* ini dapat kita lihat dalam bentuk *report* maupun pada lembar kerja ETAP pada tiap busnya dan hasil dari simulasi *harmonic analysis* ini akan menjadi acuan dalam merancang filter

pasif yang akan digunakan untuk melakukan mitigasi harmonisa pada penelitian ini. Gambar 3.17 dibawah ini menunjukkan hasil simulasi *harmonic analysis*.



Gambar 3.17 Hasil *harmonic analysis*

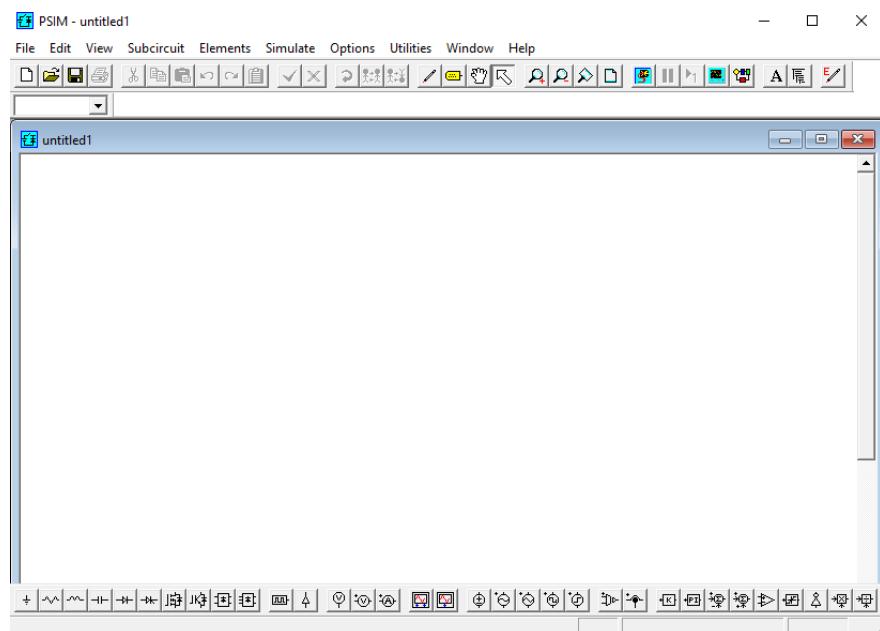
### 3.5 Pemodelan dan Simulasi PSIM Version 9

Pemodelan dan simulasi sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP juga di simulasikan menjadi simplifikasi *single line diagram* dengan menggunakan *software* PSIM 9.0. Pemodelan simplifikasi *single line diagram* berdasarkan nilai harmonisa yang didapatkan dari simulasi ETAP 12.6.0. Langkah selanjutnya yaitu menganalisa harmonisa yang timbul untuk dijadikan parameter dalam melakukan perancangan filter pasif yang sesuai dengan kondisi sistem kelistrikan pada Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Beberapa tahap yang harus dilakukan dalam penggunaan PSIM 9.0 antara lain:

1. Inisialisasi *Project*
2. Pembuatan simplifikasi *single line diagram*
3. *Run SIMVIEW Simulation*

### 3.5.1 Inisialisasi Project

Langkah pertama dalam membuat simplifikasi *single line diagram* adalah membuka *software* PSIM Version 9.0. Untuk memulainya maka perlu membuat *new project* yang dapat ditemukan dengan cara menekan menu *shortcut New*  pada *tab file* atau dapat dipilih melalui menu *File >> New* sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar 3.18 untuk membuat rangkaian.



**Gambar 3.18** Inisialisasi *project* PSIM Version 9.0

### 3.5.2 Pembuatan Simplifikasi *Single Line Diagram*

Simplifikasi *single line diagram* pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro diperlukan untuk memudahkan analisa pengaplikasian perancangan filter. Simplifikasi *single line diagram* diperlukan untuk menentukan besar hamonisa yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

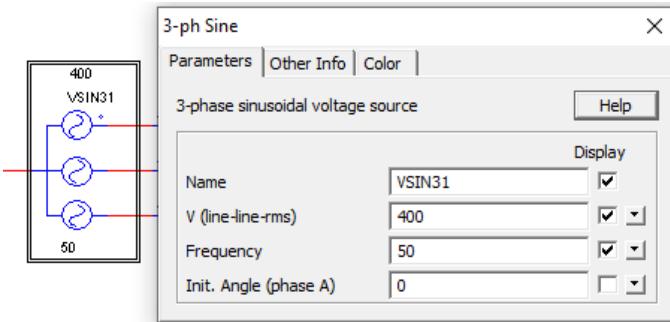
Setalah proses inisialisasi *project* selesai, maka lembar kerja *project* akan muncul untuk membuat rangkaian simplifikasi *single line diagram* sesuai dengan yang diinginkan. Pada bagian bawah lembar kerja terdapat komponen-komponen

umum dapat digunakan dalam pembuatan *single line diagram*. Apabila komponen tidak terdapat pada *tab* tersebut, komponen juga dapat ditemukan pada *shortcut element*. Tabel 3.10 menunjukkan beberapa komponen yang digunakan dalam simplifikasi pemodelan sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP:

**Tabel 3.10** Contoh komponen PSIM Version 9.0

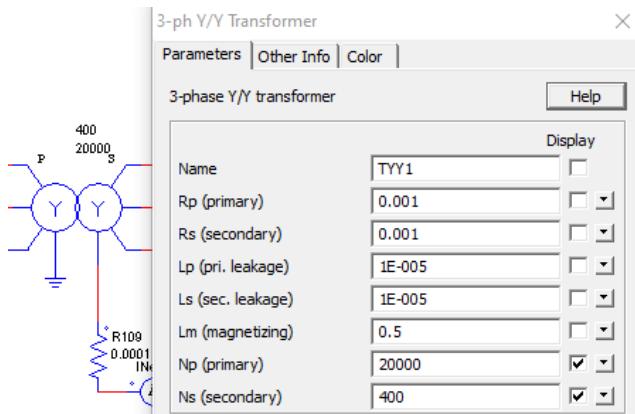
No.	Simbol	Keterangan
1.		3-phase sinusoidal voltage source
2.		Sinusoidal Current Source
3.		Current Probe
4.		Voltage Probe (node to ground)
5.		Resistor
6.		Induktor
7.		3-ph Y/Y Transformer
8.		Ground
9.		3-phase VA-power factor meter
10		AC Ammeter
11		AC Voltmeter

Parameter yang dipakai pada sumber, trafo, dan sumber harmonisa dalam pemodelan simplifikasi *single line diagram* menggunakan *software* PSIM antara lain:



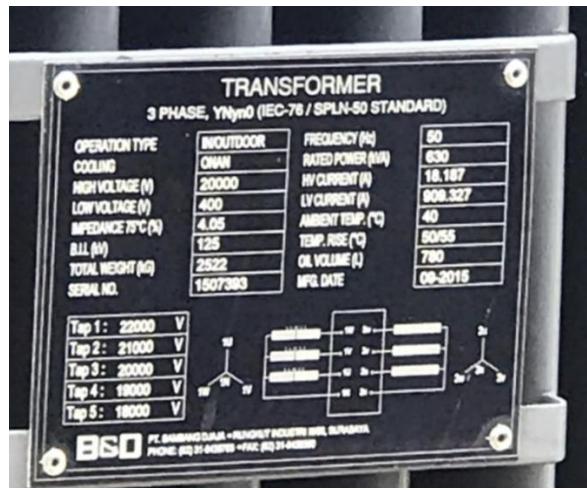
Gambar 3.19 Spesifikasi parameter sumber tiga fasa

Gambar 3.19 merupakan spesifikasi parameter sumber tiga fasa pada simplifikasi *single line diagram*. Spesifikasi parameter pada sumber tiga fasa diatas disesuaikan dengan data aslinya yang diambil dari dari PLN menuju trafo yang digunakan Teknik Elektro Universitas Diponegoro dapat dilihat pada Gambar 3.20.



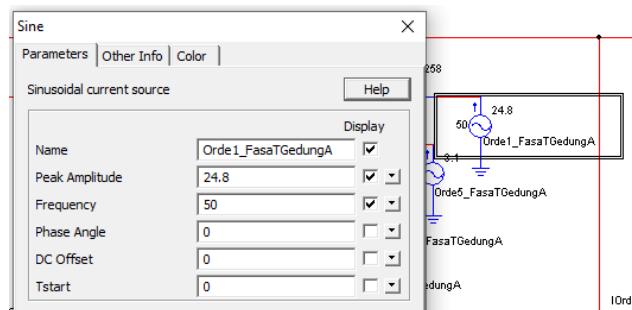
Gambar 3.20 Parameter Trafo

Parameter Trafo pada Gambar 3.20 yang digunakan pada simplifikasi *single line diagram* disesuaikan dengan *nameplate* trafo yang digunakan Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Gambar 3.21 merupakan *nameplate* trafo Teknik Elektro UNDIP:

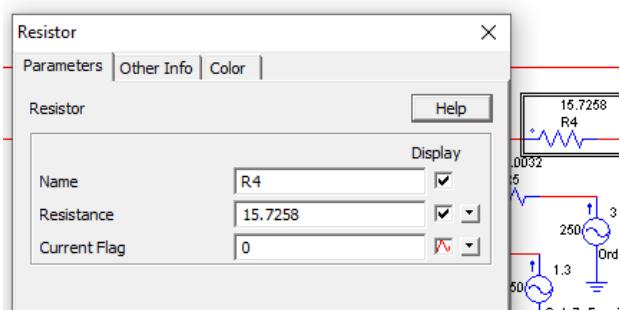


Gambar 3.21 Nameplate trafo Departemen Teknik Elektro UNDIP

Sumber harmonika pada simplifikasi diagram dibuat dengan menggunakan sumber arus atau *Sinusoidal Current Source*. Sumber arus pada Gambar 3.22 mendeskripsikan adanya beban harmonika yang menghasilkan arus distorsi pada gelombang fundamental.

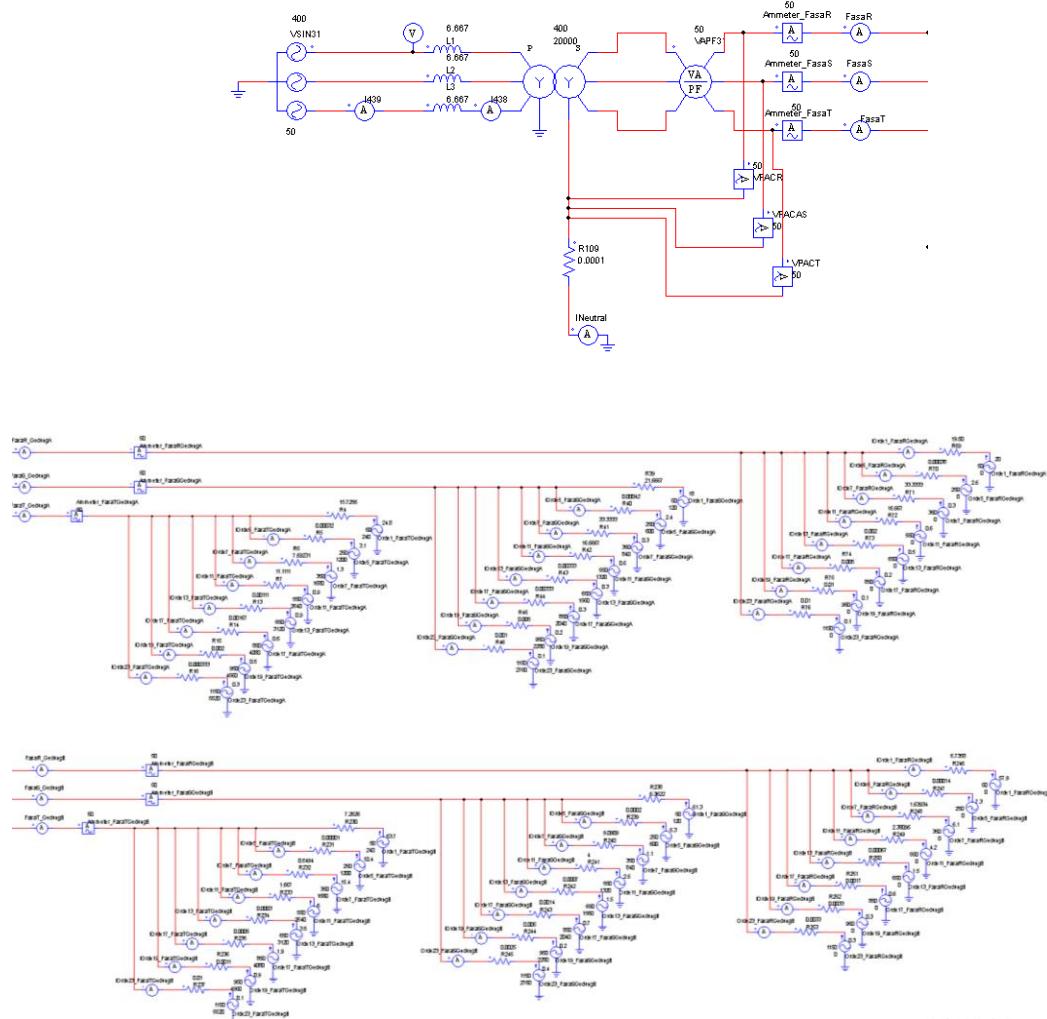


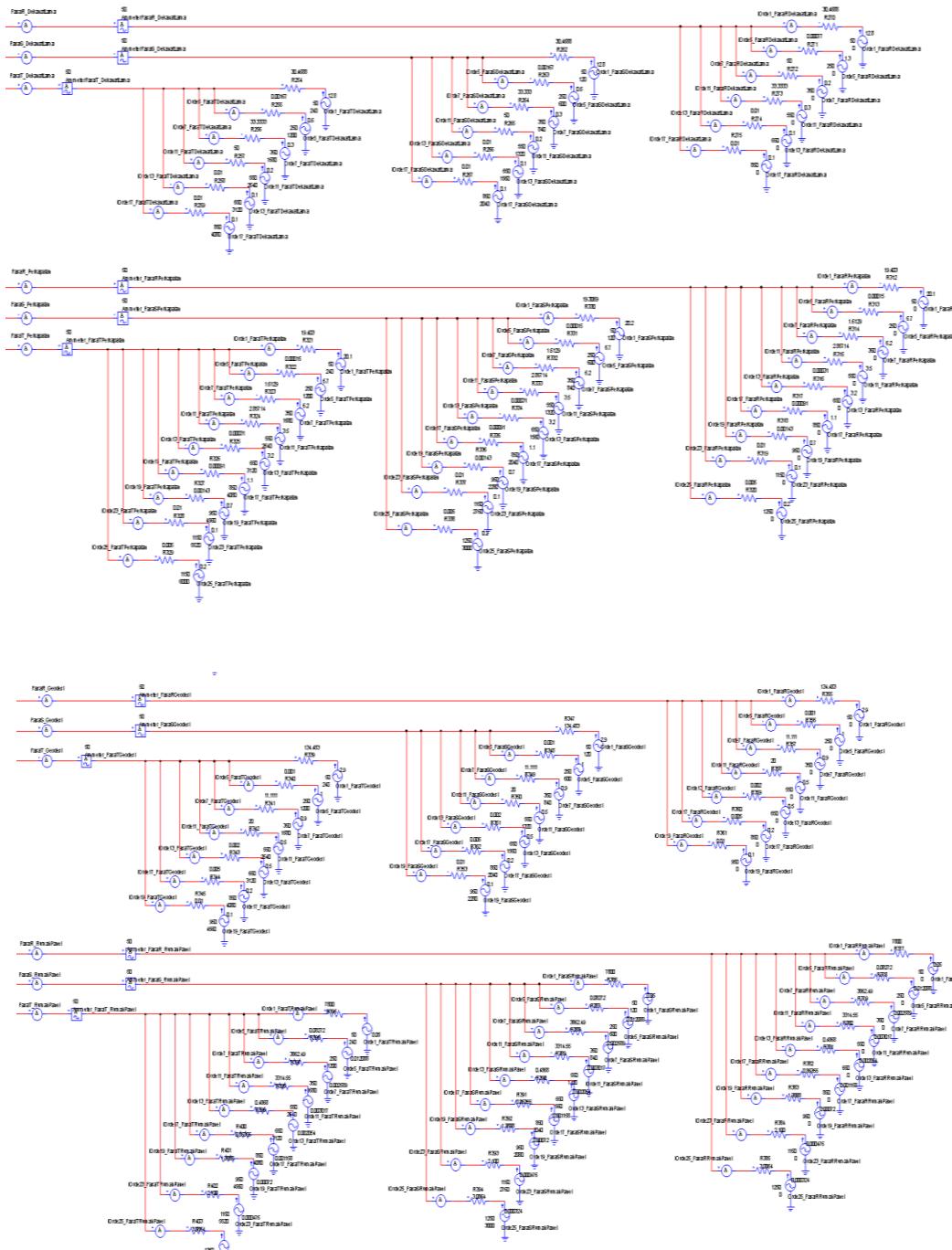
Gambar 3.22 Spesifikasi sumber harmonika



Gambar 3.23 Spesifikasi nilai resistansi

Gambar 3.23 menunjukkan spesifikasi nilai resistansi yang digunakan pada simplifikasi *single line diagram*, Nilai parameter diatas diambil dari nilai arus harmonika yang dihasilkan pada saat melakukan simulasi menggunakan software ETAP 12.0. Untuk mengetahui detail gambar keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Dengan menggunakan komponen dan parameter diatas, Gambar 3.24 menunjukkan tampilan dari hasil simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP dengan menggunakan PSIM Version 9.0 :



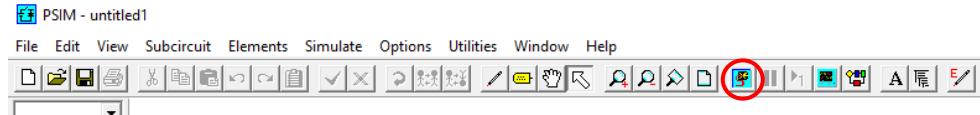


**Gambar 3.24** Pemodelan simplifikasi *single line diagram* gedung Teknik Elektro UNDIP

### 3.5.3 Run SIMVIEW Simulation

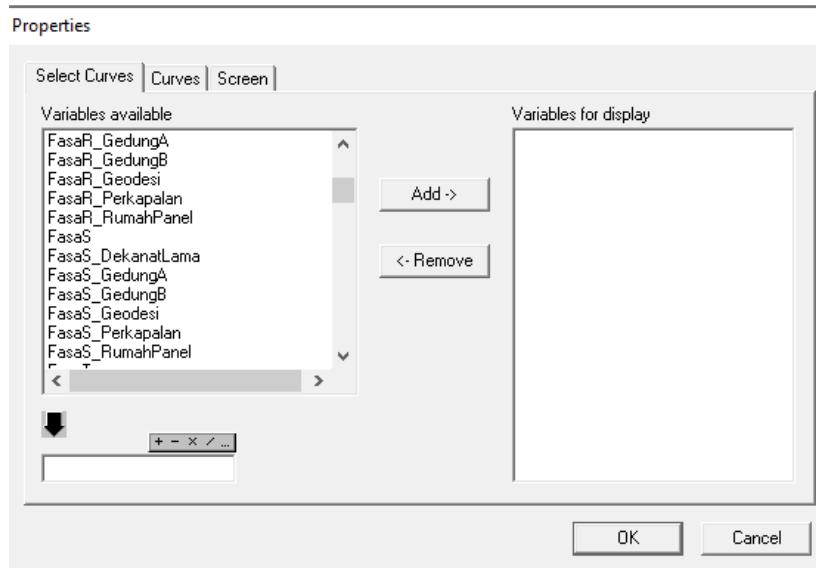
*Run SIMVIEW Simulation* digunakan untuk mengetahui bentuk gelombang harmonika serta bentuk spektrum arus harmonika yang mengalir pada beban di tiap fasa, yang nantinya akan digunakan dalam menentukan nilai standar THD arus.

Setelah selesai pembuatan simplifikasi *single line diagram* sesuai dengan sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP, klik *run simulation engine* seperti Gambar 3.25 dibawah ini:



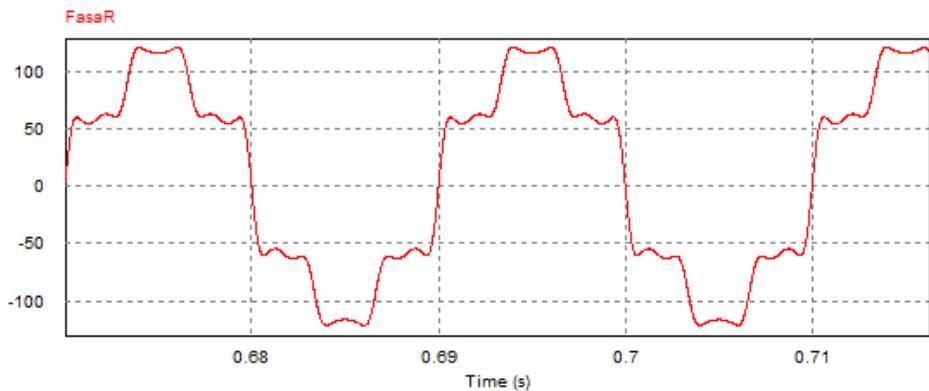
**Gambar 3.25** run simulation engine

Hasil *run simulation engine* akan menunjukkan tampilan Gambar 3.26 yang akan memberikan berbagai bentuk gelombang hasil simulasi adalah dengan klik pada simbol *variables available*.



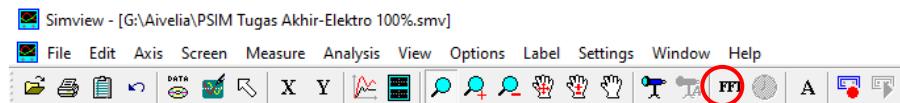
**Gambar 3.26** Variables yang tersedia saat SIMVIEW simulation

Setelah memilih variabel yang akan dianalisa maka akan muncul hasil gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.27.



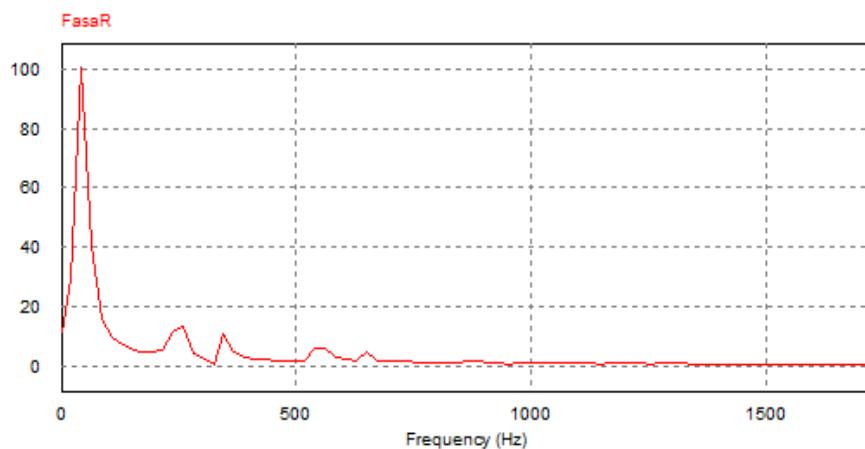
**Gambar 3.27** Hasil gelombang arus simplifikasi *single line diagram* pada fasa R

Untuk memunculkan bentuk spektrum arus harmonis dapat dilakukan dengan cara, klik FFT seperti Gambar 3.28 dibawah ini:



**Gambar 3.28** FFT

Hasil FFT ditunjukkan pada Gambar 3.29 dibawah ini yang menunjukkan arus yang mengalir ditiap fasa pada simplifikasi *single diagram* yang dapat diolah untuk menentukan standar THD arus.



**Gambar 3.29** Bentuk Gelombang Spektrum FFT Arus fasa R pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

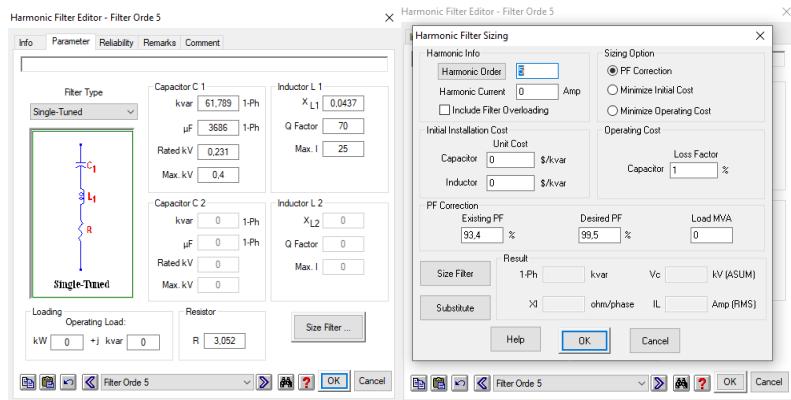
### 3.6 Pemodelan dan Simulasi Pemasangan Filter Pasif

Hasil simulasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro menunjukkan bahwa arus harmonika telah melebihi batas standar yang dijadikan acuan. Adanya harmonika pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari beban maupun dari peralatan-peralatan lainnya. Untuk mengurangi besarnya arus harmonika tersebut maka perlu digunakan sebuah alat yang dapat mengurangi arus harmonika tersebut hingga batas normal. Salah satu cara untuk mengurangi adalah dengan menggunakan filter pasif.

Filter pasif umumnya didesain sebagai rangkaian resonansi seri, yang juga disebut sebagai “jebakan” karena digunakan untuk menjebak atau mengontrol aliran dari arus. Penentuan nilai induktor dan kapasitor didasarkan oleh besar harmonika yang ada pada saat melakukan simulasi baik pada *software* ETAP 12.6.0 maupun PSIM 9.0.

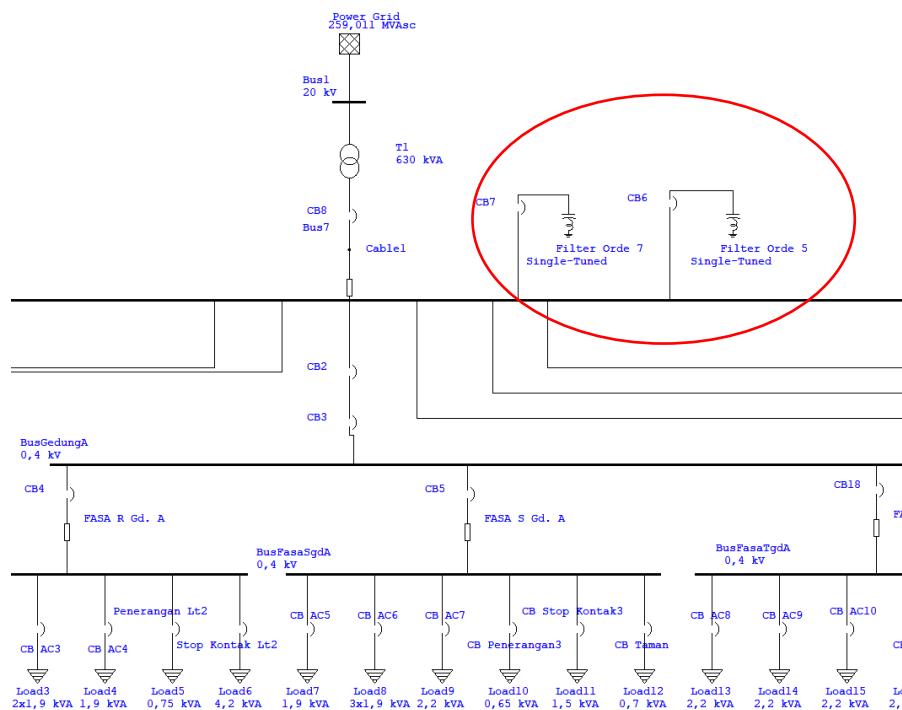
Dalam pemodelan dan simulasi sistem kelistrikan Teknik Elektro UNDIP digunakan *software* ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0 untuk menggambarkan *single line diagram*. Agar dapat mengurangi nilai distorsi harmoni yang telah disimulasikan pada kondisi sebelumnya, maka parameter dari hasil perancangan filter yang telah dihitung akan diolah dimasukkan dan disimulasikan dalam *single line diagram*. Hal ini bertujuan untuk mengalisa pengaruh dan kinerja filter terhadap harmonika di sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Hasil dari perancangan filter dan pemodelan sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro berdasarkan *single line* didapatkan bahwa peletakan filter yang direncanakan akan diletakkan sisi consumen pada bus 2. Gambar 3.30 merupakan parameter yang dipakai untuk pemasangan filter pasif *single-tuned* :



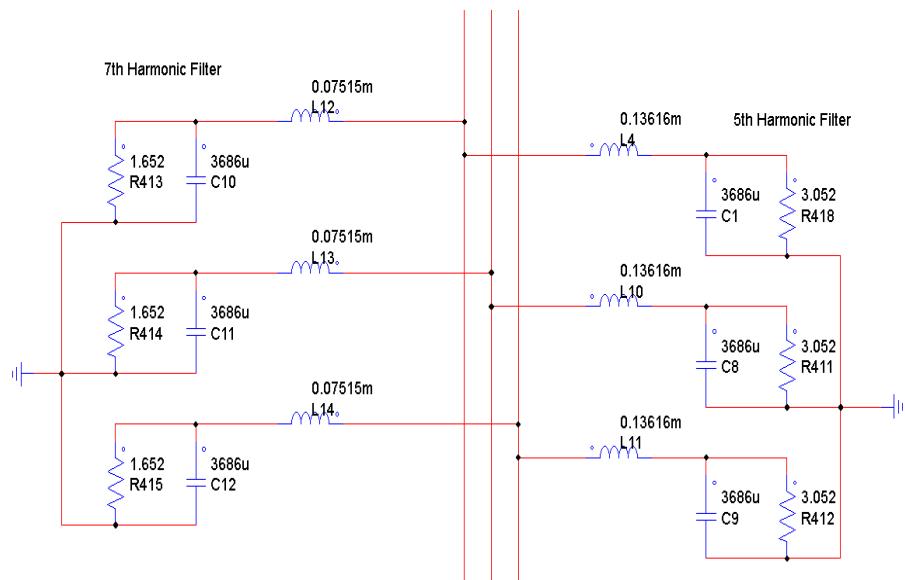
**Gambar 3.30** Spesifikasi parameter filter pasif *single-tuned* pada software ETAP 12.6.0

Gambar 3.31 berikut adalah hasil simulasi pemasangan filter harmonika pada bus 2 di departemen teknik elektro menggunakan software ETAP 12.6.0 :



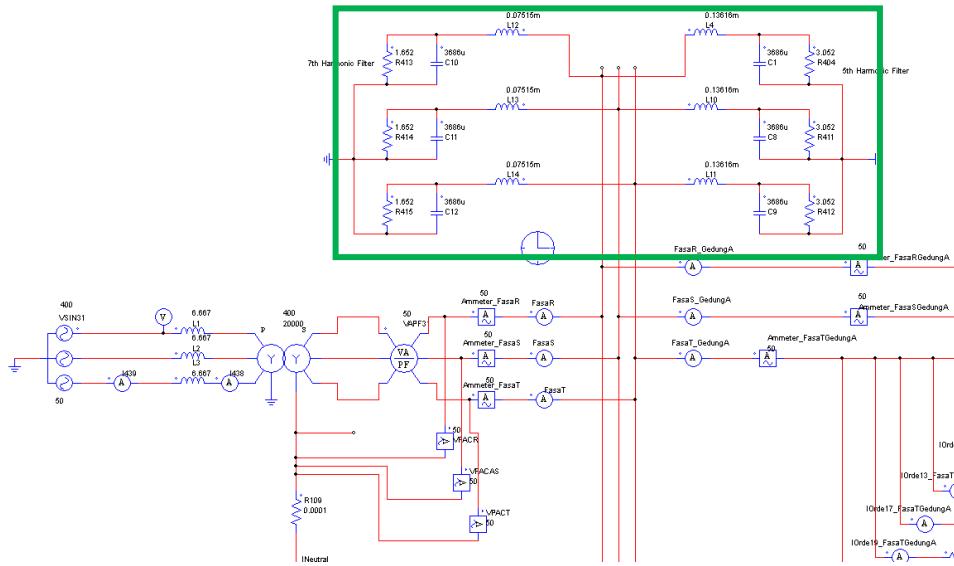
**Gambar 3.31** Simulasi pemasangan filter pasif pada software ETAP 12.6.0

Hasil dari perancangan filter dan pemodelan simplifikasi sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro berdasarkan *single line* yang dibuat menggunakan *software* PSIM 9.0 didapatkan bahwa peletakan filter direncanakan akan diletakkan sisi konsumen pada bus 3 fasa. Gambar 3.32 berikut merupakan parameter pada filter *single-tuned* orde 5 dan orde 7 pada simplifikasi *single line diagram* :



**Gambar 3.32** Spesifikasi parameter filter pasuf pada PSIM 9.0

Gambar 3.33 berikut adalah hasil simulasi pemasangan filter harmonika orde ke 5 dan orde ke 7 pada bus 3 fasa pada simplifikasi *single line diagram* di departemen teknik elektro menggunakan *software* PSIM :



**Gambar 3.33** Simulasi pemasangan filter pasif pada software PSIM 9.0

### 3.9 Evaluasi Hasil Simulasi

Evaluasi hasil simulasi harmonika pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro dilakukan terhadap beberapa kondisi yaitu [18]:

1. Kondisi beban Gedung A 100%, Gedung B 100%, dan Gedung Lain 40%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi Teknik Elektro beban maksimum ditambah dengan gedung lain yaitu Geodesi, Perkapalan, Dekanat Lama, dan Rumah Instalasi dengan kondisi beban masing-masing 40% dari beban maksimumnya.

2. Kondisi beban Gedung A 100% dan Gedung B 100%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi seluruh beban pada gedung A dan gedung B Teknik Elektro terhubung dengan sistem, atau dapat disebut kondisi Teknik Elektro dengan beban maksimum.

3. Kondisi beban Gedung A 100% dan Gedung B 60%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi seluruh beban pada gedung A T. Elektro terhubung dengan sistem,

sedangkan pada gedung B T. Elektro hanya beban yang terdapat pada lantai 1 dan 2 saja yang terhubung dengan sistem.

4. Kondisi beban Gedung A 100% dan Gedung B 30%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi seluruh beban pada gedung A T. Elektro terhubung dengan sistem, sedangkan pada gedung B T. Elektro hanya beban yang terdapat pada lantai 1 saja yang terhubung dengan sistem.

Kondisi tersebut didapatkan berdasarkan kondisi yang mungkin terjadi kemudian akan dibandingkan dan dianalisis sesuai dengan standart harmonisa pada SPLN D5.004-1: 2012. Kondisi tersebut kemudian akan dibandingkan dengan adanya kondisi sebelum dilaksanakan perbaikan harmonisa serta kondisi setelah perbaikan harmonisa yang dilakukan dengan pemasangan filter untuk mengetahui pengaruh dan kinerja filter terhadap beberapa kondisi di Departemen Teknik Elektro.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Rangakaian pemodelan sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro berfokus pada perbaikan kualitas daya, tepatnya pada peredaman frekuensi harmonisa yang muncul. Perbaikan sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro dilakukan dengan cara menjalankan simulasi dan melakukan analisa terhadap beberapa kondisi yang mungkin terjadi. Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui data yang diperlukan untuk keberhasilan perancangan filter yang akan dipasang pada sistem kelistrikan. Tahapan yang akan dilakukan untuk mendapatkan analisa tersebut adalah dengan menjalankan simulasi aliran daya dan harmonisa pada beberapa kondisi sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro yang telah disesuaikan dengan kondisi beban di lapangan. Simulasi tersebut dibedakan menjadi empat kondisi yaitu kondisi[18] :

1. Kondisi beban Gedung A 100%, Gedung B 100%, dan Gedung Lain 40%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi Teknik Elektro beban maksimum ditambah dengan gedung lain yaitu Geodesi, Perkapalan, Dekanat Lama, dan Rumah Instalasi dengan kondisi beban masing-masing 40% dari beban maksimumnya.

2. Kondisi beban Gedung A 100% dan Gedung B 100%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi seluruh beban pada gedung A dan gedung B Teknik Elektro terhubung dengan sistem, atau dapat disebut kondisi Teknik Elektro dengan beban maksimum.

3. Kondisi beban Gedung A 100% dan Gedung B 60%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi seluruh beban pada gedung A T. Elektro terhubung dengan sistem, sedangkan pada gedung B T. Elektro hanya beban yang terdapat pada lantai 1 dan 2 saja yang terhubung dengan sistem.

4. Kondisi beban Gedung A 100% dan Gedung B 30%.

Maksud kondisi ini adalah pengujian dilakukan dengan kondisi seluruh beban pada gedung A T. Elektro terhubung dengan sistem, sedangkan pada gedung B T. Elektro hanya beban yang terdapat pada lantai 1 saja yang terhubung dengan sistem.

Keempat kondisi tersebut dilakukan sebagai bahan penunjang untuk mengetahui kinerja filter pasif dalam meredam harmonisa terhadap beberapa kondisi yang mungkin terjadi.

#### **4.1 Simulasi Sistem Tenaga Menggunakan ETAP 12.6.0**

Dalam mengimplementasikan sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro, telah dibuat beberapa skenario untuk menggambarkan berbagai kondisi pembebangan yang mungkin terjadi. Simulasi ini dijalankan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dalam keadaan sistem belum terpasang filter yang bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem kelistrikan di departemen Teknik Elektro.

##### **4.1.1 Simulasi Aliran Daya**

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui besar tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang ada pada sistem kelistrikan dengan keempat skenario yang dibuat. Dari simulasi tersebut didapatkan hasil kondisi *existing* yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

<b>Kondisi</b>	<b>kV</b> (%)	<b>Arus</b> (A)	<b>pF</b> (%)	<b>P</b> (kW)	<b>Q</b> (kVAR)	<b>S</b> (kVA)	<b>IHD<sub>i</sub></b> (%)
1	98,73	343,3	93,4	219	83,863	234,8	15,63
2	99,11	236,8	92,61	151	61,319	163	13,22
3	99,32	180,3	92,07	114	48,413	124	10,27
4	99,47	138,1	91,5	87	38,446	95	6,60

➤ Kondisi 1

Simulasi aliran daya pada kondisi 1 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan yang mengalami pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan. Dari simulasi tersebut bahwa nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 98,37%, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1:2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal.

Nilai faktor daya pada semua bus dikondisi tersebut telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*.

Dari hasil simulasi pada kondisi 1 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} PF_{dist} &= \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}} \\ PF_{dist} &= \frac{1}{\sqrt{1 + (0,163)^2}} \\ PF_{dist} &= 0,99 \end{aligned}$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$\begin{aligned} PF_{true} &= PF_{disp} \times PF_{dist} \\ PF_{true} &= 0,934 \times 0,99 \\ PF_{true} &= 0,9227 \times 100\% \\ PF_{true} &= 92,27\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 1 sebesar 92,97%. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban *non-linear* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

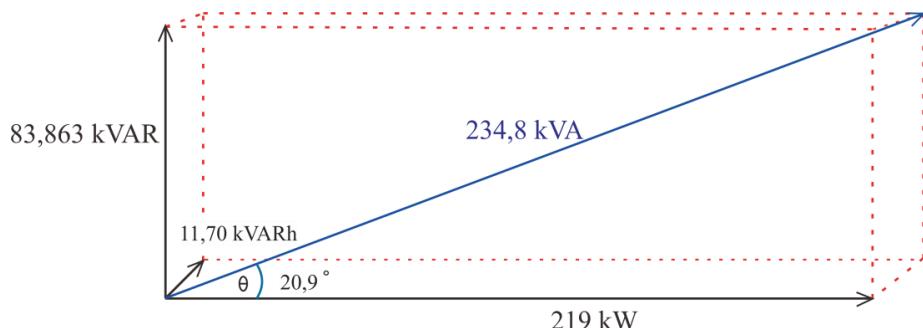
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(234,8)^2 - (219)^2 - (83,863)^2}$$

$$H = 11,70629 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 1 sebesar 11,70629 kVAR<sub>H</sub>. Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada Gambar 4.1 berikut :



**Gambar 4.1** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 1

Gambar 4.1 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan mengalami pembebahan 100% beban Departemen Teknik Elektro dan 40% beban dari Dekanat lama, gedung Perkapalan, dan Gedung Geodesi, maka pada sistem kelistrikan tersebut akan menghasilkan daya harmonisa sebesar 11,70629 kVARH. Besarnya nilai harmonisa dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya, juga dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan

elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer, transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

➤ Kondisi 2

Simulasi aliran daya pada kondisi 2 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan yang mengalami pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro. Dari simulasi tersebut didapatkan nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 99,11%, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1: 2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal.

Nilai faktor daya pada kondisi tersebut telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*. Dari hasil simulasi pada kondisi 2 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya yang sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,132)^2}}$$

$$PF_{dist} = 0,988$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0,9261 \times 0,988$$

$$PF_{true} = 0,9181 \times 100\%$$

$$PF_{true} = 91,81 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 2 sebesar 91,81%. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban *non-linear* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

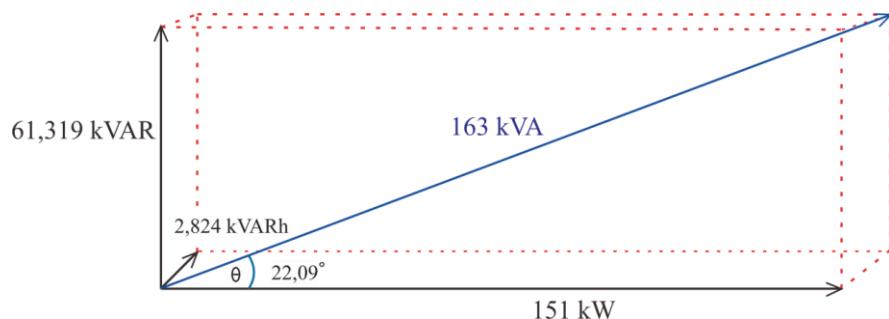
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(163)^2 - (151)^2 - (61,319)^2}$$

$$H = 2,824 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 2 sebesar 2,824 kVAR<sub>H</sub>. Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada Gambar 4.2 berikut :



**Gambar 4.2** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 2

Gambar 4.2 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan mengalami pembebanan 100% beban Departemen Teknik Elektro, maka pada sistem kelistrikan tersebut akan menghasilkan daya harmonisa sebesar 2,824 kVARH. Besarnya nilai harmonisa dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya, juga dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer,

transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

➤ Kondisi 3

Simulasi aliran daya pada kondisi 3 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro yang mengalami pembebangan 100 % dari beban Gedung A dan 60% beban pada Gedung B. Dari simulasi tersebut didapatkan nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 99,32 %, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1: 2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah ±5% dari tegangan nominal.

Nilai faktor daya pada kondisi tersebut telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*.

Dari hasil simulasi pada kondisi 3 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya yang sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.1027)^2}}$$

$$PF_{dist} = 0,99$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0,9207 \times 0,99$$

$$PF_{true} = 91,58 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 3 sebesar 91,58 %. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban *non-linear* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

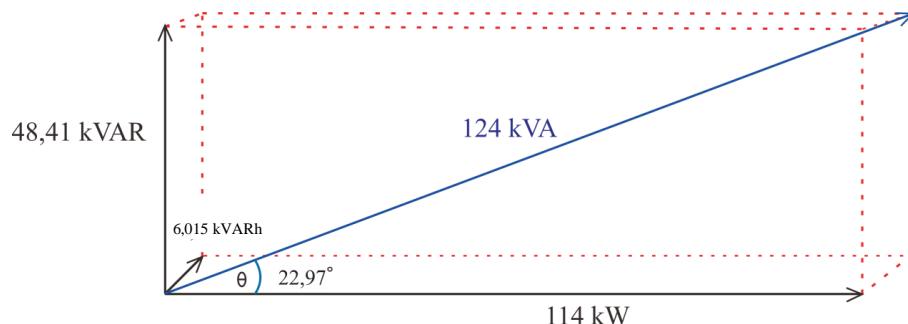
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(124)^2 - (114)^2 - (48,413)^2}$$

$$H = 6,0151 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 3 sebesar 6,015 kVAR<sub>H</sub>. Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada Gambar 4.3 berikut :



**Gambar 4.3** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 3

Gambar 4.3 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan mengalami pembebanan 100 % dari beban Gedung A dan 60% beban pada Gedung B, maka pada sistem kelistrikan tersebut akan menghasilkan daya harmonisa sebesar 6,015 kVARH. Besarnya nilai harmonisa dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya juga dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer,

transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

➤ Kondisi 4

Simulasi aliran daya pada kondisi 4 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro yang mengalami pembebangan 100 % dari beban Gedung A dan 30% beban pada Gedung B. Dari simulasi tersebut didapatkan nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 99,47 %, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1: 2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah ±5% dari tegangan nominal. Nilai faktor daya pada kondisi tersebut telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*. Dari hasil simulasi pada kondisi 4 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya yang sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,066)^2}}$$

$$PF_{dist} = 1$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0,915 \times 1$$

$$PF_{true} = 0,9130 \times 100\%$$

$$PF_{true} = 91,3 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 4 sebesar 91,3 %. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonika pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban *non-linear* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

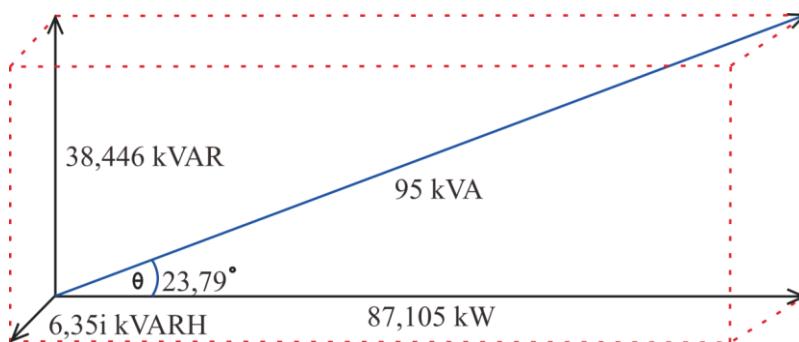
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(95)^2 - (87,105)^2 - (38,446)^2}$$

$$H = 6,35i \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonika pada kondisi 3 sebesar  $6,35i$  kVAR<sub>H</sub>. Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada Gambar 4.4 berikut :



**Gambar 4.4** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonika pada kondisi 4

Gambar 4.4 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan mengalami pembebanan 100 % dari beban Gedung A dan 30% beban pada Gedung B, maka pada sistem kelistrikan tersebut akan menghasilkan daya harmonika sebesar 1,44 kVARH. Besarnya nilai harmonika dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya juga dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai daya distorsi harmonika pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan

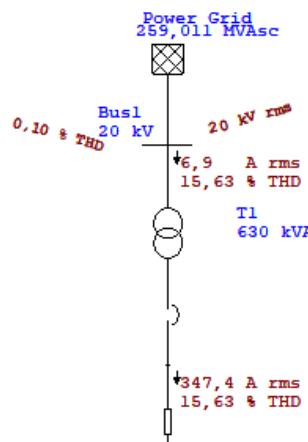
elektronik yang tepat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer, transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

#### 4.1.2 Simulasi Analisis Harmonis

Simulasi *harmonic analysis* dilakukan untuk mengetahui besar tegangan harmonis dan arus harmonis tiap orde yang ada pada sistem kelistrikan dengan keempat *scenario* yang dibuat. Informasi nilai harmonis diperlukan untuk menentukan proses identifikasi orde yang perlu dieliminasi untuk meminimalisir timbulnya harmonis pada sistem.

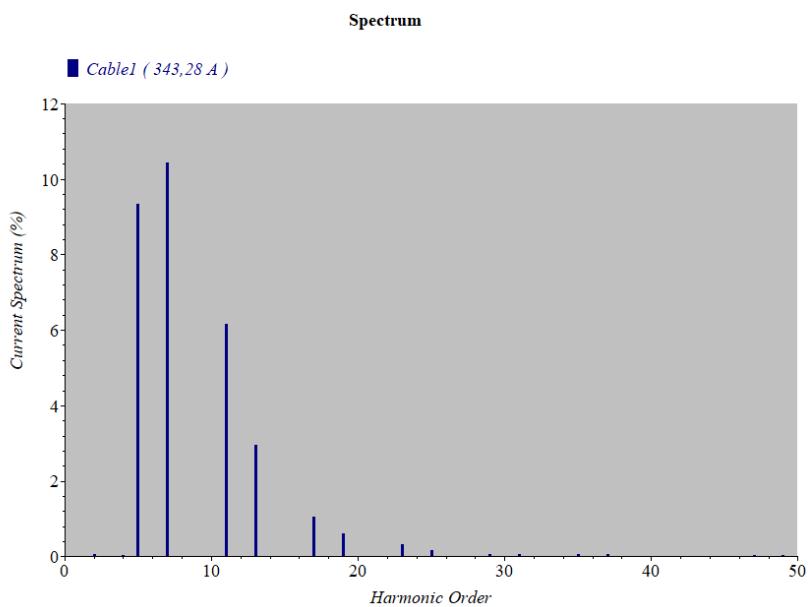
##### ➤ Kondisi 1

Berdasarkan simulasi analisis harmonis yang dilakukan pada kondisi 1 yang mengalami pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut :



**Gambar 4.5** Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa besar nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi 1. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THD<sub>v</sub> sebesar 2,63%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk system dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Dapat dilihat juga untuk THD arus pada Bus Utama adalah sebesar 15,63%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut telah melampaui batas maksimalnya yaitu 12%. Besarnya nilai harmonisa arus pada sistem kelistrikan tersebut dikarenakan beban *non-linear* pada kondisi ini bekerja sepenuhnya.



**Gambar 4.6** Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Gambar 4.6 Merupakan gambar gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan. Dari Gambar 4.6 terdapat arus harmonisa yang dominan pada orde ke 5 yaitu sebesar 9,3% dan pada orde ke 7 yaitu sebesar 10,4 % dari arus harmonisa total. Dilihat dari nilai tersebut, orde 5 dan orde 7 merupakan harmonisa ganjil.

Orde harmonisa tersebut muncul akibat adanya sumber harmonisa yang terletak pada transformator. Orde 5 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yaitu perlambatan kecepatan putar motor. Sedangkan harmonisa orde 7 merupakan harmonisa urutan positif yang dapat menyebabkan penambahan panas pada konduktor, *circuit breaker*, dan panel-panel lainnya.

Pada kondisi tersebut apabila gangguan harmonisa dibiarkan melampaui batas standar maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari peralatan elektronik yang terpasang. Untuk meminimalisir dampak tersebut, maka perlu digunakan alat yang dapat mengkompensasi arus harmonisa hingga mencapai batas normal. Salah satu cara yang dapat dipakai untuk mengkompensasi nilai harmonisa adalah dengan memasang filter pasif pada sistem kelistrikan. Untuk melakukan simplifikasi *single line diagram* diperlukan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) tiap orde untuk masing-masing fasa tiap gedung. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 .

**Tabel 4.2** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung A

Orde Ke	Gedung A					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	390	20	390	18	390	24,8
5	0,001	2,6	0,001	2,4	0,001	3,1
7	10	0,3	10	0,3	10	1,3
11	10	0,6	10	0,6	10	0,9
13	0,001	0,5	0,001	0,3	0,001	0,9
17	0,001	0,2	0,001	0,3	0,001	0,6
19	0,001	0,1	0,001	0,2	0,001	0,5
23	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,3
25	0,001	0	0,001	0	0,001	0,3

**Tabel 4.3** Data Individual Harmonic Distortion (IHD) Gedung B

Orde Ke	Gedung B					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	390	57,9	390	61,3	390	53,7
5	0,001	7,3	0,001	6,3	0,001	10,4
7	10	6,1	10	1,1	10	15,4
11	10	4,2	10	2,5	10	6
13	0,001	1,5	0,001	1,5	0,001	3,5
17	0,001	0,6	0,001	0,7	0,001	1,9
19	0,001	0,3	0,001	0,2	0,001	0,9
23	0,001	0,3	0,001	0,4	0,001	0,1
25	0,001	0,2	0,001	0,3	0,001	0,4

**Tabel 4.4** Data Individual Harmonic Distortion (IHD) Gedung Dekanat Lama

Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	390	12,8	390	12,8	390	12,8
5	0,001	1,3	0,001	1,3	0,001	1,3
7	10	0,2	10	0,2	10	0,2
11	10	0,3	10	0,3	10	0,3
13	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,1
17	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,1
25	0,001	0	0,001	0	0,001	0

**Tabel 4.5** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung Perkapalan

Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	390	20,1	390	20,2	390	20,1
5	0,001	6,7	0,001	6,7	0,001	6,7
7	10	6,2	10	6,2	10	6,2
11	10	3,5	10	3,5	10	3,5
13	0,001	3,2	0,001	3,2	0,001	3,2
17	0,001	1,1	0,001	1,1	0,001	1,1
19	0,001	0,7	0,001	0,7	0,001	0,7
23	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,1
25	0,001	0,2	0,001	0,2	0,001	0,2

**Tabel 4.6** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung Geodesi

Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	390	2,9	390	2,9	390	2,9
5	0,001	1	0,001	1	0,001	1
7	10	0,9	10	0,9	10	0,9
11	10	0,5	10	0,5	10	0,5
13	0,001	0,5	0,001	0,5	0,001	0,5
17	0,001	0,2	0,001	0,2	0,001	0,2
19	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,1
25	0,001	0	0,001	0	0,001	0

**Tabel 4.7** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung Rumah Panel

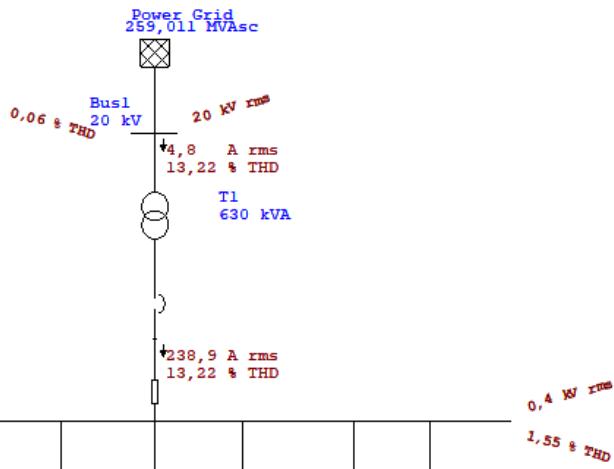
Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	390	0,05	390	0,05	390	0,05
5	0,001	0,012088	0,001	0,012088	0,001	0,012088
7	10	0,002589	10	0,002589	10	0,002589
11	10	0,003017	10	0,003017	10	0,003017
13	0,001	0,002054	0,001	0,002054	0,001	0,002054
17	0,001	0,001158	0,001	0,001158	0,001	0,001158
19	0,001	0,00072	0,001	0,00072	0,001	0,00072
23	0,001	0,000476	0,001	0,000476	0,001	0,000476
25	0,001	0,000324	0,001	0,000324	0,001	0,000324

Berdasarkan Tabel 4.2 , Tabel 4.3 , Tabel 4.4 , Tabel 4.5 , Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 menunjukkan bahwa *Individual Harmonic Distortion* (IHD) memiliki nilai cukup besar berada pada orde ganjil saja. Orde harmonisa tersebut muncul akibat adanya sumber harmonisa yang terletak pada transformator. Untuk mendukung analisa kinerja pemasangan filter pasif terhadap masing-masing fasa pada sistem kelistrikan, maka dapat dibuat simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan *software* PSIM 9.0.

Pada penelitian ini data simulasi dengan kondisi beban penuh beserta 40% pembebanan pada gedung dekanat lama, perkapanan dan Geodesi akan dipakai sebagai acuan dalam perancangan filter pasif. Data harmonik arus terbesar pada hasil simulasi akan digunakan untuk menentukan orde yang akan difilter dari sistem. Hal tersebut dikarenakan lebih menjamin besarnya harmonik pada sistem akan berada dalam batas standar yang layak sesuai dengan SPLN D5.004-1:2012.

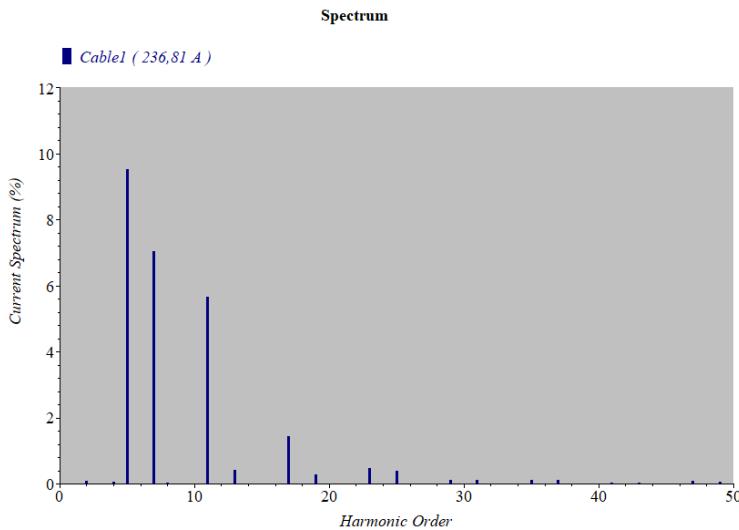
➤ Kondisi 2

Simulasi analisis harmonika pada kondisi 2 dilakukan dengan pembebangan penuh dari beban di Departemen Teknik Elektro. Dari simulasi tersebut diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut :



**Gambar 4.7** Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebangan penuh di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi harmonika pada kondisi 2 yang berisi mengenai nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THDv sebesar 1,55%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Dapat dilihat juga untuk THD arus pada Bus Utama sebesar 13,22%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut telah melampaui batas maksimalnya yaitu 12%. Besarnya nilai harmonika arus pada sistem kelistrikan tersebut dikarenakan maraknya penggunaan beban *non-linear*.



**Gambar 4.8** Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.8 merupakan gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro yang mengalami pembebanan penuh. Dari tersebut dapat dilihat terdapat arus harmonisa yang dominan terdapat pada orde ke 5 yaitu sebesar 9.5% dari arus harmonisa total dan pada orde ke 7 yaitu sebesar 7 % dari arus harmonisa total. Dilihat dari nilai tersebut, orde 5 dan orde 7 merupakan harmonisa ganjil. Dilihat berdasarkan polaritasnya, orde 5 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan secara terus menerus akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Sedangkan harmonisa orde 7 merupakan harmonisa urutan positif yang dapat menyebabkan penambahan panas pada konduktor, *circuit breaker*, dan panel-panel lainnya.

Pada kondisi tersebut apabila gangguan harmonisa dibiarkan melampaui batas standar maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari peralatan elektronik yang terpasang dan juga kerugian pada trafo pemakaian sendiri. Untuk meminimalisir dampak tersebut, maka perlu digunakan alat yang dapat mengkompensasi arus harmonisa hingga mencapai batas normal. Salah satu cara yang dapat dipakai untuk mengkompensasi nilai harmonisa adalah dengan memasang filter pasif pada sistem kelistrikan.

Untuk melakukan simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen dengan kondisi tersebut, simulasi analisis harmonis dilakukan untuk mendapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) tiap orde untuk masing-masing fasa tiap gedung. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9, dan Tabel 4.10

**Tabel 4.8** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung A

Orde Ke	Gedung A					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	20,1	400	18,1	400	24,9
5	0,001	2,5	0,001	2,3	0,001	3,2
7	0,001	0,5	0,001	0,4	0,001	1,2
11	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	1
13	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	0,8
17	0,001	0,1	0,001	0,2	0,001	0,6
19	0,001	0,1	0,001	0,2	0,001	0,5
23	0,001	0,1	0,001	0,1	0,001	0,3
25	0,001	0,1	0,001	0	0,001	0,2

**Tabel 4.9** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung B

Orde Ke	Gedung B					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	58,1	400	61,5	400	53,8
5	0,001	7,2	0,001	6,1	0,001	10,4
7	0,001	6,4	0,001	1,3	0,001	8,3
11	0,001	4,4	0,001	2,5	0,001	6
13	0,001	1,9	0,001	1,5	0,001	3,3
17	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	1,7
19	0,001	0,5	0,001	0,2	0,001	0,8
23	0,001	0,3	0,001	0,4	0,001	0,1
25	0,001	0,2	0,001	0,3	0,001	0,4

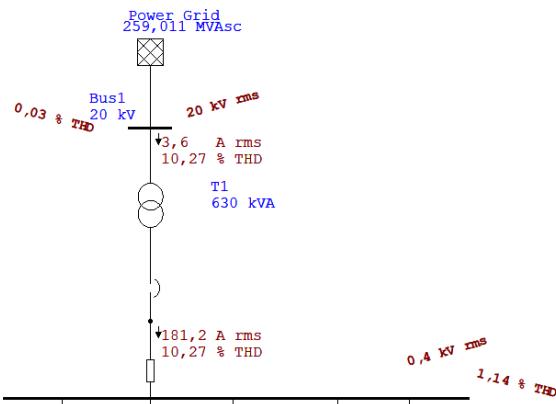
**Tabel 4.10** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung Rumah Panel

Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	0,05	400	0,05	400	0,05
5	0,001	0,012088	0,001	0,012088	0,001	0,012088
7	0,001	0,002589	0,001	0,002589	0,001	0,002589
11	0,001	0,003017	0,001	0,003017	0,001	0,003017
13	0,001	0,002054	0,001	0,002054	0,001	0,002054
17	0,001	0,001158	0,001	0,001158	0,001	0,001158
19	0,001	0,00072	0,001	0,00072	0,001	0,00072
23	0,001	0,000476	0,001	0,000476	0,001	0,000476
25	0,001	0,000324	0,001	0,000324	0,001	0,000324

Berdasarkan Tabel 4.8 , Tabel 4.9, Tabel 4.10, menunjukkan bahwa *Individual Harmonic Distortion* (IHD) memiliki nilai cukup besar berada pada orde ganjil saja. Orde harmonisa tersebut muncul akibat adanya sumber harmonisa yang terletak pada transformator. Untuk mendukung analisa kinerja pemasangan filter pasif tiap fasa pada sistem kelistrikan, maka dapat dibuat simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan *software PSIM 9.0*. Pada penelitian ini data simulasi dengan kondisi beban penuh di Departemen Teknik Elektro akan dipakai untuk menganalisa kinerja dan pengaruh dari pemasangan filter pasif terhadap beberapa kondisi yang mungkin akan terjadi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

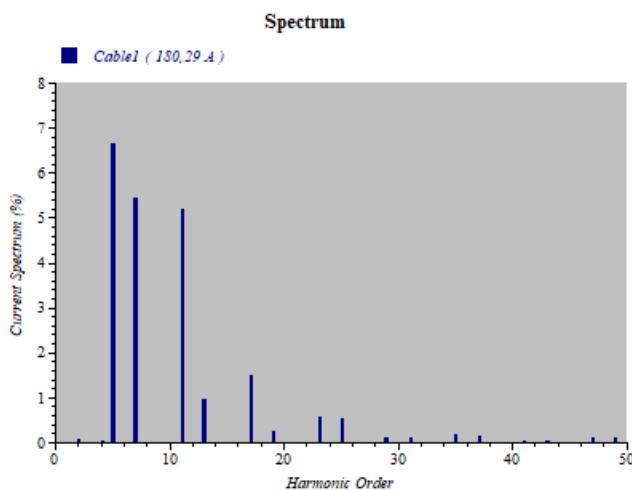
#### ➤ Kondisi 3

Simulasi analisis harmonisa pada kondisi 3 dilakukan dengan pembebangan 100% gedung A dan 60 % dari gedung B. Dari simulasi tersebut diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut :



**Gambar 4.9** Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebanan 100% gedung A dan 60% gedung B

Gambar 4.9 menunjukkan hasil simulasi harmonis pada kondisi 3 yang berisi mengenai nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THDv sebesar 1,14%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk system dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. THD arus pada Bus Utama sebesar 10,27%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut masih berada pada batas amannya yaitu 12%. Nilai THD tegangan dan arus pada kondisi ini terbilang sangat kecil dikarenakan pada kondisi ini beban *non-linear* yang terdapat pada Gedung B tidak bekerja sepenuhnya.



**Gambar 4.10** Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebanan 100% gedung A dan 60% gedung B

Gambar 4.10 Merupakan gambar gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro yang mengalami pembebangan pembebangan 100 % Gedung A dan 60 % Gedung B. Dari Gambar 4.10 nilai arus harmonisa yang dominan terdapat pada orde ke 5 yaitu sebesar 6,7% dari arus harmonisa total dan pada orde ke 7 yaitu sebesar 5,5% dari arus harmonisa total.

Dilihat berdasarkan polaritasnya, orde 5 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan dapat mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Sedangkan harmonisa orde 7 merupakan harmonisa urutan positif yang dapat menyebabkan penambahan panas pada konduktor, *circuit breaker*, dan panel-panel lainnya. Selain itu nilai harmonisa yang tetap dibiarkan terus-menerus maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari peralatan elektronik yang terpasang dan juga kerugian pada trafo pemakaian sendiri.

Untuk melakukan simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen diperlukan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) tiap orde untuk masing-masing fasa tiap gedung. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13.

**Tabel 4.11** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung A

Orde Ke	Gedung A					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	20,1	400	18,2	400	25
5	0,001	2,5	0,001	2,3	0,001	3,1
7	0,001	0,5	0,001	0,5	0,001	1,2
11	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	1,1
13	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	0,7
17	0,001	0,1	0,001	0,2	0,001	0,6
19	0,001	0,1	0,001	0,2	0,001	0,5
25	0,001		0,001		0,001	0,2

**Tabel 4.12** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung B

Orde Ke	Gedung B					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	33,3	400	47,4	400	36,2
5	0,001	2,2	0,001	3,3	0,001	8
7	0,001	0,4	0,001	0,8	0,001	7,7
11	0,001	1,2	0,001	2,1	0,001	5
13	0,001	1,1	0,001	1,3	0,001	3,4
17	0,001	0,1	0,001	0,3	0,001	1,4
19	0,001	0,2	0,001	0,2	0,001	0,9
23	0,001	0,3	0,001	0,4	0,001	0,1
25	0,001	0,2	0,001	0,3	0,001	0,3

**Tabel 4.13** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung Rumah Panel

Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	0,05	400	0,05	400	0,05
5	0,001	0,012088	0,001	0,012088	0,001	0,012088
7	0,001	0,002589	0,001	0,002589	0,001	0,002589
11	0,001	0,003017	0,001	0,003017	0,001	0,003017
13	0,001	0,002054	0,001	0,002054	0,001	0,002054
17	0,001	0,001158	0,001	0,001158	0,001	0,001158
19	0,001	0,00072	0,001	0,00072	0,001	0,00072
23	0,001	0,000476	0,001	0,000476	0,001	0,000476
25	0,001	0,000324	0,001	0,000324	0,001	0,000324

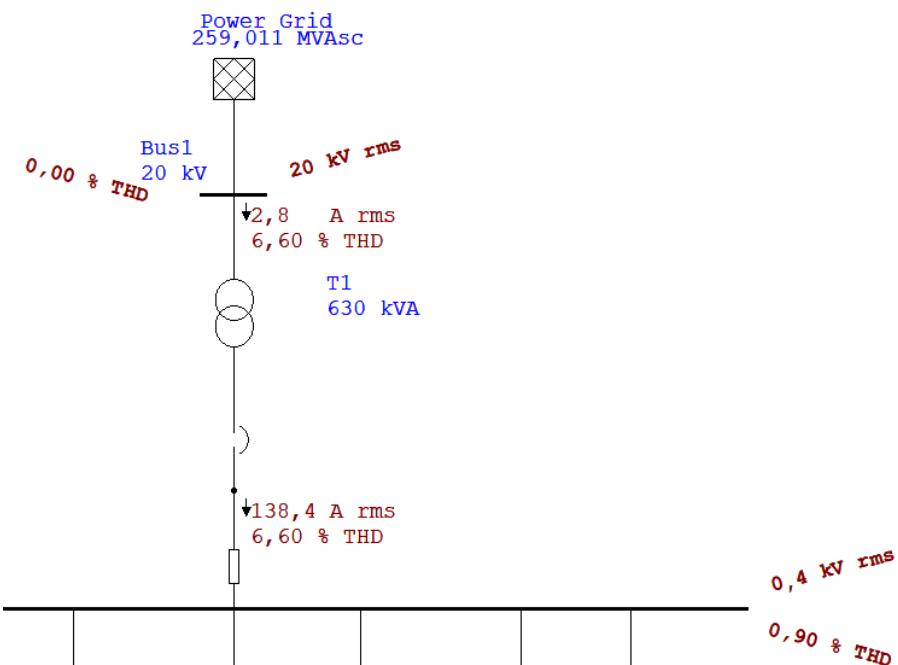
Berdasarkan Tabel 4.11, Tabel 4.12, Tabel 4.13, menunjukkan bahwa *Individual Harmonic Distortion* (IHD) memiliki nilai cukup besar berada pada orde ganjil saja. Orde harmonisa tersebut muncul akibat adanya sumber harmonisa

yang terletak pada transformator. Untuk mendukung analisa kinerja pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro terhadap masing-masing fasa pada sistem kelistrikan, maka dapat dibuat simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan *software PSIM 9.0*.

Pada penelitian ini data simulasi dengan kondisi pembebahan 100 % Gedung A dan 60 % Gedung B akan dipakai untuk menganalisa kinerja dan pengaruh dari pemasangan filter pasif terhadap beberapa kondisi yang mungkin akan terjadi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

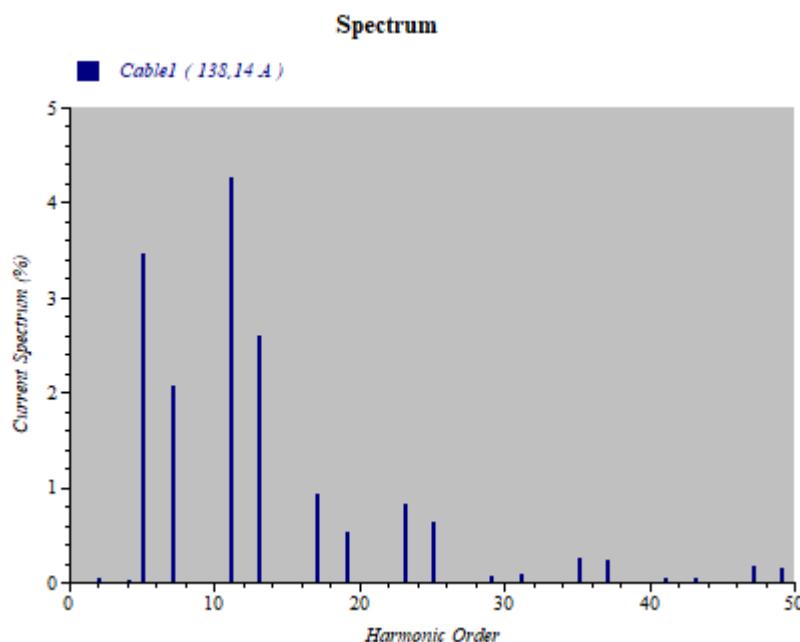
#### ➤ Kondisi 4

Simulasi analisis harmonis pada kondisi 4 dilakukan dengan pembebahan 100% gedung A dan 30 % dari gedung B. Dari simulasi tersebut diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut :



**Gambar 4.11** Hasil simulasi analisa harmonik dengan kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B

Gambar 4.11 menunjukkan hasil simulasi harmonisa pada kondisi 4 yang berisi mengenai nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THDv sebesar 0,90%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk system dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Dapat dilihat juga untuk THD arus pada Bus Utama sebesar 6,60%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut masih berada pada batas amannya yaitu 12%. Nilai THD tegangan dan arus pada kondisi ini terbilang sangat kecil dikarenakan pada kondisi ini beban *non-linear* yang terdapat pada Gedung B tidak bekerja sepenuhnya.



**Gambar 4.12** Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B

Gambar 4.12 Merupakan gambar gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro yang mengalami pembebahan pembebahan 100 % Gedung A dan 30 % Gedung B. Dapat dilihat dari Gambar 4.12 Terdapat arus harmonisa yang dominan terdapat pada orde ke 5 yaitu sebesar 3,5 % dari arus harmonisa total dan pada orde ke 7 yaitu sebesar 2,1 % dari arus

harmonisa total. Dilihat dari nilai tersebut, orde 5 dan orde 7 merupakan harmonisa ganjil. Berdasarkan polaritasnya, orde 5 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan secara terus menerus akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Sedangkan harmonisa orde 7 merupakan harmonisa urutan positif yang dapat menyebabkan penambahan panas pada konduktor, *circuit breaker*, dan panel-panel lainnya.

Walaupun sistem kelistrikan memiliki nilai harmonisa yang tidak melebihi batas standar, apabila gangguan harmonisa tetap dibiarkan terus-menerus maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari peralatan elektronik yang terpasang dan juga kerugian pada trafo pemakaian sendiri.

Untuk melakukan simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen dengan kondisi tersebut, simulasi analisis harmonisa dilakukan untuk mendapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) tiap orde untuk masing-masing fasa tiap gedung. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.14, Tabel 4.15, dan Tabel 4.16

**Tabel 4.14** Data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Gedung A

Orde Ke	Gedung A					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	20,2	400	18,2	400	25
5	0,001	2,5	0,001	2,3	0,001	3,0
7	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	1,2
11	0,001	0,7	0,001	0,6	0,001	1,1
13	0,001	0,6	0,001	0,5	0,001	0,7
17	0,001	0,2	0,001	0,3	0,001	0,7
18	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
19	0,001	0,1	0,001	0,2	0,001	0,5

**Tabel 4.15** Data Individual Harmonic Distortion (IHD) Gedung B

Orde Ke	Gedung B					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	22,7	400	32,5	400	19,6
5	0,001	0,4	0,001	0,4	0,001	0,3
7	0,001	0,3	0,001	0,9	0,001	0,5
11	0,001	1,2	0,001	1,9	0,001	1,1
13	0,001	1	0,001	1,2	0,001	0,7
17	0,001	0	0,001	0,2	0,001	0,1
19	0,001	0	0,001	0,1	0,001	0
23	0,001	0,3	0,001	0,4	0,001	0,2
25	0,001	0,000	0,001	0,3	0,001	0,2

**Tabel 4.16** Data Individual Harmonic Distortion (IHD) Gedung Rumah Panel

Orde Ke	Gedung Rumah Panel					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I	IHD V	IHD I
1	400	0,05	400	0,05	400	0,05
5	0,001	0,012088	0,001	0,012088	0,001	0,012088
7	0,001	0,002589	0,001	0,002589	0,001	0,002589
11	0,001	0,003017	0,001	0,003017	0,001	0,003017
13	0,001	0,002054	0,001	0,002054	0,001	0,002054
17	0,001	0,001158	0,001	0,001158	0,001	0,001158
19	0,001	0,00072	0,001	0,00072	0,001	0,00072
21	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
23	0,001	0,000476	0,001	0,000476	0,001	0,000476
25	0,001	0,000324	0,001	0,000324	0,001	0,000324

Berdasarkan Tabel 4.14 , Tabel 4.15, Tabel 4.16, menunjukkan bahwa *Individual Harmonic Distortion* (IHD) memiliki nilai cukup besar berada pada orde ganjil saja. Orde harmonisa tersebut muncul akibat adanya sumber harmonisa yang terletak pada transformator. Untuk mendukung analisa kinerja pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro terhadap masing-masing fasa pada sistem kelistrikan, maka dapat dibuat simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan *software* PSIM 9.0.

Pada penelitian ini data simulasi dengan kondisi pembebahan 100 % Gedung A dan 30 % Gedung B akan dipakai untuk menganalisa kinerja dan pengaruh dari pemasangan filter pasif terhadap beberapa kondisi yang mungkin akan terjadi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

## **4.2 Simulasi Simplifikasi Sistem Tenaga Tanpa Filter Menggunakan PSIM 9.0**

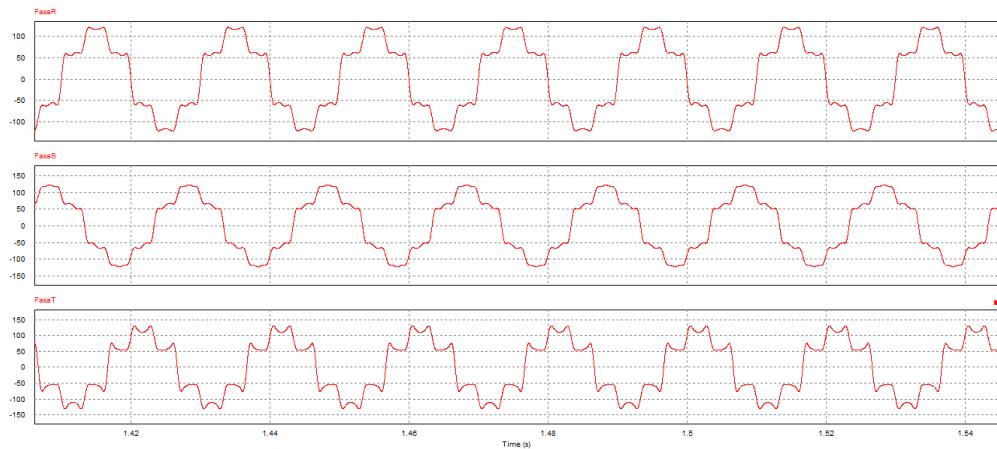
Dalam mengimplementasikan adanya harmonisa pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro, dilakukan simplifikasi *single line diagram* menggunakan *software* PSIM 9.0. Simplifikasi *single line diagram* pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro berguna untuk mengetahui bentuk gelombang arus saat terdapat harmonisa serta bentuk gelombang FFT arus yang lebih terperinci pada setiap fasa. Rangkaian simplifikasi yang dibuat berdasarkan data hasil simulasi dari keempat *scenario* dimana belum terpasang filter yang telah dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

### **4.2.1 SIMVIEW Simulation**

- Kondisi 1

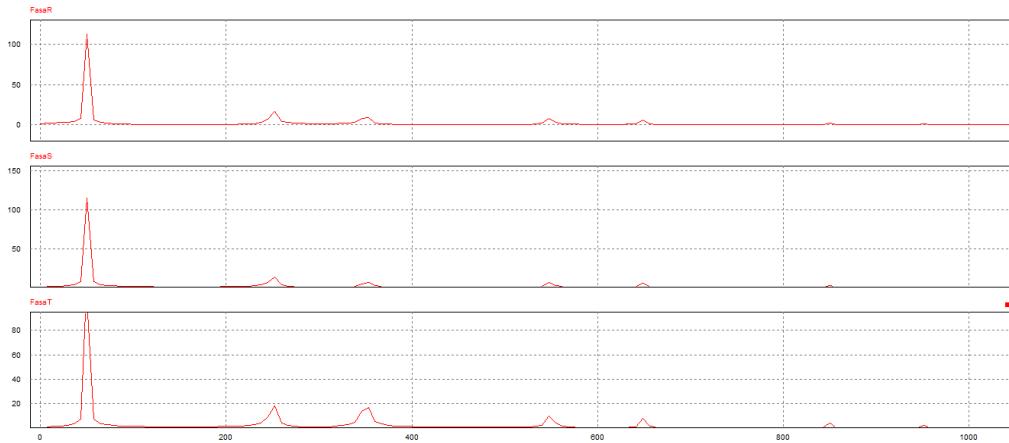
Berdasarkan rangkaian simplifikasi kondisi 1 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 1 dapat dilihat pada Gambar 4.13



**Gambar 4.13** Gelombang Arus harmonisa dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Gambar 4.13 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro ditambah dengan 40 % beban Gedung Perkapalan, Gedung Geodesi, dan Gedung Dekanat Lama. Pada dasarnya gelombang arus pada sistem kelistrikan memiliki bentuk *sinusoidal* sempurna, akan tetapi karena adanya harmonisa bentuk gelombang keluaran menjadi terdistorsi sehingga tidak terlihat sebagai gelombang *sinusoidal* sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13. Dengan adanya harmonisa pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo, sedangkan pada peralatan pengaturan dan pengaman, kontrol PWM dan sejenisnya mengakibatkan gangguan sehingga terjadi kesalahan fungsi, gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Spektrum Gelombang FFT Arus dengan kondisi pemberbebanan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Gambar 4.14 merupakan spektrum gelombang FFT dari arus harmonis yang timbul pada kondisi 1. Arus harmonis yang dominan terjadi pada harmonis orde ke 5 dengan frekuensi 250 Hz yaitu 18.91 Ampere pada fasa R, 19.011 Ampere pada fasa S, dan 21.81 Ampere pada fasa T. Selain itu, arus harmonis yang cukup besar muncul pada orde ke 7 yaitu sebesar 13.70 Ampere pada Fasa R, 8.80 Ampere pada Fasa S, dan 24.9 Ampere pada Fasa T. Dilihat berdasarkan polaritasnya, orde 5 merupakan harmonis urutan negatif yang apabila dibiarkan secara terus menerus akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Dari gelombang FFT arus pada kondisi 1 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.17

**Tabel 4.17 Individual Harmonic Distortion (IHD) Arus Kondisi 1**

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	113,749	115,249	114,349
5	18,91	19,011	21,81
7	13,70	8,80	24,09
11	9,1	7,30	11,099
13	5,8	5,59	8,1
17	2,19	2,39	3,89
19	1,199	1,198	2,198
23	0,5	0,599	0,435
25	0,2	0,2	0,004

Berdasarkan data pada Tabel 4.17 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada masing-masing fasa saat kondisi 1 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut [17]:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms} \text{ fasa R} = \sqrt{113,749^2 + 18,91^2 + 13,70^2 + \dots + 0,2^2}$$

$$I_{rms} \text{ fasa R} = 116,64942 A$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = \frac{\sqrt{18,91^2 + 13,70^2 + 9,1^2 + 5,8^2 + \dots + 0,2^2}}{113,749}$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = 0,227 \times 100\%$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = 22,7 \%$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan di atas, didapatkan nilai THDI yang dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut:

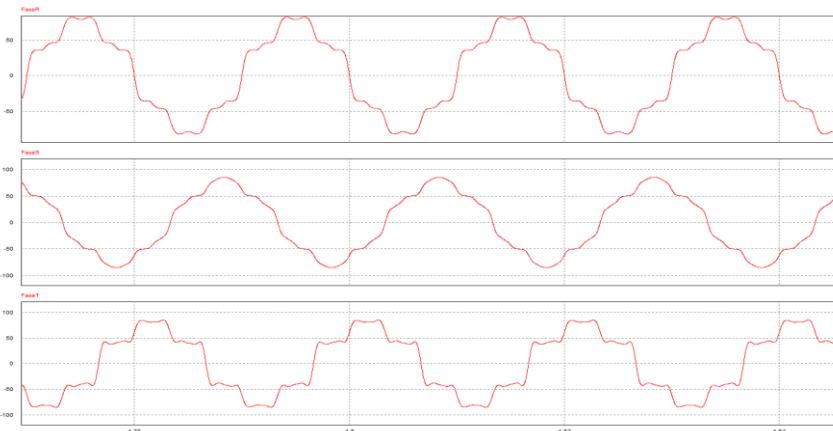
**Tabel 4.18 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 1**

Keterangan	Perhitungan IRMS (A)	Perhitungan THD I (%)	Standar IEEE 599-1992 THD I (%)
Fasa R	116,6	22,72	12
Fasa S	117,5	19,99	12
Fasa T	119,7	31,1	12

Berdasarkan Tabel 4.18 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro ditambah dengan 40 % beban Gedung Perkapalan, Gedung Geodesi, dan Gedung Dekanat Lama berada diatas standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) Arus pada Fasa R adalah sebesar 22,72 %, pada Fasa S adalah sebesar 19,99 %, dan pada Fasa T adalah sebesar 31,1 %. Nilai tersebut berada diatas standar IEEE 519-1991 yaitu sebesar 12 %. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka diperlukan filter untuk mengurangi *Total Harmonic Distortion* (THD) arus. Kondisi ini akan digunakan sebagai acuan perancangan filter sehingga nantinya dapat dilakukan analisa pengaruh dan kinerja filter pasif terhadap beberapa kondisi pembebanan.

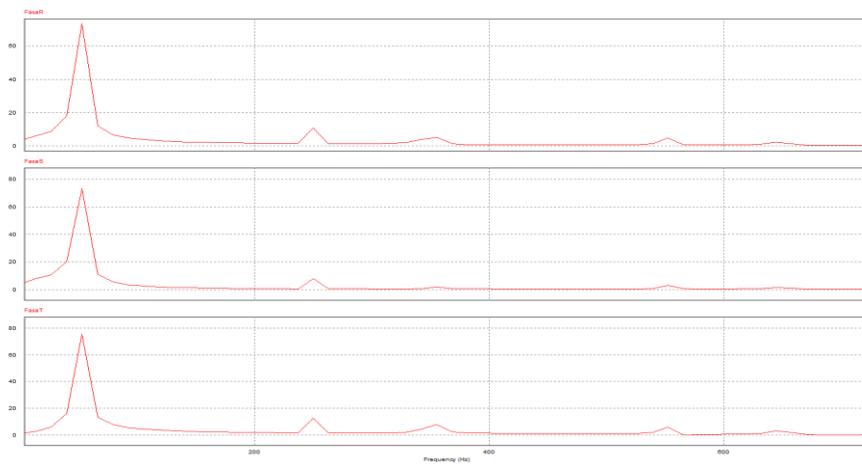
#### ➤ Kondisi 2

Dari hasil simulasi simplifikasi kondisi 2 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 2 dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Gelombang Arus dengan kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.15 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro. Pada dasarnya gelombang arus pada sistem kelistrikan memiliki bentuk *sinusoidal* sempurna, karena adanya harmonisa bentuk gelombang keluaran menjadi terdistorsi sehingga tidak terlihat sebagai gelombang *sinusoidal* sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Dengan adanya harmonisa pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan kesalahan fungsi, gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



**Gambar 4.16** Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.16 merupakan spektrum gelombang FFT dari arus harmonisa yang timbul pada kondisi 2. Arus harmonisa yang dominan terjadi pada harmonisa orde ke 5 dengan frekuensi 250 Hz yaitu 9.711 Ampere pada fasa R, 8.411 Ampere pada fasa S, dan 13,6 Ampere pada fasa T. Selain itu, arus harmonisa yang cukup besar muncul pada orde ke 11 yaitu sebesar 5 Ampere pada Fasa R, 3,2 Ampere pada Fasa S, dan 7 Ampere pada Fasa T. Dilihat berdasarkan polaritasnya, orde 5 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan secara terus menerus akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Dari gelombang FFT arus pada kondisi 2 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.19** *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Kondisi 2

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	78,24	79,64	78,74
5	9,711	8,411	13,6
7	6,9	1,7	9,50
11	5	3,2	7
13	2,5	2,8	4
17	0,7	0,768	2,2
19	0,6	0,39	1,2
23	0,4	0,49	0,39
25	0,299	0,399	0,2

Berdasarkan data pada Tabel 4.19 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada masing-masing fasa saat kondisi 2 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut [17]:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms} \text{ fasa R} = \sqrt{78,24^2 + 9,711^2 + 6,90^2 + \dots + 0,299^2}$$

$$I_{rms} \text{ fasa R} = 79,345 A$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = \frac{\sqrt{9,711^2 + 6,9^2 + 5^2 + 2,5^2 + \dots + 0,299^2}}{78,24}$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = 0,1687 \times 100\%$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = 16,87 \%$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan di atas, didapatkan nilai THD yang dapat dilihat pada Tabel 4.20 berikut:

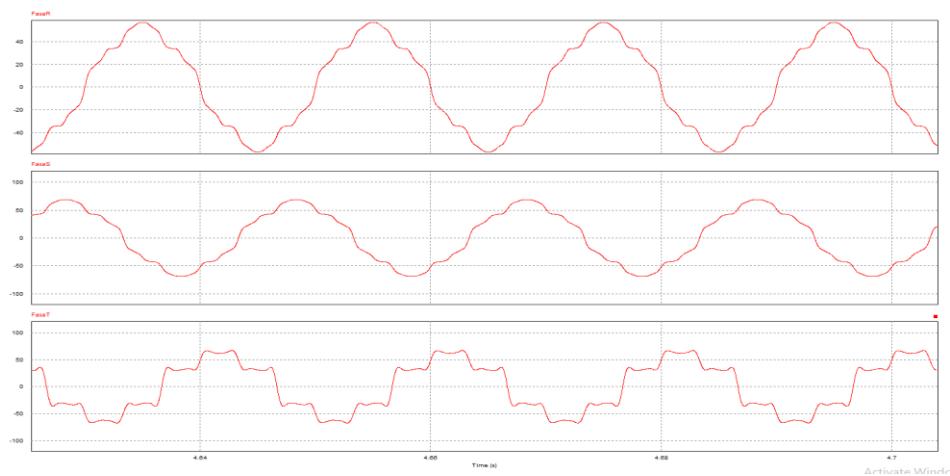
**Tabel 4.20 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 2**

Keterangan	Perhitungan	Perhitungan	Standar IEEE
	IRMS (A)	THD I (%)	599-1992 THD I (%)
Fasa R	79,34	16,87	12
Fasa S	80,18	12,1	12
Fasa T	80,58	23,74	12

Berdasarkan Tabel 4.20 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pembebanan penuh pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro berada diatas standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) Arus pada Fasa R adalah sebesar 16,87 %, pada Fasa S adalah sebesar 12,1 %, dan pada Fasa T adalah sebesar 23,74 %. Nilai tersebut berada diatas standar IEEE 519-1991 yaitu sebesar 12 %. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka diperlukan filter untuk mengurangi *Total Harmonic Distortion* (THD) arus. Kondisi 2 ini akan digunakan sebagai perbandingan kinerja dari perancangan filter, sehingga nantinya dapat diketahui pengaruh kinerja filter saat beban tidak digunakan sepenuhnya.

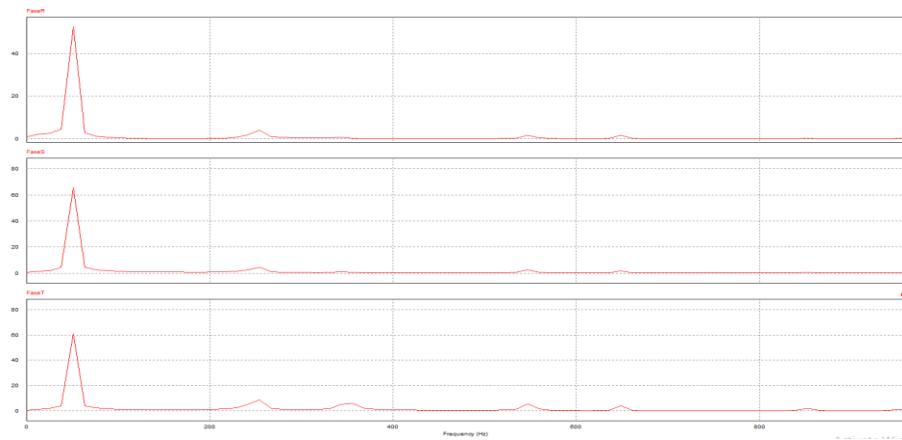
➤ Kondisi 3

Dari hasil simulasi simplifikasi kondisi 3 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 3 dapat dilihat pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.17** Gelombang Arus dengan kondisi pembebanan 100% gedung A dan 60% gedung B

Gambar 4.17 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro. Pada dasarnya gelombang arus pada sistem kelistrikan memiliki bentuk *sinusoidal* sempurna, akan tetapi karena adanya harmonisa bentuk gelombang keluaran menjadi terdistorsi sehingga tidak terlihat sebagai gelombang *sinusoidal* sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. Dengan adanya harmonisa pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan kesalahan fungsi, gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebanan 100% gedung A dan 60% gedung B

Gambar 4.18 merupakan spektrum gelombang FFT dari arus harmonisa yang timbul pada kondisi 3. Arus harmonisa yang dominan terjadi pada harmonisa orde ke 5 dengan frekuensi 250 Hz yaitu 4,71 ampere pada fasa R, 5,61 ampere pada fasa S, dan 11,11 ampere pada fasa T. Selain itu, arus harmonisa yang cukup besar muncul pada orde ke 11 yaitu sebesar 1,80 ampere pada Fasa R, 2,60 ampere pada Fasa S, dan 6,1 ampere pada Fasa T. Dilihat polaritasnya, orde 5 dan orde 11 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan secara terus menerus akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Dari gelombang FFT arus pada kondisi 3 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.21.

**Tabel 4.21** *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Kondisi 3

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	53,44	65,64	61,24
5	4,7	5,6	11,11
7	0,9	1,3	8,9
11	1,8	2,6	6,1
13	1,70	1,80	4,10
17	0,2	0,5	1,9
19	0,3	0,39	1,3
23	0,4	0,49	0,36
25	0,2	0,29	0,2

Berdasarkan data pada Tabel 4.21 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada masing-masing fasa saat kondisi 3 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut [17]:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms\ fasa\ R} = \sqrt{53,44^2 + 4,7^2 + 0,9 + \cdots + 0,2^2}$$

$$I_{rms\ fasa\ R} = 53,714\ A$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = \frac{\sqrt{4,7^2 + 0,9^2 + 1,8^2 + 1,7^2 + \cdots + 0,2^2}}{53,44}$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 0,101 \times 100\%$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 10,1\%$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan di atas, didapatkan nilai THD yang dapat dilihat pada Tabel 4.22 berikut:

**Tabel 4.22 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 3**

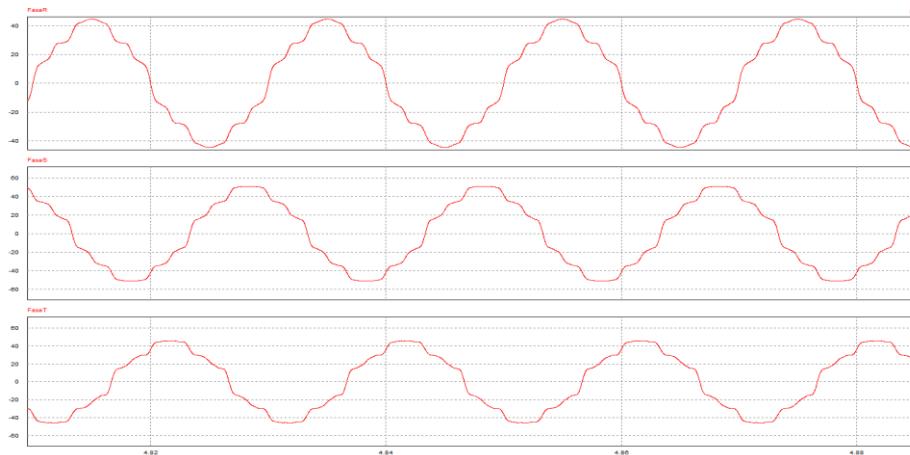
Keterangan	Perhitungan IRMS (A)	Perhitungan THD I (%)	Standar IEEE 599-1992 THD I (%)
Fasa R	53,7	10,1	12
Fasa S	65,97	10,1	12
Fasa T	44,98	11,9	12

Berdasarkan Tabel 4.22 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pembebatan 100 % Gedung A dan 60 % Gedung B pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro masih berada dibawah standar IEEE 519-

1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) Arus pada Fasa R adalah sebesar 10,1 %, pada Fasa S adalah sebesar 10,1 %, dan pada Fasa T adalah sebesar 11,9 %. Nilai tersebut masih berada dibawah standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 12 %. Pada penelitian ini simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi beban tidak penuh tetap dilaksanakan. Hal ini bertujuan mengetahui pengaruh kinerja filter saat beban tidak digunakan sepenuhnya.

#### ➤ Kondisi 4

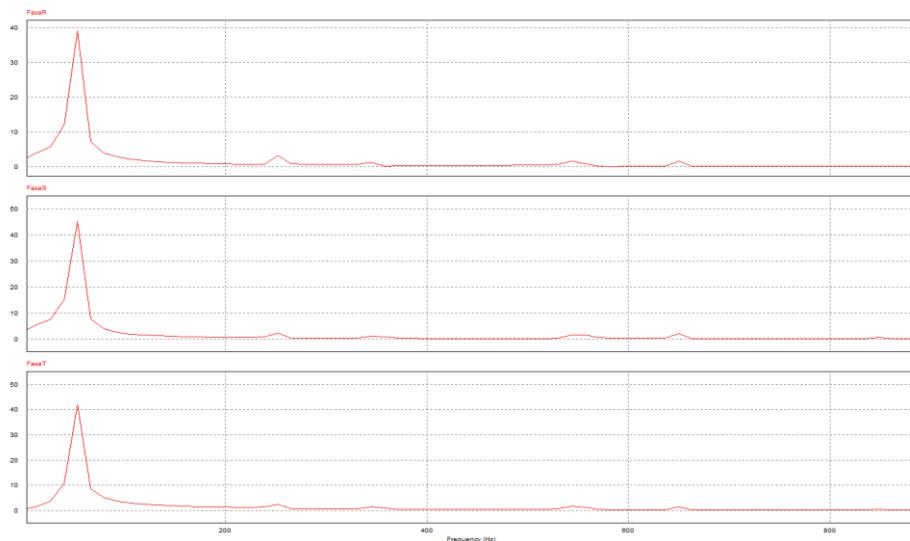
Dari hasil simulasi simplifikasi kondisi 4 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 4 dapat dilihat pada Gambar 4.19.



**Gambar 4.19** Gelombang Arus dengan kondisi pembebatan 100% gedung A dan 30% gedung B

Gambar 4.19 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami 100 % Gedung A dan 30 % Gedung B di sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro. Pada dasarnya gelombang arus pada sistem kelistrikan memiliki bentuk *sinusoidal* sempurna, akan tetapi karena adanya harmonisa bentuk gelombang keluaran menjadi terdistorsi sehingga tidak terlihat sebagai gelombang *sinusoidal* sempurna seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 4.19. Dengan adanya harmonisa pada sistem kelistrikan dapat mengakibatkan kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan kesalahan fungsi, gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.20.



**Gambar 4.20** Gelombang FFT Arus dengan kondisi pembebatan 100% gedung A dan 30% gedung B

Gambar 4.20 merupakan spektrum gelombang FFT dari arus harmonisa yang timbul pada kondisi 4. Arus harmonisa yang dominan terjadi pada harmonisa orde ke 5 dengan frekuensi 250 Hz yaitu 2,911 Ampere pada fasa R, 2,711 Ampere pada fasa S, dan 3,311 Ampere pada fasa T. Selain itu, arus harmonisa yang cukup besar muncul pada orde ke 11 dengan frekuensi sebesar 550 Hz yaitu sebesar 1,90 Ampere pada Fasa R, 2,50 Ampere pada Fasa S, dan 2,50 Ampere pada Fasa T. Dilihat berdasarkan polaritasnya, orde 5 dan orde 11 merupakan harmonisa urutan negatif yang apabila dibiarkan secara terus menerus akan mengakibatkan panas pada peralatan juga masalah pada motor induksi yang berdampak pada perlambatan kecepatan putar motor. Dari gelombang FFT arus pada kondisi 4 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.23.

**Tabel 4.23 Individual Harmonic Distortion (IHD) Arus Kondisi 4**

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	42,94	50,74	44,64
5	2,911	2,711	3,311
7	0,902	1,40	1,70
11	1,90	2,50	2,50
13	1,6	1,7	1,4
17	0,2	0,5	0,8
19	0,10	0,299	0,5
23	0,399	0,499	0,357
25	0,200	0,299	0,200

Berdasarkan data pada Tabel 4.23 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada masing-masing fasa saat kondisi 4 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms\ fasa\ R} = \sqrt{42,94^2 + 2,911^2 + 0,902^2 + \cdots + 0,200^2}$$

$$I_{rms\ fasa\ R} = 43.123\ A$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = \frac{\sqrt{2,911^2 + 0,902^2 + 1,90^2 + 1,60^2 + \cdots + 0,200^2}}{42,94}$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 0,092 \times 100\%$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 9,2\ %$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan di atas, didapatkan nilai THD<sub>i</sub> yang dapat dilihat pada Tabel 4.24 berikut:

**Tabel 4.24 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 4**

Keterangan	Perhitungan	Perhitungan	Standar IEEE
	IRMS (A)	THD I (%)	599-1992
Fasa R	43,12	9,2	12
Fasa S	50,92	8,6	12
Fasa T	50,92	10,8	12

Berdasarkan Tabel 4.24 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pembebanan 100 % Gedung A dan 30 % Gedung B pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro masih berada dibawah standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) Arus pada Fasa R adalah sebesar 9,2 %, pada Fasa S adalah sebesar 8,6 %, dan pada Fasa T adalah sebesar 10,8 %. Nilai tersebut masih berada dibawah standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 12 %.

Pada penelitian ini simplifikasi *single line diagram* sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi beban tidak penuh tetap dilaksanakan dimana nantinya digunakan untuk mengetahui pengaruh kinerja filter saat beban tidak digunakan sepenuhnya.

### 4.3 Perancangan Filter Pasif Single-tuned

Dari hasil simulasi yang telah dibuat, menunjukkan bahwa arus harmonisa telah melebihi batas standar yang telah dijadikan acuan. Adanya arus harmonisa yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan fungsi kerja dari beban maupun dari peralatan-peralatan elektronik yang terpasang. 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. Filter pasif merupakan solusi yang efektif untuk mereduksi harmonisa sekaligus memperbaiki faktor daya sistem.

Filter pasif merupakan rangkaian filter frekuensi yang menggunakan komponen-komponen pasif seperti resistor, kapasitor dan induktor. Pada frekuensi *tunning* yang telah ditetapkan, perencanaan penggunaan filer pasif *single-tuned* merupakan kombinasi filter pasif yang lebih baik bila dibandingkan dengan kombinasi lainnya. Filter ini mampu menjadi jalan bagi arus-arus harmonisa pada frekuensi diatas frekuensi *tunning* yang ada di jaringan dan akan memperbaiki plot impedansi jaringan.

Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada suatu sistem. Filter pasif juga dapat berfungsi untuk meminimalisasi arus harmonisa yang timbul pada sistem. Filter pasif ini didesain sebagai rangkaian resonansi seri, yang biasanya juga disebut sebagai “jebakan” karena digunakan untuk menjebak atau mengontrol aliran dari arus harmonisa. Pada saat terjadi frekuensi resonansi, nilai impedansi turun, sehingga arus harmonisa pada frekuensi tersebut mengalir ke arah filter. Karena arus harmonisa diserap oleh filter, maka harmonisa yang ada pada bus akan berkurang atau dengan kata lain mengalami peredaman.

Pada skenario ini dilakukan pemasangan filter *single-tuned* pada bus utama (bus 2) untuk meminimalisir harmonisa yang dapat mengakibatkan *overheated* pada peralatan. *Overheated* pada peralatan dapat mengakibatkan *derating* pada insulasinya yang berpengaruh pada peralatan menjadi cepat rusak. Oleh karena itu, perlu adanya pemasangan filter untuk mengurangi gangguan-gangguan yang disebabkan oleh harmonisa beban-beban *non-linear*. Proses filterisasi dimulai dengan menjadikan kondisi 1 dengan sistem pembebanan 100% beban Teknik Elektro dan 40% beban dari Geodesi, Perkapalan, dan Dekanat lama sebagai acuan untuk menetukan spesifikasi filter pasif yang akan dipasang. Berdasarkan simulasi harmonisa, didapatkan bahwa harmonisa pada orde 5 dan orde 7 merupakan orde yang memiliki tingkat distorsi harmonisa terbesar. Penentuan nilai komponen induktor dan kapasitor yang akan digunakan didasarkan oleh besar harmonisa yang ada pada saat melakukan simulasi baik pada *software ETAP 12.6.0* maupun *PSIM 9.0*.

### 4.3.1 Perancangan Filter *Single-tuned* Orde 5

Kapasitor merupakan salah satu komponen utama dalam perancangan filter pasif yang akan digunakan untuk memperbaiki adanya harmonisa pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Kapasitor pada filter pasif dapat dihubungkan secara seri maupun pararel dalam suatu sistem kelistrikan. Komponen kapasitor digunakan untuk memperoleh sebuah total rating tengangan dan kVAR yang diinginkan.

Dari data hasil simulasi yang telah didapatkan dapat dihitung besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki nilai faktor daya, sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta_1 = \text{arc cos } 0,934 = 20,932^\circ$$

$$\theta_2 = \text{arc cos } 0,995 = 5,731^\circ$$

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

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

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

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

$$Q_c = 219 \times 10^3 (0,3825 - 0,10004)$$

$$Q_c = 219 \times 10^3 \times 0,28246$$

$$Q_c = 61,789 \times 10^3$$

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

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

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c}$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

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

$$X_c = \frac{53361}{61789}$$

$$X_c = 0,863697$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

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

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

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,863697}$$

$$C = 0,003686 F$$

$$C = 3686 \mu F$$

Komponen induktor pada rangkaian filter pasif juga dapat dihubungkan secara seri maupun paralel pada sistem. Kegunaan induktor dalam rangkaian filter adalah 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:

Harmonisa Orde = 5

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

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_L = \frac{0,863697}{4,5^2}$$

$$X_L = \frac{0,863697}{20,5}$$

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

Komponen resistor pada filter pasif dapat dipasang seri atau sejajar dengan sumber. Resistor pada filter umumnya berfungsi meneruskan arus listrik yang berkerja dengan cara meneruskan arus listrik dengan frekuensi rendah saat suatu sistem dialiri oleh arus frekuensi rendah. Dengan kata resistor akan memiliki resistansi lebih rendah dari pada kapasitor sehingga menyebabkan arus akan keluar dari rangkaian setelah melewati resistor dan tidak melewati kapasitor. Besarnya tahanan induktor R dari bias ditentukan oleh *quality factor* (Q), dimana *Quality factor* berkisar antara  $30 < Q < 100$ . 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 :

Q bernilai antara 20 – 100, dipilih Q = 70

$$R = Q_f \times X_L$$

$$R = 70 \times 0,0437 \text{ ohm}$$

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

#### 4.3.2 Perancangan Filter *Single-tuned* orde 7

Kapasitor merupakan salah satu komponen utama dalam perancangan filter pasif yang akan digunakan untuk memperbaiki adanya harmonisa pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Kapasitor pada filter pasif dapat dihubungkan secara seri maupun pararel dalam suatu sistem kelistrikan.

Komponen kapasitor digunakan untuk memperoleh sebuah total rating tengangan dan kVAR yang diinginkan.

Dari data hasil simulasi yang telah didapatkan dapat dihitung besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki nilai faktor daya, sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta_1 = \text{arc cos } 0,934 = 20,932^\circ$$

$$\theta_2 = \text{arc cos } 0,995 = 5,731^\circ$$

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

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

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

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

$$Q_c = 219 \times 10^3 (0,3825 - 0,10004)$$

$$Q_c = 219 \times 10^3 \times 0,28246$$

$$Q_c = 61,789 \times 10^3$$

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

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

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c}$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

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

$$X_c = \frac{53361}{61789}$$

$$X_c = 0,863697$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

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

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

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,863697}$$

$$C = 0,003686 F$$

$$C = 3686 \mu F$$

Komponen induktor pada rangkaian filter pasif juga dapat dihubungkan secara seri maupun paralel pada sistem. Kegunaan induktor dalam rangkaian filter adalah 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 7 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Harmonisa Orde = 7

$$h = 7 - 10\%(7) = 7 - 0,7 = 6,3$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_L = \frac{0,863697}{39,69^2}$$

$$X_L = \frac{0,863697}{39,69}$$

$$X_L = 0,0236 \text{ ohm}$$

Komponen resistor pada filter pasif dapat dipasang seri atau sejajar dengan sumber. Resistor pada filter umumnya berfungsi untuk meneruskan arus listrik yang berkerja dengan cara meneruskan arus listrik dengan frekuensi rendah saat suatu sistem dialiri oleh arus frekuensi rendah. Dengan kata resistor akan memiliki resistansi lebih rendah dari pada kapasitor sehingga menyebabkan arus akan keluar dari rangkaian setelah melewati resistor dan tidak melewati kapasitor. Besarnya tahanan induktor R dari bias ditentukan oleh *quality factor* (Q), dimana *Quality factor* berkisar antara  $30 < Q < 100$ . 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:

Q bernilai antara 20 – 100, dipilih  $Q = 70$

$$R = Q_f \times X_L$$

$$R = 70 \times 0,0236 \text{ ohm}$$

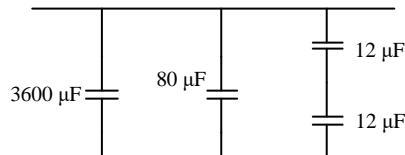
$$R = 1,652 \text{ ohm}$$

#### 4.3.3 Pemilihan Komponen Filter Pasif

Pada bagian ini akan ditentukan untuk pemilihan komponen filter, yaitu kapasitor dan induktor. Pemilihan komponen ini sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Dari hasil perhitungan yang telah didapatkan tersebut maka dicari produk kapasitor dan induktor yang ada di pasaran dengan nilai yang disesuaikan dengan nilai kapasitor dan induktor yang telah didapatkan dari hasil perhitungan.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kapasitor pada filter harmonisa ke-5 adalah  $3686 \mu\text{F}$  ( $61,789 \text{ kVAR}$ ) dan harmonisa ke-7 adalah  $3686 \mu\text{F}$  ( $61,789 \text{ kVAR}$ ). Komponen kapasitor pada filter dapat diambil berdasarkan kondisi lapangan dan mencari informasi dari internet. Diketahui bahwa sistem yang akan dipasang filter merupakan sistem AC dengan tegangan fasa ke netral 231 V sehingga dapat dipilih kapasitor dengan tegangan kerja 250 VAC atau 450 VAC di pasaran. Untuk membuat kapasitor dengan ukuran  $3686 \mu\text{F}$  dapat dirancang

dengan cara mempararelkan 30 kapasitor ukuran  $120 \mu\text{F}$ , dan  $1 \times 60 \mu\text{F}$  serta menambahkan kapasitor dengan ukuran  $2 \times 12 \mu\text{F}$  yang dipasang secara seri, sehingga didapatkan desain kapasitor pada filter sesuai dengan Gambar 4.21.



**Gambar 4.21** Rangkaian kapasitor ukuran  $3686 \mu\text{F}$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, nilai kapasitor pada harmonisa ke-5 adalah  $3686 \mu\text{F}$  dan harmonisa ke-7 adalah  $3686 \mu\text{F}$ . Untuk kapasitor digunakan produk dari Galco Industrial Electronics yaitu GE Capacitor dengan tegangan kerja 250 VAC - 450 VAC. Keunggulan produk kapasitor ini antara lain :

- Mengurangi biaya tambahan akibat faktor daya yang rendah.
- Mengurangi rugi-rugi daya pada kabel dan transformator.
- Meningkatkan kapasitas penghantar pada kabel.
- Meningkatkan kapasitas transformator.
- Stabilisasi tegangan untuk kabel yang panjang.



**Gambar 4.22** Produk kapasitor di pasaran

Gambar 4.22 merupakan contoh produk kapasitor yang dapat ditemukan di lapangan. Untuk komponen induktor, didapatkan bahwa besar komponen induktor pada harmonisa ke-5 adalah 0,13616 mH dan harmonisa ke-7 adalah 0,07515 mH. Untuk menghitung biaya pemilihan induktor perlu dilakukan pemilihan bahan inti induktor, panjang inti induktor dan jenis induktor yang akan digunakan. Inti induktor menggunakan inti udara yang bertujuan untuk mempermudah pemilihan inti yang cocok untuk diameter konduktor yang besar, sehingga didapatkan pemilihan panjang inti dengan ukuran 60 cm (2.622 inchi) dan diameter inti 10 cm (3.93 inchi). Sehingga untuk mendapatkan induktor pada filter orde ke 5 dengan ukuran 0.13616 mH dengan arus yang mengalir sebesar 72 A untuk filter orde ke 5 dapat dihitung dengan :

$$KHA = 1,2 \times 72 A = 86,4 A$$

Karena KHA yang dibutuhkan adalah 86,4 A, maka dipilih tembaga dengan luas penampang  $25 \text{ mm}^2$  atau dengan diameter 6 mm. Sehingga untuk membuat induktor berukuran 0.13616 mH diperlukan panjang tembaga yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$L = \frac{r^2 \times N^2}{9r + 10l}$$

$$N = \sqrt{\frac{L \times (9r + 10l)}{r^2}}$$

$$N = \sqrt{\frac{136,16 \times (9 \times 1,965 + 10 \times 2,622)}{1,965^2}}$$

$$N = 48,93 \text{ lilitan}$$

$$N = 49 \text{ lilitan}$$

Sehingga panjang konduktor yang dibutuhkan adalah :

$$l_{konduktor} = 2 \times \pi \times r \times N$$

$$l_{konduktor} = 2 \times 3,14 \times 1,965 \times 49$$

$$l_{konduktor} = 30,772 \text{ meter}$$

Sehingga untuk membuat induktor dengan ukuran 0,13616 mH pada filter orde ke 5 diperlukan tembaga dengan diameter 35 mm sepanjang 30,772 meter yang akan dililit menjadi 49 lilitan.

Pada filter orde ke 7 dibutuhkan ukuran 0,07515 mH dengan arus yang mengalir sebesar 122,8 A sehingga spesifikasi bahan induktor dapat dihitung dengan :

$$KHA = 1,2 \times 122,8 A = 147,36 A$$

Karena KHA yang dibutuhkan adalah 147,36 A, maka dipilih tembaga dengan luas penampang  $50 \text{ mm}^2$  atau dengan diameter 8 mm. Sehingga untuk membuat induktor berukuran 0,07515 mH diperlukan panjang tembaga yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [19]:

$$L = \frac{r^2 \times N^2}{9r + 10l}$$

$$N = \sqrt{\frac{L \times (9r + 10l)}{r^2}}$$

$$N = \sqrt{\frac{147,36 \times (9 \times 1,965 + 10 \times 2,622)}{1,965^2}}$$

$$N = 36,35 \text{ lilitan}$$

$$N = 37 \text{ lilitan}$$

Sehingga panjang konduktor yang dibutuhkan adalah :

$$l_{konduktor} = 2 \times \pi \times r \times N$$

$$l_{konduktor} = 2 \times 3,14 \times 1,965 \times 37$$

$$l_{konduktor} = 23,23 \text{ meter}$$

Sehingga untuk membuat induktor dengan ukuran 0,07515 mH pada filter orde ke 7 diperlukan tembaga dengan diameter 8 mm sepanjang 23,23 meter yang akan dililit menjadi 37 lilitan.

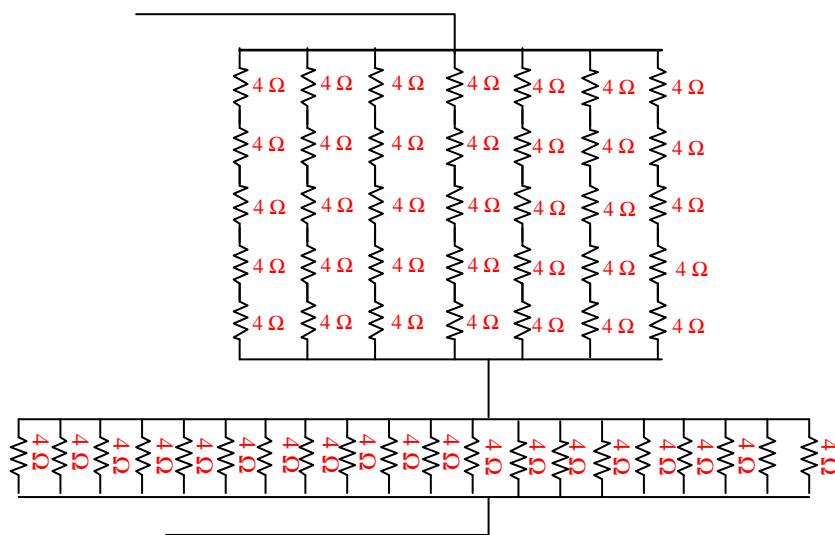
Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan data kawat tembaga dengan diameter 6 mm untuk filter orde ke 5 dan tembaga dengan diameter 8 mm untuk filter orde ke 7 sebagai bahan untuk membuat induktor. Pemilihan bahan tembaga untuk dijadikan induktor memiliki keunggulan seperti lebih ekonomis, lebih aman, memiliki kelenturan yang cukup baik, dan memiliki bobot yang ringan. Gambar 4.23 menunjukkan contoh produk tembaga yang tersedia di lapangan



**Gambar 4.23** Produk tembaga di pasaran

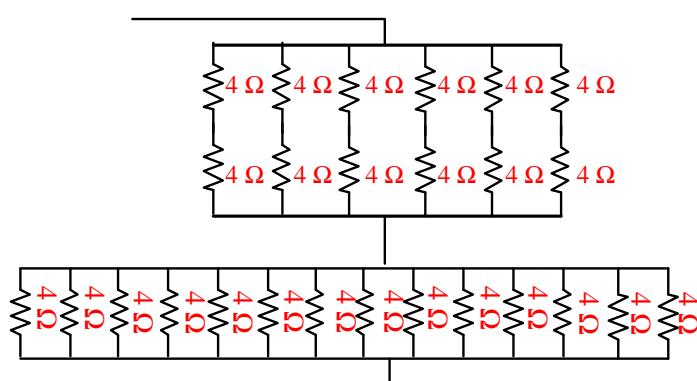
Selain adanya komponen kapasitor dan induktor, didapatkan pula besar komponen resistor pada harmonisa ke-5 adalah 3,052 Ohm dan harmonisa ke-7 adalah 1.652 Ohm. Komponen resistor pada filter dapat diambil berdasarkan kondisi lapangan dan mencari informasi dari internet. Untuk membuat Resistor

filter pada orde 5 dengan ukuran 3,052 Ohm dengan daya 17,5 kW dapat dirancang dengan cara merangkai beberapa resistor ukuran 4 Ohm/500 Watt sebanyak 55 buah, sehingga didapatkan desain resistor pada filter orde ke 5 sesuai dengan gambar 4.24.



**Gambar 4.24** Rangkaian resistor ukuran 3,052 Ohm

Sedangkan untuk membuat Resistor filter pada orde 7 dengan ukuran 1,652 Ohm dengan daya 7 kW dapat dirancang dengan cara merangkai beberapa resistor ukuran 4 Ohm/500 Watt sebanyak 24 buah, sehingga didapatkan desain resistor pada filter orde ke 7 sesuai dengan Gambar 4.25.



**Gambar 4.25** Rangkaian resistor ukuran 1,652 Ohm

Gambar 4.26 menunjukkan gambar resistor yang akan dipakai sebagai komponen filter orde ke lima dan orde ke 7 adalah resistor berjenis *dummy load* sebesar 4 Ohm dengan daya 400 Watt.



**Gambar 4.26** Contoh produk resistor *dummy load* di pasaran

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 4.25 di bawah akan mencakup keseluruhan jenis biaya perancangan filter pasif yang akan dirancang.

**Tabel 4.25** Total biaya komponen perancangan filter pasif

Nama Komponen	Jumlah	satuan	Harga Satuan	Total
Kapasitor 120 $\mu$ F	180	Buah	Rp.463.288	Rp. 83.391.840
Kapasitor 80 $\mu$ F	6	Buah	Rp.343.212	Rp.2.059.272
Kapasitor 12 $\mu$ F	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.165.90.0000
Total				Rp. 265.279.632

Total biaya perancangan dari filter pasif yang akan dibuat untuk meminimalisir harmonisa pada sistem kelistrikan departemen teknik elektro universitas diponegoro sebesar Rp.265.279.632 yang dapat berubah sesuai dengan harga pasar yang berlaku.

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.

#### **4.4 Simulasi Sistem Tenaga Dengan Filter Pasif Menggunakan ETAP**

##### **12.6.0**

Pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak harmonisa seperti adanya kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi, sedangkan pada peralatan pengaturan dan pengaman, kontrol PWM dan sejenisnya mengakibatkan gangguan sehingga terjadi kesalahan fungsi, gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik. Dalam penelitian ini terdapat 4 kondisi pembebaran untuk menguji pengaruh dan kinerja filter pasif terhadap berbagai kondisi pembebaran yang mungkin terjadi. Kondisi 1 saat sistem kelistrikan mengalami pembebaran penuh pada Departemen Teknik Elektro beserta 40% beban dari PGD akan dijadikan sebagai acuan pemasangan filter guna meredam adanya harmonisa. Data harmonik arus dari hasil simulasi tersebut akan digunakan untuk menentukan orde yang akan difilter dari sistem. Hal tersebut dikarenakan lebih menjamin besarnya harmonik akan berada dalam batas standar yang layak sesuai dengan SPLN D5.004-1:2012. Dalam penelitian dilakukan beberapa kondisi pembebaran yang berbeda untuk mengetahui pengaruh dan kinerja filter pasif terhadap adanya perubahan kondisi dari sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro.

#### 4.4.1 Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui pengaruh adanya pemasangan filter pasif terhadap besar tegangan, arus, dan faktor daya yang ada pada beberapa kondisi sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Dari simulasi tersebut didapatkan hasil kondisi *existing* setelah pemasangan filter pasif yang dapat dilihat pada Tabel 4.26.

**Tabel 4.26** Hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Kondisi	kV (%)	Arus (A)	pF (%)	P (kW)	Q (kVAR)	S (kVA)	IHD <sub>i</sub> (%)
1	98,55	501,4	99,5	341	32,887	342	10,06
2	98,93	398,9	99,9	273	10,021	273	7,40
3	99,14	345,8	-99,99	238	-3,058	238	4,99
4	99,29	307,1	-99,8	211	-13,153	211	2,66

➤ Kondisi 1

Simulasi aliran daya pada kondisi 1 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan dengan pembebatan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan yang telah dilakukan pemasangan filter pasif. Dari simulasi tersebut didapatkan informasi sistem kelistrikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.27.

**Tabel 4.27** Hasil simulasi aliran daya sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro kondisi 1

kV(%)	Arus(A)	pF(%)	P(kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	IHD <sub>i</sub> (%)
98,55	501,4	99,5	341	32,887	342	10,06

Dari Tabel 4.27 Dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 98,55%, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1:2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal.

Nilai faktor daya pada sistem juga telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*.

Dari hasil simulasi pada kondisi 1 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,1006)^2}}$$

$$PF_{dist} = 0.99$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0.995 \times 0.99$$

$$PF_{true} = 0.9900 \times 100\%$$

$$PF_{true} = 99 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 1 sebesar 99%. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban *non linear* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

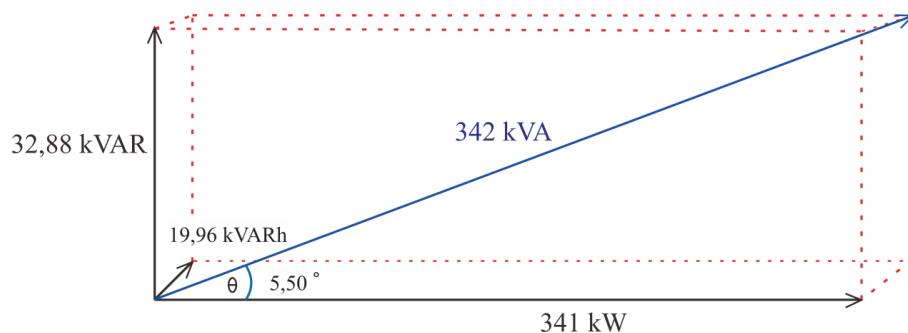
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(342)^2 - (341)^2 - (32,887)^2}$$

$$H = 19,963 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonika pada kondisi 1 sebesar  $11,70629 \text{ kVAR}_H$ . Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada gambar 4.27 berikut :



**Gambar 4.27** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonika pada kondisi 1

Gambar 4.27 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif pada kondisi pembebanan 100% beban Departemen Teknik Elektro dan 40% beban dari Dekanat lama, gedung Perkapalan, dan Gedung Geodesi akan menghasilkan daya harmonika sebesar  $19,963 \text{ kVARH}$ . Besarnya nilai harmonika dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya, juga dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai daya distorsi harmonika pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer, transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

#### ➤ Kondisi 2

Simulasi aliran daya pada kondisi 2 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan dengan pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro yang telah dilakukan pemasangan filter pasif. Dari simulasi tersebut didapatkan informasi sistem kelistrikan yang dapat dilihat pada tabel 4.28.

**Tabel 4.28** Hasil simulasi aliran daya sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro kondisi 2

kV(%)	Arus(A)	pF(%)	P(kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	IHD <sub>i</sub> (%)
98,93	398,9	99,9	273	10,021	273	7,40

Dari Tabel 4.28 Dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 98,93%, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1:2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal. Nilai faktor daya pada sistem juga telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*.

Dari hasil simulasi pada kondisi 2 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,0740)^2}}$$

$$PF_{dist} = 1$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0,999 \times 1$$

$$PF_{true} = 0,996 \times 100\%$$

$$PF_{true} = 99,6 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 2 sebesar 99,6%. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada

sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban non linear dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

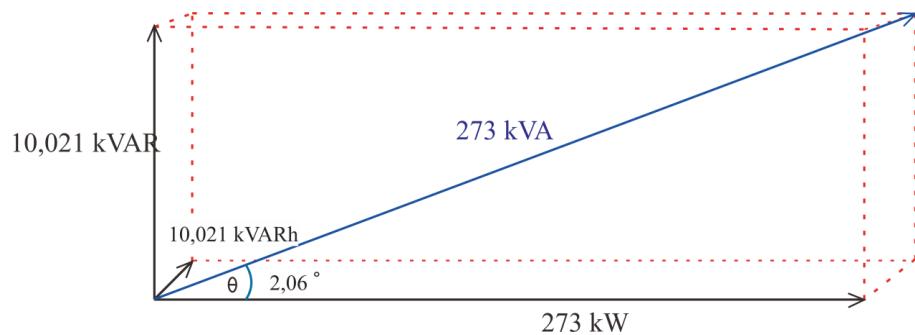
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(273)^2 - (273)^2 - (10,021)^2}$$

$$H = 10,021 i \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonika pada kondisi 2 sebesar 10,021 kVAR<sub>H</sub>. Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada gambar 4.28 berikut :



**Gambar 4.28** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonika pada kondisi 2

Gambar 4.28 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif pada kondisi pembebanan penuh akan menghasilkan daya harmonika sebesar 10,021 kVARH. Besarnya nilai harmonika dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya, juga dapat mempengaruhi besarnya nilai daya distorsi harmonika pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer, transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

➤ Kondisi 3

Simulasi aliran daya pada kondisi 3 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif dengan pembebanan 100 % dari beban Gedung A dan 60% beban pada Gedung B di Departemen Teknik Elektro. Dari simulasi tersebut didapatkan informasi sistem kelistrikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.29.

**Tabel 4.29** Hasil simulasi aliran daya sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro kondisi 3

kV(%)	Arus(A)	pF(%)	P(kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	IHD <sub>i</sub> (%)
99,14	345,8	-99,99	238	-3,058	238	4,99

Dari Tabel 4.29 Dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 99,14%, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1:2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah ±5% dari tegangan nominal.

Nilai faktor daya pada sistem juga telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Hal-hal yang mempengaruhi nilai faktor daya adalah banyak sedikitnya beban yang bersifat induktif yang menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* atau beban yang bersifat kapasitif yang menyebabkan faktor daya menjadi *leading*.

Dari hasil simulasi pada kondisi 3 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,0499)^2}}$$

$$PF_{dist} = 1$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = -0,999 \times 1$$

$$PF_{true} = -0,9986 \times 100\%$$

$$PF_{true} = -99,86 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 3 sebesar 99,6%. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban *non-linear* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

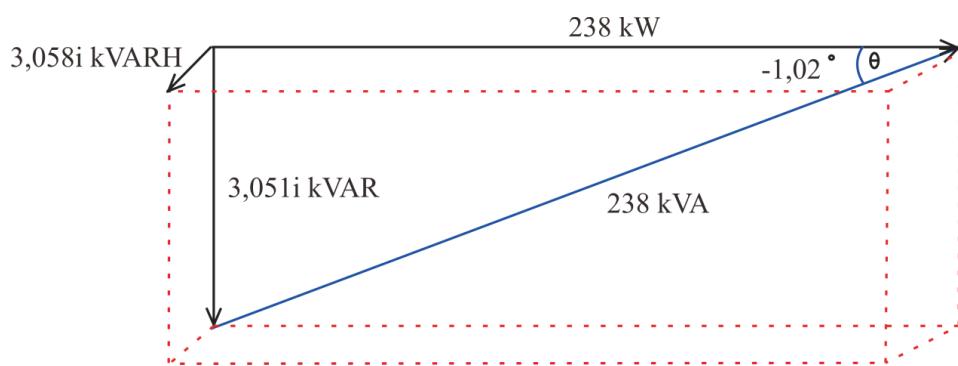
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(238)^2 - (238)^2 - (-3,051)^2}$$

$$H = 3,058i \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 3 sebesar  $3,051i \text{ kVAR}_H$ . Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada gambar 4.29 berikut :



**Gambar 4.29** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 3

Gambar 4.29 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif pada kondisi pembebanan penuh akan menghasilkan daya

harmonisa sebesar  $3,051i$  kVARH. Besarnya nilai harmonisa dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya, juga dapat mempengaruhi besar-kecilnya nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer, transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

#### ➤ Kondisi 4

Simulasi aliran daya pada kondisi 4 berisi mengenai kondisi sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif dengan pembebangan 100 % dari beban Gedung A dan 30% beban pada Gedung B di Departemen Teknik Elektro. Dari simulasi tersebut didapatkan informasi sistem kelistrikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.30

**Tabel 4.30** Hasil simulasi aliran daya sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro kondisi 4

kV (%)	Arus (A)	pF (%)	P (kW)	Q (kVAR)	S (kVA)	IHD <sub>i</sub> (%)
99,29	307,1	-99,8	211	-13,153	211	2,66

Dari Tabel 4.30 Dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada sistem kelistrikan sebesar 99,29%, nilai tersebut masih berada pada batas standar *undervoltage* maupun *overvoltage* yang dijelaskan dalam SPLN D5.004-1:2012 bahwa batas toleransi tegangan adalah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal.

Nilai faktor daya pada sistem juga telah berada dibatas aman PLN yang mana telah berada diatas 85 %. Akan tetapi nilai faktor daya pada kondisi 4 bersifat leading karena beban yang terpasang pada sistem tersebut dominan bersifat kapasitif.

Dari hasil simulasi pada kondisi 4 dapat dihitung nilai faktor daya yang sebenarnya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa arus terhadap sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif di Departemen Teknik Elektro. Nilai faktor daya sebenarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,0266)^2}}$$

$$PF_{dist} = 1$$

maka nilai *true* PF nya adalah:

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = -0,9976 \times 1$$

$$PF_{true} = -0,9976 \times 100\%$$

$$PF_{true} = -99,76 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi 4 sebesar 99,6%. Untuk mengetahui nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang disebabkan oleh beban non linear dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

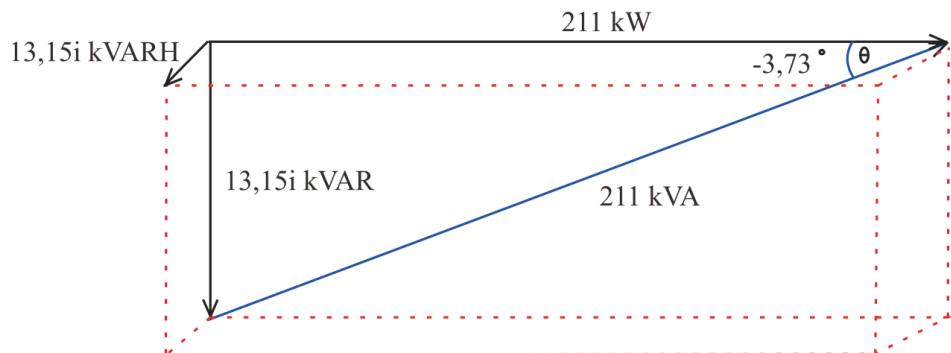
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$H = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

$$H = \sqrt{(211)^2 - (211)^2 - (-13,153)^2}$$

$$H = 13,153i \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 4 sebesar 13,153i kVAR<sub>H</sub>. Dari data diatas didapatkan hubungan dari keempat daya tersebut sesuai pada gambar 4.30 berikut :



**Gambar 4.30** Diagram fasor daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan daya distorsi harmonisa pada kondisi 3

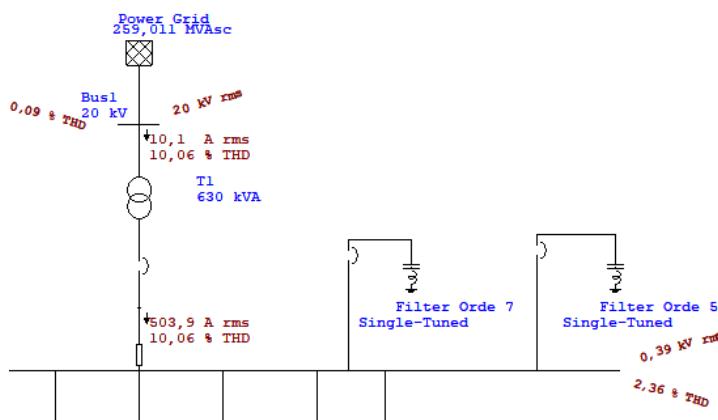
Gambar 4.30 Menunjukkan bahwa saat sistem kelistrikan yang telah dipasang filter pasif pada kondisi pembebanan penuh akan menghasilkan daya harmonisa sebesar 13,153 kVARH. Besarnya nilai harmonisa dapat mempengaruhi penurunan faktor daya yang sebenarnya meskipun faktor daya fundamentalnya tetap baik. Maraknya penggunaan beban *non-linear* selain mempengaruhi nilai faktor daya sebenarnya, juga dapat mempengaruhi besarkcilnya nilai daya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang dapat mengakibatkan terganggunya operasi peralatan elektronik yang tedapat di Departemen Teknik Elektro seperti komputer, transformator, motor-motor, dan peralatan listrik yang terhubung pada jaringan yang sama.

#### 4.4.2 Simulasi Analisa Harmonisa

Simulasi *harmonic analysis* pada kondisi sesudah pemasangan filter pasif dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan arus harmonisa yang ada pada sistem kelistrikan dengan keempat *scenario* yang dibuat. Informasi nilai harmonisa setelah pemasangan filter pasif diperlukan untuk mengetahui pengaruh dan hasil kinerja filter dalam meredam harmonisa pada sistem kelistrikan.

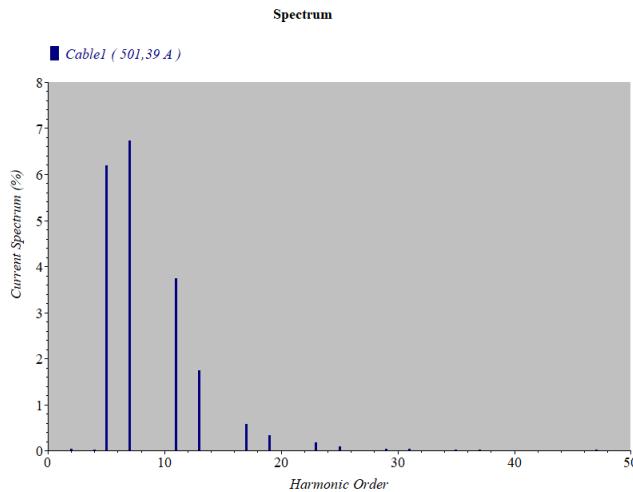
➤ Kondisi 1

Hasil simulasi pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan dengan kondisi 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.31 berikut.



**Gambar 4.31** Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif pada pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Berdasarkan Gambar 4.31 dapat dilihat bahwa besar nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi 1 setelah dipasang filter pasif. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THDv sebesar 2,36%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Dapat dilihat juga untuk THD arus pada Bus Utama adalah sebesar 10,06%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut telah berada dibatas amannya yaitu dibawah 12%. Dari kondisi diatas didapatkan bentuk gelombang spektrum FFT seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.32.

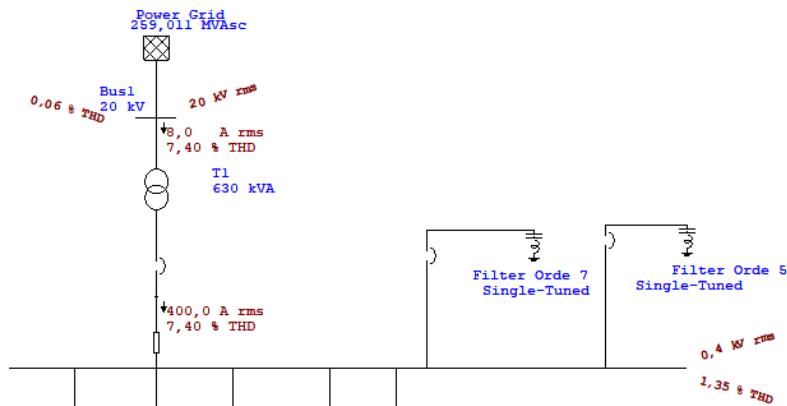


**Gambar 4.32** Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan.

Gambar 4.32 merupakan gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan pada kondisi 1. Dari spektrum gelombang FFT diatas di dapatkan nilai harmonisa arus yang cukup dominan yaitu sebesar 6,2% pada orde 5 dan 6,7% pada orde 7. Dari hasil simulasi pemasangan filter tersebut didapatkan bahwa nilai harmonisa arus dominan telah memenuhi standar SPLN D5.004-1:2012.

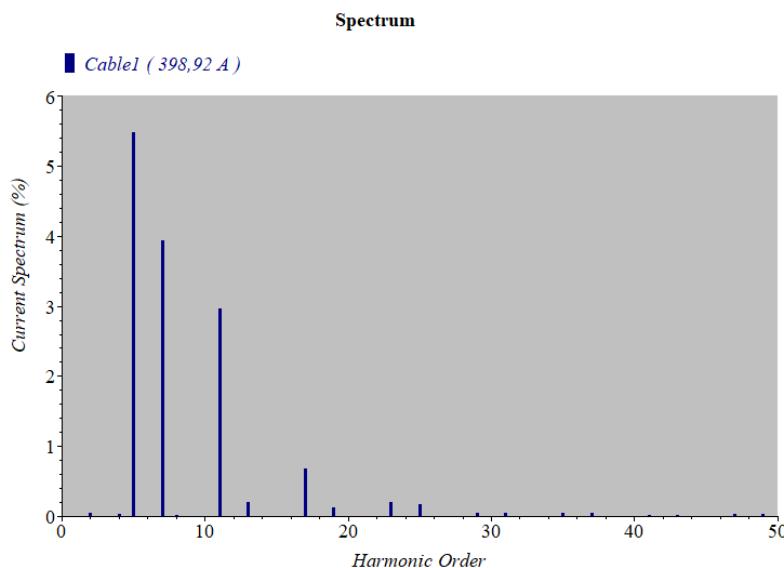
#### ➤ Kondisi 2

Hasil simulasi pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% di Departemen Teknik Elektro dapat dilihat pada Gambar 4.33 berikut.



**Gambar 4.33** Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 4.33 dapat dilihat bahwa besar nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi 2 setelah dipasang filter pasif. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa Bus Utama memiliki THDv sebesar 1,35%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Sedangkan nilai THD arus pada Bus Utama sebesar 7,40%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut telah berada dibatas amannya yaitu dibawah 12%. Dari kondisi diatas didapatkan bentuk gelombang spektrum FFT seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.34.

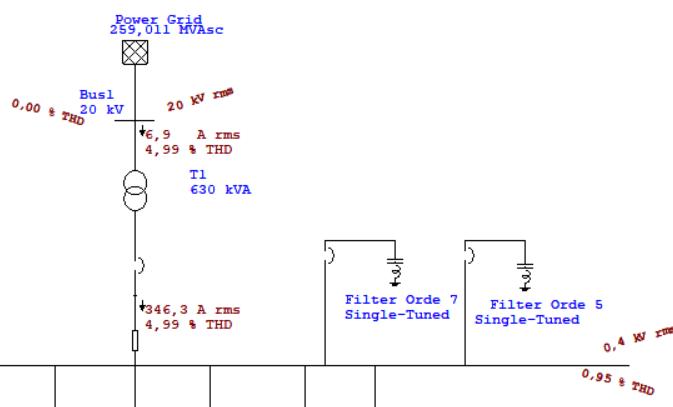


**Gambar 4.34** Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter dengan kondisi pembebatan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.34 Merupakan gambar gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi 2. Dari spektrum gelombang FFT diatas di dapatkan nilai harmonisa arus yang cukup dominan yaitu sebesar 5,5 % pada orde 5 dan 3,9% pada orde 7. Dari hasil simulasi pemasangan filter tersebut dapat dilihat bahwa nilai harmonisa arus pada orde dominan telah berada di bawah standar SPLN D5.004-1:2012.

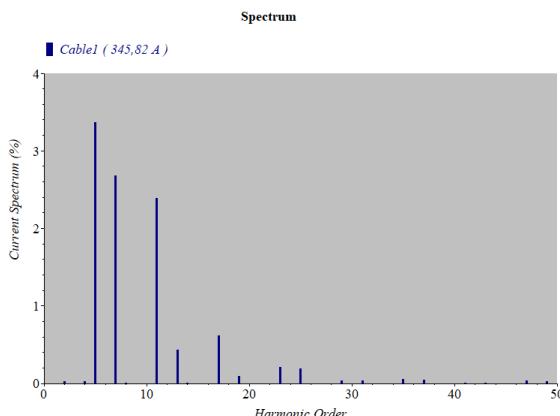
➤ Kondisi 3

Hasil simulasi pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan dengan kondisi pembebanan 100% beban Gedung A dan 60 % dari beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.35 berikut.



**Gambar 4.35** Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebanan 100% dari beban Gedung A dan 60% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 4.35 dapat dilihat bahwa besar nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi 3 setelah dipasang filter pasif. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THDv sebesar 0,95%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk system dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Dapat dilihat juga untuk THD arus pada Bus Utama adalah sebesar 4,99%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut telah berada dibatas amannya yaitu dibawah 12%. Dari kondisi diatas didapatkan bentuk gelombang spektrum FFT seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.36.

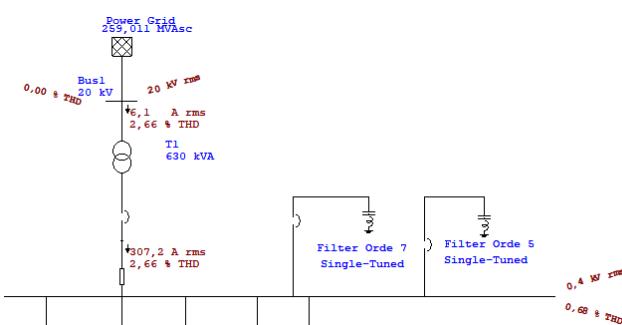


**Gambar 4.36** Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebanan 100% dari beban Gedung A dan 60% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.36 Merupakan gambar gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi 3. Dari spektrum gelombang FFT diatas di dapatkan nilai harmonisa arus yang cukup dominan yaitu sebesar 3,4 % pada orde 5 dan 2,7% pada orde 7. Dari hasil simulasi pemasangan filter didapatkan nilai harmonisa arus pada orde dominan telah memenuhi standar SPLN D5.004-1:2012.

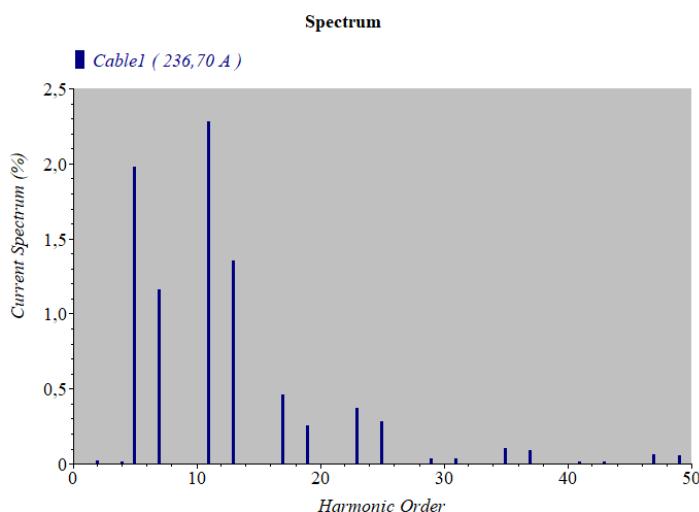
#### ➤ Kondisi 4

Hasil simulasi pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan dengan kondisi pembebanan 100% beban Gedung A dan 30 % dari beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro diperoleh data yang dapat dilihat pada Gambar 4.37 berikut.



**Gambar 4.37** Hasil simulasi analisa harmonik setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebanan 100% dari beban Gedung A dan 30% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 4.37 dapat dilihat bahwa besar nilai THD tegangan maupun arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dengan kondisi 4 setelah dipasang filter pasif. Gambar di atas menunjukkan bahwa pada Bus Utama memiliki THDv sebesar 0,68%. Nilai tersebut telah berada di batas aman sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas maksimalnya adalah 5%. Dapat dilihat juga untuk THD arus pada Bus Utama adalah sebesar 2,66%. Berdasarkan standar SPLN D5.004-1: 2012 nilai THD arus pada kondisi tersebut telah berada dibatas amannya yaitu dibawah 12%. Dari kondisi diatas didapatkan bentuk gelombang spektrum FFT seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.38.



**Gambar 4.38** Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pasif dengan kondisi pembebahan 100% dari beban Gedung A dan 30% beban Gedung B di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.38 merupakan gambar gelombang FFT THD arus dari sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi 4. Dari spektrum FFT diatas didapatkan nilai harmonisa arus yang dominan yaitu sebesar 1,5 % pada orde 5 dan 0,9 % pada orde 7. Dari hasil simulasi pemasangan filter menunjukkan bahwa nilai harmonisa arus pada orde dominan telah berada di bawah standar SPLN D5.004-1:2012.

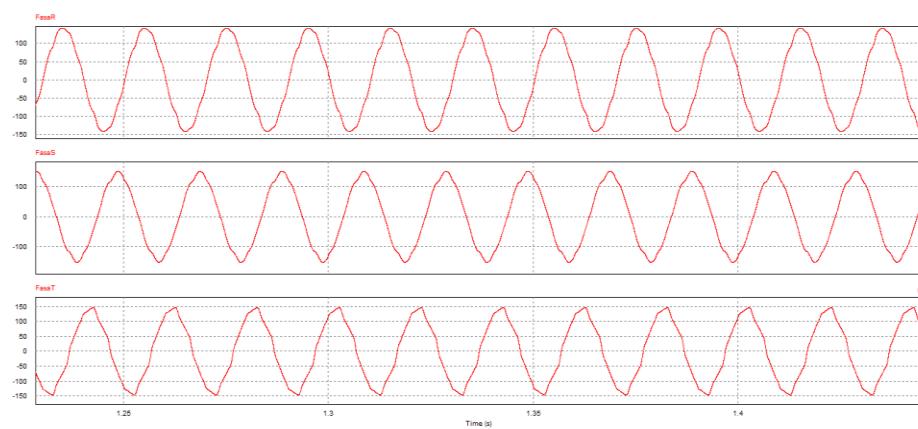
## 4.5 Simulasi Sistem Tenaga Dengan Filter Pasif Menggunakan PSIM 9.0

Dalam mengimplementasikan perancangan filter pasif pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro, dilakukan simplifikasi *single line diagram* menggunakan *software* PSIM 9.0 untuk mengetahui bentuk gelombang arus saat terdapat harmonisa serta bentuk gelombang FFT arus yang lebih terperinci pada setiap fasa.

### 4.5.1 Simulasi SIMVIEW Simulation

- Kondisi 1

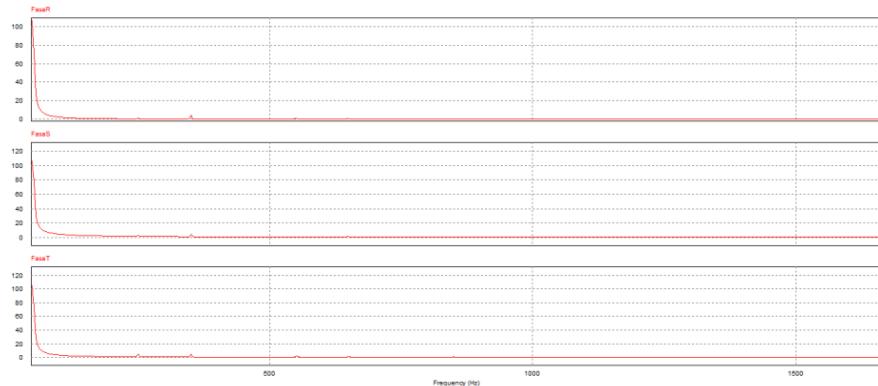
Berdasarkan rangkaian simplifikasi kondisi 1 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci saat sistem kelistrikan relah dipasang filter pasif. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 1 dapat dilihat pada Gambar 4.39.



**Gambar 4.39** Gelombang Arus harmonisa tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Gambar 4.39 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro ditambah dengan 40 % beban Gedung Perkapalan, Gedung Geodesi, dan Gedung Dekanat Lama. Setelah dilakukan pemasangan filter pasif pada sistem tersebut,

didapatkan gelombang arus hampir berbentuk *sinusoidal* sempurna, hal ini dikarenakan kecilnya distorsi harmonis yang terdapat pada gelombang. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.40.



**Gambar 4.40** Gelombang FFT Arus tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebangan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan

Berdasarkan Gambar 4.40 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.31.

**Tabel 4.31** *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Kondisi 1

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	141,13	145,73	141,40
5	2,11	3,40	4,799
7	4,3	3,85	5,466
11	1,40	0,538	2,20
17	0,373	0,457	0,995
19	0,249	0,256	0,593
23	0,08	0,175	0,094
25	0,076	0,074	0,059

Berdasarkan data pada Tabel 4.31 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada saat kondisi 1 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut [17]:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms\ fasa\ R} = \sqrt{141,132^2 + 2,11^2 + 4,30^2 + \cdots + 0,0767^2}$$

$$I_{rms\ fasa\ R} = 141,223\ A$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = \frac{\sqrt{2,11^2 + 4,30^2 + 1,40^2 + 0,785^2 + \cdots + 0,0767^2}}{113,749}$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 0,03594 \times 100\%$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 3,59\ %$$

Dengan cara yang sama didapatkan data pada Tabel 4.32 berikut:

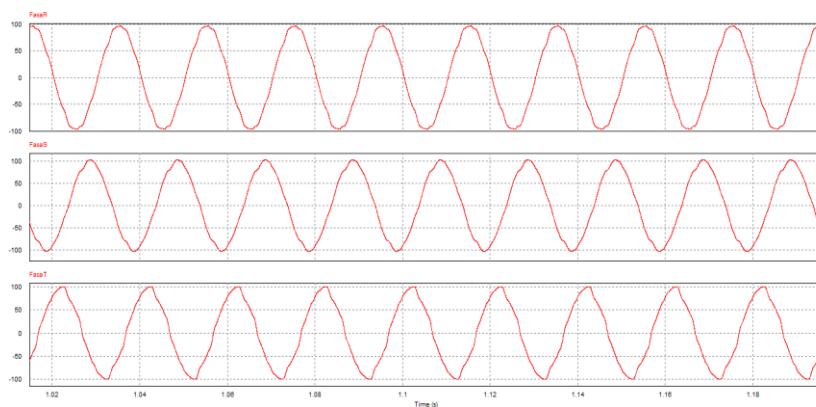
**Tabel 4.32 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 1**

Keterangan	Perhitungan IRMS (A)	Perhitungan THD I (%)	Standar IEEE 519-1992 THD I (%)
Fasa R	141,22	3,59	12
Fasa S	145,8	3,59	12
Fasa T	141,6	5,597	12

Berdasarkan Tabel 4.32 dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pemasangan filter pasif dengan pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro dan ditambah Gedung Perkapalan, Gedung Geodesi, dan Gedung Dekanat telah berada dibawah standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) pada tiap fasa menjadi 3,59% pada Fasa R, 3,59 % pada Fasa S, dan 5,579 % pada Fasa T. Dengan kecilnya nilai harmonisa pada sistem kelistrikan dapat meminimalisir adanya kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan juga gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik.

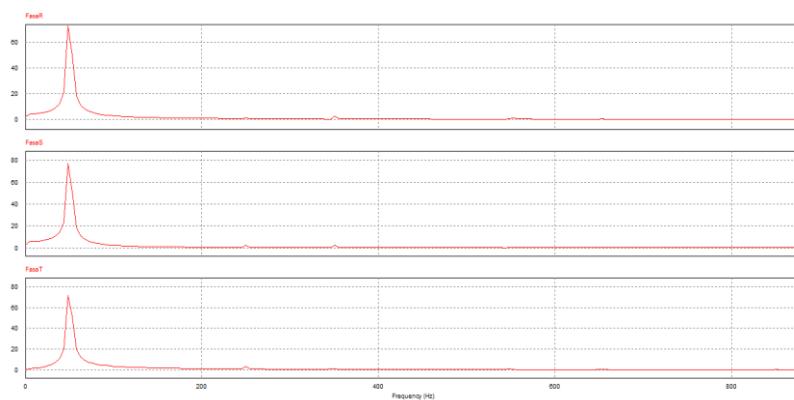
➤ Kondisi 2

Berdasarkan rangkaian simplifikasi kondisi 2 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci saat sistem kelistrikan dipasang filter pasif. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 2 dapat dilihat pada Gambar 4.41.



**Gambar 4.41** Gelombang Arus tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro

Gambar 4.41 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro. Setelah dilakukan pemasangan filter pasif gelombang arus hampir berbentuk sinusoidal sempurna, hal ini dikarenakan kecilnya distorsi harmonis yang terdapat pada gelombang. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.42.



**Gambar 4.42** Gelombang FFT Arus tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan gelombang FFT arus pada Gambar 4.42 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.33

**Tabel 4.33** *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Kondisi 3

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	96,85	101,34	97,00
5	0,39	2,3	3,44
7	2,33	2,0	2,5
11	1,16	0,74	1,78
13	0,55	0,42	1,06
17	0,41	0,42	0,74
19	0,22	0,20	0,41
23	0,12	0,21	0,17
25	0,06	0,06	0,003

Berdasarkan data pada Tabel 4.33 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada saat kondisi 2 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms\ fasa\ R} = \sqrt{96,85^2 + 0,39^2 + 2,33^2 + \dots + 0,06^2}$$

$$I_{rms\ fasa\ R} = 96,88\ A$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = \frac{\sqrt{0,39^2 + 2,33^2 + 1,16^2 + 0,55^2 + \dots + 0,06^2}}{96,85}$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 0,02821 \times 100\%$$

$$I_{THD\ fasa\ R} = 2,821\ %$$

Dengan cara yang sama didapatkan data pada Tabel 4.34 berikut:

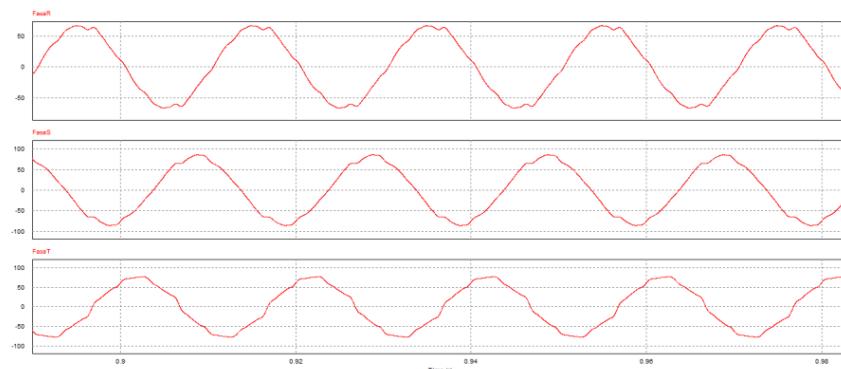
**Tabel 4.34 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 2**

Keterangan	Perhitungan	Perhitungan	Standar IEEE
	IRMS (A)	THD I (%)	519-1992 THD I (%)
Fasa R	96,8	2,82	12
Fasa S	101,3	3,16	12
Fasa T	97,11	4,95	12

Berdasarkan Tabel 4.34 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pemasangan filter pasif dengan pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro telah berada dibawah standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) pada tiap fasa menjadii 2,82% pada Fasa R, 3,16 % pada Fasa S, dan 4,95 % pada Fasa T. Dengan kecilnya nilai harmonisa pada sistem kelistrikan dapat meminimalisir adanya kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan juga gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik.

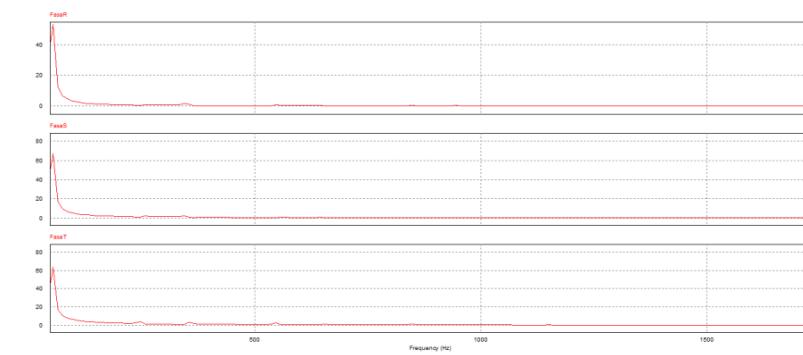
#### ➤ Kondisi 3

Berdasarkan rangkaian simplifikasi kondisi 3, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang maupun FFT arus pada fasa R, S, dan T secara terperinci. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 3 dapat dilihat pada Gambar 4.43.



**Gambar 4.43** Gelombang Arus pada tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebanan 100% gedung A dan 60% gedung B

Gambar 4.43 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebanan penuh pada Gedung A dan 60% beban pada Gedung B di Departemen Teknik Elektro. Setelah dilakukan pemasangan filter pasif pada sistem tersebut, didapatkan gelombang arus hampir berbentuk *sinusoidal* sempurna, hal ini dikarenakan kecilnya distorsi harmonis yang terdapat pada gelombang. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.44.



**Gambar 4.44** Gelombang FFT Arus pada tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebanan 100% gedung A dan 60% gedung B

Berdasarkan gelombang FFT arus pada Gambar 4.44 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.35.

**Tabel 4.35** Individual Harmonic Distortion (IHD) Arus Kondisi 3

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	66,60	83,06	75,37
5	1,02	2,5	3,0
7	2,4	2,4	2,94
11	1,0	1,1	1,86
13	0,59	0,61	1,2
17	0,46	0,46	0,75
19	0,27	0,28	0,49
23	0,098	0,18	0,135
25	0,029	0,073	0,26

Berdasarkan data pada Tabel 4.35 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada saat kondisi 3 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms} fasa R = \sqrt{66,60^2 + 1,02^2 + 2,4^2 + \cdots + 0,029^2}$$

$$I_{rms} fasa R = 66,66 \text{ A}$$

$$I_{THD} fasa R = \frac{\sqrt{1,02^2 + 2,4^2 + 1,0^2 + 0,59^2 + \cdots + 0,029^2}}{66,60}$$

$$I_{THD} fasa R = 0,0436 \times 100\%$$

$$I_{THD} fasa R = 4,36 \text{ \%}$$

Dengan cara yang sama didapatkan data pada Tabel 4.36 Berikut:

**Tabel 4.36 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 3**

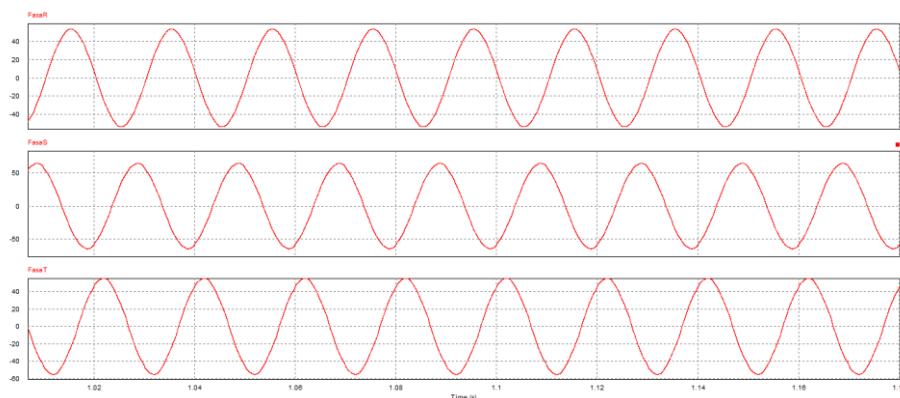
Keterangan	Perhitungan IRMS (A)	Perhitungan THD I (%)	Standar IEEE 519-1992 THD I (%)
Fasa R	66,6	4,36	12
Fasa S	83,143	4,49	12
Fasa T	73,52	6,59	12

Berdasarkan Tabel 4.36 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pemasangan filter pasif dengan penuh pada Gedung A dan 60% beban pada Gedung B di Departemen Teknik Elektro telah berada dibawah standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) pada tiap fasa menjadii 4,36% pada Fasa R, 4,49 % pada Fasa S, dan 6,59 % pada Fasa T. Dengan kecilnya nilai

harmonisa pada sistem kelistrikan dapat meminimalisir adanya kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan juga gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik.

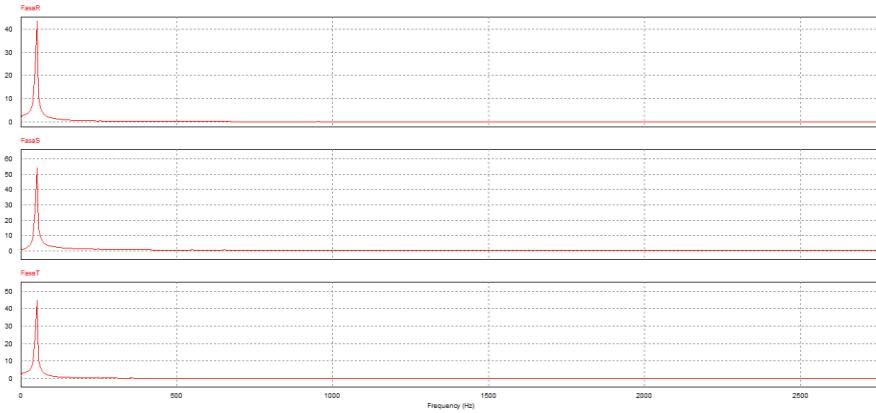
➤ Kondisi 4

Berdasarkan rangkaian simplifikasi kondisi 4 yang telah dibuat, dilakukan simulasi SIMVIEW untuk mengetahui bentuk gelombang arus maupun gelombang FFT arus pada masing-masing fasa R, S, dan T secara terperinci saat sistem kelistrikan dipasang filter pasif. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, bentuk gelombang arus pada kondisi 4 dapat dilihat pada Gambar 4.45.



**Gambar 4.45** Gelombang Arus pada tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B

Gambar 4.45 merupakan hasil simulasi gelombang arus tiap fasa ketika sistem kelistrikan mengalami pembebahan penuh pada Gedung A dan 30% beban pada Gedung B di Departemen Teknik Elektro. Setelah dilakukan pemasangan filter pasif pada sistem tersebut, didapatkan gelombang arus hampir berbentuk *sinusoidal* sempurna, hal ini dikarenakan kecilnya distorsi harmonisa yang terdapat pada gelombang. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan pula gelombang FFT arus yang dapat dilihat pada Gambar 4.46.



**Gambar 4.46** Gelombang FFT Arus pada tiap fasa setelah pemasangan filter pasif pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 30% gedung B

Berdasarkan gelombang FFT arus pada Gambar 4.46 didapatkan data *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus pada tiap orde yang dapat dilihat pada Tabel 4.37.

**Tabel 4.37** *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Kondisi 4

Orde Ke	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	53,08	64,77	54,86
5	0,35	0,54	0,69
7	0,17	0,24	0,3
11	0,12	0,43	0,29
13	0,23	0,28	0,10
17	0,12	0,16	0,24
19	0,086	0,11	0,16
23	0,049	0,14	0,1
25	0,03	0,07	0,026

Berdasarkan data pada Tabel 4.37 Dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada saat kondisi 4 dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut [17]:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1}$$

➤ Fasa R

$$I_{rms} \text{ fasa R} = \sqrt{53,08^2 + 0,35^2 + 0,17^2 + \dots + 0,03^2}$$

$$I_{rms} \text{ fasa R} = 53,08 \text{ A}$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = \frac{\sqrt{0,35^2 + 0,17^2 + 0,12^2 + 0,23^2 + \dots + 0,03^2}}{53,08}$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = 0,0093 \times 100\%$$

$$I_{THD} \text{ fasa R} = 0,93 \text{ %}$$

Dengan cara yang sama didapatkan data pada Tabel 4.38 Berikut:

**Tabel 4.38 Total Harmonic Distortion (THD) Arus Kondisi 4**

Keterangan	Perhitungan IRMS (A)	Perhitungan THD I (%)	Standar IEEE 519-1992 THD I (%)
Fasa R	53,08	0,93	12
Fasa S	64,775	1,26	12
Fasa T	54,8	1,58	12

Berdasarkan Tabel 4.38 Dapat dilihat bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) arus yang ada baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T saat dalam kondisi pemasangan filter pasif dengan penuh pada Gedung A dan 60% beban pada Gedung B di Departemen Teknik Elektro telah berada dibawah standar IEEE 519-1992. Besar *Total Harmonic Distortion* (THD) pada tiap fasa menjadii 0,93% pada Fasa R, 1,26 % pada Fasa S, dan 1,58 % pada Fasa T. Dengan kecilnya nilai harmonisa pada sistem kelistrikan dapat meminimalisir adanya kenaikan rugi-rugi, peningkatan panas, pengurangan umur operasi dan penurunan efisiensi pada trafo dan juga gagal kerja hingga kerusakan pada peralatan elektronik.

## 4.6 Perbandingan Sistem Tenaga Tanpa dan Dengan Filter Pasif

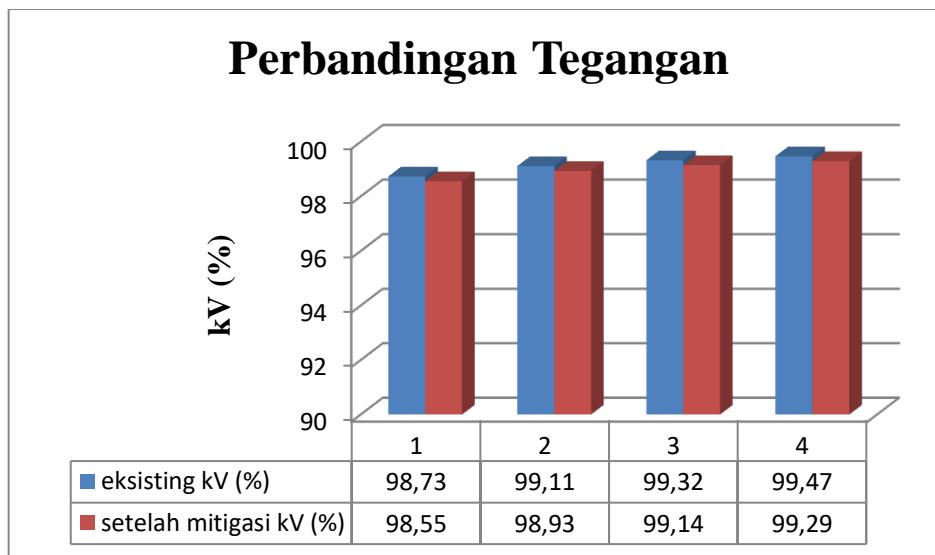
### 4.6.1 Aliran Daya

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 ketika sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro tidak menggunakan filter maupun setelah menggunakan filter, didapatkan perubahan nilai aliran daya pada sistem kelistrikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.39.

**Tabel 4.39** 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	-99,99
4	99,47	99,29	138,1	307,1	91,5	-99,8

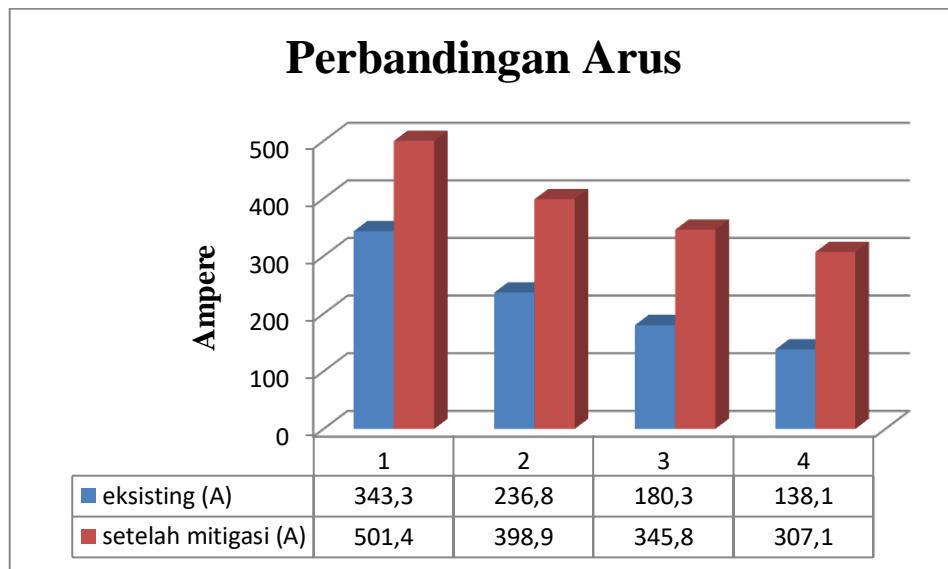
Dapat dilihat pada Tabel 4.39 perbedaan besar nilai tegangan (%), arus (A), dan faktor daya (%) pada berbagai kondisi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro baik saat tidak menggunakan filter maupun saat menggunakan filter. Kondisi tegangan pada eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.



**Gambar 4.47** Perbandingan tegangan pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik elektro

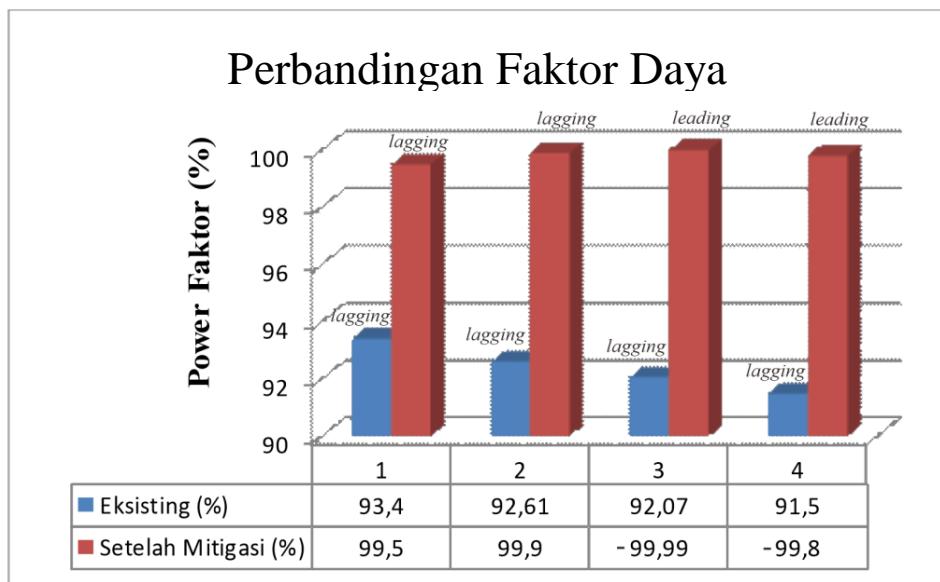
Berdasarkan Gambar 4.47 diperoleh perubahan besar tegangan pada bus trafo yang tidak terlalu signifikan saat kondisi sebelum dipasang filter dan setelah dipasang filter. Tegangan nominal pada tiap bus mengalami penurunan yang tidak signifikan dan masih berada dibatas toleransi *undervoltage* maupun *overvoltage*

yang mana dijelaskan dalam SPLN bahwa batas toleransi tegangan adalah  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada sistem stabil di rentang 98%-100%. Kondisi arus pada eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.



**Gambar 4.48** Perbandingan arus pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

Berdasarkan Gambar 4.48 diperoleh perubahan besar arus pada bus trafo mengalami perubahan yang signifikan saat kondisi sebelum dipasang filter dan setelah dipasang filter. Arus pada tiap kondisi sistem kelistrikan mengalami kenaikan yang cukup signifikan 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. Selain kondisi arus, faktor daya ada eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.



**Gambar 4.49** Perbandingan faktor daya pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Dari Gambar 4.49 Dapat dapat dilihat bahwa nilai faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro mengalami peningkatan yang cukup signifikan setelah dilakukan pemasangan filter pasif.

Pada kondisi pertama saat sistem mengalami pembebanan 100% beban elektro dan 40% beban dari Gedung Geodesi, Dekanat Lama, dan perkapanan terjadi kenaikan faktor daya sebesar 6,1% menjadi 99,5% *lagging*. Pada kondisi 2 ketika sistem kelistrikan mengalami pembebanan penuh di Departemen Teknik Elektro terjadi kenaikan faktor daya sebesar 7,38% menjadi 99,9% *lagging*.

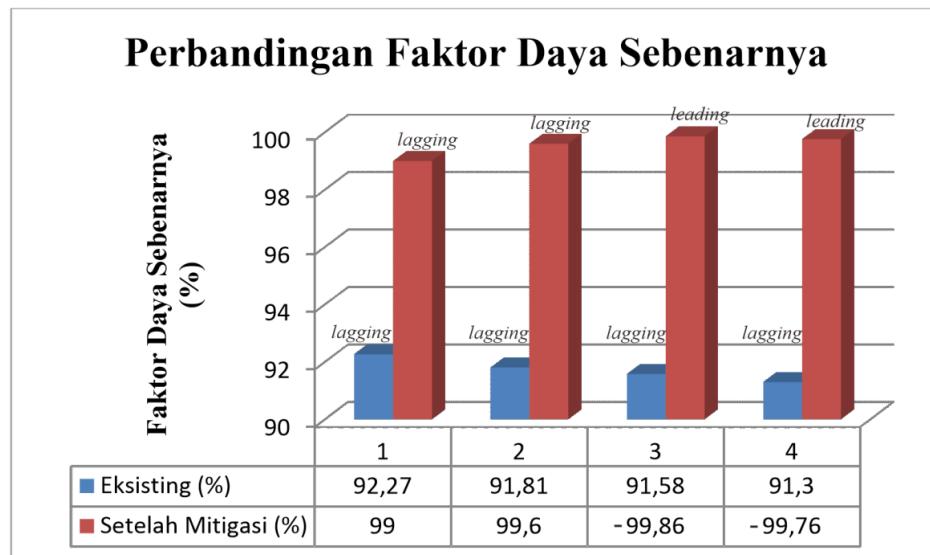
Pada kondisi 3 saat sistem kelistrikan mengalami pembebanan 100% pada Gedung A dan 60% pada Gedung B Departemen Teknik Elektro terjadi kenaikan faktor daya sebesar 7,94% menjadi 99,99% *leading*. Selain itu pada kondisi 4 ketika sistem kelistrikan mengalami pembebanan 100% pada Gedung A dan 30% pada Gedung B Departemen Teknik Elektro terjadi kenaikan faktor daya sebesar 8,7 % menjadi 99,99% *leading*.

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 Departemen Elektro dalam keadaan pembebahan tidak penuh, maka filter akan menghasilkan daya reaktif yang berlebih dan akan mengakibatkan sifat faktor daya berubah dari *lagging* menjadi *leading*.

Gambar 4.50 Merupakan pengaruh pemasangan filter pada sistem kelistrikan terhadap nilai faktor daya yang sesungguhnya untuk mengetahui besar pengaruh harmonisa yang belum diakomodir oleh faktor daya.



**Gambar 4.50** Perbandingan faktor daya sebenarnya pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

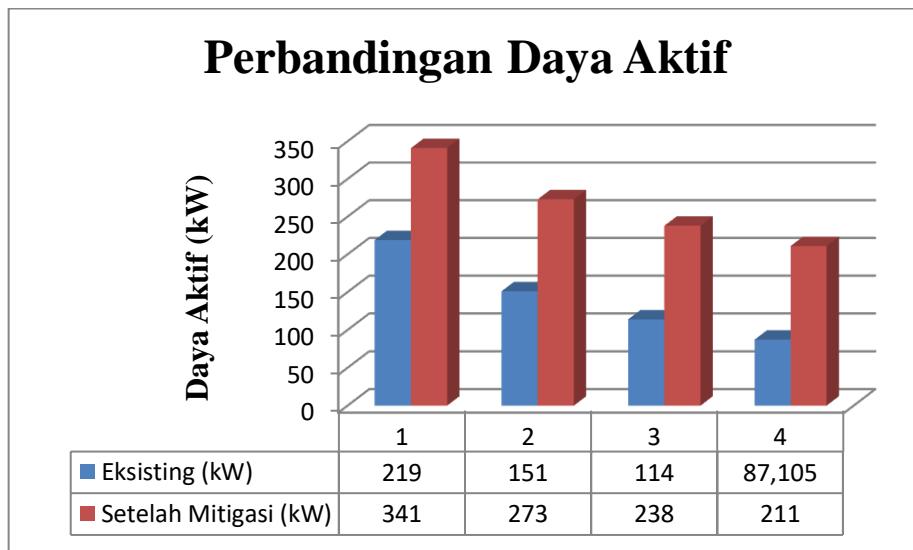
Dari Gambar 4.50 Menunjukkan perbedaan nilai faktor daya sebenarnya yang telah mengakomodir adanya harmonia arus harmonia pada 4 kondisi di sistem kelistrikan. Berdasarkan data diatas terdapat kenaikan yang cukup signifikan pada kondisi sesudah pemasangan filter pasif pada sistem. Dari data siatas didapatkan 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. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar harmonia arus dapat menyebabkan turunnya nilai faktor daya yang sebenarnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan dipasangnya filter pasif dapat meredam pengaruh harmonia yang disebabkan adanya beban *non-linear* pada sistem kelistrikan.

Tabel 4.40 berikut menunjukkan perbandingan daya yang terjadi pada sistem kelistrikan pada kondisi eksisting dengan kondisi setelah dilakukan mitigasi harmonia.

**Tabel 4.40** Hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi

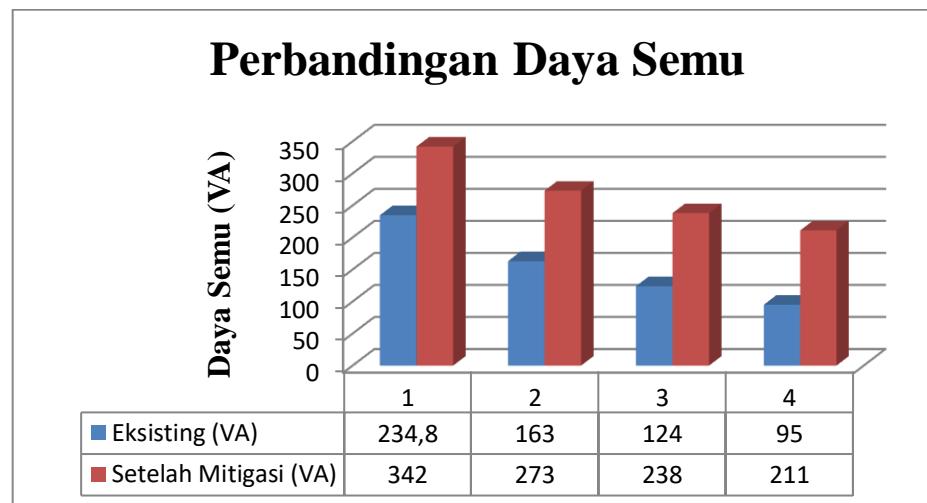
Kondisi	Daya Aktif (kW)		Daya Reaktif (kVAR)		Daya Semu (VA)	
	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi
1	219	341	83,863	32,887	234,8	342
2	151	273	61,319	10,021	163	273
3	114	238	48,413	-3,058	124	238
4	87,105	211	38,446	-13,153	95	211

Dari Tabel 4.40 Didapatkan bahwa terjadi perubahan nilai daya aktif, daya reaktif dan daya semu setelah adanya pemasangan filter pasif. Perubahan nilai daya aktif pada kondisi eksisting dan setelah dilakukan mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.



**Gambar 4.51** Perbandingan daya aktif pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik elektro

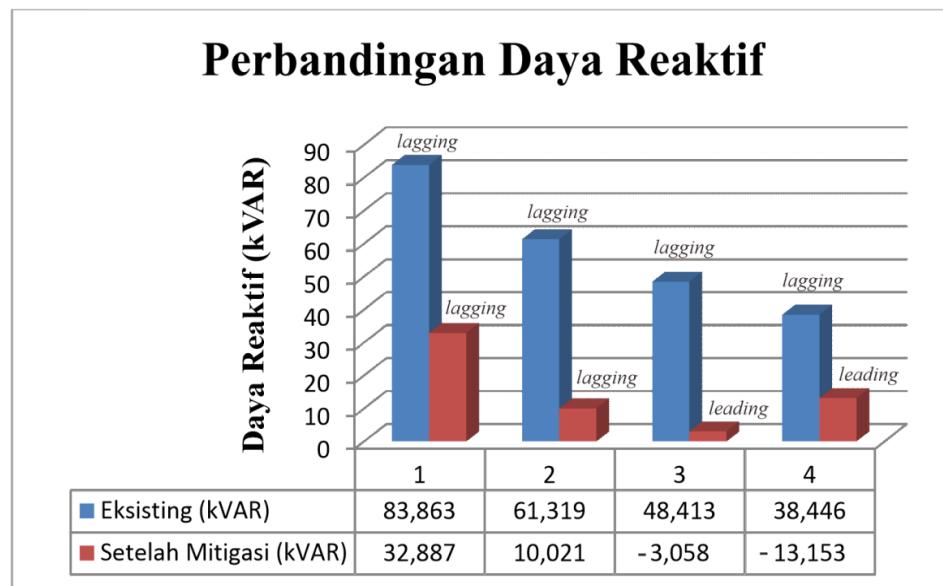
Dari Gambar 4.51 didapatkan bahwa setelah dilakukan pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan mengakibatkan adanya kenaikan daya aktif yang cukup signifikan. Selain adanya kenaikan nilai daya aktif, pemasangan filter pasif juga mengakibatkan adanya kenaikan daya semu seperti yang ditunjukkan pada diagram berikut.



**Gambar 4.52** Perbandingan daya reaktif pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 4.51 Dan 4.52 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. Hal ini juga didukung dengan adanya peningkatan nilai faktor daya yang sebanding dengan nilai daya aktif dan berbanding terbalik dengan daya semu.

Selain berfungsi mengkompensasi adanya harmonisa, pemasangan filter pasif juga berfungsi untuk mengkompensasi daya reaktif sehingga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Diagram berikut menunjukkan perbandingan daya reaktif pada keempat kondisi eksisting dengan setelah dilakukan mitigasi harmonisa.



**Gambar 4.53** Perbandingan daya semu pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Berdasarkan Gambar 4.53 Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan daya reaktif yang cukup signifikan pada keempat kondisi sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Dengan adanya pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan dapat mempertahankan daya reaktif untuk menjaga tegangan agar bisa menghantarkan daya aktif pada saluran transmisi. 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. Dengan adanya peredaman harmonika pada sistem kelistrikan departemen Teknik Elektro juga dapat mempengaruhi besar komponen daya reaktif yang mengakomodir adanya beban *non-linear*.

**Tabel 4.41** Hasil perhitungan daya harmonik sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi

Kondisi	Eksisting (kVARh)	Setelah Mitigasi (kVARh)
1	11,7	19,963
2	2,82	10,021
3	6,015	3,058
4	6,35i	13,153i

Dari Tabel 4.41 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 Sama dari sistem kelistrikan. Dari hasil analisa yang telah didapatkan bahwa dengan adanya pemasangan filter pasif dengan spesifikasi beban penuh menunjukkan bahwa filter dapat berkerja dengan baik dalam kondisi pembebanan apapun. Hal ini dibuktikan dengan adanya kenaikan nilai faktor daya yang mendekati unity pada semua kondisi kelistrikan. Selain memperbaiki nilai faktor daya, dengan adanya pemasangan filter pasif dapat mengakomodir keperluan Daya Reaktif yang diserap pada sistem kelistrikan. Hal tersebut ditunjukkan dengan turunnya nilai daya reaktif pada sistem.

Dilain sisi, dengan adanya pemasangan filter pasif dengan spesifikasi beban penuh dapat memperbaiki nilai faktor daya yang sebenarnya pada kondisi berbagai pembebanan pada sistem kelistrikan. Dengan membaiknya nilai faktor daya sebenarnya dapat menunjukkan bahwa dampak dari adanya harmonika pada sistem kelistrikan dapat direduc.

#### 4.6.2 Harmonisa

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0 diperoleh hasil reduksi nilai total distorsi harmonisa arus maupun tegangan pada 4 kondisi sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Tabel 4.42 merupakan data perbandingan nilai THDv maupun THDi pada saat sebelum dipasang filter dan sesudah dipasang filter.

**Tabel 4.42** Hasil simulasi analisis harmonisa sebelum dan sesudah menggunakan filter menggunakan *software* ETAP 12.6.0

Keterangan	THD V (%)			THD I (%)		
	Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi	Satandar	Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi	Satandar
Kondisi 1	2.63	2.36	5	15.63	10.06	12
Kondisi 2	1.55	1.35	5	13.22	7.4	12
Kondisi 3	1.14	0.95	5	10.27	4.99	12
Kondisi 4	0.9	0.68	5	6.6	2.66	12

Berdasarkan Tabel 4.42 dapat dilihat bahwa nilai THDi maupun THDv pada setiap kondisi pembebahan di Departemen Teknik Elektro 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 yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. Berikut merupakan contoh perhitungan pada Kondisi 1 :

$$\text{Reduksi harmonisa tegangan} = \frac{0,9 - 0,68}{0,9} \times 100\% = 24,4\%$$

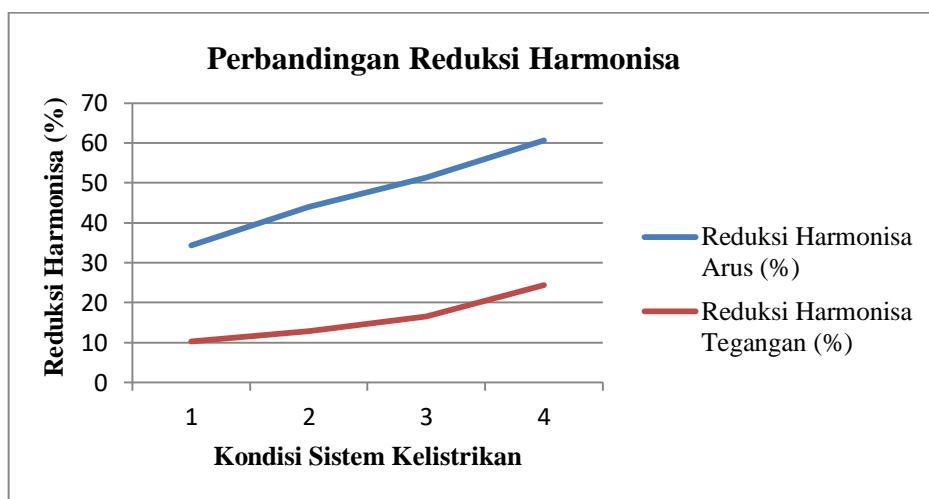
$$\text{Reduksi harmonisa arus} = \frac{6,6 - 2,6}{6,6} \times 100\% = 60,6\%$$

Dengan cara yang sama didapatkan data reduksi harmonisa tiap kondisi seperti pada Tabel 4.43.

**Tabel 4.43** Hasil perhitungan reduksi harmonisa

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

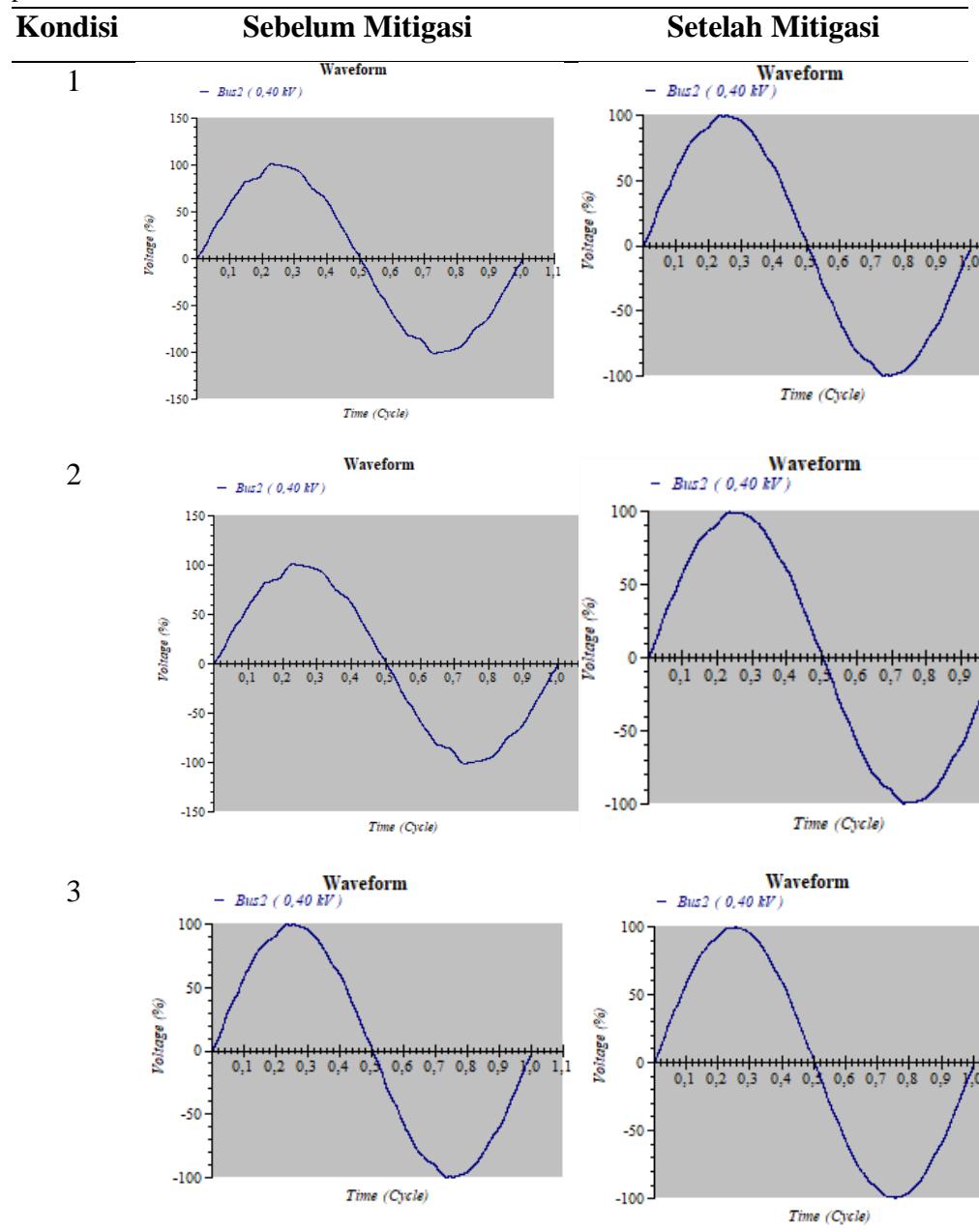
Dari tabel 4.43 Didapatkan grafik yang menunjukkan pengaruh adanya pemasangan filter pasif dengan spesifikasi pada saat pembebahan penuh terhadap berbagai kondisi pembebahan yang berbeda di Departemen Teknik Elektro.

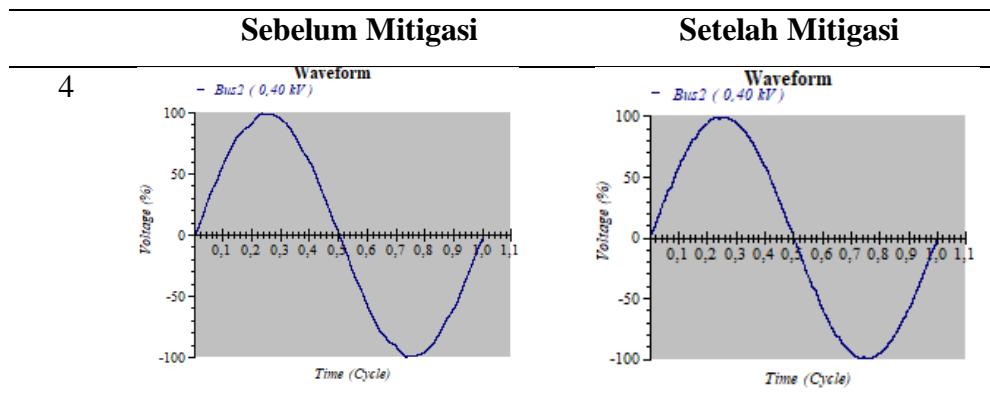
**Gamabar 4.54** Perbandingan besar reduksi harmonisa pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

Dari Gambar 4.54 didapatkan adanya pemasangan filter pasif dengan spesifikasi beban penuh akan tetap berkerja untuk mereduksi harmonisa pada kondisi pembebahan apapun. Adanya reduksi yang sangat besar pada sistem dapat mempengaruhi nilai faktor daya menjadi negatif atau *leading*. Hal ini disebabkan filter yang dirancang menggunakan acuan kondisi beban penuh sehingga saat sistem kelistrikan bekerja dalam keadaan pembebahan tidak penuh, maka filter menghasilkan daya reaktif yang berlebih sehingga mengakibatkan perubahan dari lagging menjadi *leading*. Adanya reduksi harmonisa pada sistem kelistrikan juga mempengaruhi bentuk gelombang pada sistem kelistrikan. Tabel 4.44 dan Tabel

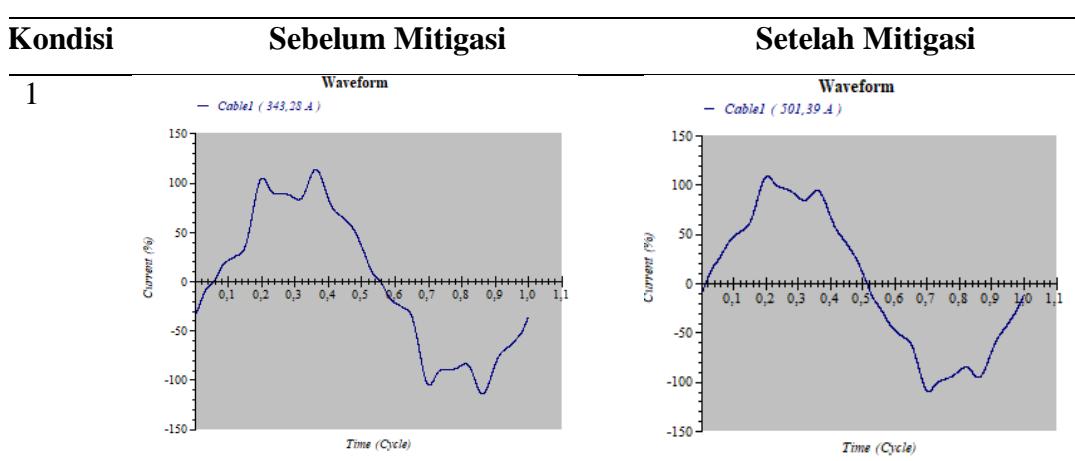
4.45 Menunjukkan adanya perubahan bentuk gelombang pada tiap kondisi pembebanan karena adanya pemasangan filter pasif.

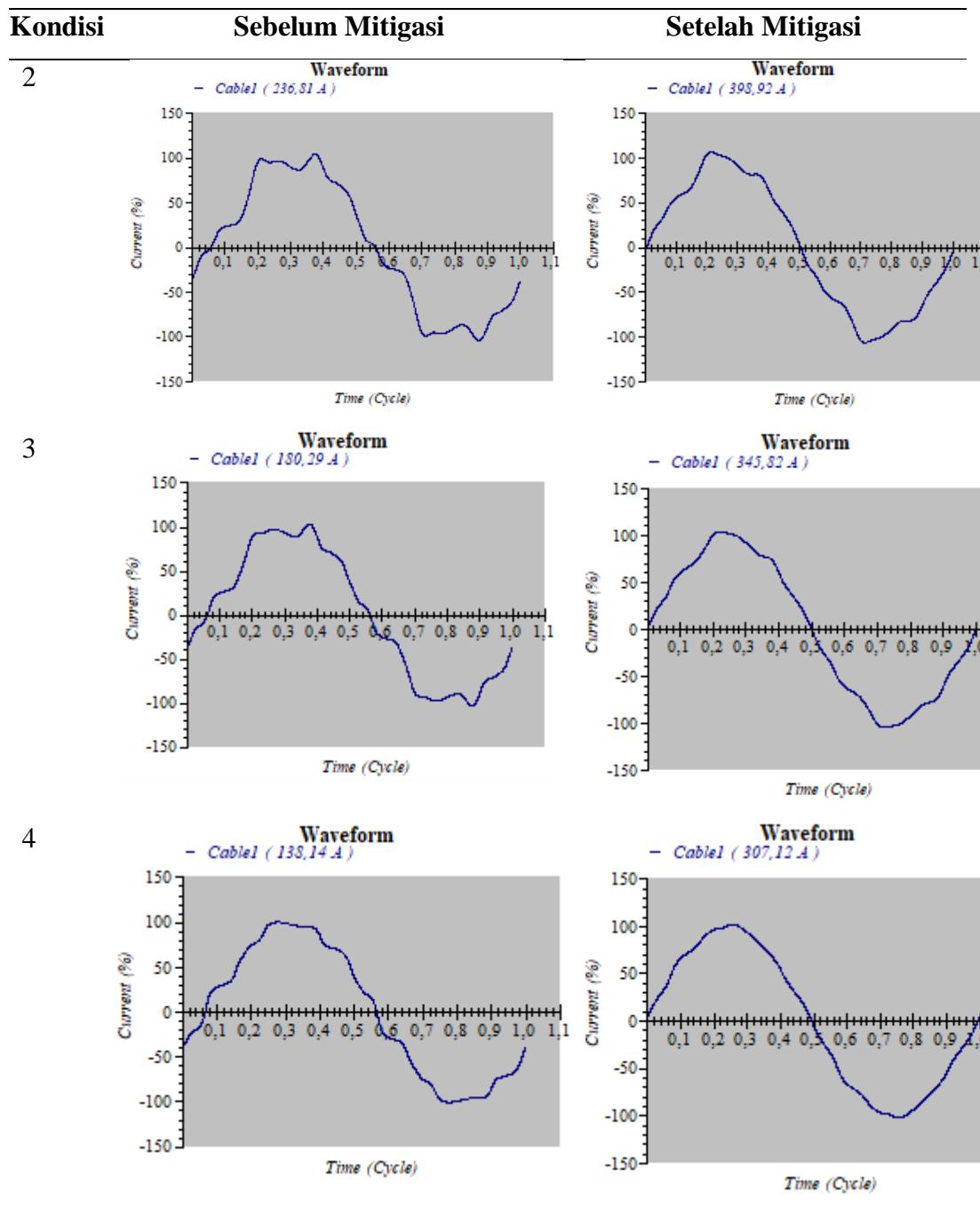
**Tabel 4.44** Perubahan bentuk gelombang tegangan harmonis pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan DTE



**Tabel 4.44** Lanjutan

Tabel 4.44 Menunjukkan adanya perubahan bentuk gelombang tegangan pada tiap kondisi setelah dilakukan pemasangan filter. Dari data diatas didapatkan bahwa setelah dilakukan pemasangan filter pasif menunjukkan perubahan gelombang tegangan setelah dilakukan mitigasi gelombang mendekati *sinusoidal* sempurna walaupun masih terdapat distorsi. Hal tersebut mengindikasikan kualitas tegangan menjadi lebih stabil sehingga dapat meminimalisir kerusakan alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-alat elektronik).

**Tabel 4.45** Perubahan bentuk gelombang arus harmonika pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan DTE

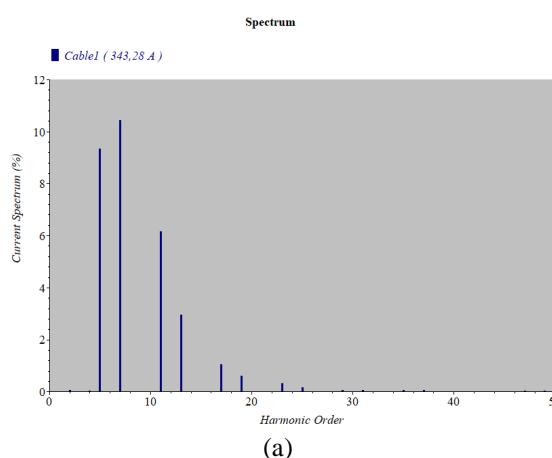
**Tabel 4.45 Lanjutan**

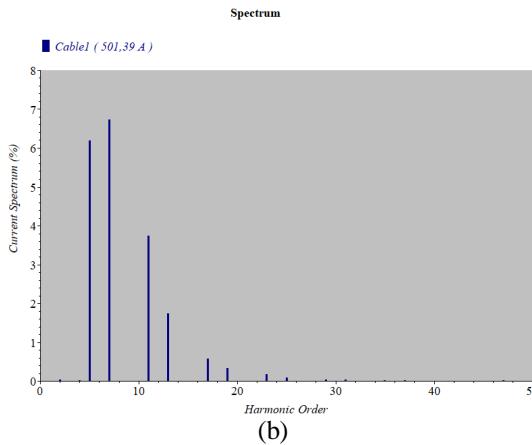
Tabel 4.45 Menunjukkan adanya perubahan bentuk gelombang arus pada tiap kondisi setelah dilakukan pemasangan filter. Pada kondisi 1 dan kondisi bentuk gelombang mendekati bentuk *sisnusoidal* sempurna walaupun masih terdapat distrosi. Berdasarkan data pada Tabel 4.45 Diatas didapatkan bahwa setelah

dilakukan pemasangan filter pasif masih menunjukkan adanya beberapa arus harmonisa yang ada pada orde ganjil akan tetapi tidak dominan dan nilainya kecil. Hal tersebut dikarenakan filter yang dirancang hanya memitigasi untuk orde 5 dan orde 7 saja sehingga pada orde selain orde tersebut masih terdapat arus harmonisa walaupun nilainya sangat kecil.

Pada kondisi 3 dan 4 didapatkan Dapat disimpulkan bahwa filter yang dirancang sudah mampu untuk memfilter arus harmonisa yang berada pada orde ganjil yang dominan. Hal ini dibuktikan dengan adanya perubahan bentuk gelombang mendekati *sinusoidal* sempurna. Dengan adanya perubahan bentuk gelombang mendekati bentuk *sinusoidal* sempurna pada kondisi 3 dan kondisi 4 dapat disimpulkan bahwa pemasangan filter pasif dengan spesifikasi beban penuh dapat bekerja secara optimal dalam mereduksi adanya distorsi harmonisa pada berbagai kondisi. Bentuk gelombang arus dan tegangan yang mendekati *sinusoidal* sempurna menunjukkan kualitas tegangan pada sistem menjadi lebih stabil sehingga dapat meminimalisir adanya kerusakan pada alat-alat elektronik yang peka terhadap perubahan tegangan.

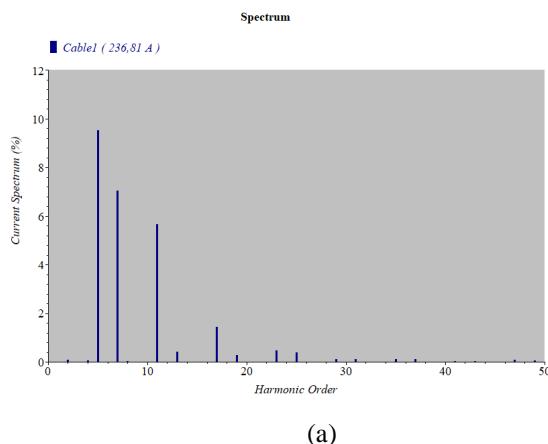
Selain adanya perubahan bentuk gelombang, adanya pemasangan filter pasif menyebabkan adanya perubahan nilai IHDI pada tiap orde ganjil pada semua kondisi kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Berikut merupakan spektrum arus sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif pada saat masing-masing kondisi pembebahan pada sistem kelistrikan.



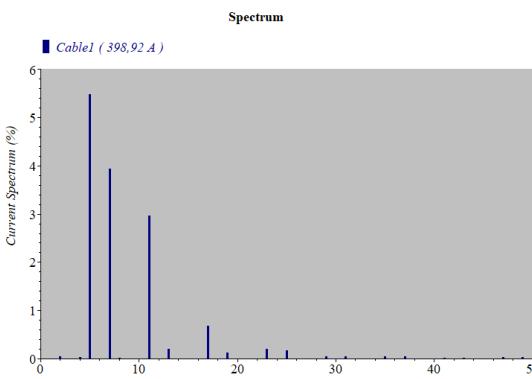


(b)

**Gambar 4.55** (a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan  
(b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% dari beban di Departemen Teknik Elektro dan 40% dari beban Dekanat Lama, Geodesi, dan Perkapalan.

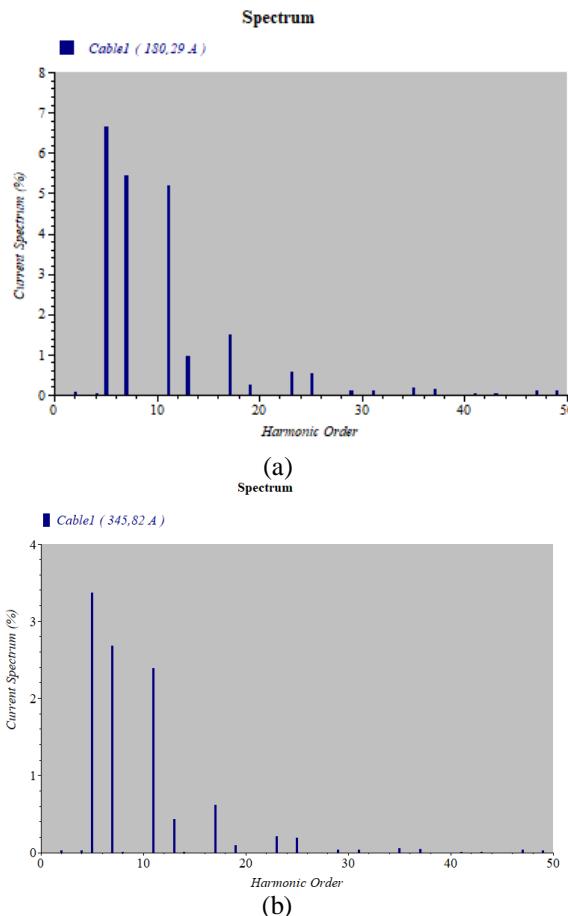


(a)

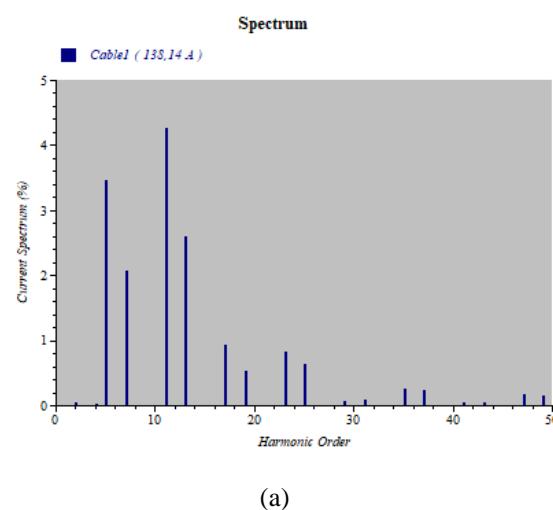


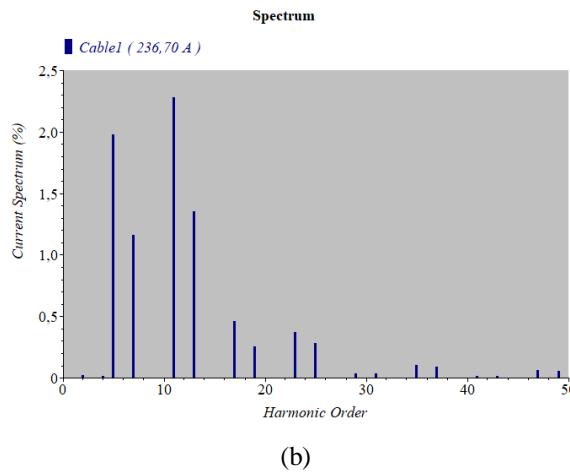
(b)

**Gambar 4.56** (a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro



**Gambar 4.57** (a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebahan 100% gedung A dan 60% gedung B





(b)

**Gambar 4.58** (a) Gelombang spektrum FFT pada kondisi pembebanan 100% gedung A dan 30% gedung B (b) Gelombang spektrum FFT setelah pemasangan filter pada kondisi pembebanan 100% gedung A dan 30% gedung B

Dari Gambar 4.55, Gambar 4.56, Gambar 4.57, Gambar 4.58 diatas didapatkan nilai IHD arus sebelum dilakukan pemasangan filter pada kondisi 1 sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro seperti pada Tabel 4.48.

**Tabel 4.46** Perbandingan nilai IHD arus sebelum dengan sesudah pemasangan filter pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro

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

Berdasarkan data diatas secara umum 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 walalupun tidak signifikan.

Penurunan harmonisa pada saat pemasangan filter pasif *single-tuned* lebih disebabkan karena adanya arus fundamental tambahan dari filter yang sangat besar bila dibandingkan dengan arus fundamental beban.

Dari seluruh hasil simulasi yang telah dibuat menunjukkan bahwa saat sebelum menggunakan filter, kondisi 1 dan 2 memiliki arus harmonisa yang berada dibawah standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 12 %, sedangkan pada kondisi 3 dan 4 nilai arus harmonisanya berada diatas standar tersebut. Setelah menggunakan filter, nilai harmonisa arus pada keempat kondisi berada dibawah standar IEEE 519-1992 sehingga dapat dikatakan bahwa filter yang dirancang mampu untuk memperbaiki kualitas daya khususnya untuk mengurangi harmonisa yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

Pengaruh adanya pemasangan filter setiap fasa dapat diketahui dari hasil simplifikasi *single line diagram* pada sistem kelistrikan yang dibuat menggunakan *software* PSIM 9.0 Dari hasil simplifikasi di prroleh hasil reduksi nilai total distorsi harmonisa arus maupun tegangan pada tiap fasa R, S, dan T pada keempat kondisi sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro.

Tabel 4.47 Menunjukkan data perbandingan nilai THDv maupun THDi pada saat sebelum dipasang filter dan sesudah dipasang filter pada masing-masing fasa R, S, T.

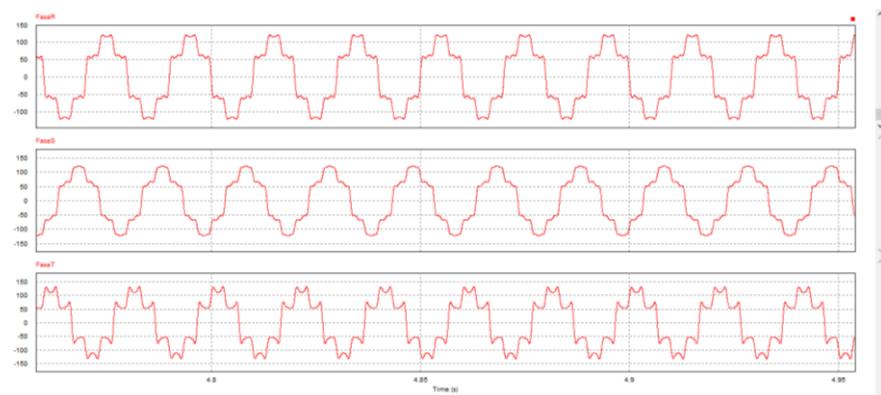
**Tabel 4.47** Hasil simulasi analisis harmonisa sebelum dan sesudah menggunakan filter menggunakan *software* PSIM 9.0

Keterangan		THD I (%)	
		Sebelum	Sesudah
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

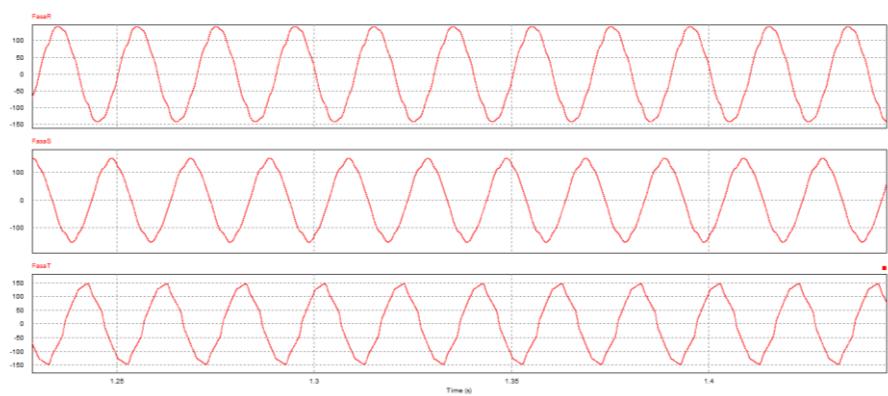
Berdasarkan Tabel 4.47 dapat dilihat hasil analisis harmonisa sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat sebelum menggunakan filter maupun saat sesudah menggunakan filter dengan *software* PSIM 9.0. Setelah dipasang filter pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro, harmonisa arus yang 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 arusnya 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 tersbesar 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-linear* sehingga

mengakibatkan nilai harmonisa arusnya lebih besar dibandingkan dengan fasa R dan Fasa S. 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 Departemen Teknik Elektro.

Adanya pemasangan filter pasif selain menyebabkan adanya penurunan nilai harmonisa tiap fasa, juga mempengaruhi bentuk gelombang arus pada sistem kelistrikan pada tiap kondisi kelistrikan di Departemen Teknik Elektro pada keempat kondisi kelistrikan. Hasil perubahan bentuk gelombang arus kondisi 1 pada tiap fasa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.59 sampai dengan Gambar 4.60 berikut.

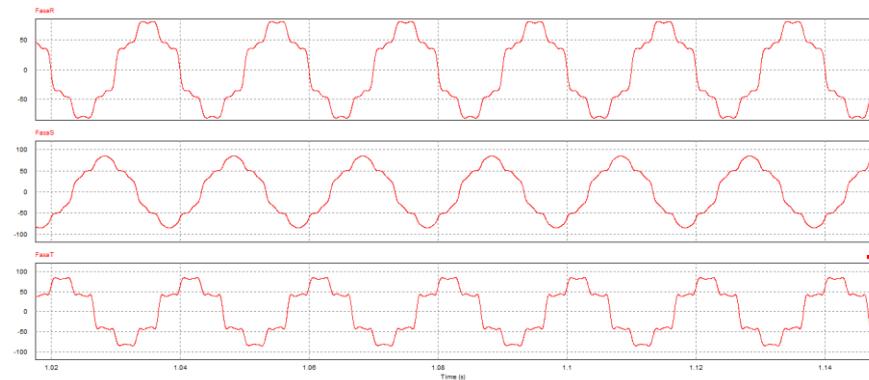


**Gambar 4.59** Gelombang Arus Kondisi 1 sebelum menggunakan filter

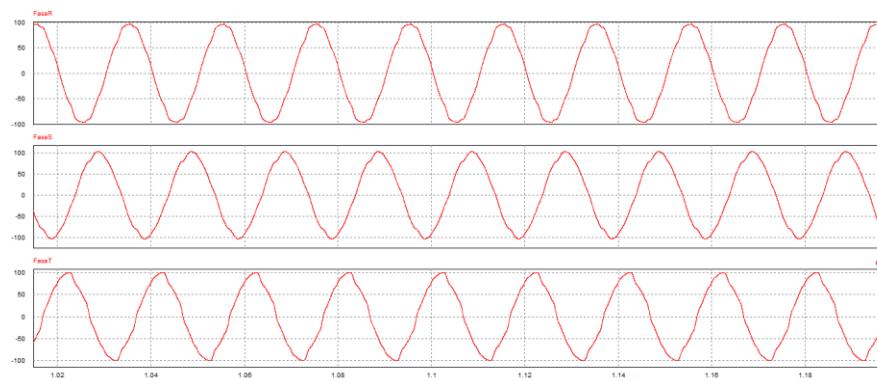


**Gambar 4.60** Gelombang Arus Kondisi 1 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.59 dan Gambar 4.60 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan 100 % Gedung A, 100 % Gedung B, dan ditambah Gedung Perkapalan, Gedung Geodesi, dan Gedung Dekanat Lama. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter gelombang arus yang ada memiliki bentuk *sinusoidal* yang tidak halus dan memiliki *ripple* pada Fasa R dan Fasa T. Setelah menggunakan filter dapat dilihat bahwa gelombang arus yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro sudah mendekati bentuk gelombang *sinusoidal* sempurna. Hasil perubahan bentuk gelombang arus kondisi 2 pada tiap fasa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.61 sampai dengan Gambar 4.62 berikut.

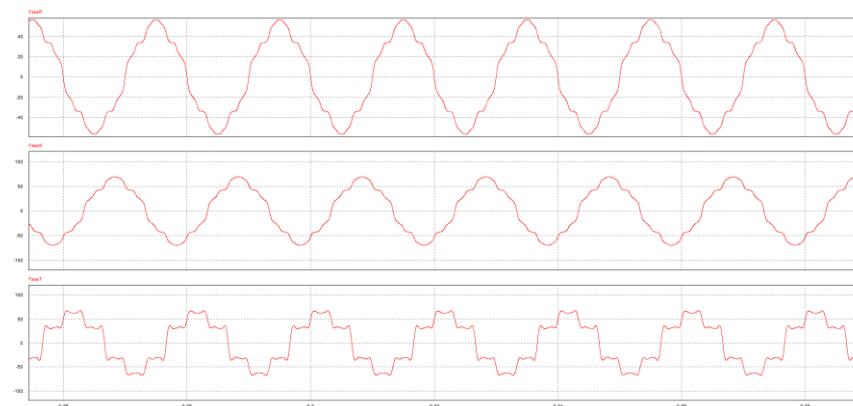


**Gambar 4.61** Gelombang Arus Kondisi 2 sebelum menggunakan filter

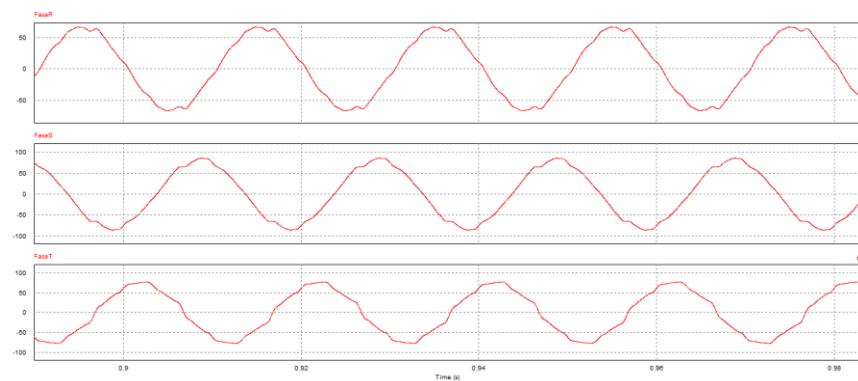


**Gambar 4.62** Gelombang Arus Kondisi 2 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.61 dan Gambar 4.62 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebahan 100 % Gedung A dan 100 % Gedung B. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter gelombang arus yang ada memiliki bentuk *sinusoidal* yang tidak halus dan memiliki *ripple* pada Fasa R dan Fasa T. Setelah menggunakan filter dapat dilihat bahwa gelombang arus yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro sudah mendekati bentuk gelombang *sinusoidal* sempurna. Hasil perubahan bentuk gelombang arus kondisi 3 pada tiap fasa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.63 sampai dengan Gambar 4.64 berikut.

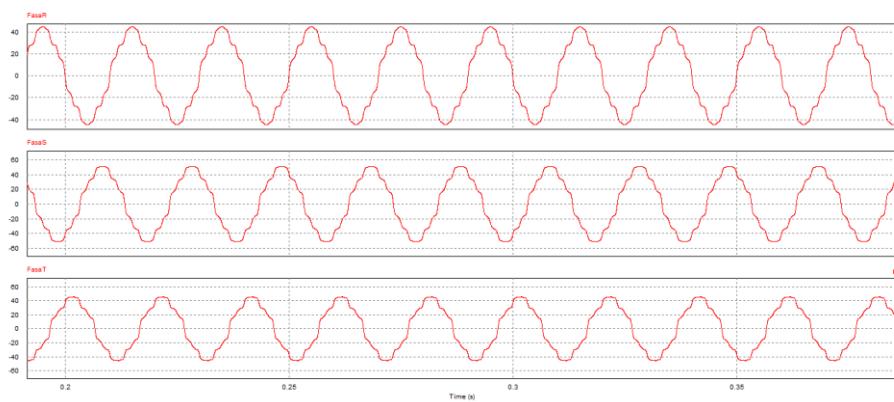


**Gambar 4.63** Gelombang Arus Kondisi 3 sebelum menggunakan filter

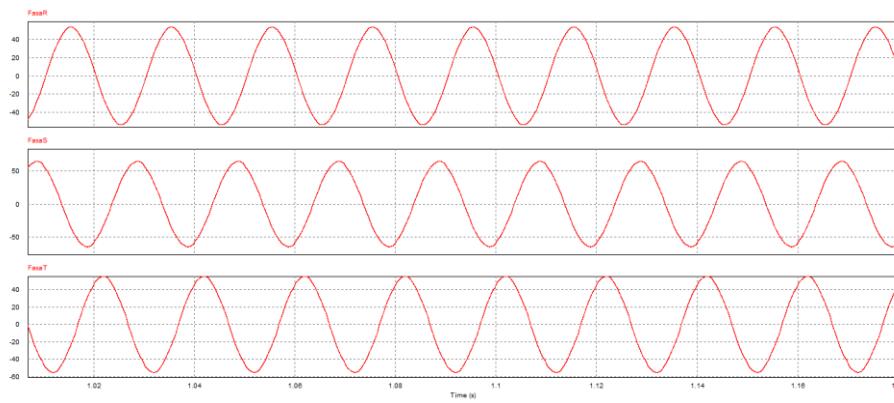


**Gambar 4.64** Gelombang Arus Kondisi 3 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.63 dan Gambar 4.64 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan 100 % Gedung A dan 60 % Gedung B. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter gelombang arus yang ada memiliki bentuk *sinusoidal* yang tidak halus dan memiliki *ripple* pada Fasa T. Setelah menggunakan filter dapat dilihat bahwa gelombang arus yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro sudah berbentuk *sinusoidal* akan tetapi belum begitu halus. Hal ini disebabkan filter yang dipasang dirancang menggunakan kondisi saat pembebanan penuh sehingga pada saat sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro tidak dalam kondisi pembebanan penuh kerja filter tidak akan maksimal. Hasil perubahan bentuk gelombang arus kondisi 4 pada tiap fasa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.65 sampai dengan Gambar 4.66 berikut.



**Gambar 4.65** Gelombang Arus Kondisi 4 sebelum menggunakan filter

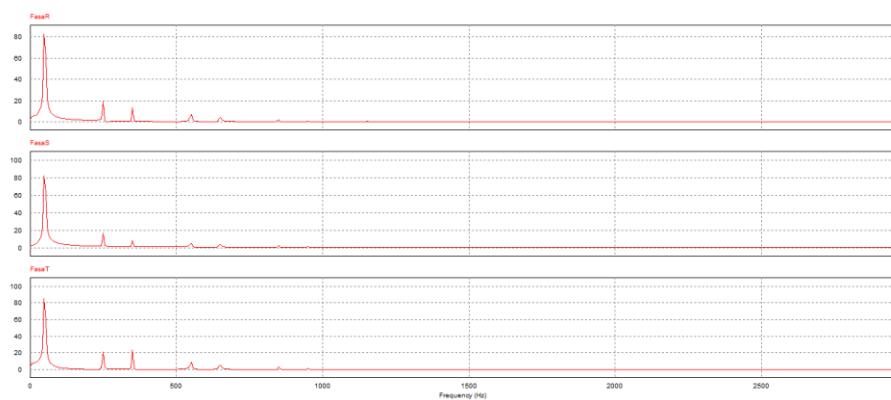


**Gambar 4.66** Gelombang Arus Kondisi 4 sesudah menggunakan filter

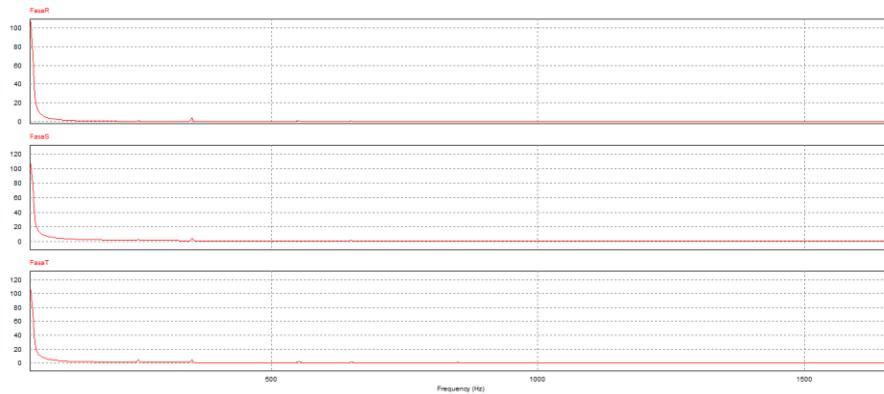
Berdasarkan Gambar 4.65 dan Gambar 4.66 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebahan 100 % Gedung A dan 30 % Gedung B. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter gelombang arus yang ada memiliki bentuk *sinusoidal* yang tidak halus. Setelah menggunakan filter dapat dilihat bahwa gelombang arus yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro sudah berbentuk *sinusoidal* sempurna baik pada Fasa R, Fasa S, maupun Fasa T.

Dari hasil simulasi seluruh kondisi pembebahan yang telah dilakukan, adanya pemasangan filter pasif menyebabkan perubahan bentuk gelombang menjadi *sinusoidal* sempurna. Hal ini sesuai dengan teori yang ada dimana semakin kecil nilai harmonisanya maka bentuk gelombangnya juga akan semakin mendekati *sinusoidal* sempurna. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa filter yang dirancang menggunakan kondisi beban penuh tetap akan bekerja dalam mereduksi adanya harmonisa arus pada kondisi pembebahan apapun.

Adanya perubahan bentuk gelombang pada tiap fasa R,S, dan T juga mempengaruhi adanya perubahan nilai iHD arus harmonisa. Dari hasil simulasi diatas didapatkan bentuk gelombang FFT THD arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro pada keempat skenario. Hasil simulasi pada kondisi 1 tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.67 dan Gambar 4.68 berikut.

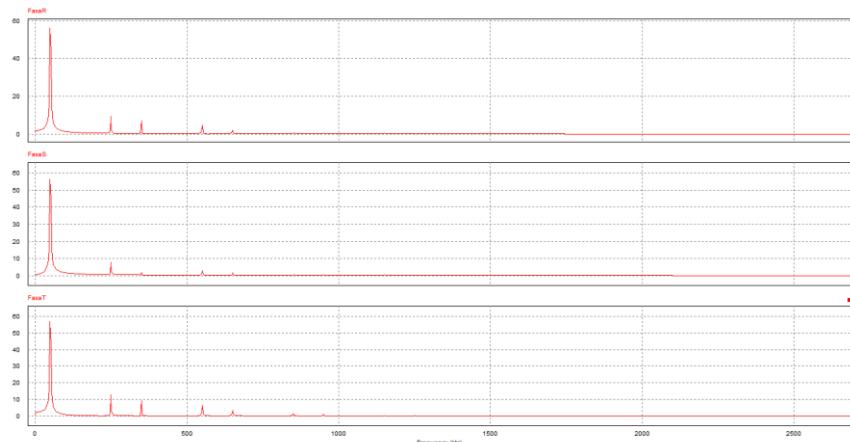


**Gambar 4.67** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 1 sebelum menggunakan filter

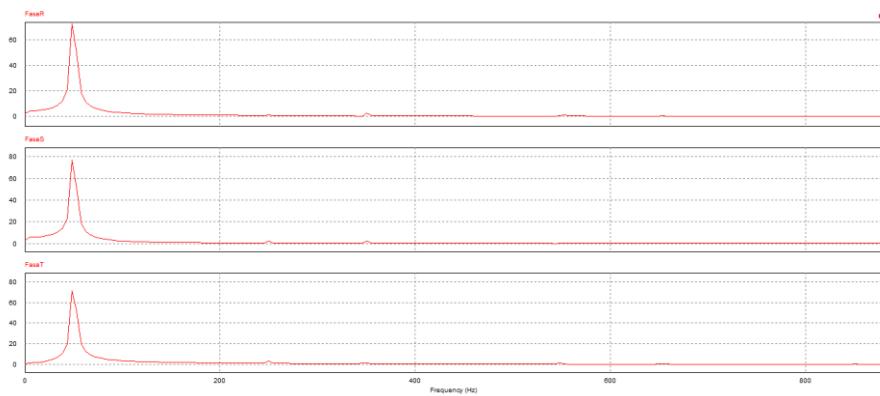


**Gambar 4.68** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 1 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.67 dan Gambar 4.68 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang FFT THD Arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan 100 % Gedung A, 100 % Gedung B, dan ditambah Gedung Perkapalan, Gedung Geodesi, dan Gedung Dekanat Lama. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter, terdapat arus harmonisa dominan pada orde ke 5 dan orde ke 7. Setelah menggunakan filter dapat dilihat masih terdapat beberapa arus harmonisa yang ada pada orde ganjil akan tetapi tidak dominan dan nilainya kecil. Hal tersebut dikarenakan filter yang dirancang hanya memitigasi untuk orde 5 dan orde 7 saja sehingga pada orde selain orde tersebut masih terdapat arus harmonisa walaupun nilainya sangat kecil. Dapat disimpulkan bahwa filter yang dirancang sudah mampu untuk memfilter arus harmonisa yang berada pada orde ganjil yang dominan. Hasil perubahan spektrum FF arus tiap fasa pada kondisi 2 dapat dilihat pada Gambar 4.69 dan Gambar 4.70 berikut.



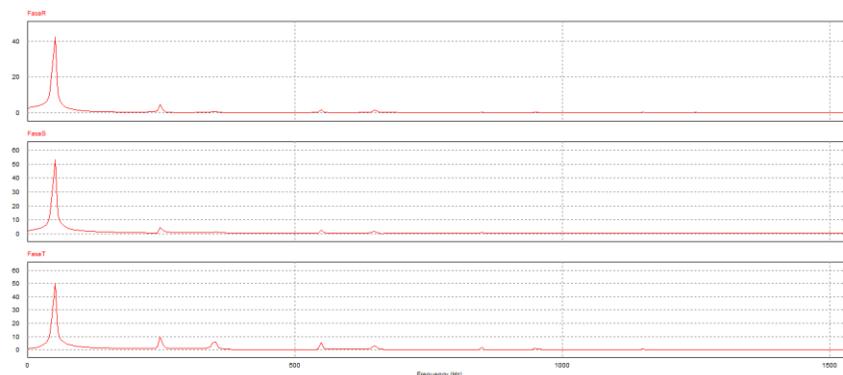
**Gambar 4.69** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 2 sebelum menggunakan filter



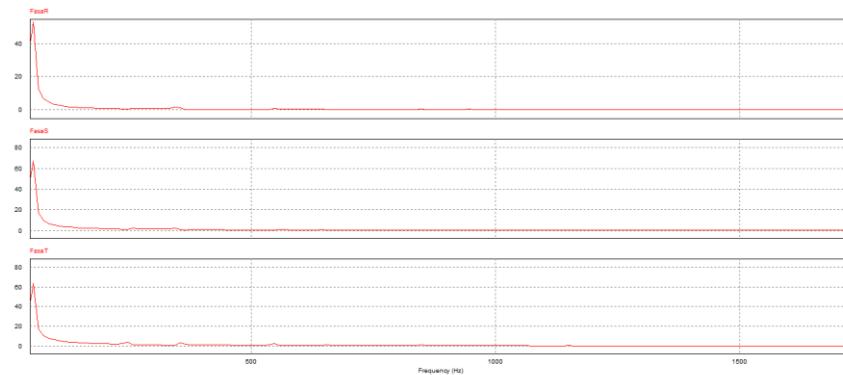
**Gambar 4.70** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 2 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.69 dan Gambar 4.70 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang FFT THD Arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan 100 % Gedung A dan 100 % Gedung B. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter, terdapat arus harmonis dominan pada orde ke 5 dan orde ke 7. Setelah menggunakan filter dapat dilihat masih terdapat beberapa arus harmonis yang ada pada orde ganjil akan tetapi tidak dominan dan nilainya kecil. Hal tersebut dikarenakan filter yang dirancang menggunakan acuan saat kondisi pembebanan penuh sehingga saat sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro dalam pembebanan tidak penuh maka filter tidak akan bekerja secara maksimal. Dapat disimpulkan bahwa filter yang dirancang sudah mampu untuk memfilter arus harmonis yang berada pada orde

ganjil yang dominan. Hasil perubahan spektrum FFT arus tiap fasa pada kondisi 3 dapat dilihat pada Gambar 4.71 dan Gambar 4.72 berikut.



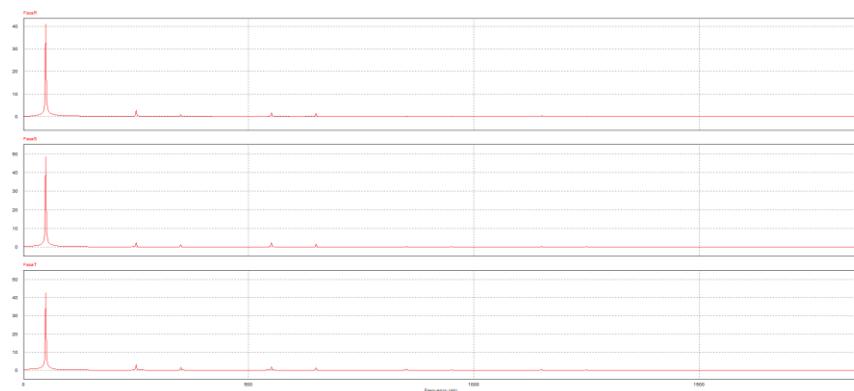
**Gambar 4.71** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 3 sebelum menggunakan filter



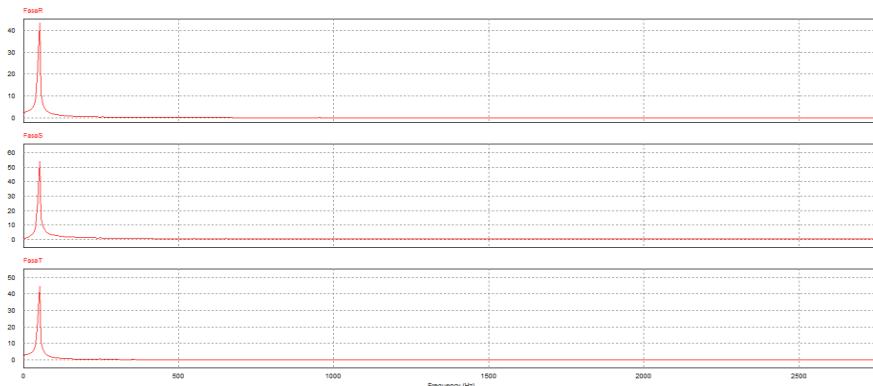
**Gambar 4.72** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 3 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.71 dan Gambar 4.72 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang FFT THD Arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan 100 % Gedung A dan 60 % Gedung B. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter, terdapat arus harmonisa dominan pada orde ke 5 dan orde ke 11. Setelah menggunakan filter dapat dilihat masih terdapat beberapa arus harmonisa yang ada pada orde ganjil akan tetapi tidak dominan dan nilainya kecil. Hal tersebut dikarenakan filter yang dirancang menggunakan acuan saat kondisi pembebanan penuh sehingga saat sistem

kelistrikan Departemen Teknik Elektro dalam pembebanan tidak penuh maka filter tidak akan bekerja secara maksimal. Dapat disimpulkan bahwa filter yang dirancang sudah mampu untuk memfilter arus harmonika yang berada pada orde ganjil yang dominan. Hasil perubahan spektrum FFT arus tiap fasa pada kondisi 4 dapat dilihat pada Gambar 4.73 dan Gambar 4.74 berikut.



**Gambar 4.73** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 4 sebelum menggunakan filter



**Gambar 4.74** Gelombang FFT THD Arus Kondisi 4 sesudah menggunakan filter

Berdasarkan Gambar 4.73 dan Gambar 4.74 dapat dilihat pengaruh pemasangan filter terhadap gelombang FFT THD Arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan 100 % Gedung A dan 30 % Gedung B. Dapat dilihat sebelum menggunakan filter, terdapat arus harmonika dominan pada orde ke 5 dan orde ke 11. Setelah menggunakan filter dapat dilihat

bahwa gelombang FFT THD arus pada tiap fasa sudah tidak terdapat arus harmonisa yang dominan pada orde ganjil lainnya. Dapat disimpulkan bahwa filter yang dirancang sudah mampu untuk memfilter arus harmonisa yang berada pada orde ganjil yang dominan.

Dengan adanya perubahan spektrum FFT arus pada saat setelah dilakukan pemasangan filter pasif, maka didapatkan kondisi arus RMS pada masing-masing fasa tiap kondisi seperti yang tertera pada Tabel 4.50

**Tabel 4.48** Hasil perhitungan nilai arus RMS pada tiap fasa sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi

Kondisi	Fasa	Arus RMS (A)	
		Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi
1	Fasa R	116,6	141,22
	Fasa S	117,5	145,8
	Fasa T	119,752	141,6
	Fasa R	79,34	96,8
2	Fasa S	80,18	101,3
	Fasa T	80,58	97,11
	Fasa R	53,7	66,6
3	Fasa S	65,97	83,143
	Fasa T	44,98	73,52
	Fasa R	43,12	53,08
4	Fasa S	50,92	64,775
	Fasa T	50,92	54,8

Berdasarkan tabel 4.48 diatas diperoleh perubahan besar arus rms pada masing-masing fasa R, S, dan T mengalami perubahan yang signifikan saat kondisi sebelum dipasang filter dan setelah dipasang filter. Arus RMS pada tiap kondisi sistem kelistrikan mengalami kenaikan yang cukup signifikan 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.

Dari hasil analisa harmonisa yang telah dilakukan, dengan adanya pemasangan filter pasif pada sistem kelistrikan diperoleh bahwa nilai total distorsi harmonisa mengalami penurunan pada semua kondisi pembebahan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan filter pasif dengan spesifikasi pembebahan penuh tetap dapat digunakan secara efektif sebagai kompensator daya reaktif dan sebagai peredam harmonisa.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan simulasi analisis dan perancangan mitigasi harmonisa menggunakan filter pasif dengan *software* ETAP 12.6 dan *software* PSIM 9.0 yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Filter pasif *single-tuned* dirancang untuk mereduksi harmonisa dan sekaligus memperbaiki faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro baik dalam kondisi pembebanan penuh maupun dalam kondisi pembebanan tidak penuh. Filter pasif *single-tuned* direkomendasikan untuk mengurangi harmonisa pada orde ke-5 dan orde ke-7 sehingga nilai THD Tegangan maupun THD Arus mampu memenuhi standar IEEE 519-1992.
2. Komponen filter pasif *single-tuned* yang dirancang menggunakan acuan hasil simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro saat kondisi pembebanan penuh. Komponen yang digunakan adalah kapasitor dengan ukuran  $3686 \mu\text{F}$  baik orde 5 dan orde 7, induktor  $0,13616 \text{ mH}$  untuk orde 5 dan  $0,07515 \text{ mH}$  untuk orde 7, serta resistor  $3,052 \text{ Ohm}$  untuk orde 5 dan  $1,652 \text{ Ohm}$  untuk orde 7.
3. Saat tidak menggunakan filter pasif *single-tuned* dengan kondisi pembebanan 100 % Departemen Teknik Elektro dan 40 % Gedung Perkapalan, Geodesi, dan Dekanat Lama, daya aktif pada sistem adalah sebesar  $219 \text{ kW}$ , daya reaktif pada sistem adalah sebesar  $83,863 \text{ kVAR}$ , dan daya semu pada sistem adalah sebesar  $234,8 \text{ kVA}$ . Setelah menggunakan filter daya aktif pada sistem adalah sebesar  $341 \text{ kW}$ , daya reaktif pada sistem adalah sebesar  $32,887 \text{ kVAR}$ , dan daya semu pada sistem adalah sebesar  $342 \text{ kVA}$ .

4. Saat tidak menggunakan filter pasif *single-tuned* dengan kondisi pembebanan 100% Gedung A dan 100% Gedung B, daya aktif pada sistem adalah sebesar 151 kW, daya reaktif pada sistem adalah sebesar 61,319 kVAR, dan daya semu pada sistem adalah sebesar 163 kVA. Setelah menggunakan filter daya aktif pada sistem adalah sebesar 273 kW, daya reaktif pada sistem adalah sebesar 10,021 kVAR, dan daya semu pada sistem adalah sebesar 273 kVA.
5. Saat tidak menggunakan filter pasif *single-tuned* dengan kondisi pembebanan 100% Gedung A dan 60% Gedung B, daya aktif pada sistem adalah sebesar 114 kW, daya reaktif pada sistem adalah sebesar 48,413 kVAR, dan daya semu pada sistem adalah sebesar 124 kVA. Setelah menggunakan filter daya aktif pada sistem adalah sebesar 238 kW, daya reaktif pada sistem adalah sebesar -3,058 kVAR, dan daya semu pada sistem adalah sebesar 238 kVA.
6. Saat tidak menggunakan filter pasif *single-tuned* dengan kondisi pembebanan 100% Gedung A dan 30% Gedung B, daya aktif pada sistem adalah sebesar 87,105 kW, daya reaktif pada sistem adalah sebesar 38,446 kVAR, dan daya semu pada sistem adalah sebesar 95 kVA. Setelah menggunakan filter daya aktif pada sistem adalah sebesar 211 kW, daya reaktif pada sistem adalah sebesar -13,153 kVAR, dan daya semu pada sistem adalah sebesar 211 kVA.
7. Pada kondisi 1 harmonisa tegangan pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 2,63% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 2,36% sehingga reduksi harmonisa tegangan yang terjadi pada kondisi 1 adalah sebesar 10,2% . Sedangkan harmonisa arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 15,63% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 10,06% sehingga reduksi harmonisa arus yang terjadi pada kondisi 1 adalah sebesar 34,3% .
8. Pada kondisi 2 harmonisa tegangan pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 1,55% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 1,35% sehingga reduksi harmonisa tegangan yang terjadi pada kondisi 2 adalah sebesar 12,9%. Sedangkan harmonisa arus pada sistem

kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 13,22% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 7,4% sehingga reduksi harmonisa arus yang terjadi pada kondisi 2 adalah sebesar 44%.

9. Pada kondisi 3 harmonisa tegangan pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 1,14% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 0,95% sehingga reduksi harmonisa tegangan yang terjadi pada kondisi 3 adalah sebesar 16,6%. Sedangkan harmonisa arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 10,27% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 4,99% sehingga reduksi harmonisa arus yang terjadi pada kondisi 3 adalah sebesar 51,4%.
10. Pada kondisi 4 harmonisa tegangan pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 0,9% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 0,68% sehingga reduksi harmonisa tegangan yang terjadi pada kondisi 4 adalah sebesar 24,4%. Sedangkan harmonisa arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro adalah sebesar 6,6% dan setelah dipasang filter pasif *single-tuned* turun menjadi 2,66% sehingga reduksi harmonisa arus yang terjadi pada kondisi 4 adalah sebesar 60,6%.
11. Hasil simulasi menggunakan *software* PSIM 9.0 didapatkan bahwa dengan menggunakan filter pasif *single-tuned* dapat mengurangi harmonisa arus pada tiap fasa yang ada pada sistem. Pada kondisi 1 penurunan terendah terdapat pada fasa S yaitu dari 19,9% menjadi 3,59%. Pada kondisi 2 penurunan terendah terdapat pada fasa S yaitu dari 12,1% menjadi 3,16%. Pada kondisi 3 penurunan terendah terdapat pada fasa T yaitu dari 11,9% menjadi 6,59%. Pada kondisi 4 penurunan terendah terdapat pada fasa S yaitu dari 8,6% menjadi 1,26%.

## 5.2 Saran

Pada Tugas Akhir ini dapat diberikan saran untuk Tugas Akhir selanjutnya antara lain :

1. Tugas Akhir dapat dikembangkan dengan menggunakan filter pasif jenis lainnya maupun menggunakan filter aktif untuk mereduksi harmonisa yang ada pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.
2. Tugas Akhir dapat dikembangkan dengan melakukan pengukuran langsung terhadap sistem kelistrikan Departemen Elektro sehingga terdapat berbagai scenario yang mungkin terjadi secara *real*.
3. Tugas Akhir dapat dikembangkan dengan membuat filter pasif yang sudah dirancang dan melakukan pengujian secara langsung terhadap sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ear Marison, “Menentukan Kerugian Minimum Akibat Emisi Harmonisa pada Populasi Konsumen Industri,” Tesis, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 2011.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] J. Arrillaga, N, R Watson, *Power System Harmonics Second Edition*. WILEY, 2003.
- [5] A. Kusko dan M. T. Thompson, *Power Quality in Electrical System*. United States of Amerika: MC Graw Hill, 2007.
- [6] R.C Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power System Quality, Second Edition*, McGraw Hill Professional, 2012.
- [7] Koswara, Indra Firmansyah, “Analisis Pengaruh Harmonik Pada transformator Daya di Industri Semen”, Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 2018.
- [8] Raleigh, NC, *Power System Harmonics Causes and Effects of Variable Frequency Drives*, USA, 1994.
- [9] Sankaran, C. *Power Quality*. CRC Press LLC., USA, 2002.
- [10] *Understanding Power System Harmonic*, Dept. of Electrical & Computer Engineering, University of Texas, Austin, 2012
- [11] SPLN Power Quality (*Regulasi Harmonisa, Flicker, Dan Ketidakseimbangan Tegangan*), SPLN D5.004-1, 2012.
- [12] *IEEE Power and Energy Society, Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Standard 519, 2014.

- [13] Kurnaen Jenjem, “Pengaruh Harmonik pada Rugi-Rugi Daya sistem tenaga listrik,” Institut Teknologi PLN, Jawa Barat, 2013.
- [14] Irfan Kurniawan, “Analisis Pengaruh Harmonis Terhadap Penyimpangan Pengukuran Energi Listrik Pada KWh Meter Analog dan Digital,” Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 2012.
- [15] 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.
- [16] G. J. Wakileh, *Power System Harmonics*. Wakileh, New York: Springer, 2001.
- [17] T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill Book Company, University of Missouri Columbia, 1986.
- [18] Powersim Techonologies inc., “PSIM User Manual PSIM Version 4.1 (with Motor Drive Module Version 2.0 and Digital Control Module Version 1.01) September 1999 Copyright 1996-1999,” Tersedia: <http://www.powersimtech.com>. Diakses: September, 1, 2021.
- [19] *IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid-Filled and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents*, IEEE Standard C57.110, 2008.
- [20] Wasito S, *Vademekum Elektronika*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2001.

## BIODATA



Nama	:	Aivelia Mualifatul Risca
NIM	:	21060117130064
Konsentrasi	:	Teknik Tenaga Listrik
Tempat/Tgl. Lahir	:	Semarang, 29 November 1999
Alamat	:	Bergas Kidul Rt.02/Rw.06
Agama	:	Islam
No. HP	:	085801777894
Alamat <i>e-mail</i>	:	<a href="mailto:aiveliamr15@gmail.com">aiveliamr15@gmail.com</a>
Nama Orang Tua	:	Winarsih
Alamat Orang Tua	:	Bergas Kidul Rt.02/Rw.06
IP kumulatif	:	3,59

### Pengalaman dan Prestasi yang pernah diraih :

1. Kerja Praktek di PT PLN (PERSERO) GIS KALISARI
2. Asisten Praktikum Dasar Tenaga Listri 2021
3. Asisten Praktikum Teknik Peralatan dan Tegangan Tinggi 2021
4. Asisten Praktikum Mesin Listrik 2021
5. Asisten Praktikum Teknik Instalasi dan Iluminasi 2021
6. Sekretaris dan Bendahara 1 BPPTL 2021
7. Sekretaris dan Bendahara 2 BPPTL 2021

Semarang, 27 September 2021

Yang menyatakan,

(Aivelia Mualifatul Risca)  
21060117130064

**LAMPIRAN A**

**MAKALAH TUGAS AKHIR**

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

Aivelia Mualifatul Risca \*), Mochammad Facta dan Denis

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia  
[aiveliamr@students.UNDIP.ac.id](mailto: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 pembebahan penuh di Departemen Teknik Elektro yang didesain menggunakan perangkat lunak ETAP 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 pembebahan penuh, faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro meningkat dari 93,4% menjadi 99,5%. Harmonisa tegangan pada saat pembebahan penuh mengalami penurunan dari 2,63% menjadi 2,36% atau reduksi harmonisa tegangannya sebesar 10,2%. Harmonisa arus pada saat pembebahan penuh juga mengalami penurunan pula dari 15,63% menjadi 10,06% atau reduksi harmonisa arusnya sebesar 34,3%. Pada kondisi pembebahan 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 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 Electricel Engineering Department which is designed with software ETAP 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 12.6.0*

## **1. Pendahuluan**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem kelistrikan pada Departemen Teknik Elektro, 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. Munculnya harmonisa pada sistem kelistrikan

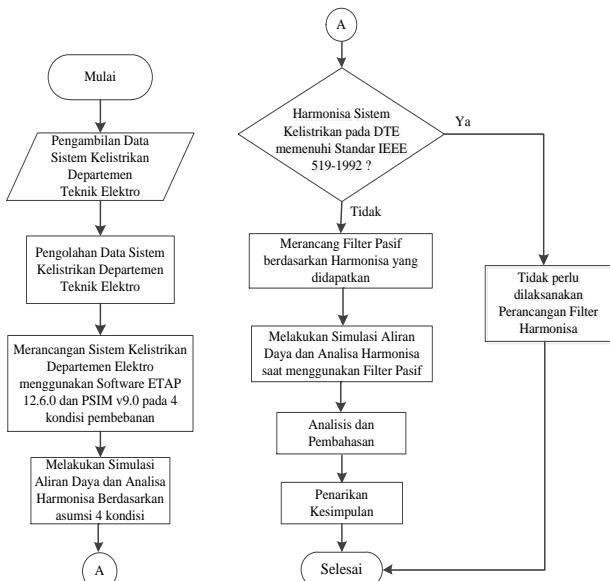
yang melebihi batas standar menimbulkan banyak kerugian berupa penurunan kapasitas pada transformator tenaga dan pada kabel, sehingga akan berdampak pula pada tambahan biaya investasi berupa penambahan kapasitas transformator, kabel, serta derating transformator[1]. Seperti halnya pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro, karena maraknya penggunaan beban *non-linear* menyebabkan timbulnya harmonia yang melebihi standar IEEE 519-1992. Harmonia pada sistem kelistrikan dapat direduksi dengan berbagai cara salah satunya dengan pemasangan filter pasif baik pada MDP maupun SDP[2].

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 harmonia tegangan pada sistem tersebut dan setelah dilakukan perancangan dan pemasangan filter pasif *single-tuned* maka nilai harmonia tegangan mengalami penurunan berkisar antara 3,29 % sampai dengan 4,54 % dan mampu mengurangi rugi – rugi daya nyata sebesar 17,6 kW.[3]

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, akan dilakukan perencanaan dan pemasangan filter pasif *single-tuned* untuk mereduksi harmonia pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro agar sesuai dengan Standar IEEE 519-1992. Pengujian filter pasif yang telah dirancang akan dilakukan dengan pemasangan hasil perancangan desain filter pada beberapa kondisi pembebanan yang berbeda menggunakan software ETAP 12.6.0 dan PSIM 9.0 untuk mengetahui pengaruh dan kinerja filter dalam mereduksi harmonia pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 2.2 Standar Harmonisa

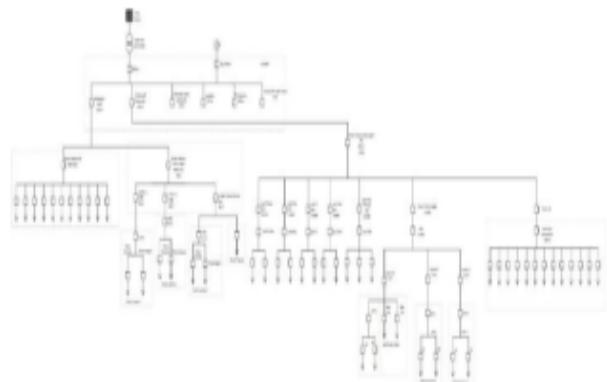
Tabel 1 Batasan Harmonisa Arus untuk Sistem < 65 kV[1]

Isc /IL	Maximum Harmonic Current Distortion (in % of fundamental)						Total Harmonic Distortion (THD%)	
	Harmonic Order							
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$			
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5		
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8		
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12		
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15		
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20		

Tabel 2 Batasan Harmonisa untuk Tegangan[1].

Bus Voltage (V)	Individual Harmonic	Total Harmonic	
		At PCC	(%)
$V \leq 1 \text{ kV}$		5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$		3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$		1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$		1,0	1,5

## 2.2 Data Penelitian



Gambar 1 SLD 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 V (%)	THD I (%)
Kondisi 1	2.63	15.63
Kondisi 2	1.55	13.22
Kondisi 3	1.14	10.27
Kondisi 4	0.9	6.6

### 3. Pengujian dan Analisis

Penelitian harmonisa pada sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro dilakukan terhadap beberapa kondisi seperti yang disebutkan pada Tabel 5 yaitu :

**Tabel 5 Kondisi penelitian**

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

Kondisi tersebut didapatkan berdasarkan kondisi yang mungkin terjadi, kemudian akan dibandingkan dan dianalisis sesuai dengan standart harmonisa pada SPLN D5.004-1: 2012.

### 3.1 Kondisi Existing Sistem

#### 3.1.1 Simulasi Aliran Daya ETAP 12.6.0

**Tabel 6 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	93,4	219	83,863	234,8
2	99,11	236,8	92,61	151	61,319	163
3	99,32	180,3	92,07	114	48,413	124
4	99,47	138,1	91,5	87,105	38,446	95

#### 3.1.2 Simulasi Harmonisa Pada Software ETAP 12.6.0

**Tabel 7 Hasil simulasi analisis harmonisa pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

Keterangan	THD V (%)	Satandard	
		SPLN D5.004-1:2012	SPLN D5.004-1:2012
Kondisi 1	2.63	5	15.63
Kondisi 2	1.55	5	13.22
Kondisi 3	1.14	5	10.27
Kondisi 4	0.9	5	6.6

**Tabel 8 Perbandingan nilai IHD arus pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

Kondisi	Orde 1		orde 5		orde 7		orde 11	
	THD (%)	RMS (A)						
1	100	343,3	9,3	32,1	10,4	35,8	6,2	21,2
2	100	236,8	9,5	22,6	7	16,6	5,7	13,4
3	100	180,3	6,7	12	5,5	9,8	5,2	9,4
4	100	138,1	3,5	4,8	2,1	2,9	4,3	5,9

#### 3.1.3 Simulasi Harmonisa Pada Software PSIM 12.6.0

**Tabel 9 Hasil simulasi analisis harmonisa tiap fasa ada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

Keterangan	THD I (%)		IRMS (A)
	Fasa R	Fasa S	
Kondisi 1	22,72	19,99	116,6
	31,1	16,67	119,752
	16,87	79,34	
Kondisi 2	12,1	80,18	
	23,74	80,58	
Kondisi 3	10,1	53,7	
	10,1	65,97	
	11,9	44,98	
Kondisi 4	9,2	43,12	
	8,6	50,92	
	10,8	50,92	

### 3.2 Perancangan Filter Pasif

Dari hasil simulasi yang telah dibuat, menunjukkan bahwa arus harmonisa pada 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*.

#### 3.2.1 Perancangan 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 harmonia 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 [4]:

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

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

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

Besar daya reaktif yang dibutuhkan dapat digunakan untuk menghitung nilai komponen kapasitor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

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

$$X_c = 0,863697$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

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

$$C = 3686 \mu F$$

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 [5]:

Harmonia Orde = 5

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

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

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

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 [5] :

Q bernilai antara 20 – 100, dipilih Q = 70

$$R = Q_f \times X_L$$

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

Dengan cara yang sama didapatkan data pada Tabel 10

**Tabel 10 Komponen Filter Single-tuned**

Indeks Filter	Q <sub>c</sub> (kVAR)	C (μF)	L (mH)	R (Ω)
Filter Orde 5	61,789	3686	0,13616	3,052
Filter Orde 5	61,789	3686	0,07515	1,652

### 3.2.3 Estimasi Biaya perancangan filter

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.

**Tabel 11 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	bah	Rp.350000	Rp.165.90.0000
				Rp. 265.279.632
Total				

Adanya pemasangan filter pasif *single-tuned* sebagai alat untuk mereduksi harmonia merupakan salah satu investasi dalam memperbaiki sistem kelistrikan di Departemen Teknik Elektro. Selain dapat mereduksi timbulnya harmonia dan memperbaiki kualitas daya pada sistem kelistrikan, pemasangan filter pasif juga dapat menekan biaya kerugian yang disebabkan adanya *losses* dan *derating* pada trafo.

### 3.3 Perbandingan sebelum dan setelah dilakukan mitigasi

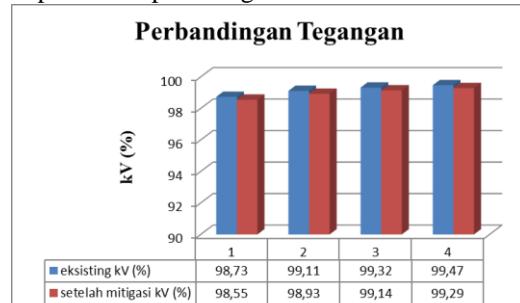
#### 3.3.1 Alira Daya

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

**Tabel 12 Hasil simulasi tegangan, arus, dan faktor daya sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi**

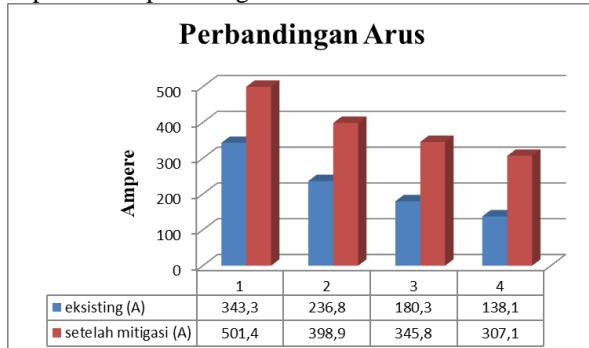
Kondisi	Tegangan (%)		Arus (A)		Faktor Daya (%)	
	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi
1	98,73	98,55	343,3	501,4	93,4	99,5
2	99,11	98,93	236,8	398,9	92,61	99,9
3	99,32	99,14	180,3	345,8	92,07	-99,99
4	99,47	99,29	138,1	307,1	91,5	-99,8

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



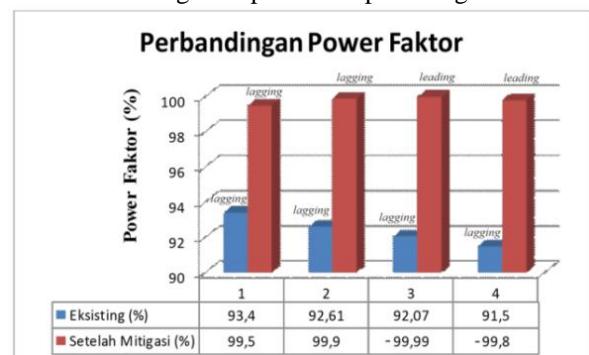
**Gambar 2 Perbandingan tegangan pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik elektro**

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.



**Gambar 3 Perbandingan arus pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

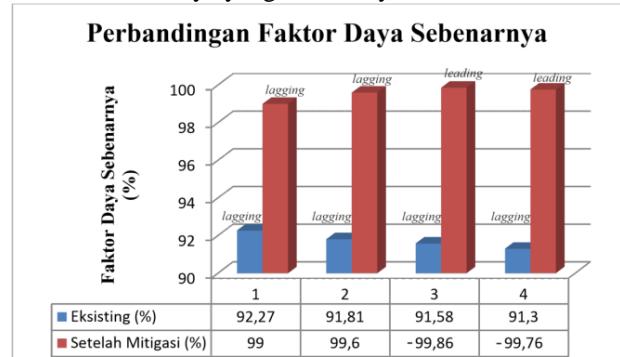
Berdasarkan Gambar 3 diperoleh perubahan besar arus pada bus trafo yang cukup signifikan. Arus pada tiap kondisi mengalami kenaikan dikarenakan adanya pemasangan filter yang terhubung langsung dengan bus utama. Hal tersebut yang menyebabkan bertambahnya arus yang mengalir dari bus utama ke rangkaian filter yang terpasang. Nilai arus fundamental yang bertambah setelah dilakukan pemasangan filter dapat menandakan adanya penurunan nilai THD harmonisa. Selain kondisi arus, faktor daya ada eksisting dan setelah mitigasi dapat dilihat pada diagram berikut.



**Gambar 4 Perbandingan faktor daya pada eksisting dan setelah mitigasi pada 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*. Diagram berikut menunjukkan kondisi faktor daya yang sebenarnya



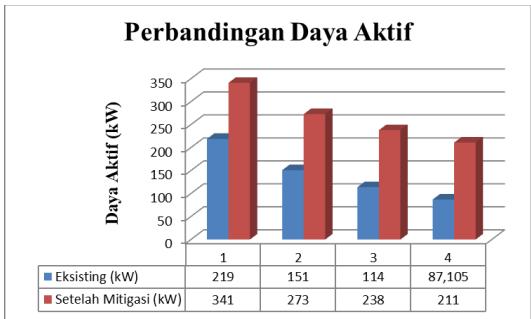
**Gambar 5 Perbandingan faktor daya sebenarnya pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan nilai Faktor daya sebenarnya yang telah mengakomodir adanya harmonisa arus pada 4 kondisi di sistem kelistrikan. Dari data siatas 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.

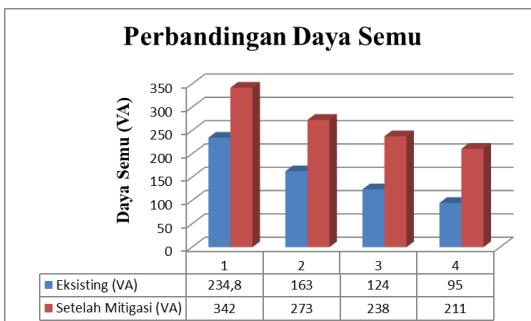
**Tabel 13 Hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi**

Kondisi	Daya Aktif (kW)		Daya Reaktif (kVAR)		Daya Semu (VA)	
	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi	Eksisting	Setelah Mitigasi
1	219	341	83,863	32,887	234,8	342
2	151	273	61,319	10,021	163	273
3	114	238	48,413	-3,058	124	238
4	87,105	211	38,446	-13,153	95	211

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

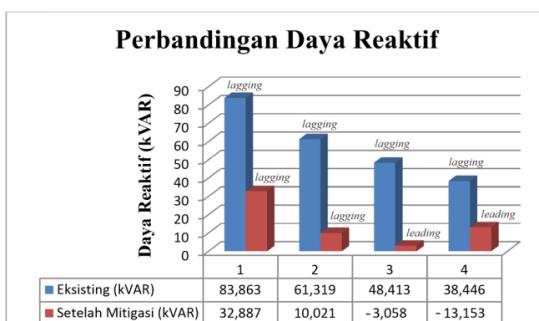


Gambar 6 Perbandingan daya aktif pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik elektro



Gambar 7 Perbandingan daya reaktif pada eksisting dan setelah mitigasi pada 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. Diagram berikut menunjukkan perbandingan daya reaktif pada keempat kondisi eksisting dengan setelah dilakukan mitigasi harmonisa.



Gambar 8 Perbandingan daya semu pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan 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. Dengan adanya peredaman harmonisa pada sistem kelistrikan departemen Teknik Elektro juga dapat mempengaruhi besar komponen daya reaktif yang mengakomodir adanya beban non linear.

Tabel 14 Hasil perhitungan daya harmonik sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif pada tiap kondisi

Kondisi	Eksisting (kVArh)	Setelah Mitigasi (kVArh)
1	11,7	19,963
2	2,82	10,021
3	6,015	3,058
4	6,35i	13,153i

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 12.6.0

Keterangan	THD V (%)			THD I (%)		
	Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi	Satandard	Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi	Satandard
Kondisi 1	2.63	2.36	5	15.63	10.06	12
Kondisi 2	1.55	1.35	5	13.22	7.4	12
Kondisi 3	1.14	0.95	5	10.27	4.99	12
Kondisi 4	0.9	0.68	5	6.6	2.66	12

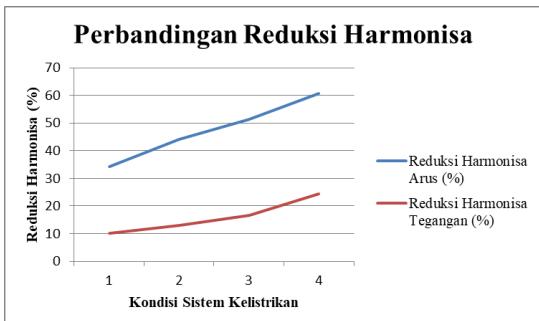
Berdasarkan Tabel 15 dapat dilihat bahwa nilai THD maupun THDv pada setiap kondisi pembebatan di DTE berhasil teredam. Nilai THD tegangan dan THD arus pada keempat kondisi di sistem kelistrikan telah memenuhi standar SPLN D5.004-1:2012. Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui besarnya reduksi harmonisa arus maupun tegangan dengan adanya oleh filter pasif pada masing-masing kondisi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 16..

Tabel 16 Hasil perhitungan reduksi harmonisa sebelum dan sesudah menggunakan filter menggunakan software ETAP 12.6.0

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

Grafik berikut menunjukkan pengaruh pemasangan filter pasif dengan spesifikasi pembebatan penuh terhadap

kondisi pembebanan yang berbeda dalam mereduksi harmonisa di DTE.



**Gambar 9 Perbandingan besar reduksi harmonisa pada eksisting dan setelah mitigasi pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

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 diblokkan sehingga tidak mengalir ke sistem. Dengan demikian *Single-tuned Passive Filter* dapat nilai THD arus sampai dengan 10-30%. [9]

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

**Tabel 17 Perbandingan nilai IHD arus sebelum dengan sesudah pemasangan filter pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro**

Keterangan	Kondisi Mitigasi	Orde 1		orde 5		orde 7		orde 11	
		THD (%)	RMS (A)	THD (%)	RMS	THD (%)	RMS	THD (%)	RMS
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

Berdasarkan pada Tabel 17 dapatkan bahwa penggunaan filter pasif mampu mengurangi distrosi 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 walalupun 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.

### 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 9.0*. Tabel 18 menunjukkan data perbandingan nilai THD 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 9.0**

Keterangan	THD I (%)	
	Sebelum	Sesudah
Kondisi 1	Fasa R	22,72
	Fasa S	19,99
	Fasa T	31,1
Kondisi 2	Fasa R	16,87
	Fasa S	12,1
	Fasa T	23,74
Kondisi 3	Fasa R	10,1
	Fasa S	10,1
	Fasa T	11,9
Kondisi 4	Fasa R	9,2
	Fasa S	8,6
	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 tersbesar 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-linear*. 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**

Kondisi	Fasa	Arus RMS (A)	
		Sebelum Mitigasi	Sesudah Mitigasi
1	Fasa R	116,6	141,22
	Fasa S	117,5	145,8
2	Fasa T	119,752	141,6
	Fasa R	79,34	96,8
3	Fasa S	80,18	101,3
	Fasa T	80,58	97,11
4	Fasa R	53,7	66,6
	Fasa S	65,97	83,143
	Fasa T	44,98	73,52
	Fasa R	43,12	53,08
	Fasa S	50,92	64,775
	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  $3686 \mu\text{F}$  baik orde 5 dan orde 7, induktor  $0,13616 \text{ mH}$  untuk orde 5 dan  $0,07515 \text{ mH}$  untuk orde 7, serta resistor  $3,052 \text{ Ohm}$  untuk orde 5 dan  $1.652 \text{ Ohm}$  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 pembebahan penuh, faktor daya pada sistem kelistrikan Departemen Teknik Elektro meningkat dari 93,4% menjadi 99,5%. Harmonisa tegangan pada saat pembebahan penuh mengalami penurunan dari 2,63% menjadi 2,36% atau reduksi harmonisa tegangannya sebesar 10,2%. Harmonisa arus pada saat pembebahan penuh juga mengalami penurunan pula dari 15,63% menjadi 10,06% atau reduksi harmonisa arusnya sebesar 34,3%.

#### Referensi

- [1] J. Arrillaga, N, R Watson , *Power System Harmonics Second Edition*. WILEY, 2003.
- [2] Ear Marison, “Menentukan Kerugian Minimum Akibat Emisi Harmonisa pada Populasi Konsumen Industri,” Tesis, Departemen Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 2011.
- [3] SPLN Power Quality (*Regulasi Harmonisa, Flicker, Dan Ketidakseimbangan Tegangan*), SPLN D5.004-1, 2012.
- [4] R.C Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power System Quality, Second Edition*, McGraw Hill Professional, 2012.
- [5] G. J. Wakileh, *Power System Harmonics*. Wakileh, New York: Springer, 2001.
- [6] Raleigh, NC, *Power System Harmonics Causes and Effects of Variable Frequency Drives*, USA, 1994.
- [7] Sankaran, C. *Power Quality*. CRC Press LLC., USA, 2002.
- [8] SPLN Power Quality (*Regulasi Harmonisa, Flicker, Dan Ketidakseimbangan Tegangan*), SPLN D5.004-1, 2012.
- [9] IEEE Power and Energy Society, *Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Standard 519, 2014.

#### Biodata

Aivelia Mualifatul Risca lahir di Kabupaten Semarang, 29 November 1998. Penulis saat ini sedang menempuh pendidikan S1 di Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik. Sebagai salah satu staf sekben Biro BPPTL, ia senantiasa percaya bahwa Elektro berbasis Laboratorium dibutuhkan Teknik Elektro UNDIP untuk meningkatkan kualitas dan daya saing sebagai sarana diskusi mahasiswa untuk menyongsong masa depan yang cerah.

Saya menyatakan bahwa segala informasi yang tersedia di makalah ini adalah benar, merupakan hasil karya sendiri, bebas dari plagiat dan semua karya orang lain telah dikutip dengan benar.



Aivelia Mualifatul Risca  
21060110064

#### Pengesahan

Telah disetujui untuk diajukan pada seminar Tugas Akhir.

Semarang, 27 September 2021

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Moch. Facta, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197106161999031003      Denis, S.T., M.Eng.  
NIP 199104172018071001



## LAMPIRAN B

## ***Single line diagram Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro***

