

SKRIPSI

ANALISIS HARMONISA MENGGUNAKAN FILTER PASIF UNTUK MENURUNKAN THD (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ZIKRI FACHRIZA SIREGAR

2107220078P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zikri Fachriza Siregar

NPM : 2107220078P

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika)

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 Juni 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



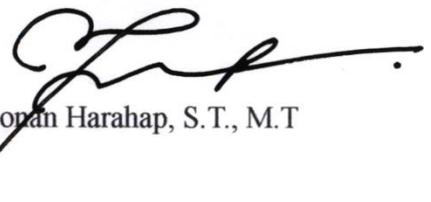
Benny Oktrialdi, S.T., M.T

Dosen Pembanding I



Rohana, S.T., M.T

Dosen Pembanding II



Partaon Harahap, S.T., M.T



Ketua Program Studi Teknik Elektro



Faisal Ihsan Pasaribu, S.T., M.T

LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Zikri Fachriza Siregar
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/08 Desember 1999
NPM : 2107220078P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika)”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 juni 2024

Saya yang menyatakan,



Zikri Fachriza Siregar

ABSTRAK

Penggunaan beban non linier merupakan penyebab timbulnya harmonisa. Total distorsi atau disebut juga *Total Harmonic Distortion* (THD) yang berpotensi menurunkan kualitas daya listrik yang disalurkan. Penelitian ini membahas mengenai simulasi analisis harmonisa menggunakan *Single-Tuned Passive Filter* untuk menurunkan THD menggunakan aplikasi ETAP. Standar yang dijadikan acuan adalah IEEE Standard 519-2014, dimana batas standar THDi adalah 8% dan batas standar THDv adalah 8 % . Berdasarkan hasil simulasi dengan ETAP 19 penggunaan filter pasif pada rangkaian kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premier dapat menurunkan nilai harmonisa pada rangkaian. harmonisa terbesar terjadi pada lantai 6 dengan nilai THDi sebesar 29,24% dan THDv sebesar 17,98%. Penurunan nilai THDi terbesar terjadi pada lantai 6 yang sebelumnya sebesar 29,24% menjadi 10,81% sedangkan penurunan nilai THDv terbesar terjadi pada lantai 6 juga yang sebelumnya sebesar 17,98% menjadi 6,69%.

Kata Kunci : Beban non linier, Total Harmonic Distortion, THD, THDi, THDv

ABSTRACT

The use of non-linear loads is the cause of harmonics. Total distortion or also called Total Harmonic Distortion (THD) which has the potential to reduce the quality of electrical power supplied. This research discusses the simulation of harmonic analysis using a Single-Tuned Passive Filter to reduce THD using the ETAP application. The standard used as a reference is IEEE Standard 519-2014, where the THDi standard limit is 8% and the THDv standard limit is 8%. Based on the results of simulations with ETAP 19 the use of passive filters in the Mitra Medika Premier Hospital electrical circuit can reduce the value of harmonics in the circuit. the largest harmonics occur on the 6th floor with a THDi value of 29.24% and THDv of 17.98%. The largest decrease in THDi value occurred on the 6th floor which was previously 29,24% to 10,81% while the largest decrease in THDv value occurred on the 6th floor which was previously 17,98% to 6,69%.

Keywords: *Non-linear load, Total Harmonic Distortion, THD, THDi, THDv*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan Thd Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

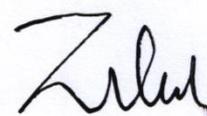
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menyelesaikan studi tugas akhir ini.
2. Bapak Benny Oktrialdi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik-elektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2018, 2019, 2020, 2021, dan 2022.
9. Kepada Nur Faphuss Ikrimah selaku penyemangat hati yang tidak pernah berhenti untuk menyemangati dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektroan.

Medan, 25 Februari 2024



Zikri Fachriza Siregar

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Kualitas Daya Listrik	12
2.2.1 Faktor Daya.....	20
2.3 Distorsi Harmonisa	23
2.3.1 Standar Harmonisa Berdasarkan IEEE	34
2.4 Filter Harmonisa	36
2.4.1. Filter Harmonisa Pasif	51
2.5. ETAP 19.0	53
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	56
3.1. Tempat dan Waktu	56
3.2. Alat dan Bahan.....	56
3.3. Data Penelitian.....	56
3.3. Metode Penelitian	61
3.5 Desain Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Rangkaian Instalasi Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere	66
4.1.1 Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere Tanpa Filter	66

4.1.2 Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere Dengan Filter Pasif.....	68
4.2 Hasil Analisis Harmonisa Pada Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere.....	69
4.2.1 Analisa Harmonisa Pada Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere	70
4.2.2 Hasil Simulasi Rangkaian Berjalan Tanpa Menggunakan Filter	70
4.2.3 Hasil Simulasi Rangkaian Berjalan Tanpa Menggunakan Filter	75
4.3 Hasil Perbandingan Nilai THD.....	78
BAB V PENUTUP	82
5.1 Kesimpulan.....	82
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	96
Rangkaian Tanpa Filter Pada Aplikasi ETAP	97
Rangkaian Dengan Filter Pasif Pada Aplikasi ETAP	98
Hasil Analisis Harmonisa Pada Setiap Lantai	99
LEMBAR ASISTENSI.....	103
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Segitiga Daya	20
Gambar 2. 2 Arus Sephasa Dengan Tegangan.....	21
Gambar 2. 3 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut ϕ	21
Gambar 2. 4 Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut ϕ	22
Gambar 2. 5 Bentuk Gelombang Harmonisa	24
Gambar 2. 6 Bentuk Gelombang Tegangan Dan Arus Sinusiodal.....	25
Gambar 2.7 Rangkaian <i>Low Pass Filter</i> (LPF) Untuk Filter Pasif	37
Gambar 2.9 Respon Frekuensi <i>Low Pass Filter</i>	39
Gambar 2. 10 Rangkaian Low Pass Filter (RL Filter).....	39
Gambar 2.11 Rangkaian High Pass Filter (HPF) Untuk Filter Pasif	41
Gambar 2.13 Rangkaian Filter Pasif RC Highpass Filter (HPF)	42
Gambar 2.14 Respon Frekuensi High Pass Filter (HPF)	43
Gambar 2.15 Rangkaian HPF RL Filter	44
Gambar 2.16 Rangkaian Band Pass Filter	47
Gambar 2.17 Diagram Blok Band Stop Filter	49
Gambar 2.18 Karakteristik Blok Band Stop Filter	49
Gambar 2.19 Rangkaian Band Stop Filter	50
Gambar 2.20 Rangkaian Filter Pasif	52
Gambar 2.21 Filter Harmonisa Pasif	53
Gambar 2.22 Konfigurasi Filter Pasif	53
Gambar 2.26 Aplikasi Etap.....	54
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	64
Gambar 4.1 Rangkaian Kelistrikan Tanpa Menggunakan Filter	67
Gambar 4.3. Hasil Simulasi Nilai THDi Tanpa Menggunakan Filter	72
Gambar 4.4 Hasil Simulasi Nilai THDv Tanpa Menggunakan Filter	74
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Nilai THDi Menggunakan Filter Pasif.....	76
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Nilai THDv Menggunakan Filter Pasif.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Efek Distorsi Harmonisa pada Beberapa Peralatan	28
Tabel 2.2 Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa	34
Tabel 2.3. Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa	35
Tabel 3.1. Pembagian Instalasi Kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere	57
Tabel 3.2. Penggunaan Beban Disetiap Lantai RSUD Mitra Medika Premiere	58
Tabel 4.1. Hasil Simulasi Nilai THDi Tanpa Menggunakan Filter	71
Tabel 4.2. Hasil Simulasi Nilai THDv Tanpa Menggunakan Filter	73
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Nilai THDi Menggunakan Filter Pasif	75
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Nilai THDv Menggunakan Filter Pasif	77
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai THDi Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter	79
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai THDv Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter	80

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber energi adalah segala sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses [1]. Energi yaitu suatu hal yang sangat penting bagi makhluk hidup, hingga semua aktivitas membutuhkan energi. Tidak hanya dalam kehidupan sehari-hari, namun energi juga dibutuhkan oleh hampir dalam segala bidang kehidupan yang memberikan manfaat bagi makhluk hidup dalam menjalankan kehidupan. Listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat diperlukan dalam kehidupan manusia. [2]. Listrik juga digunakan untuk membantu mempermudah pekerjaan manusia, baik dalam rumah tangga, perkantoran, dunia industri, maupun rumah sakit.

Energi menjadi titik fokus para ahli untuk memikirkan bagaimana agar energi listrik tetap dapat terus dimanfaatkan oleh manusia dengan baik. Energi listrik dikatakan baik apabila mengalami gelombang sinusoidal murni. Adapun penyebab gangguan gelombang sinusoidal murni yaitu banyaknya penggunaan alat-alat elektronik yang menghasilkan beban non-linier sehingga terjadinya distorsi harmonisa sehingga kualitas daya listrik yang dihasilkan menurun dan peralatan elektronik yang digunakan dapat mengalami kerusakan. Gelombang arus yang tidak sinus atau gelombang arus yang terdistorsi disebut sebagai harmionisa [3].

Harmonisa terjadi akibat adanya gangguan cacat gelombang dampak dari gabungan bentuk gelombang yang sinusoidal dengan komponen listrik gelombang lain yang tidak sinusoidal [4] [5]. Cacatnya gelombang sinusoidal diakibatkan oleh beban yang tidak seimbang sehingga menghasilkan beban non-linier, beban non linear bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam tiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya. Penggunaan beban inilah yang kita ketahui dengan istilah arus dan tegangan terdistorsi [6].

Penyebab utama terjadinya gangguan harmonisa adalah akibat banyaknya pemakaian peralatan elektronik berbahan dasar semikonduktor yang dapat menghasilkan beban non-linier, seperti radio, televisi, telepon kabel, komputer, peralatan kedokteran, dan lain sebagainya yang dapat mengurangi kualitas daya. Bahan semi konduktor inilah yang menyebabkan terjadinya distorsi arus dan tegangan, karena antara tegangan yang masuk pada sistem tidak sebanding dengan tegangan keluarannya atau dengan kata lain mengalami distorsi [7].

Dengan berkembangnya teknologi dalam bidang elektronika di era modern seperti sekarang ini tentu semakin banyak kebutuhan terhadap peralatan elektronik di segala sektor, salah satu sektor diantaranya adalah dalam jasa pelayanan kesehatan. Rumah sakit ialah suatu kebutuhan pokok yang tidak dapat di pisahkan dari keseharian manusia. RSUD Mitra Medika Premiere merupakan salah satu rumah sakit terbesar di kota Medan, yang dilengkapi dengan peralatan - peralatan elektronika kesehatan dan kedokteran yang modern. Dengan adanya penelitian sistem listrik terhadap komponen listrik kesehatan dan kedokteran di rumah sakit

ini, di harapkan komponen elektronika yang terhubung dengan sistem kelistrikan akan selalu terjaga dengan baik.

Untuk memperbaiki kesalahan distorsi dapat diredam dengan menerapkan komponen sistem filter terhadap jaringan listrik Sehingga dapat memberikan nilai murni dalam keluaran listrik tersebut. Maka dari itu agar hal tersebut dapat segera terwujud maka penulis melakukan sebuah penelitian tentang Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu :

1. Bagaimana penerapan filter pasif pada instalasi kelistrikan untuk meningkatkan kualitas daya dirumah Sakit Grand Mitra Medika?
2. Bagaimana pengaruh filter pasif untuk meningkatkan kualitas daya pada instalasi kelistrikan dirumah Sakit Grand Mitra Medika?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari “Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika” yaitu :

1. Melakukan penerapan filter pasif pada instalasi kelistrikan dirumah Sakit Grand Mitra Medika melalui simulasi Aplikasi ETAP 19
2. Melakukan analisa pengaruh filter pasif pada instalasi kelistrikan dirumah Sakit Grand Mitra Medika sesuai dengan hasil simulasi dari Aplikasi ETAP

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Melakukan identifikasi terhadap penerapan filter pasif pada instalasi kelistrikan dirumah Sakit Grand Mitra Medika melalui simulasi pada aplikasi ETAP 19 dengan menggambarkan bagan rangkaian listrik.
2. Melakukan analisa pengaruh filter pasif pada sistem instalasi kelistrikan dirumah Sakit Grand Mitra Medika sesuai dengan simulasi pada Aplikasi ETAP 19 hingga menghasilkan nilai perbandingan antara menggunakan filter dan tidak menggunakan filter.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diambil dari penelitian “Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika” ini adalah:

1. Dapat meredam penurunan kualitas daya listrik yang disebabkan oleh distorsi harmoni.
2. Dapat meringkan dan memperkecil resiko kerusakan peralatan listrik yang ada.
3. Dapat membantu peralatan listrik yang digunakan bekerja dengan akurat dan juga dapat mengurangi biaya produksi penanganan kerusakan yang ada.
4. Sebagai panduan dan pedoman bagi mahasiswa teknik elektro khususnya dalam memecahkan permasalahan akan bahayanya pengaruh harmonisa dalam system kelistrikan.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Pengoperasian beban non linier pada sistem tenaga listrik seringkali mengakibatkan terjadinya harmonisa, yang merupakan masalah yang perlu segera diatasi. Harmonisa dapat menimbulkan berbagai efek negatif baik dari segi peralatan maupun ekonomi perusahaan. Pada pengukuran dan simulasi sistem kelistrikan di Gedung PT. Bank Mandiri (Persero) Tbk Region Palembang, pengoperasian beban non linier menghasilkan arus harmonisa dengan Total Harmonic Distortion (THDi) sebesar 25,5% dan 11,43%. Angka tersebut melebihi nilai standar yang ditetapkan oleh IEEE 519-1992, yaitu 5%. Dalam membandingkan hasil perhitungan dan simulasi menggunakan ETAP dengan standar yang ditentukan, dilakukan pemasangan filter pasif high pass filter dan capacitor bank. Tindakan ini berhasil mengurangi distorsi harmonisa, dengan nilai THD arus menurun menjadi 2,27%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemasangan filter pasif high pass filter berhasil mereduksi harmonisa hingga mencapai standar yang diperbolehkan oleh IEEE 519-1992. Langkah ini membantu dalam mengatasi masalah harmonisa yang timbul akibat pengoperasian beban non linier, sehingga dampak negatif terhadap perusahaan dapat dikurangi baik dari sisi peralatan maupun aspek ekonomi. Tindakan yang diambil ini merupakan langkah penting dalam menjaga kualitas sistem tenaga listrik, mengurangi gangguan yang disebabkan oleh harmonisa, dan melindungi peralatan elektrik yang ada.

Dengan mematuhi standar yang ditetapkan, perusahaan dapat menghindari kerugian akibat kerusakan peralatan dan biaya perawatan yang tinggi. Selain itu, tindakan ini juga berkontribusi dalam menjaga stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan, meminimalkan gangguan pada sirkuit listrik, dan meningkatkan efisiensi operasional. Dalam hal ini, penting untuk terus memantau dan mengelola harmonisa yang terkait dengan pengoperasian beban non linier. Selain itu, evaluasi dan perbaikan rutin terhadap sistem tenaga listrik diperlukan guna memastikan bahwa nilai harmonisa tetap berada dalam batas yang diterima. Dengan demikian, perusahaan dapat menjaga keandalan operasional sistem tenaga listrik dan mengoptimalkan kinerja peralatan, sehingga dapat mencapai efisiensi yang lebih tinggi dalam menjalankan kegiatan bisnis mereka [8]

Studi ini bertujuan untuk menganalisis dampak pemasangan filter pasif pada beban listrik, khususnya pada salah satu konsumen 3 phase PT. PLN. Variabel yang diamati meliputi total harmonic distortion (THD) arus, THD tegangan, faktor daya, dan putaran kwh meter elektromekanik. Metode yang digunakan adalah pengukuran total harmonic distortion (THD) pada beban listrik 3 phase menggunakan spectrum analyzer, perancangan filter pasif single tuned untuk THD arus tertinggi, simulasi menggunakan aplikasi Matlab, dan analisa data. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa arus orde 3 memiliki distorsi paling tinggi, dengan nilai THD arus total sebesar 15,05% dan THD tegangan total sebesar 9,39%. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan pemasangan filter pasif orde 3 melalui simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan filter pasif orde 3 berhasil menurunkan nilai THD arus t,otal menjadi 10,40% dan THD tegangan total menjadi 6,61%. Selain itu, terjadi peningkatan faktor daya dari 0,971 menjadi

0,985, serta terjadi penurunan putaran kwh meter elektromekanik sebesar 36 putaran per jam. Dengan adanya pemasangan filter pasif, terjadi penurunan nilai THD arus dan tegangan, yang mengindikasikan pengurangan distorsi harmonisa. Hal ini berdampak positif pada kualitas daya listrik yang diterima oleh konsumen. Selain itu, peningkatan faktor daya juga mengindikasikan efisiensi yang lebih baik dalam penggunaan energi listrik. Penurunan putaran kwh meter elektromekanik juga menunjukkan pengurangan konsumsi energi, yang dapat berdampak pada efisiensi penggunaan listrik dan penghematan biaya bagi konsumen. Dengan demikian, hasil dari studi ini menunjukkan bahwa pemasangan filter pasif orde 3 pada beban listrik konsumen 3 phase PT. PLN dapat mengurangi distorsi harmonisa dan meningkatkan faktor daya. Implikasinya adalah meningkatnya kualitas daya listrik yang diterima oleh konsumen serta efisiensi dalam penggunaan energi listrik. Studi ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pentingnya penggunaan filter pasif dalam mengatasi masalah harmonisa pada sistem tenaga listrik dan memberikan dasar bagi pengembangan langkah-langkah perbaikan lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi sistem tenaga listrik [9].

Selama dekade terakhir, perusahaan listrik menghadapi tantangan signifikan terkait dengan kualitas daya. Kualitas daya mengacu pada kondisi keseluruhan pasokan listrik, meliputi faktor-faktor seperti profil tegangan, frekuensi, harmonisa, dan keandalan. Jelas dari definisi ini bahwa fluktuasi tegangan dan polusi harmonisa merupakan kontributor utama terhadap kualitas daya yang buruk. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja peralatan, menjadi penting untuk meningkatkan kualitas daya. Ada berbagai metode yang tersedia untuk meningkatkan kualitas daya, dan dalam kasus ini, kita akan fokus pada

implementasi filter daya aktif shunt (SAPF) untuk mengurangi harmonisa dan secara berkelanjutan meningkatkan kualitas daya. SAPF beroperasi dengan memonitor arus beban dan menyuntikkan arus kompensasi ke sistem untuk menetralkan harmonisa arus atau beban reaktif. Dengan menggunakan SAPF, efek merugikan dari harmonisa dapat dikurangi secara signifikan, menghasilkan peningkatan kualitas daya. Harmonisa adalah penyimpangan dari bentuk gelombang sinusoidal standar dan dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti peningkatan kerugian, pemanasan berlebihan peralatan, dan gangguan pada perangkat sensitif lainnya. SAPF secara aktif mendeteksi dan mengkompensasi harmonisa ini, memastikan pasokan daya yang lebih bersih dan stabil. Implementasi SAPF menawarkan beberapa keuntungan. Ia efektif dalam mengurangi harmonisa, yang mengakibatkan penurunan masalah kualitas daya yang disebabkan oleh polusi harmonisa. Selain itu, ia meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem daya, karena kerugian yang terkait dengan distorsi harmonisa diminimalkan. Dengan menyediakan pasokan daya yang stabil dan dapat diandalkan, kinerja peralatan ditingkatkan, mengurangi waktu henti dan meningkatkan produktivitas. Sebagai kesimpulan, kualitas daya telah menjadi perhatian utama bagi perusahaan listrik. Untuk mengatasi masalah ini, implementasi filter daya aktif shunt menawarkan solusi efektif dengan mengurangi harmonisa dan meningkatkan kualitas daya. Dengan secara aktif mengkompensasi harmonisa arus atau beban reaktif, SAPF memastikan pasokan daya yang lebih bersih dan stabil, dengan demikian meningkatkan kinerja peralatan dan mengurangi dampak negatif dari kualitas daya yang buruk [10].

Pada dasarnya mutu listrik yang baik adalah listrik yang mempunyai tegangan dan frekuensi yang stabil . Untuk di Indonesia, listrik yang bersumber dari PLN adalah dengan tegangan 220 volt dan frekuensi 50 Hz. Terdapat banyak aspek yang dapat mempengaruhi berkurangnya mutu listrik. Salah satu aspek tersebut adalah timbulnya harmonisa pada gelombang listrik dari pada peralatan yang dimaksudkan ialah X-Ray (sinar- X) atau Radiografi. X-Ray adalah yang menghasilkan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi X-Ray untuk digunakan dalam diagnostik atau terapi. Beban listrik yang bersifat tidak linier dapat menimbulkan distorsi bentuk gelombang, baik arus maupun tegangan yang merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas dari sistem tenaga listrik. Rontagen (Sinar-X) mempunyai karakteristik beban listrik yang tidak linier yang dapat mengakibatkan bentuk gelombang sisi masukan tegangan listrik dan arus menjadi tidak sinusoidal murni akibat adanya interaksi gelombang sinusoidal frekuensi fundamental dengan frekuensi gelombang lain yang dikenal sebagai harmonisa. Pada simulasi penggunaan Single-Tuned Passive Filter Order untuk beban rangkaian X-Ray dengan data simulasi disesuaikan dengan data pengukuran. Arus harmonisa pada peralatan X-Ray sebelum pemakaian filter diketahui tidak memenuhi standart, setelah pemasangan Single-Tuned Passive Filter Individual Harmonisa Distorsi arus (IHDi) memenuhi standart Internasional Elektrotechnical Commission (IEC) 61000-3-2 Kelas D. Sinar-X mempunyai Total Harmonisa Distorsi arus (THDi) sebesar 64,9 % dan Total Harmonisa Tegangan (THDv) 3,4 % dengan daya 340 Watt, perlu direduksi karena tidak sesuai dengan batasan harmonisa standar Internasional Elektrotechnical Commission (IEC) 61000-3-2 Kelas D. Penggunaan Filter Single-Tuned Passive Filter dan Doubel-Tuned Passive

Filter serta penggabungan filter Single-Tuned Passive Filter dan Double-Tuned Passive Filter pada sinar-X dapat mereduksi harmonisa orde ke-3 sampai orde ke-39 dengan masing-masing Total Harmonisa Distorsi arus (THDi) dan Total Harmonisa Distorsi tegangan (THDv) yaitu : 57,77 % dan 2,79 %, 58,48 % dan 2,75 %, 1,74% dan 2,77% [11].

Kualitas daya listrik menjadi hal penting yang harus dijaga karena melayani banyak bebanbeban listrik yang menuntut kualitas daya listrik sebaik mungkin untuk kelancaran operasional suatu sistem. Terdapat beberapa faktor yang menimbulkan penurunan kualitas daya listrik, salah satunya adalah distorsi harmonisa. Pengoperasian beban non linier merupakan penyebab timbulnya harmonisa. Tingkat distorsi atau disebut Total Harmonic Distortion (THD) yang tinggi berpotensi menurunkan kualitas energi listrik yang disalurkan. RSUD Klungkung memiliki 2 buah transformator distribusi 20kV/400V dengan kapasitas maksimum masing-masing sebesar 200kVA. Terdapat masing-masing 1 buah Main Distribution Panel (MDP) pada kedua transformator yang terpasang yang kemudian dibagi menjadi 18 Sub Distribution Panel (SDP). Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran awal terhadap kandungan THD baik tegangan maupun arus saat beban puncak di tiap-tiap SDP yang terpasang di RSUD Klungkung. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran THD pada tiap Sub Distribution Panel (SDP) di RSUD Klungkung. Hasil pengukuran awal menunjukkan nilai THDI tertinggi terdapat pada SDP P.AC sebesar 45,73% dan terendah pada SDP UGD sebesar 3,93%. Sedangkan nilai THDV hasil pengukuran awal rata-rata sebesar 5,3%. Standar yang dijadikan acuan adalah IEEE Standard 519-2014, dimana batas standar THDI adalah 8,0%, dan batas standar THDV adalah 8,0%. Nilai THD yang melewati

standar dianalisis dan disimulasikan pada perangkat lunak ETAP dengan penambahan Damped Filter untuk mereduksi nilai THD yang melewati standar. Berdasarkan hasil simulasi setelah penambahan Damped Filter, nilai THDI mengalami penurunan di tiap-tiap SDP. Namun hanya beberapa SDP dengan kandungan THDI yang sesuai dengan standar. Penurunan THDI tertinggi terdapat pada SDP P.AC sebesar 10,63%, dan penurunan terendah terdapat pada SDP IPSRS sebesar 2%. Nilai THDV pada tiap-tiap SDP setelah penambahan Damped Filter juga [12].

2.2 Kualitas Daya Listrik

Menurut Roger C. Dugan, 1996. Istilah kualitas Daya listrik merupakan gambaran suatu konsep tentang baik buruknya sebuah mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sebuah sistem kelistrikan. Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen. Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, dimana besar nilai daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian nilai tegangan dan arus. Sistem suplai daya listrik dapat dikendalikan oleh kualitas dari tegangan, dan tidak dapat dikendalikan oleh arus listrik karena arus listrik berada pada sisi beban yang bersifat individual, sehingga pada dasarnya kualitas daya adalah kualitas dari tegangan itu sendiri [13].

Peningkatan kebutuhan dan konsumsi energi listrik yang baik dari segi kualitas dan kuantitas telah menjadi salah satu faktor utama yang mendorong perusahaan utilitas penyedia listrik untuk memberikan perhatian yang lebih

terhadap isu kualitas daya listrik. Terutama bagi konsumen di sektor industri yang sangat mengandalkan pasokan listrik yang kontinu dan berkualitas, hal ini menjadi semakin penting. Mesin-mesin industri umumnya sensitif terhadap lonjakan atau ketidakstabilan tegangan, sehingga dibutuhkan sistem pendistribusian tenaga listrik yang dapat memenuhi kriteria yang diinginkan oleh konsumen. Pentingnya kualitas daya listrik dalam industri tidak dapat diabaikan. Ketidakstabilan tegangan atau lonjakan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan mesin produksi, mengganggu proses produksi, dan bahkan menyebabkan kerugian finansial yang signifikan. Oleh karena itu, perusahaan utilitas penyedia listrik harus berupaya untuk menyediakan pasokan listrik yang stabil, kontinu, dan berkualitas kepada konsumen industri. Salah satu langkah yang dapat diambil adalah dengan meningkatkan sistem pendistribusian tenaga listrik. Hal ini melibatkan penggunaan teknologi yang tepat, termasuk penggunaan peralatan transformator dan peralatan distribusi listrik yang berkualitas tinggi [14]. Dalam beberapa kasus, juga diperlukan penggunaan regulator tegangan dan perangkat pelindung seperti voltage stabilizer untuk menjaga tegangan tetap dalam batas yang diinginkan. Selain itu, perusahaan utilitas juga harus melakukan pemantauan dan pemeliharaan rutin terhadap infrastruktur tenaga listrik mereka. Ini meliputi inspeksi berkala, pengujian, dan pemeliharaan peralatan distribusi listrik, serta pemantauan secara terus-menerus terhadap kualitas daya listrik yang disuplai ke konsumen.

Dengan mengutamakan kualitas daya listrik yang disediakan kepada konsumen industri, perusahaan utilitas dapat memastikan kelancaran operasional konsumen dan mendukung pertumbuhan sektor industri secara keseluruhan. Dalam era yang semakin bergantung pada pasokan energi listrik yang andal dan

berkualitas, penyedia listrik perlu mengadopsi strategi yang berfokus pada memenuhi kebutuhan kualitas daya listrik yang diinginkan oleh konsumen industri, sehingga dapat meningkatkan kepuasan pelanggan, meminimalkan gangguan operasional, dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Istilah kualitas daya listrik bukanlah hal yang baru melainkan sudah menjadi isu penting pada industri sejak akhir 1980-an. Kualitas daya listrik memberikan gambaran akan baik buruknya suatu sistem ketenagalistrikan dalam mengatasi gangguan - gangguan pada sistem tersebut [15]. Ada empat alasan utama perlunya perhatian lebih akan masalah kualitas daya yaitu.

1. Perangkat listrik yang digunakan pada saat ini sangat sensitif terhadap kualitas daya listrik yang mana perangkat berbasis mikroprosesor dan elektronika daya lainnya membutuhkan tegangan pelayanan yang stabil dan level tegangannya juga harus dijaga pada tegangan kerja perangkat tersebut.
2. Peningkatan yang ditekankan pada efisiensi daya / sistem kelistrikan secara keseluruhan yang mengakibatkan pertumbuhan lanjutan dalam aplikasi perangkat dengan efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor bank untuk koreksi faktor daya untuk mengurangi rugi-rugi. Hal ini mengakibatkan peningkatan tingkat harmonisa pada sistem tenaga dan mengakibatkan banyak praktisi dibidang sistem tenaga listrikan khawatir akan dampak tersebut di masa depan (dikhawatirkan dapat menurunkan kemampuan dari system tersebut).
3. Meningkatnya kesadaran para konsumen akan masalah kualitas daya. Dimana pelanggan / konsumen menjadi lebih mengerti akan masalah seperti

interupsi, sags dan transien switching dan mengharapkan sistem utilitas listrik untuk meningkatkan kualitas daya yang dikirim.

4. Sistem tenaga listrik sekarang ini sudah banyak yang melakukan interkoneksi antar jaringan, di mana hal ini memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen akan mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya. Masalah yang dapat timbul dari sistem tenaga listrik dengan kualitas daya yang buruk dapat berupa masalah lonjakan/perubahan tegangan, arus dan frekuensi yang akan menimbulkan kegagalan/misoperasi peralatan. Yang mana kegagalan ini merusak peralatan listrik baik dari sisi pengirim maupun sisi penerima. Untuk itu demi mengantisipasi kerugian yang dapat terjadi baik dari pihak PLN maupun masyarakat, pihak PLN harus mengupayakan sistem ketenagalistrikan yang baik.

Kualitas daya listrik dapat dikatakan baik jika arus, tegangan, dan frekuensi yang terdapat di suatu tempat atau sektor selalu konstan [16]. Tetapi pada kenyataannya arus, tegangan dan frekuensi tersebut tidak selalu bernilai konstan, tergantung pada peralatan listrik atau beban yang dipakai dan pengaturan sistem distribusi listriknya. Untuk itu perlu dilakukan berbagai upaya guna menjaga atau memperbaiki kualitas daya listrik. Kualitas daya banyak dipengaruhi antara oleh jenis beban yang tidak linear, ketidakseimbangan pembebanan, distorsi gelombang harmonisa yang melebihi standart dan lain - lain. Penurunan kulaitas daya dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada sisi beban, bahkan menyebabkan penurunan kapasitas daya pada sumber pembangkit (generator). Penyebab permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-

fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah :

1. Gejala Peralihan (Transient), yaitu suatu gejala perubahan variabel (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (steady state) menjadi keadaan yang lain.
2. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (Short-Duration Variations), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat yaitu kurang dari 1 (satu) menit.
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (Long-Duration Variations), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu lebih dari 1 (satu) menit.
4. Ketidakseimbangan Tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Distorsi Gelombang, adalah gejala penyimpangan dari suatu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal.
6. Fluktuasi Tegangan, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala Perubahan Frekuensi Daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

Daya memiliki arti sebagai energi per satuan waktu. Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Watt [17]. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-bali (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah Watt (W), daya reaktif dengan simbol

(Q) satuannya adalah volt ampere reactive (VAR) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah volt ampere (VA). Berdasarkan definisi tersebut, perumusan daya listrik adalah seperti dibawah ini :

$$P = E / t \quad (2.1)$$

Keterangan :

P = Daya Listrik

E = Energi dengan satuan Joule

t = waktu dengan satuan detik

Dalam rumus perhitungan, Daya Listrik biasanya dilambangkan dengan huruf “P” yang merupakan singkatan dari Power. Sedangkan Satuan Internasional (SI) daya listrik adalah Watt yang disingkat dengan simbol W. Watt adalah sama dengan satu joule per detik (Watt = Joule / detik). Perhitungan menggunakan persamaan berdasarkan konsep Hukum Ohm dapat dilihat sebagai berikut.

$$P = I^2R \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya Listrik dengan satuan Watt (W)

I = Arus Listrik dengan satuan Ampere (A)

R = Hambatan dengan satuan Ohm (Ω)

Dalam sistem kelistrikan, daya listrik terdiri atas 3 (tiga) bagian utama, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Berikut penjelasan dari bagian-bagian daya listrik yang terdapat pada sistem kelistrikan[18].

1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan kekuatan sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi oleh beban . Beberapa contoh dari daya aktif adalah energi panas, energi mekanik, cahaya dan daya aktif memiliki satuan berupa watt (W). Berikut ini merupakan persamaan daya aktif :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.3)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.4)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos φ = Faktor daya

2. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet [19]. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor,

lampu pijar dan lain – lain. Daya reaktif memiliki satuan berupa volt ampere reactive (VAR). Berikut ini merupakan persamaan rumus daya reaktif :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (1 phasa)} \quad (2.5)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (3 phasa)} \quad (2.6)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

3. Daya Semu

Daya Semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif [19]. Daya semu ialah daya yang dikeluarkan sumber *Alternation Current* (AC) atau di serap oleh beban. Satuan dari daya semu yaitu *Volt Ampere* (VA). Berikut persamaan dari daya semu :

$$S = V \cdot I \text{ (1 phasa)} \quad (2.7)$$

$$S = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \text{ (3 phasa)} \quad (2.8)$$

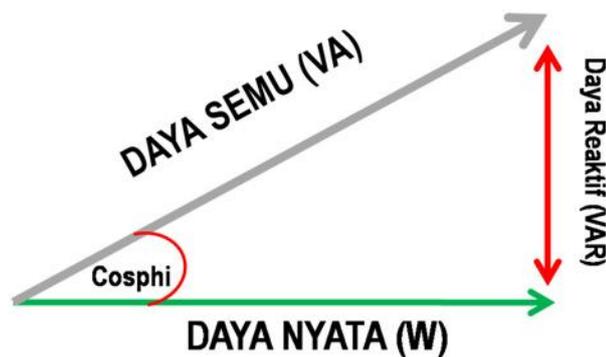
Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

2.2.1 Faktor Daya

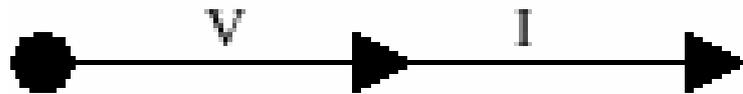
Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu. Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau nilai cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan nilai cosinus sudut dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Nilai faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu [20]. Daya aktif digunakan untuk mengoperasikan beban-beban pada pelanggan listrik. Daya semu dihasilkan oleh generator pembangkit yang ditransmisikan ke pelanggan listrik. Daya reaktif yang bertambah akan menyebabkan turunnya faktor daya listrik. Hubungan factor daya dalam sistem kelistrikan dapat dilihat pada gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2. 1 Segitiga Daya

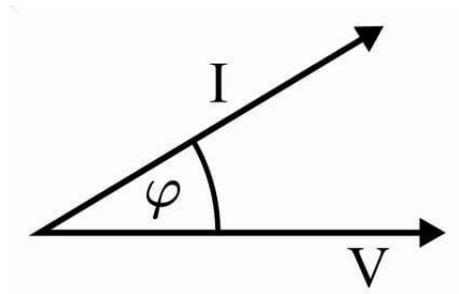
Faktor daya yang rendah berhubungan dengan beda fasa antara arus dan tegangan pada terminal beban. Sudut fasa arus beban yang rendah biasanya diakibatkan oleh penggunaan beban induktif seperti transformator, motor induksi, lampu TL dan beban elektronik lainnya. Pada suatu sistem tenaga listrik memiliki 3

jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya mendahului (leading) dan faktor daya terbelakang (lagging) yang ditentukan oleh jenis beban pada sistem tenaga listrik. Pada saat nilai $\cos\phi$ adalah satu dan tegangan sephasa dengan arus. Faktor daya akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni [21].



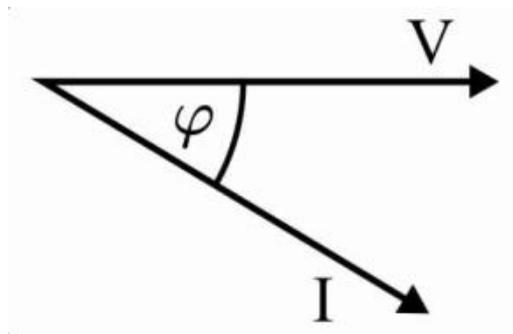
Gambar 2. 2 Arus Sephasa Dengan Tegangan

Pada gambar 2.4 terlihat nilai $\cos\phi$ sama dengan 1 yang menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu. Selain kitor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi beban atau peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif. Apabila arus mendahului tegangan maka faktor daya ini dikatakan "*leading*".



Gambar 2. 3 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut phi

Berdasarkan gambar 2.3 terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem. Saat ini jala-jala PLN mengalami hal seperti ini dalam perjalanan energi listrik menuju beban yang menghasilkan nilai factor daya yang cukup tinggi sehingga terjadi adanya factor daya terbelakang yang dimana keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi beban atau perlatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif. Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “*lagging*”.



Gambar 2. 4 Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut phi

Berdasarkan gambar 2.4 terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem. Dalam hal ini munculnya penurunan kualitas daya dipicu oleh daya reaktif tersebut. Masalah *Power Quality* adalah persoalan perubahan bentuk tegangan, arus atau frekuensi yang bisa menyebabkan kegagalan atau misoperation peralatan, baik peralatan milik PLN maupun milik konsumen, artinya masalah *Power Quality* bisa merugikan pelanggan maupun PLN [22] Suatu sistem tenaga listrik dituntut dapat memenuhi syarat dasar kebutuhan layanan (*Service Requirement*) kepada konsumennya yaitu :

1. Dapat memenuhi beban puncak

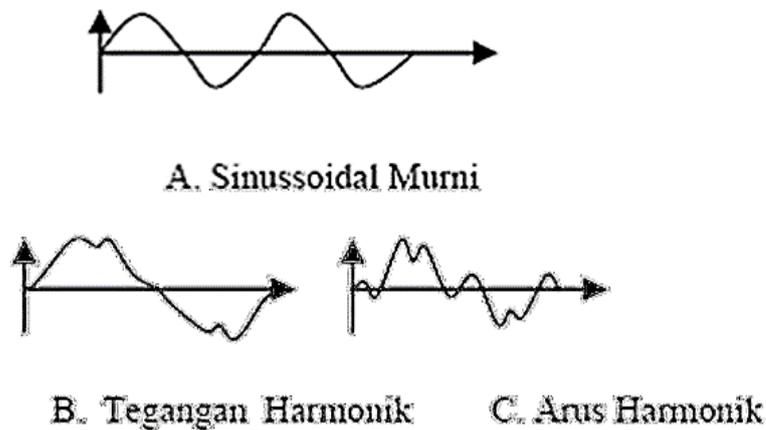
2. Memiliki deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum
3. Menjamin urutan phase yang benar
4. Menjamin distorsi gelombang tegangan dan harmonisa yang minimum dan bebas dari surja tegangan.
5. Menjamin suplai sistem tegangan dalam keadaan setimbang.
6. Memberikan suplai daya dengan keandalan tinggi dengan prosentase waktu layanan yang tinggi dimana sistem dapat melayani beban secara efektif.

Enam hal diatas dijadikan tolok ukur, apakah layanan yang diterima oleh konsumen sudah baik atau belum [23]. Masalah *Power Quality* menjadi penting karena : Saat ini kualitas peralatan yang dimiliki konsumen lebih sensitif, pada sistem utilitas telah terjadi meningkatnya level harmonisa, konsumen belum memiliki dan mendapat informasi yang cukup menyangkut masalah *power quality*, kegagalan satu komponen pada sistem distribusi dan instalasi bisa membawa konsekuensi tertentu [24].

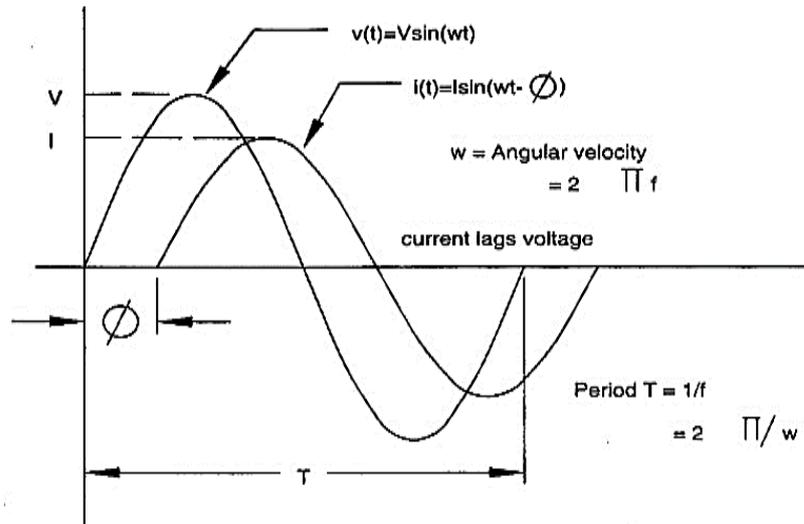
2.3 Distorsi Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier, yang merupakan sumber terbentuknya gelombang frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental, misal: 100Hz, 150Hz, 200Hz, 300Hz, dan seterusnya). Harmonisa merupakan suatu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang diakibatkan oleh distorsi gelombang arus dan tegangan, distorsi arus dan tegangan ini menyebabkan gelombang arus dan tegangan menjadi tidak sinusoidal [25]. Distorsi gelombang ini disebabkan oleh gelombang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya, sehingga bentuk

gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi. Harmonisa merupakan suatu permasalahan yang terjadi akibat dioperasikannya beban non-linear. Beban non-linear mengganggu gelombang tegangan dan arus yang sinusoidal, yang mengakibatkan bentuk gelombang keluarannya menjadi tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Distorsi gelombang ini timbul karena adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi yang berbeda dari frekuensi dasarnya, yaitu dikenal sebagai frekuensi fundamental harmonisa. Semakin banyak penggunaan peralatan elektronika (beban non-linear) seperti komputer, televisi dan sebagainya maka menyebabkan arus listrik semakin mengandung harmonisa. Dampak negatif dari adanya harmonisa adalah menyebabkan rugi-rugi pada alat yang menimbulkan efek panas pada peralatan [26].



Gambar 2. 5 Bentuk Gelombang Harmonisa
[27]



Gambar 2. 6 Bentuk Gelombang Tegangan Dan Arus Sinusoidal [28]

Harmonisa genap adalah harmonisa 2,4,6,8, dan seterusnya sedangkan harmonisa ganjil 3,5,7,9, dan seterusnya. Harmonisa pertama tidak disebut harmonisa ganjil karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik [29]. Di Indonesia frekuensi fundamental adalah 50 Hz. Pada kenyataannya, sebagian besar beban non linier menghasilkan harmonisa kelipatan ganjil dari frekuensi fundamentalnya [27]. Interharmonisa adalah harmonisa yang frekuensinya tidak merupakan kelipatan integral dari frekuensi dasarnya. Subharmonisa yaitu harga frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi fundamentalnya [30]. Harmonisa urutan positif mempunyai urutan fasa yang sama dengan harmonisa dasarnya. Harmonisa ini menyebabkan penambahan panas di konduktor, circuit breaker, dan panel - panel yang terdapat system distribusi listrik. Harmonisa urutan negatif memiliki urutan fasa yang berlawanan dengan harmonisa dasarnya. Seperti urutan positif, urutan negatif juga mengakibatkan penambahan panas diberbagai peralatan. Selain itu urutan negatif juga menyebabkan masalah di motor

induksi karena urutan negatifnya berputar berlawanan arah. Perputaran ini tidak dapat membuat motor berputar melawan arah yang dikehendaki, namun dapat mengurangi kecepatan motor karena menyebabkan motor lebih panas dari semestinya. Harmonisa urutan nol tidak memproduksi suatu perputaran medan dikedua arah, sehingga menghasilkan panas yang lebih dibanding dengan urutan positif maupun urutan negatif. Harmonisa urutan kosong ini tidak dapat dihilangkan, hal ini dikarenakan tidak terdapatnya fuse yang dapat menurunkan aliran arus. Bahaya yang dapat ditimbulkan oleh harmonisa urutan kosong adalah arus normal yang berlebihan sehingga dapat mengakibatkan kebakaran. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa perpaduan harmonisa ganjil dengan urutan kosong yang lebih berbahaya dan merugikan. Harmonisa - harmonisa yang dimaksud adalah harmonisa ke 3,9,15,21 dan seterusnya.

Penyebab Sumber Timbulnya Distorsi Harmonisa adalah adanya beban non linear pada jaringan sistem distribusi. Beban non linear umumnya berupa komponen semikonduktor yang proses kerjanya berlaku seperti saklar yang bekerja pada saat setengah siklus gelombang atau beban yang membutuhkan arus yang tidak tetap pada setiap periode waktunya [31]. Proses kerja ini akan menimbulkan gelombang arus atau tegangan yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter beban - beban non linear yang terpasang. Perubahan bentuk gelombang ini tidak berkaitan dengan sumber tegangannya. Sumber distorsi harmonisa secara garis besar terdiri dari 2 jenis yaitu peralatan yang memiliki jenis saturasi dan peralatan elektronika daya. Peralatan yang memiliki kondisi saturasi biasanya memiliki komponen, yang bersifat magnetik seperti transformator, mesin - mesin listrik dan *magnetic ballast*.

Pada peralatan elektronika daya biasanya menggunakan komponen - komponen elektronika daya seperti *thyristor*, dioda dan lain-lain. Contoh peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya adalah sistem pengendali motor listrik, *magnetic ballast* dan lain sebagainya [32]. Efek dari distorsi harmonisa yang ditimbulkan pada sistem energi listrik tergantung pada sumber harmonisa, letak sumber harmonisa dan karakteristik jaringan listrik. Pengaruh harmonisa pada sistem tenaga listrik secara umum dapat menyebabkan peralatan menjadi lebih cepat panas, isolasi menjadi menurun, umur peralatan elektronik menjadi berkurang, dan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. Kerusakan tersebut dikarenakan peralatan tersebut sensitif terhadap gangguan yang terjadi karena masuknya frekuensi - frekuensi tinggi. Berikut adalah beberapa akibat yang ditimbulkan oleh adanya distorsi harmonisa.

1. Temperatur pada tranformator lebih meningkat dari normalnya.
2. Terlalu panasnya motor-motor yang dioperasikan (karena *eddy current* yang timbul sehingga menambah kerugian daya).
3. Terjadinya kesalahan pada penunjukan alat ukur.
4. Putusnya pengaman (*fuse*) pada kapasitor bank atau isolasi kapasitor menjadi lebih panas, sehingga bila terlalu melampaui batas dapat mengalami kerusakan pada kapasitor itu sendiri.
5. Terjadinya kesalahan operasi pada peralatan-peralatan kontrol dan pemutus yang terhubung dengan bus yang telah terganggu.
6. Menimbulkan kerugian besar dan menyebabkan peralatan-peralatan listrik cepat rusak ataupun tidak dapat bekerja dengan maksimal seperti semula.

7. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonisa arus frekuensi tinggi.
8. Pemutus beban dapat bekerja di bawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal.
9. Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Triplen harmonisa pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonisa yang mengganggu sistem telekomunikasi.

Peran harmonisa pada sistem tenaga listrik cukup besar, terutama pada alat-alat yang terdapat pada sistem tenaga (19). Distorsi Harmonisa akan menimbulkan beberapa dampak seperti panas berlebih pada beberapa alat seperti generator dan transformator karena kecenderungan harmonisa mengalir ke tempat dengan impedansi yang lebih rendah. Efek dari distorsi harmonisa tidak dapat dihilangkan secara sepenuhnya, tetapi dapat dikurangi. Ada beberapa cara yang biasa digunakan dalam mengurangi efek distorsi harmonisa, yaitu dengan penggunaan filter pasif seperti pemasangan kapasitor, penambahan jumlah fasa, dan kompensasi atau injeksi harmonisa negative. Pada Tabel 2.1 berikut menjelaskan beberapa efek akibat gangguan harmonisa pada beberapa peralatan :

Tabel 2. 1 Efek Distorsi Harmonisa pada Beberapa Peralatan

[33]

Peralatan (Equipment)	Efek Gangguan Harmonisa
Konduktor	Overheating, pengaman sering trip (MCCB)

Kapasitor	Terjadi panas, umur kapasitor berkurang, kerusakan pada kapasitor
Trafo dan Motor Listrik	Overheating pada belitan, degradasi pada thermal insulation, berkurangnya efisiensi
Power Generator	Gangguan pada automatic synchronization dan operasi switching
Peralatan Sistem Telekomunikasi	Gangguan pada koneksi dan hilangnya data (data losses)
Electrical wiring	Konduktor fase dan netral berukuran kecil
Overcurrent protection	Breaker dan gangguan sekering ngetrip

Telah disepakati bahwa distorsi harmonisa banyak memberikan dampak buruk, maka dari itu hal yang paling penting adalah dengan cara mengurangi efek harmonisa ini. Salah satu cara mengurangi harmonisa adalah dengan cara mendesain peralatan yang tidak menimbulkan harmonisa itu sendiri. Ada beberapa cara yang bisa dilakukan untuk mengatasi harmonisa. Cara mendesain peralatan yang bebas harmonisa adalah dengan menambahkan filter pasif, penambahan jumlah fase (*Phase Multiplication*), & kompensasi atau injeksi harmonisa negatif. Untuk mengetahui seberapa besar nominal gangguan (distorsi) yang disebabkan oleh harmonisa, maka perlu adanya penetapan besaran distorsi yang disebabkan oleh harmonisa. Indeks harmonisa umumnya dinyatakan dalam satuan prosentase dalam analisa harmonisa terdapat beberapa indeks yang penting untuk menggambarkan efek dari harmonisa pada komponen sistem tenaga [19].

Total Harmonic Distortion (THD) adalah ukuran dari nilai efektif dari komponen harmonisa bentuk gelombang yang terdistorsi. Perbandingan antara nilai

RMS dari komponen harmonisa terhadap nilai RMS pada frekuensi fundamental disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). Besaran THD digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal idealnya. THD merupakan rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari nilai fundamental dan biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempurna. Pada saat terjadi gelombang sinus sempurna maka nilai THD adalah nol. Nilai THD yang diijinkan secara Internasional maksimal berkisar 5% dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya [23]. Untuk mencari THD dari tegangan dapat digunakan persamaan :

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.9)$$

Sedangkan THD dari arus dapat digunakan persamaan

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.10)$$

Indeks ini digunakan untuk mengukur penyimpangan dari bentuk gelombang satu periode yang mengandung harmonisa pada gelombang sinusoidal sempurna. Untuk satu gelombang arus sempurna pada frekuensi dasar (fundamental) THDnya adalah nol digunakan persamaan :

$$THD_{V^n} = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$THD_{I^n} = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan :

V_n = Tegangan Harmonisa *Orde* ke-n

V_1 = Tegangan Fundamental (V_{rms})

I_n = Arus Harmonisa *Orde* ke-n

I_1 = Arus Fundamental (I_{rms})

$n = 2 - \infty$

Secara umum persamaan untuk menentukan V_{rms} dan I_{rms} pada keadaan tanpa harmonisa maupun ada harmonisa :

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_v}{100}\right)^2} \quad (2.13)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2} \quad (2.14)$$

Pada keadaan tidak ada harmonisa

$$V_{rms} = V_{1rms} \text{ dan } I_{rms} = I_{1rms} \quad (2.15)$$

Keterangan :

V_{rms} = tegangan rms fundamental

I_{rms} = arus rms fundamental

THD_v = total harmonic dictortion tegangan

THD_i = total harmonic distortion arus

Cara paling sederhana untuk menentukan nilai harmonisa adalah dengan mengukur daya aktif dan daya reaktif sistem untuk setiap frekuensi dasar dan frekuensi harmonisanya [34]. Dari sini bisa diasumsikan bahwa daya aktif nantinya hanya menentukan resistansi sistem, daya reaktif pada frekuensi dasar menentukan induktansi sistem, dan daya reaktif pada frekuensi harmonisa dapat menentukan impedansi harmonisa. Perlu dicatat disini bahwa cara ini bisa digunakan karena reaktansi induktor naik sebanding dengan frekuensi sedangkan reaktansi kapasitor berbanding terbalik dengan frekuensi daya reaktif pada frekuensi harmonics biasanya sangat kecil [33].

Dalam merepresentasikan tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD, akan tetapi ada beberapa kesulitan yang dapat menyebabkan kesalahan. Contohnya seperti aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai THD yang tinggi, namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak ke sistem tenaga Listrik [35]. Maka dapat dilakukan dengan melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar [36]. Dalam jala-jala listrik 3 fasa terjadi arus hubung singkat yang memicu adanya distorsi harmonisa. Untuk menghitung nilai hubung singkat tiga phasa pada PCC (*Point Of Common Coupling*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{1000 \times MVA}{\sqrt{3} KV} \quad (2.16)$$

Dimana MVA dan KV mewakili kapasitas hubung singkat tiga phasa dalam megavolt ampere dan tegangan line-to-line di PCC. ISC merupakan arus hubung singkat yang ada pada *Point Of Common Coupling*. I_L merupakan arus beban

nominal. Terdapat dua cara untuk mengukur I_L , pertama yaitu pada beban yang telah terpasang pada sistem lalu dihitung nilai rata-rata dari arus beban maksimum dari 12 bulan sebelumnya. Sedangkan untuk sistem yang baru, I_L harus diperkirakan berdasarkan profil beban yang akan dipasang. Nilai I_L dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I_L = \frac{KW}{\sqrt{3}KV} \quad (2.17)$$

Keterangan :

KW = permintaan rata-rata daya (masing-masing fasa)

KV = tegangan line to line di PCC

Untuk menentukan batasan maksimum distorsi arus harmonisa saat sedang berjalan digunakan persamaan :

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \quad (2.18)$$

Keterangan :

I_{SC} = arus hubung singkat

I_L = arus beban nominal

Distorsi tegangan harmonisa dari sistem distribusi umum yang menghubungkan konsumsi listrik tergantung pada harmonisa arus dan impedansi sistem pada frekuensi harmonisa yang berbeda. Konsumen listrik terhubung ke sistem tenaga di Point-of-Common Coupling (PCC).

2.3.1 Standar Harmonisa Berdasarkan IEEE

Standar harmonisa yang digunakan adalah standar harmonisa IEEE 519 tahun 2014. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Untuk yang pertama adalah batasan harmonisa arus, dan yang kedua adalah batasan harmonisa tegangan [37]. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . Dimana I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai [38]. Suatu sistem kelistrikan yang mengalami gangguan harmonisa harus memenuhi batasan yang telah ditetapkan. Berikut batas maksimum untuk distorsi arus harmonisa dan distorsi tegangan harmonisa berdasarkan *IEEE Standard 519-2014*.

Tabel 2.2 Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa

[39]

Batasan Distorsi Harmonisa Arus						
$V_n \leq 66 \text{ Kv}$						
I_{sc}/I_L	Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam persen I_L					Total Harmonic Distortion (THDi)
	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %
20 -50	7,0 %	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	8,0 %
50-100	10,0 %	4,5 %	4,0 %	1,5 %	0,7 %	12,0 %
100-1000	12,0 %	5,5 %	5,0 %	2,0 %	1,0 %	15,0 %

>1000	15,0 %	7,0 %	6,0 %	2,5 %	1,4 %	20,0 %
66 kV < V _n < 150 kV						
I _{sc} /I _L	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					THDi
	h < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 25	35 ≤ h	
< 20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20 – 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %
50 -100	5,0 %	2,25 %	2,0 %	0,75 %	0,35 %	6,0 %
100-1000	6,0 %	2,75 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	7,5 %
>1000	7,5 %	3,5 %	3,0 %	1,25 %	0,7 %	10,0 %
V _n > 150 kV						
I _{sc} /I _L	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					THDi
	h < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 25	35 ≤ h	
< 20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20 – 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %

Tabel 2.3. Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa

[39]

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

Keterangan :

PCC = Titik antara ujung dari pengguna dengan sistem peralatan dimana pelanggan dimana pelanggan lain dilayani.

Isc = Arus hubung singkat pada PCC.

I_L = Arus beban maksimum pada PCC.

TDD = Total demand distortion

Batas maksimum distorsi harmonisa arus genap adalah min 25 % dari nilai pada tabel di atas. Angka dalam berlaku untuk bilangan harmonisa (h) kelipatan dari frekuensi 50 Hz.

2.4 Filter Harmonisa

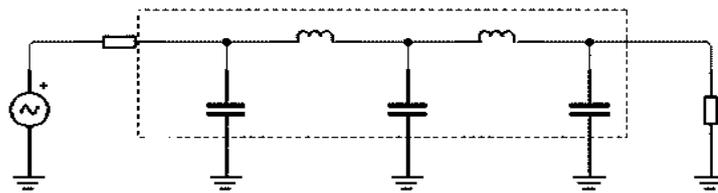
Harmonisa ini dapat diminimalisir dengan pemasangan filter harmonisa. Tujuan pemasangan filter harmonisa untuk mereduksi amplitudo frekuensi dari sebuah tegangan atau arus. Nilai harmonisa hasil pengukuran yang tinggi mengakibatkan kualitas daya Listrik menurun.

Filter harmonisa merupakan suatu rangkaian yang mampu mereduksi harmonisa, Pada dasarnya filter dikelompokkan menjadi filter pasif dan filter aktif. Selain itu juga, filter harmonisa ini juga dapat dikelompokkan menjadi 4 jenis berdasarkan tanggapan frekuensinya. Berikut jenis filter harmonisa yang diterapkan pada sistem kelistrikan.

1. Filter Lolos Rendah (*Low pass Filter*)

Low Pass Filter (LPF) adalah filter yang berfungsi meneruskan sinyal input yang frekuensinya berada di bawah frekuensi tertentu, diatas frekuensi tersebut (frekuensi cut off) sinyal akan diredam (FcoL). Rangkaian low pass filter dapat

dibangun menggunakan dua jenis rangkaian dasar, yakni rangkaian low pass filter induktif dan rangkaian low pass filter kapasitif. Low pass filter terdiri dari dua jenis yaitu low pass filter induktif dan low pass filter kapasitif[40]. Untuk rangkaian low pass filter induktif, rangkaian terdiri dari induktor (L) dan beban (R) sedangkan rangkaian low pass filter kapasitif dibangun menggunakan dua komponen utama yakni resistor (R) dan kapasitor (C).



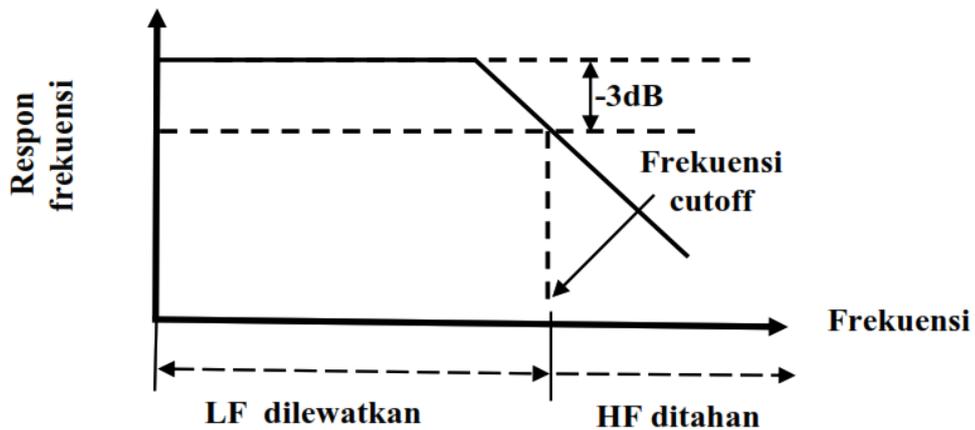
Gambar 2.7 Rangkaian *Low Pass Filter* (LPF) Untuk Filter Pasif

Penyaring Lolos Bawah atau *Low Pass Filter* ini dapat dibuat dengan menggunakan beberapa macam komponen pasif seperti resistor dan kapasitor atau induktor. *Low Pass Filter* yang dibuat dengan resistor dan kapasitor disebut dengan *Low Pass RC Filter* sedangkan *Low Pass Filter* yang dibuat dengan resistor dan induktor disebut dengan *Low Pass RL Filter* [41]. Filter yang hanya menggunakan komponen pasif ini sering disebut dengan Filter Pasif, Filter Pasif ini tidak memiliki elemen penguat seperti transistor dan Op-Amp sehingga tidak memiliki perolehan penguatan sinyal, oleh karena itu tingkat output-nya selalu kurang dari tingkat input-nya [43]. Seperti yang disebutkan sebelumnya, terdapat dua konfigurasi utama pada *Low Pass Filter Pasif* atau Penyaring Lolos Bawah Pasif ini yaitu *Low Pass RC Filter* (Resistor-Capasitor) dan *Low Pass RL Filter* (Resistor-Induktor). Rangkaian LPF dengan komponen RC terlihat pada gambar 2. Prinsip kerja

rangkaian tersebut secara sederhana dapat dijelaskan dengan merujuk kepada sifat dari kedua komponen pasif R dan C yang membentuknya ketika dilalui arus bolak balik atau AC[40]. R atau resistor adalah komponen yang besar tahanan atau perlawanannya tetap sama sekalipun frekuensi arus listrik yang mengalirinya berubah. Itu sebabnya, nilai tahanan resistor ketika diberi tegangan arus searah (DC) dan tegangan arus bolak-balik (AC) tidak berbeda. Reaktansi kapasitif dari suatu kapasitor (C) yang besarnya dihitung dengan rumus:

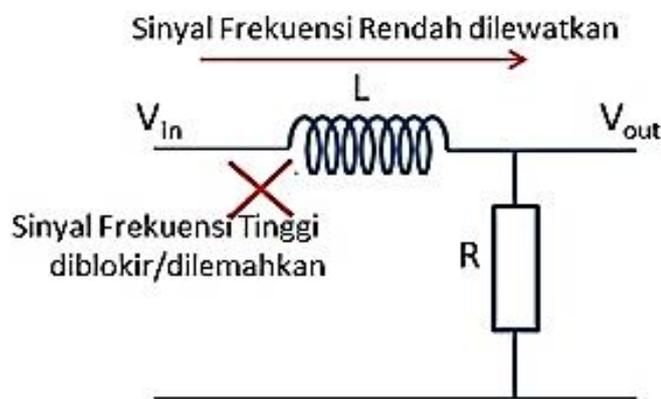
$$X_c = \left(\frac{1}{2\pi fC}\right) \quad (2.19)$$

Artinya, semakin besar frekuensi semakin kecil X_c , sebaliknya semakin rendah frekuensinya semakin besar pula X_c . Sehingga besarnya V_{out} berbanding terbalik dengan tingginya frekuensi sinyal yang masuk, semakin tinggi frekuensi semakin kecil V_{out} dan sebaliknya semakin rendah frekuensi, semakin tinggi V_{out} . Dapat difahami jika rangkaian RC dengan C dipasang seri berfungsi sebagai penapis frekuensi rendah atau *Low Pass Filter* (LPF) yang melewatkan sinyal dengan frekuensi rendah dan menahan sinyal dengan frekuensi tinggi sebagaimana dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Respon Frekuensi *Low Pass Filter*

Low Pass RL Filter atau Penyaring lolos bawah RL adalah rangkaian penyaring frekuensi yang terdiri dari komponen resistor dan induktor yang melewati atau meneruskan frekuensi rendah dan memblokir atau menghambat frekuensi tinggi. Untuk membuat Low Pass RL Filter, induktor ditempatkan secara seri dengan sinyal input dan resistor ditempatkan sejajar atau paralel dengan sinyal input seperti pada gambar rangkain berikut.



Gambar 2. 10 Rangkaian Low Pass Filter (RL Filter)

Cara kerja rangkaian Low Pass RL Filter diatas berdasarkan prinsip reaktansi induktif. Reaktansi Induktif adalah resistansi atau impedansi induktor yang berubah berdasarkan sinyal frekuensi yang melewatinya. Tidak seperti resistor yang merupakan perangkat non-reaktif, induktor menawarkan impedansi yang berbeda untuk sinyal frekuensi yang berbeda, seperti halnya kapasitor. Namun resistansi yang dihasilkan oleh induktor ini merupakan kebalikan dari kapasitor, resistansi induktor akan menjadi sangat tinggi apabila dilewati sinyal frekuensi tinggi dan sebaliknya akan menjadi rendah apabila dilewati frekuensi rendah[44]. Oleh karena itu, penempatan induktor di rangkaian berbeda dengan penempatan kapasitor pada rangkaian RC [45]. Berdasarkan karakteristik ini, rangkaian RL (Resistor Induktor) diatas dapat berfungsi secara efektif sebagai Penyaring Lolos Bawah atau Low Pass Filter yang memblokir sinyal frekuensi tinggi dan memungkinkan sinyal frekuensi rendah melewatinya tanpa hambatan [47]. Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off frekuensi dari rangkaian RL.

$$f = R / 2\pi L \quad (2.20)$$

Keterangan :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

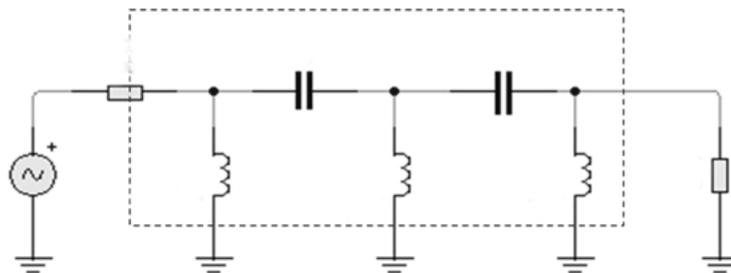
$\pi = 3.14$

R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)

L = Nilai Induktor dalam satuan Henry (H)

2. Filter Lolos Tinggi/ *High Pass Filter*.

High Pass Filter (HPF) adalah filter yang berfungsi meneruskan sinyal di atas frekuensi cut off sedangkan yang berada dibawah frekuensi cut off diredam (FcoH). Seperti rangkaian low pass filter, high pass filter juga dapat dibangun menggunakan dua jenis rangkaian dasar, yakni rangkaian high pass filter induktif dan kapasitif. Untuk rangkaian high pass filter induktif, rangkaian terdiri dari resistor (R1), induktor (L1) dan beban. Untuk rangkaian high pass filter kapasitif dibangun oleh sebuah kapasitor yang disusun seri terhadap beban [48].

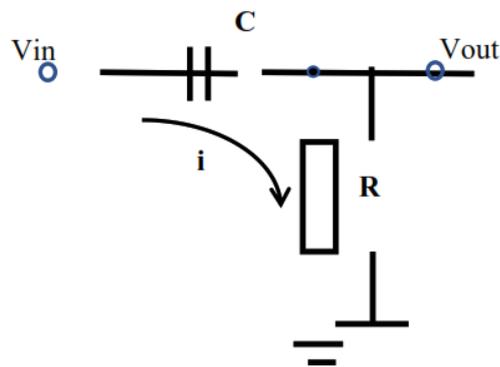


Gambar 2.11 Rangkaian High Pass Filter (HPF) Untuk Filter Pasif

Pengertian lain dari High Pass Filter yaitu jenis filter yang melewatkan frekuensi tinggi serta meredam/menahan frekuensi rendah. Tapis Lolos Tinggi atau High Pass Filter ini dapat dibuat dengan menggunakan komponen pasif seperti resistor dengan kapasitor atau induktor. High Pass Filter yang dibuat dari resistor dan kapasitor disebut dengan **High Pass RC Filter** sedangkan High Pass Filter atau HPF yang terbuat dari resistor dan induktor disebut dengan **High Pass RL Filter** [41]

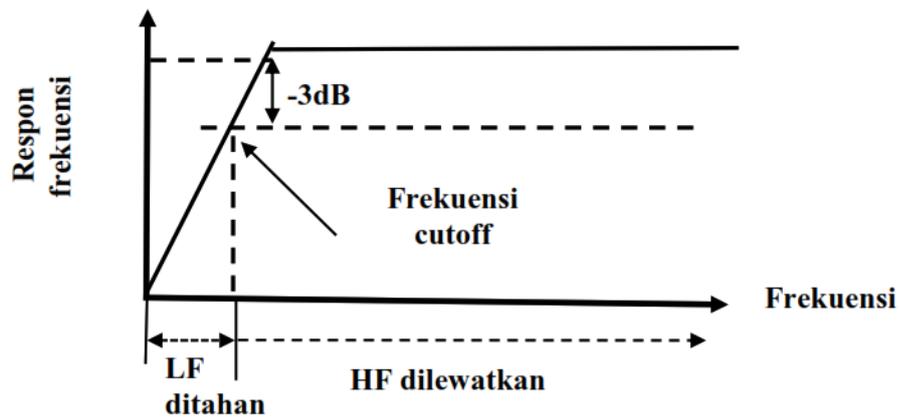
Terdapat dua konfigurasi utama pada High Pass Filter (HPF) Pasif atau Penyaring Lolos Atas Pasif ini yaitu High Pass RC Filter (Resistor-Capacitor) dan High Pass RL Filter (Resistor-Inductor). Berikut ini adalah pembahasan singkat

mengenai kedua konfigurasi High Pass Filter Pasif ini. Rangkaian highpass filter (HPF) seperti terlihat dalam gambar 4 yang dibangun dengan merangkai seri RC di depan R, kebalikan dari posisi keduanya pada rangkaian LPF. Prinsip kerja rangkaian secara sederhana dapat dijelaskan dengan merujuk kepada sifat dari kedua komponen pasif R dan C yang membentuknya ketika dilalui arus bolak balik (AC).



Gambar 2.13 Rangkaian Filter Pasif RC Highpass Filter (HPF)

Pada frekuensi rendah, reaktansi X_c menjadi semakin tinggi dan tegangan jatuh (V_c) menjadi tinggi pula. Karena $V_{out} = V_R = V_{total} - V_c$, maka tegangan V_{out} adalah rendah pada saat frekuensi sinyal rendah. Sebaliknya, ketika frekuensi sinyal input tinggi, besarnya X_c kecil dan tegangan jatuh (V_c) rendah, sebaliknya tegangan pada resistor V_R yang juga adalah V_{out} besar. Mudah difahami jika rangkaian RC dengan R dipasang seri setelah C akan berfungsi sebagai penapis frekuensi tinggi atau High Pass Filter (HPF) terhadap sinyal dengan frekuensi tinggi dan menahan sinyal dengan frekuensi rendah sebagaimana dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2.14 Respon Frekuensi High Pass Filter (HPF)

Pada rangkaian LPF diperoleh bahwa pada frekuensi cut-off (f_c) sebesar $V_{out} = 0,707 V_{in}$ gain tegangan dalam dB atau A_v (dB) = -3dB. Ini berarti terdapat perbedaan sebesar 3dB antara tegangan pada f_c dengan tegangan maksimum pada saat sinyal dilewatkan. Dengan demikian tegangan luaran (V_{out}) selalu lebih kecil dari tegangan

input (V_{in}) karena terjadinya kehilangan tegangan akibat pembebanan pada rangkaian filternya sendiri.

High Pass Filter merupakan penyaring frekuensi yang banyak digunakan diberbagai jenis rangkaian, salah satunya adalah rangkaian mikrofon. Mikrofon adalah perangkat yang memerlukan daya DC agar dapat beroperasi dan membutuhkan sinyal AC seperti suara manusia dan musik sebagai sinyal input-nya. Dengan kata lain, sinyal DC hanya sebagai daya agar dapat mengoperasikan mikrofon namun tidak boleh muncul pada output yang bersinyal AC (Audio) [43]. Jadi, untuk meneruskan sinyal audio yang berbentuk sinyal AC dan memblokir sinyal DC, kita memerlukan rangkaian High Pass Filter (HPF) atau Penyaring Lolos

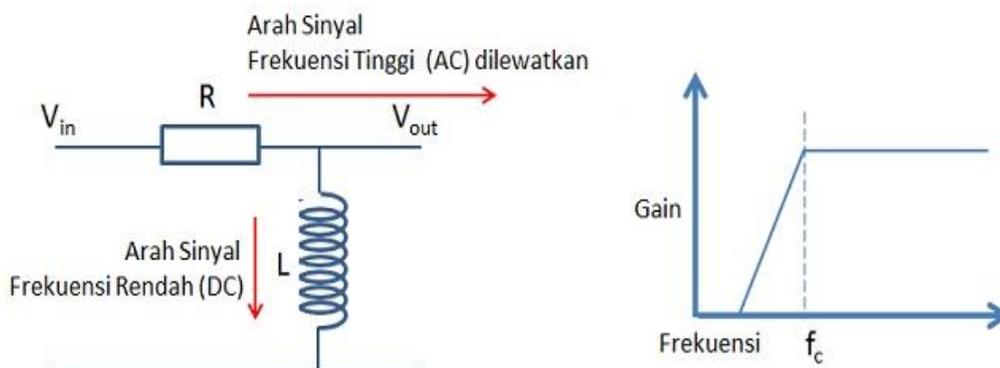
Atas [49]. Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off Frekuensi dari rangkaian RC High Pass Filter adalah :

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.21)$$

Keterangan :

- f = Frekuensi dalam satuan Hz
- π = 3.14
- R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)
- C = Nilai Kapasitor dalam satuan Farad (F)

High Pass RL Filter adalah High Pass Filter yang terdiri dari resistor dan induktor yang dapat meneruskan sinyal frekuensi tinggi tetapi melemahkan atau memblokir sinyal frekuensi rendah. Untuk merangkaian rangkaian *High Pass RL Filter* ini, induktor ditempatkan secara paralel dengan sinyal sumber daya yang memasuki rangkaian sedangkan resistor ditempatkan secara seri dengan sinyal inputnya seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.15 Rangkaian HPF RL Filter [49]

Rangkaian pada gambar 2.16 diatas adalah rangkaian High RL Filter yang dapat melewati sinyal frekuensi tinggi dan melemahkan sinyal frekuensi rendah. Sama seperti kapastior, induktor juga merupakan komponen reaktif yang dapat berubah resistansi-nya tergantung pada sinyal frekuensi yang melaluinya. Induktor akan melewati sinyal frekuensi rendah dengan resistansi yang rendah sedangkan frekuensi tinggi yang melalui akan dihambat atau dilemahkan dengan resistansi yang tinggi. Dengan demikian, sinyal frekuensi rendah akan mudah melewati induktor sedangkan sinyal frekuensi tinggi akan dilemahkan atau diblokir sebagai output pada rangkaian High Pass Filter ini [45]. Rangkaian yang terlihat dari gambar 2.16 menggunakan prinsip kerja reaktansi induktif. Perlu diingat bahwa arus akan mengambil jalur yang resistansinya paling rendah. Karena induktor menawarkan resistansi yang tinggi terhadap sinyal frekuensi tinggi, sinyal frekuensi tinggi tidak akan melalui induktor dan akan mengambil jalur alternatif yang menawarkan resistansi rendah, yaitu jalur ke output pada rangkaian RL Filter ini [50]. Di satu sisi, sinyal frekuensi rendah akan melewati jalur ke Induktor karena Induktor menawarkan resistansi yang rendah untuk sinyal frekuensi rendah [51]. Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off Frekuensi dari rangkaian RL adalah :

$$f = R / 2 \pi L \quad (2.22)$$

Keterangan :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

$\pi = 3.14$

R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)

L = Nilai Induktor dalam satuan Henry (H)

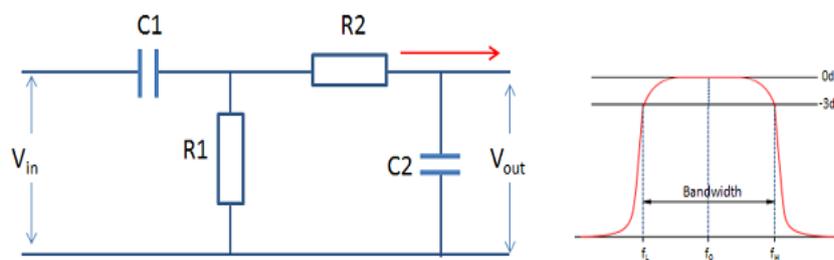
3. Filter Lolos Rentang/ Band Pass Filter

Band Pass Filter (BPF) yaitu filter yang berfungsi meneruskan sinyal input yang berada diantara dua frekuensi tertentu saja. Pada dasarnya rangkaian band pass filter dibangun oleh low pass filter dan high pass filter yang disusun secara seri, sehingga rangkaian band pass filter memiliki dua frekuensi cut-off (f_{cH} dan f_{cL}). Sama halnya seperti low pass dan high pass filter, band pass filter dapat dibangun menggunakan inductor [52]. Contoh aplikasi penggunaan rangkaian pasif low pass, high pass dan band pass filter adalah pada rangkaian crossover sistem audio. Penggunaan rangkaian filter pada crossover adalah untuk mendistribusikan daya sinyal audio secara efisien kepada masing-masing loudspeaker sesuai alokasi frekuensi-nya. Salah satu aplikasi sederhana Band Pass Filter adalah pada penguat audio, pengendali nada (*tone control*) dan penyaring *crossover speaker*. Pada rangkaian-rangkaian tersebut, kadang-kadang hanya perlu melewatkan rentang frekuensi tertentu yang tidak dimulai dari 0 Hz atau memerlukan sinyal yang berakhir pada suatu titik frekuensi tinggi tertentu [53].

a) Rangkaian Band Pass Filter (Tapis Lolos Antas)

Berbeda dengan Low Pass Filter yang hanya melewatkan sinyal frekuensi rendah dan melemahkan frekuensi tinggi ataupun High Pass Filter yang hanya melewatkan sinyal frekuensi tinggi dan melemahkan frekuensi rendah, Band Pass Filter ini mampu melewatkan sinyal pada pita atau “sebaran” frekuensi tertentu atau melewatkan sinyal diantara batas frekuensi yang ditentukan. Rentang Frekuensi yang berada diantara frekuensi batas atas (ω_H) dan frekuensi batas bawah (ω_L) ini

biasanya dikenal dengan filter Bandwidth [54] [55]. Pada umumnya, Bandwidth didefinisikan sebagai rentang frekuensi yang berada diantara dua titik batas frekuensi yang ditentukan (f_c), yaitu 3 dB dibawah pusat maksimum atau puncak resonansi dan melemahkan frekuensi lain yang berada diluar 2 titik batas ini. Frekuensi yang tersebar luas yang biasanya disebut dengan istilah Bandwidth atau BW ini pada dasarnya adalah perbedaan antara Frekuensi Cut Off yang lebih rendah (*FC Lower*) dan poin Frekuensi Cut Off yang lebih tinggi (*FC Higher*) [56]. Dengan kata lain, $BW = f_H - f_L$. Agar Penyaring atau Filter Band Pass ini dapat berfungsi dengan benar, frekuensi cut off Low Pass Filter harus lebih tinggi daripada frekuensi cut off High Pass Filter [57] [58].



Gambar 2.16 Rangkaian Band Pass Filter (BPF) [59]

Band Pass Filter yang ideal juga dapat digunakan untuk mengisolasi atau menyaring (filter) frekuensi tertentu yang berada dalam pita frekuensi tertentu, misalnya untuk pembatalan derau (noise cancellation). Band Pass Filter umumnya juga dikenal dengan Second-Order Filter atau dua kutub, ini dikarenakan Band Pass Filter memiliki dua komponen reaktif yaitu kapasitor dalam desain rangkaianannya. Satu Kapasitor di rangkaian LOW PASS dan satunya lagi di rangkaian High Pass [59] [60]. Rumus atau persamaan yang digunakan pada Band Pass Filter pada

dasarnya sama dengan rumus yang digunakan dalam Low Pass Filter dan High Pass Filter. Berikut ini adalah Rumus Band Pass Filter.

$$f = \frac{1}{2} \pi R C \quad (2.23)$$

Keterangan :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

$\pi = 3,14$

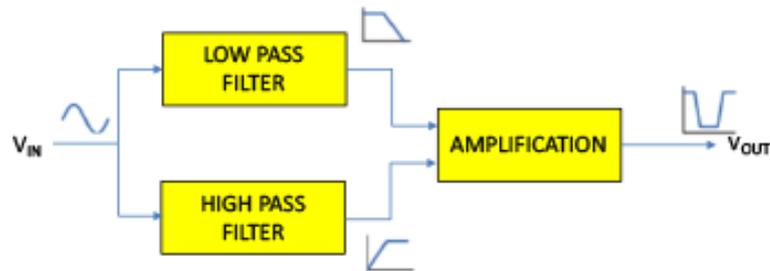
R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)

C = Nilai Kapasitor dalam satuan Farad (F)

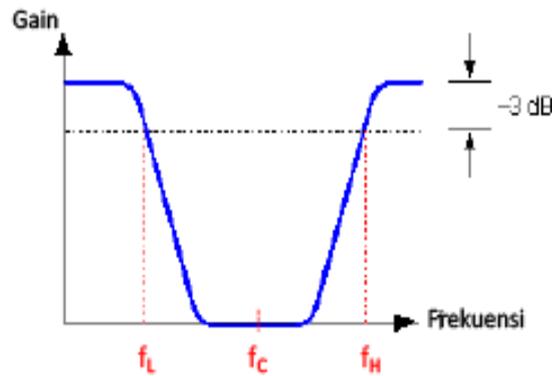
4. Filter Tolah Rentang/Band stop Filter or Notch Filter.

Band Stop Filter adalah filter atau penyaring frekuensi yang menolak dan memblokir frekuensi yang berada di antara dua titik cut-off, sedangkan semua frekuensi yang berada di bawah frekuensi tertentu (dibawah titik cut-off) dan semua frekuensi yang berada diatas frekuensi tertentu (diatas titik cut-off) akan dilewatkannya. Dengan kata lain, Band Stop Filter akan melewatkan semua frekuensi yang berada di luar kedua sisi rentang titik cut-off tersebut [61] [62]. Band Stop Filter atau juga sering disebut dengan Notch Filter ini pada dasarnya merupakan kombinasi dari Low Pass Filter dan High Pass Filter yang dihubungkan secara paralel. Koneksi ini berbeda dengan Band Pass Filter yang menghubungkan Low Pass Filter dan High Pass Filter secara seri. Sebutan lain untuk Band Stop Filter ini adalah *Band-Elimination Filter* atau *Band-Reject Filter* [63]. Perlu diketahui bahwa karakteristik Band Stop Filter (BSF) adalah berlawanan dengan karakteristik Band Pass Filter (BPF). Ketika sinyal input diberikan, frekuensi rendah dilewatkan melalui Low Pass Filter (Tapis Lolos Bawah) pada rangkaian

BSF. Demikian juga frekuensi tinggi akan dilewatkan melalui High Pass Filter pada rangkaian BSF seperti yang ditunjukkan dalam diagram blok dan bentuk karakteristik Band Stop Filter di bawah ini.

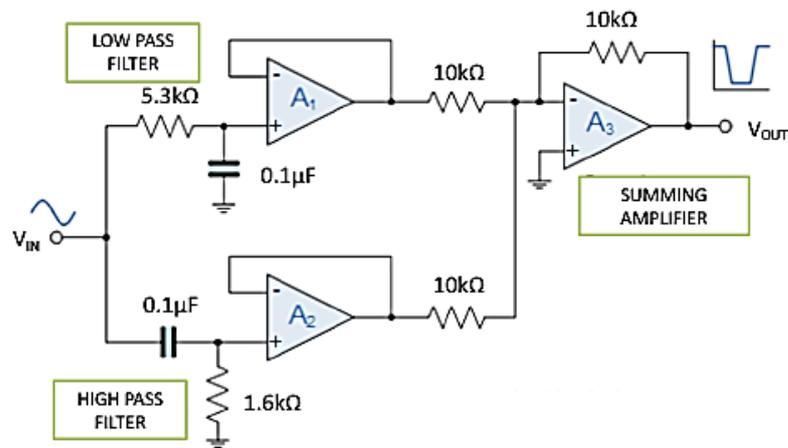


Gambar 2.17 Diagram Blok Band Stop Filter [64]



Gambar 2.18 Karakteristik Blok Band Stop Filter [65]

Dari gambar 2.19 karakteristik diatas terlihat bahwa f_L adalah frekuensi cut-off pada Low Pass Filter dan f_H adalah frekuensi cut-off pada High Pass Filter. Sedangkan frekuensi tengah (*Frekuensi Center*) atau $f_C = \sqrt{f_L \times f_H}$. Band Stop Filter atau Band Reject Filter pada dasarnya terdiri dari dua filter yaitu Low Pass Filter dan High Pass Filter yang kemudian dihubungkan secara paralel. Contoh Rangkaian dasar dari sebuah Band Stop Filter dapat dilihat dari gambar dibawah ini :



Gambar 2.19 Rangkaian Band Stop Filter [66]

Rumus atau persamaan yang digunakan pada Band Stop Filter pada dasarnya sama dengan rumus yang digunakan dalam Low Pass Filter dan High Pass Filter. Dibawah ini adalah Rumus yang digunakan untuk penyaringan frekuensi dengan menggunakan Band Stop Filter. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonisa pada sistem distribusi antara lain:

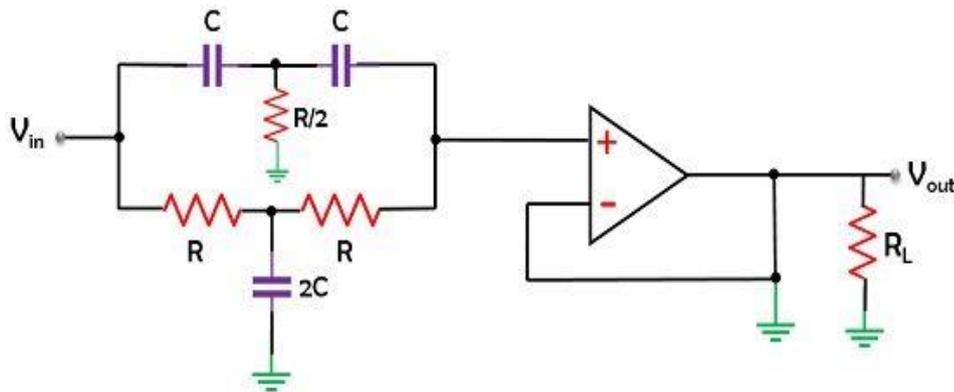
1. Memperbesar kawat netral
2. Pemasangan filter harmonisa
3. Memperhatikan batasan standart harmonisa

Dari beberapa solusi diatas yang paling sering banyak digunakan adalah pemasangan filter harmonisa untuk mengatasi harmonisa. Tujuan pokok dari filter harmonisa adalah untuk mereduksi amplitudo frekuensi-frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa keseluruhan jaringan dapat ditekan sekecil mungkin [67] [68]. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif

dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem. Selain itu penggunaan filter harmonisa pada frekuensi dasarnya 50 Hz dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya mencapai rata-rata 0.80 – 0.94. Filter harmonisa itu sendiri digolongkan menjadi 2, yaitu filter pasif dan filter aktif [37].

2.4.1. Filter Harmonisa Pasif

Filter pasif bekerja dengan menghilangkan harmonisa dengan frekuensi tertentu. Filter ini tidak dapat menghilangkan seluruh frekuensi harmonisa yang ada. Komponen utama dari filter ini adalah induktor dan kapasitor. Induktor dan kapasitor yang digunakan pada filter pasif dipilih yang memiliki nilai yang ketika terjadi resonansi, maka frekuensi resonansi tersebut terjadi ketika tepat pada frekuensi harmonisa yang ingin kita hilangkan [69]. Resonansi mengakibatkan induktor dan kapasitor akan saling menghilangkan. Sehingga bila rangkaian filter akan bertindak sebagai short circuit. Ketika terjadi short circuit, maka harmonisa pada frekuensi resonansi akan dibuang ke ground [70]. Filter harmonisa pasif bisa disusun dari rangkaian kombinasi induktor, kapasitor dan resistor. Harga filter pasif relatif murah, tapi performen kerjanya tidak terlalu baik. Karena terdiri dari komponen pasif, filter jenis ini performennya diengaruhi oleh impedansi jala-jala [71] [72]. Oleh sebab itu, pemasangan filter pasif perlu mempertimbangkan impedansi jala-jala. Filter pasif juga mennginjeksikan daya reaktif karena terdiri dari komponen induktor dan kapasitor.



Gambar 2.20 Rangkaian Filter Pasif [73]

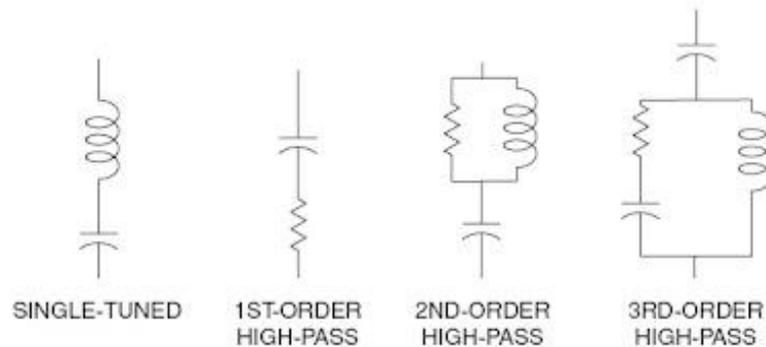
Untuk rentang frekuensi radio, filter pasif memiliki kemampuan respons yang baik. Tetapi adanya induktor dalam rangkaian menimbulkan masalah dalam aplikasi frekuensi rendah. Seperti dalam kasus frekuensi rendah, induktansi induktor harus dinaikkan, yang pada akhirnya membutuhkan lebih banyak lilitan pada kumparan [74]. Di bawah rentang RF, baik input maupun impedansi output dari filter pasif, menimbulkan masalah. Jadi ini tidak cocok untuk operasi frekuensi rendah. Pada dasarnya, pita frekuensi yang diizinkan dan dibatasi menghasilkan klasifikasi filter. Jadi, jika jaringan RLC hanya melewati pita frekuensi yang lebih rendah maka dikenal sebagai low pass filter [75] [76].

Filter pasif adalah rangkaian filter yang dibentuk hanya dengan menggunakan resistor, induktor dan kapasitor sebagai komponen utamanya. Karena tidak ada elemen penguat di dalamnya, maka filter pasif memiliki penguatan sinyal yang rendah [77]. Sehingga umumnya filter pasif hanya memanfaatkan komponen Resistor dan Kapasitor saja. Kelebihan dari rangkaian filter pasif ini adalah tidak begitu banyak noise (sinyal gangguan yang tidak diinginkan) yang didapat karena tidak ada penguatan, dan digunakan untuk frekuensi tinggi. Sedangkan kerugiannya

adalah tidak dapat menguatkan sinyal dan sulit untuk merancang filter yang kualitasnya/responnya baik [4].



Gambar 2.21 Filter Harmonisa Pasif [78]



Gambar 2.22 Konfigurasi Filter Pasif [78]

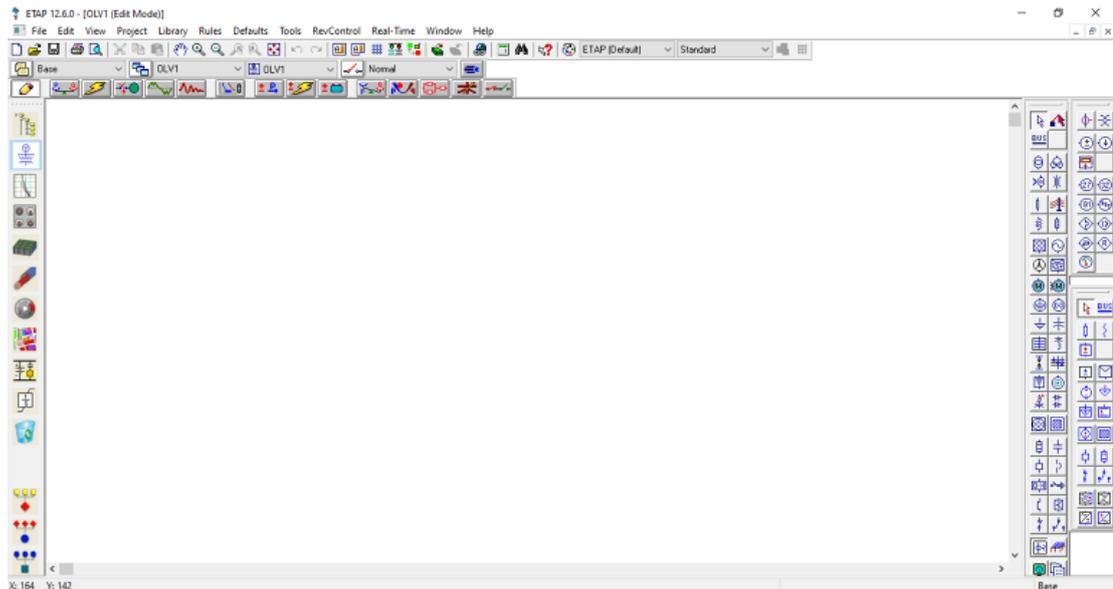
2.5. ETAP 19.0

Software ETAP, sebuah aplikasi komputer yang telah dikembangkan, bertujuan untuk memberikan dukungan serta mempermudah analisis sistem tenaga listrik. Melalui perangkat lunak ini, pengguna dapat melakukan simulasi sistem tenaga listrik dalam mode offline, serta mengelola dan memproses data secara real-time ketika beroperasi dalam mode online.



Gambar 2.26 Aplikasi Etap

Salah satu fitur utama yang diunggulkan oleh Software ETAP adalah kemampuannya dalam melakukan analisis harmonisa. Dengan adanya fitur ini, pengguna diberikan kesempatan untuk melakukan simulasi, pemodelan, dan analisis terhadap fenomena harmonisa yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Dalam penggunaan Software ETAP, peneliti memiliki akses terhadap berbagai fungsi yang relevan. Fitur analisis harmonisa memungkinkan mereka untuk melihat pola harmonisa yang terbentuk, menganalisis tingkat distorsi yang dihasilkan, serta memperoleh informasi terperinci tentang dampak harmonisa pada sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Selain itu, software ini juga memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi solusi atau rekomendasi yang tepat guna dalam rangka mengurangi atau mengatasi masalah distorsi harmonisa yang mungkin muncul akibat penggunaan peralatan elektronik kesehatan tersebut. Dalam rangka menjaga validitas penelitian, penulis menggunakan versi 19.0.1 dari Software ETAP. Pemilihan versi yang tepat merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa analisis yang dilakukan mengikuti standar terkini dan memanfaatkan fitur-fitur terbaru yang tersedia. Dengan demikian, hasil analisis yang dihasilkan dapat diandalkan dan relevan dengan kondisi aktual dalam sistem tenaga listrik.



Gambar 2.27 Worksheet ETAP

Dalam analisis sistem tenaga listrik, digunakan sebuah representasi yang disebut diagram saluran tunggal (single line diagram) sebagai cara yang lebih simpel untuk menggambarkan sistem tenaga listrik tiga fasa. Diagram saluran tunggal menggantikan representasi yang terpisah untuk setiap saluran fasa, dan menggunakan satu jalur konduktor sebagai representasi yang lebih ringkas. Pendekatan ini mempermudah pembacaan diagram serta analisis rangkaian secara keseluruhan. Elemen-elemen listrik seperti pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar, dan konduktor lainnya dapat digambarkan menggunakan simbol-simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Perlu diingat bahwa elemen-elemen dalam diagram saluran tunggal tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi sebenarnya dari peralatan listrik. Sebagai gantinya, simbol-simbol ini adalah konvensi umum yang digunakan untuk menyusun diagram secara konsisten dari kiri ke kanan dan dari atas ke bawah. Setiap saklar atau peralatan lainnya direpresentasikan dengan simbol yang sesuai dalam diagram saluran tunggal ini.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan data-data yang bersumber dari RSUD Mitra Medika Premire yang ada di Jl. S. Parman No.236, Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara, Kode pos 20112. Dan adapun waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari 09 Mei 2023 sampai 09 Agustus 2023.

3.2. Alat dan Bahan

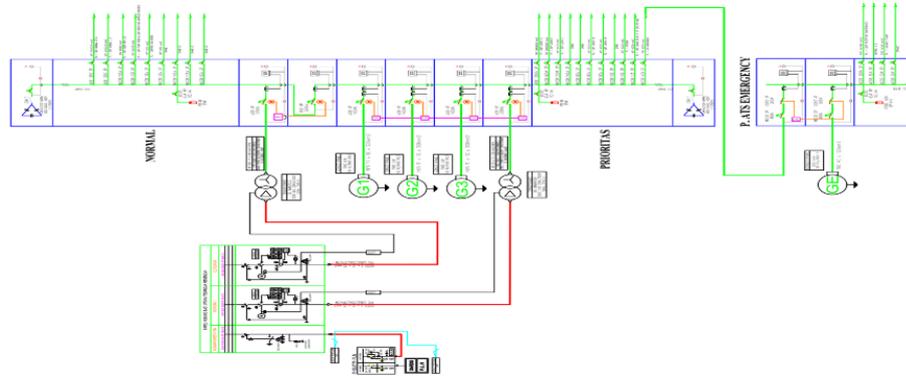
Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan simulasi analisis adalah sebagai berikut :

1. *Power Quality Analyzer* Fulks seri 43B
2. *Harmonic Analyzer Langlois* Type 6830
3. Software ETAP Power Power Station versi 19.0.1
4. Laptop Asus A455L dengan prosesor Core i3 Generasi 4
5. Kendaraan Bermotor
6. Penyimpanan Data Praktis

3.3. Data Penelitian

Dalam penyelesaian skripsi ini, diperlukan suatu data-data yang harus dapat dikumpulkan untuk melakukan penelitian. Data-data yang didapatkan dalam

penelitian ini bersumber dari Data sistem kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere Medan.



Gambar 3.1. Single Line Diagram Kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere

Pada gambar 3.1. terdapat bagian-bagian kelistrikan yang telah dikelompokkan seperti yang terlihat pada rangkaian yang dipaparkan. Berikut bagian-bagian single line diagram kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere yang dijelaskan pada table 3.1.

Tabel 3.1. Pembagian Instalasi Kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere

Pembagian Instalasi	Keterangan
NORMAL	Instalasi Normal digunakan untuk sebagai penggunaan beban normal seperti stop kontak, penerangan ruangan, peralatan hiburan, dan pendingin ruangan
PRIORITAS	Instalasi Prioritas digunakan untuk sebagai penggunaan beban prioritas diantaranya peralatan

CT Scan, X- ray (Rongent), Dialisyst, Panoramik,
dan Memografi

EMERGENCY

Instalasi Emergency digunakan untuk sebagai
hubungan generator listrik yang digunakan saat
keadaan darurat (ketika suplay energi listrik utama
padam

Dari pembagian Instalasi Kelistrikan RSU Mitra Medika Premiere terdapat beban yang digunakan disetiap lantai rumah sakit tersebut diuraikan pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Penggunaan Beban Disetiap Lantai RSU Mitra Medika Premiere

Lantai	Ruangan	Beban Listrik (kW)
Basemen	Ruang SDP dan FCU	
	Ruang Unit Sterilisasi Alat	
	Gudang Oksigen	
	Gudang Nitrogen	
	Lift	
	Pompa Air	
	Lighting Panel	
Lantai 1	Ruang SDP dan FCU	
	Lobby	

UGD

Ruang Admin

Toilet

Ruang Perawat

Pos Perawat

Ruang Dokter

Ruang Dekontaminasi

Koridor

Steril Koridor

Kantin

Panel Lighting

Lantai 2

Ruang SDP dan FCU

Toilet

Ruang Perawat

Pos Perawat

Ruang Dokter

Koridor

Panel Lighting

Lantai 3

Ruang SDP dan FCU

Toilet

Ruang Perawat

Pos Perawat

Ruang Dokter

Koridor

	High Care Unit 1
	Panel Lighting
Lantai 4	Ruang SDP dan FCU
	Toilet
	Ruang Perawat
	Pos Perawat
	Ruang Dokter
	Koridor
	High Care Unit 2
	Panel Lighting
Lantai 5	Ruang SDP dan FCU
	Toilet
	Ruang Perawat
	Pos Perawat
	Ruang Dokter
	Koridor
	X Ray 1
	X Ray 2
	X Ray 3
	Panel Lighting
Lantai 6	Ruang SDP dan FCU
	Ruang CT Scan
	Ruang Panoramic
	Ruang Mamografi

Ruang Dura Diagnost

Ruang MRI

Ruang ESWL

Panel Lighting

Total

Setelah mengetahui data beban listrik yang digunakan, maka ditentukan sebuah filter yang sesuai dengan rangkaian instalasi kelistrikan yang berada di RSU Mitra Medika Premiere dengan spesifikasi data filter sebagai berikut.

Jenis Filter	: Passive Filter Single Tuned
Daya Reaktif Terpasang	: 30,11 kVAR
Nilai Kapasitif Filter	: 598,9 μ F
Nilai Induktivitas Filter	: 0,2126 Ω
Q Faktor Filter	: 90

Data tersebut digunakan dalam pembangkitan filter harmonisa pada simulasi menggunakan aplikasi ETAP 19.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan pada 09 Mei 2023 sampai 09 Agustus 2023 bertempat di RSU. Mitra Medika Premire yang berada di Jl. S. Parman No.236, Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Kota Medan,

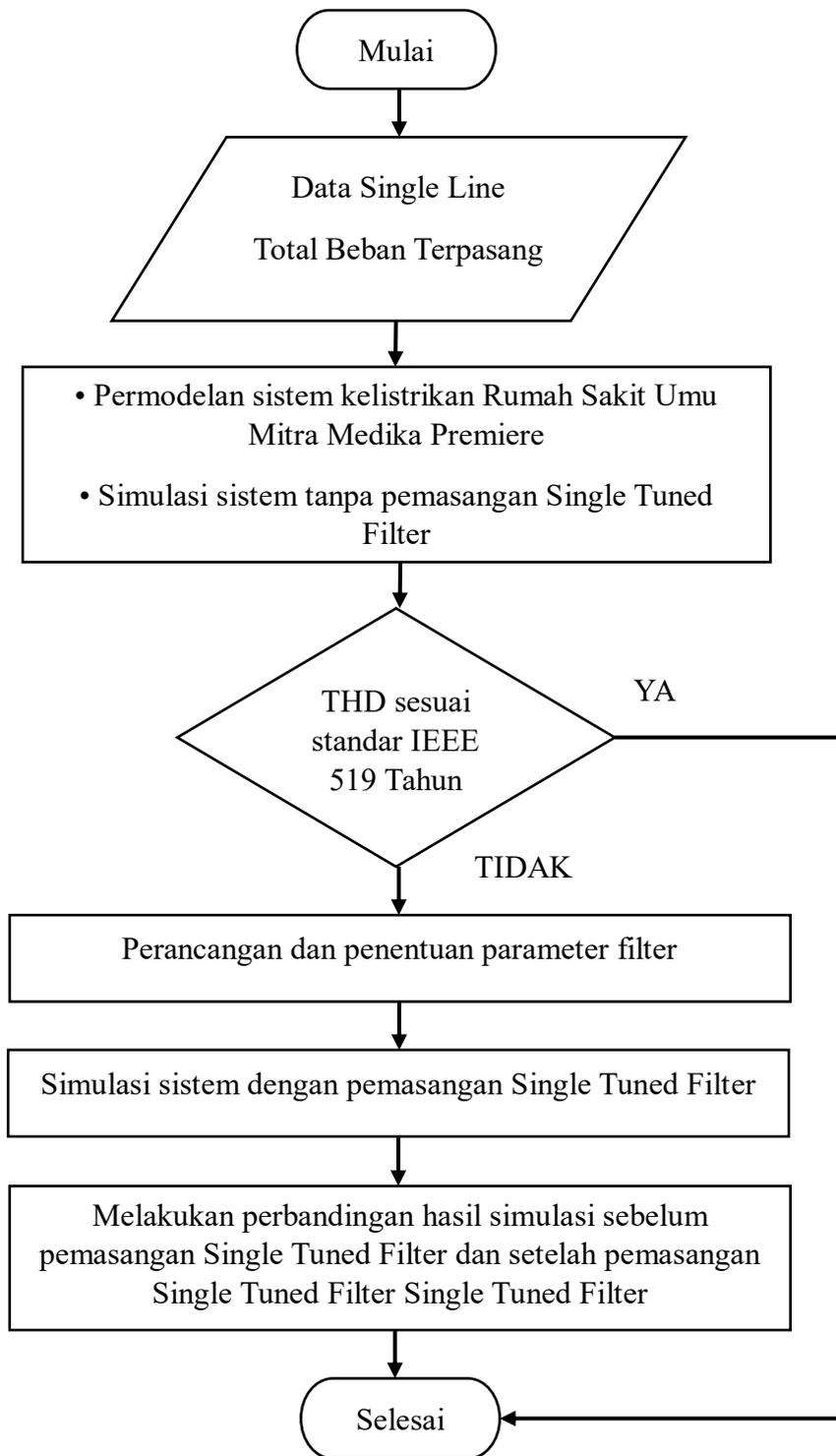
Sumatera Utara, Kode pos 20112. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
2. Mengumpulkan data hasil pengukuran (data jumlah kapasitas beban yang terpasang, data faktor daya)
3. Mengumpulkan data sistem (data gambar singel line diagram kelistrikan RSU. Mitra Medika Premire, data pembangkitan, data saluran, dan data diagram jaringan)
4. Melakukan evaluasi pengambilan data (periksa pengumpulan data, klasifikasi pembagian beban, dan hitung data jumlah beban yang terpasang)
5. Menyiapkan Software ETAP Power Power Station versi 19.0.1
6. Membuat gambar singel line diagram sistem kelistrikan RSU. Mitra Medika Premire pada lembar kerja program ETAP
7. Memasukkan parameter data yang diperlukan pada program ETAP
8. Melakukan simulasi analisis harmonisa dengan menambahkan beban non-linear pada seluruh sistem
9. Melakukan simulasi analisis harmonisa tanpa beban pada seluruh sistem
10. Menampilkan seluruh hasil simulasi yang telah dilakukan.
11. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilaksanakan.
12. Selesai

3.5 Desain Penelitian

Desain penelitian merupakan rencana dan prosedur dari penelitian pada waktu yang ditentukan dari besarnya asumsi dan detail metode dari pengambilan data dan analisis [79]. Penelitian dilakukan untuk menghasilkan suatu karya yang ditulis berdasarkan kenyataan ilmiah yang diperoleh dari hasil kajian kepustakaan maupun penelitian lapangan (klinik atau laboratorium) yang dilakukan dari penemuan masalah untuk dianalisis agar menghasilkan suatu kesimpulan [80].

Menurut [81] menyatakan bahwa “Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya. Dalam metode penelitian kuantitatif, [81] mengemukakan bahwa “penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang banyak dituntut menguakkan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan hasilnya. Dari beberapa uraian diatas dapat disimpulkan bahwa metode penelitian kuantitatif adalah suatu pendekatan penelitian yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. Menurut [82]. Penelitian ini memilih metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan diskriptif karena sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mendiskripsikan atau menggambarkan pengaruh nilai perbandingan penggunaan filter dan non filter dalam meredam tingginya kejadian harmonisa pada system kelistrikan yang ada di RSUD Mitra Medika Premiere Medan. Untuk selanjutnya proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan pada bulan Mei sampai Agustus 2023 bertempat di Rumah Sakit Umum Grand Mitra Medika Premiere Medan. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Menentukan tema dengan cara melakukan studi literatur untuk memperoleh berbagai sumber teori dan konsep untuk mendukung penelitian yang akan dilaksanakan
2. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
3. Melakukan pengumpulan data penelitian
4. Membuat line diagram kelistrikan RS. Grand Mitra Medika Premiere
5. Melakukan pengujian line diagram kelistrikan melalui aplikasi ETAP 19.0
6. Melakukan penentuan karakter distorsi harmonisa pada line diagram
7. Melakukan analisis data pada data hasil pengujian karakter distorsi harmonisa pada line diagram
8. Melakukan simulasi penggunaan filter pasif sebagai pengurangan distorsi harmonisa pada line diagram
9. Melakukan analisis dari simulasi penggunaan filter pasif untuk melihat perubahan nilai distorsi yang berlaku.
10. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilaksanakan.
11. Selesai

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

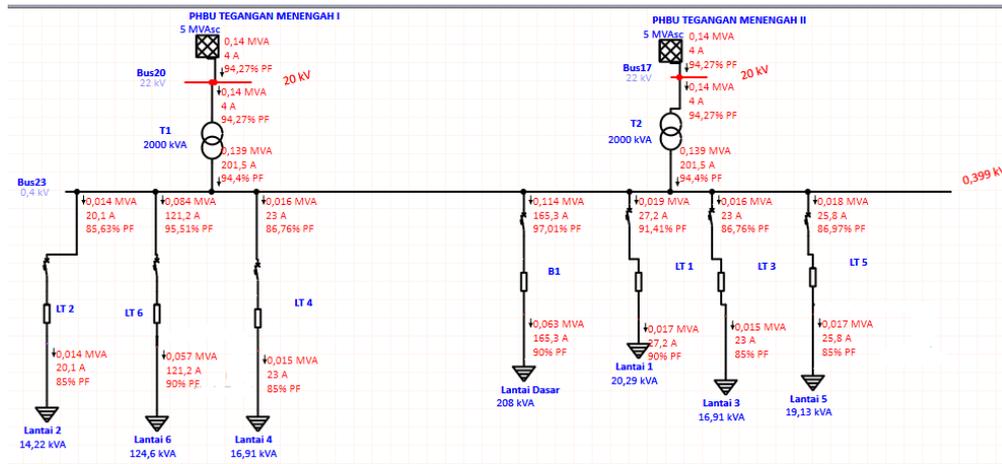
4.1 Rangkaian Instalasi Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere

Suatu gedung pastinya memiliki kelistrikan yang peranannya cukup penting, salah satunya pada gedung rumah sakit. Hal tersebut dikarenakan kelistrikan yang berfungsi sebagai penyalur energi listrik untuk menghidupkan seluruh perangkat elektronik yang ada. Tanpa kelistrikan, kehidupan modern dalam suatu bangunan akan berjalan dalam keterbatasan dan kenyamanan akan berkurang secara signifikan. Salah satu fungsi utama dari sistem kelistrikan adalah menyediakan Cahaya. Lampu-lampu yang tersebar di seluruh sudut gedung memberikan penerangan yang diperlukan untuk melakukan berbagai aktivitas sehari-hari. Mereka tidak hanya memungkinkan kita untuk melihat dengan jelas di dalam ruangan, tetapi juga menciptakan atmosfer yang nyaman dan menyenangkan.

4.1.1 Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere Tanpa

Filter

Kelistrikan pada gedung rumah sakit tentunya penting untuk di perhatikan agar penyaluran energi listrik dapat digapai disetiap sudutnya. Penyaluran listrik ini dapat dilihat menggunakan gambar yang biasa disebut Rangkaian Line Diagram. Rangkaian Line diagram pada Rumah sakit Mitra Medika Premiere dapat dilihat pada gambar 4.1. berikut.

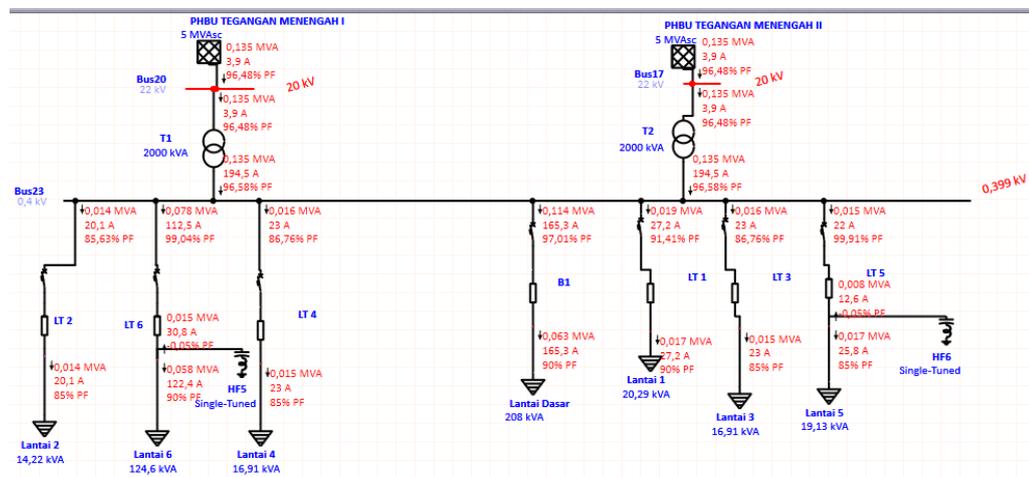


Gambar 4.1 Rangkaian Kelistrikan Tanpa Menggunakan Filter

Rangkaian instalasi listrik di Rumah Sakit Grand Mitra Medika yang terdapat pada gambar 4.1 merupakan suatu sistem yang terencana dengan detail yang cermat untuk memastikan pasokan energi yang stabil dan handal di seluruh fasilitas. Sistem ini dirancang dengan menggunakan dua buah power grade utama sebagai sumber utama daya listrik. Kedua power grade ini bekerja bersama-sama untuk memastikan pasokan listrik yang memadai untuk mendukung operasional rumah sakit. Untuk mengoptimalkan distribusi daya, terdapat dua trafo yang terhubung secara paralel dengan masing-masing power grade. Trafo pertama bertanggung jawab untuk mengubah tingkat tegangan dari power grade menjadi tingkat yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan rumah sakit. Sementara trafo kedua bertindak sebagai cadangan yang siap mengambil alih apabila terjadi kegagalan pada trafo utama. Selanjutnya, terdapat satu bus bar pusat yang berfungsi sebagai titik distribusi utama dalam system. Dalam rangkaian ini, terdapat tujuh circuit breaker yang berfungsi sebagai pengaman pada berbagai titik penting. Masing-masing circuit breaker didesain untuk memutus aliran listrik secara

otomatis jika terdeteksi adanya beban berlebih atau gangguan pada sirkuit. Sistem kabel yang terdiri dari enam jalur utama menghubungkan setiap lantai dengan pusat distribusi listrik.

4.1.2 Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere Dengan Filter Pasif



Gambar 4.2 Rangkaian Analisis Harmonisa Dengan Menggunakan Filter

Pada gambar 4.2 menjelaskan bahwa distribusi daya yang optimal, diperlukan dua trafo yang terhubung secara paralel dengan masing-masing power grade. Trafo pertama bertanggung jawab untuk menyesuaikan tegangan dari power grade ke tingkat yang lebih rendah sesuai kebutuhan. Sedangkan trafo kedua berperan sebagai cadangan siap pakai yang dapat mengambil alih apabila terjadi kegagalan pada trafo utama. Sistem ini juga memasukkan satu bus bar pusat yang berfungsi sebagai titik distribusi utama dalam sistem. Bus bar ini memastikan bahwa aliran listrik terdistribusi secara merata ke seluruh lantai dan area di rumah sakit. Keandalan dan efisiensi bus bar ini menjadi faktor kunci dalam memastikan

ketersediaan daya listrik yang konstan. Untuk memastikan keamanan dan stabilitas sistem, kedua bus bar dilengkapi dengan filter pasif. Filter ini berfungsi untuk menyaring dan menstabilkan aliran listrik, sehingga meminimalkan risiko gangguan atau fluktuasi yang dapat mempengaruhi peralatan sensitif di rumah sakit. Dalam rangkaian ini, terdapat enam circuit breaker yang terdistribusi di berbagai titik penting. Masing-masing circuit breaker dirancang untuk memutus aliran listrik secara otomatis jika terdeteksi adanya beban berlebih atau gangguan pada sirkuit. Fungsi ini adalah lapisan pertahanan utama untuk mencegah risiko kebakaran atau kerusakan pada peralatan akibat beban berlebih. Sistem kabel yang terdiri dari enam jalur utama menghubungkan setiap lantai dengan pusat distribusi listrik. Kabel ini dipilih dengan cermat dari material berkualitas tinggi untuk memastikan transmisi listrik yang efisien dan minim resistansi. Desain yang teratur dari instalasi kabel ini menjadi faktor penting dalam meminimalkan kerugian daya selama proses distribusi. Setiap lantai dilengkapi dengan beban yang telah diatur secara terperinci. Beban ini mencakup kebutuhan listrik untuk peralatan medis, pencahayaan, sistem pendingin udara, dan perangkat elektronik lainnya. Dengan perencanaan yang matang, setiap lantai dapat dijamin mendapatkan pasokan listrik yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan operasional masing-masing area.

4.2 Hasil Analisis Harmonisa Pada Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit

Mitra Medika Premiere

Hasil Analisis Harmonisa Pada Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Grand Mitra Medika merupakan hasil analisis tentang fenomena harmonisa pada sistem kelistrikan di Rumah Sakit Grand Mitra Medika di mana frekuensi-frekuensi non-linear atau non-sinusoidal muncul dalam sebuah sistem. Hal ini dapat terjadi dalam

sistem kelistrikan yang kompleks atau di mana terdapat beban-beban elektronik yang menghasilkan gelombang-gelombang tidak sempurna. Hasil dari simulasi yang dilakukan tertera pada poin penjelasan berikutnya.

4.2.1 Analisa Harmonisa Pada Rangkaian Kelistrikan Rumah Sakit Mitra

Medika Premiere

Berikut hasil perhitungan THDi dan THDv pada lantai dasar Rumah Sakit Mitra Medika Premiere :

Perhitungan THDi :

$$THD_I = \frac{\sqrt{0^2 + 1,3^2 + 0,567^2 + 0^2 + 0,461^2 + 0,251^2 + 0,311^2 + 0,211^2 + 0,244^2 + 0,157^2}}{157} \times 100\%$$

$$= 1,01 \%$$

Seperti yang bisa dilihat dari hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa hasil perhitungan dan hasil simulasi memiliki nilai yang sama persis.

Perhitungan THDv :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,002^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2}}{0,218} \times 100\%$$

$$= 1,12 \%$$

Seperti yang bisa dilihat dari hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa hasil perhitungan dan hasil simulasi memiliki nilai yang sama persis.

4.2.2 Hasil Simulasi Rangkaian Berjalan Tanpa Menggunakan Filter

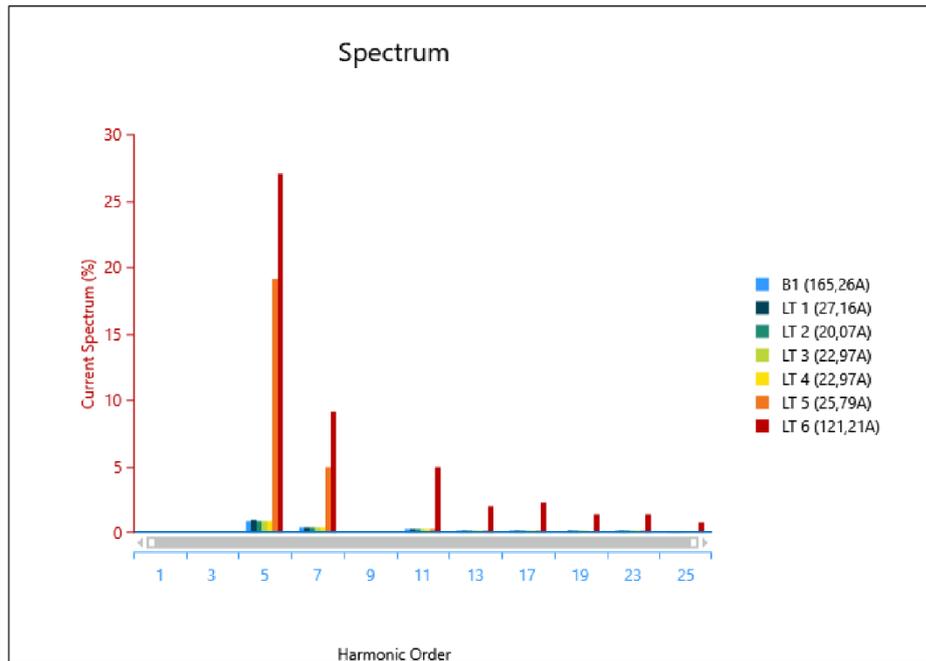
Nilai Total Harmonic Distortion Current dari hasil simulasi untuk rangkaian berjalan tanpa penggunaan filter telah disajikan dalam Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Simulasi Nilai THDi Tanpa Menggunakan Filter

Lokasi	Orde Harmonisa										Total THDi Hasil Simulasi(%)	
	1	3	5	7	9	11	13	17	19	23		25
Lantai Dasar												
Lantai 1												
Lantai 2												
Lantai 3												
Lantai 4												
Lantai 5												
Lantai 6												

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.1 yang merupakan hasil dari simulasi Total Harmonic Distortion (THDi) pada berbagai lantai tanpa menggunakan filter. THDi adalah parameter penting yang menunjukkan persentase distorsi harmonik total dalam sistem kelistrikan dengan perhitungan arus listrik yang mengalir. Tabel ini terdiri dari tiga kolom utama yang dapat dilihat dari kiri ke kanan yaitu: Lokasi, Orde Harmonisa, dan Total THDi Hasil Simulasi. Sehingga, tabel 4.1 ini dapat dibaca dengan cara sebagai berikut: lokasi pada lantai dasar, untuk orde harmonisa ke-5, terdapat 0,83% distorsi harmonik dari total THDi sebesar 1,01%. Angka-angka ini memberikan gambaran rinci tentang tingkat distorsi harmonik pada setiap lantai. Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar 4. 3 berikut.

Nilai THDi yang didapatkan sebelumnya diubah menjadi bentuk diagram berupa spectrum yang disajikan pada gambar 4.3 sebagai berikut :



Gambar 4.3. Hasil Simulasi Nilai THDi Tanpa Menggunakan Filter

Dari gambar 4.3 yang merupakan spectrum dari nilai THDi didapatkan beberapa informasi berupa:

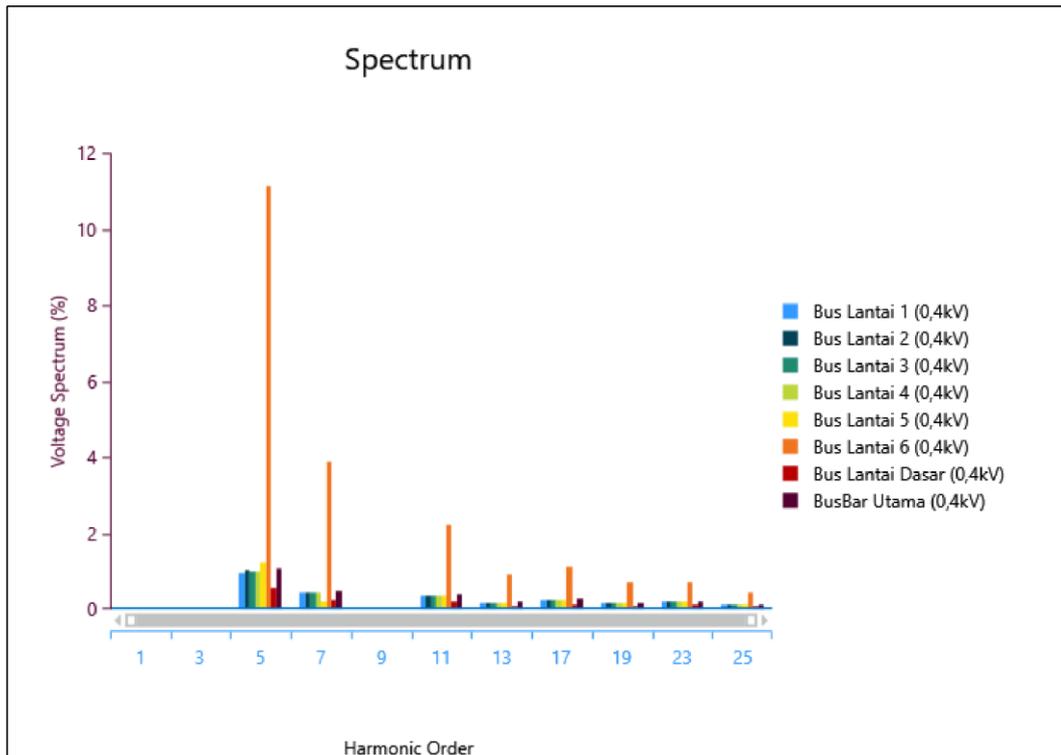
- Orde harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-5
- Nilai harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-5 dilantai 6
- Lantai 6 merupakan lantai yang memiliki jumlah harmonisa tertinggi dibanding lantai lainnya
- Orde harmonisa terendah terdapat pada orde ke-25
- Lantai yang memiliki harmoniisa terendah terdapat pada lantai 3 dan 4

Selanjutnya Nilai Total Harmonic Distortion Voltage dari hasil simulasi untuk rangkaian berjalan tanpa penggunaan filter dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2. Hasil Simulasi Nilai THDv Tanpa Menggunakan Filter

Lokasi	Orde Harmonisa										Total THDv Hasil Simulasi(%)	
	1	3	5	7	9	11	13	17	19	23		25
BusBar												
Utama												
Lantai												
Dasar												
Lantai												
1												
Lantai												
2												
Lantai												
3												
Lantai												
4												
Lantai												
5												
Lantai												
6												

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.1 yang merupakan hasil dari simulasi Total Harmonic Distortion (THDv) pada berbagai lantai tanpa menggunakan filter. THDv adalah parameter penting yang menunjukkan persentase distorsi harmonik total dalam sistem kelistrikan dengan perhitungan arus listrik yang mengalir. Tabel ini terdiri dari tiga kolom utama yang dapat dilihat dari kiri ke kanan yaitu: Lokasi, Orde Harmonisa, dan Total THDv Hasil Simulasi. Sehingga, tabel 4.2 ini dapat dibaca dengan cara sebagai berikut: lokasi pada lantai dasar, untuk orde harmonisa ke-5, terdapat 0,51% distorsi harmonik dari total THDv sebesar 1,12%. Angka-angka ini memberikan gambaran rinci tentang tingkat distorsi harmonik pada setiap lantai. Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar 4. 4 berikut.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Nilai THDv Tanpa Menggunakan Filter

Dari gambar 4.4 yang merupakan spectrum dari nilai THDv didapatkan beberapa informasi berupa:

- Orde harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-5
- Nilai harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-5 dilantai 6
- Lantai 6 merupakan lantai yang memiliki jumlah harmonisa tertinggi dibanding lantai lainnya
- Orde harmonisa terendah terdapat pada orde ke-25
- Lantai yang memiliki harmonisa terendah terdapat pada lantai dasar dan lantai 1

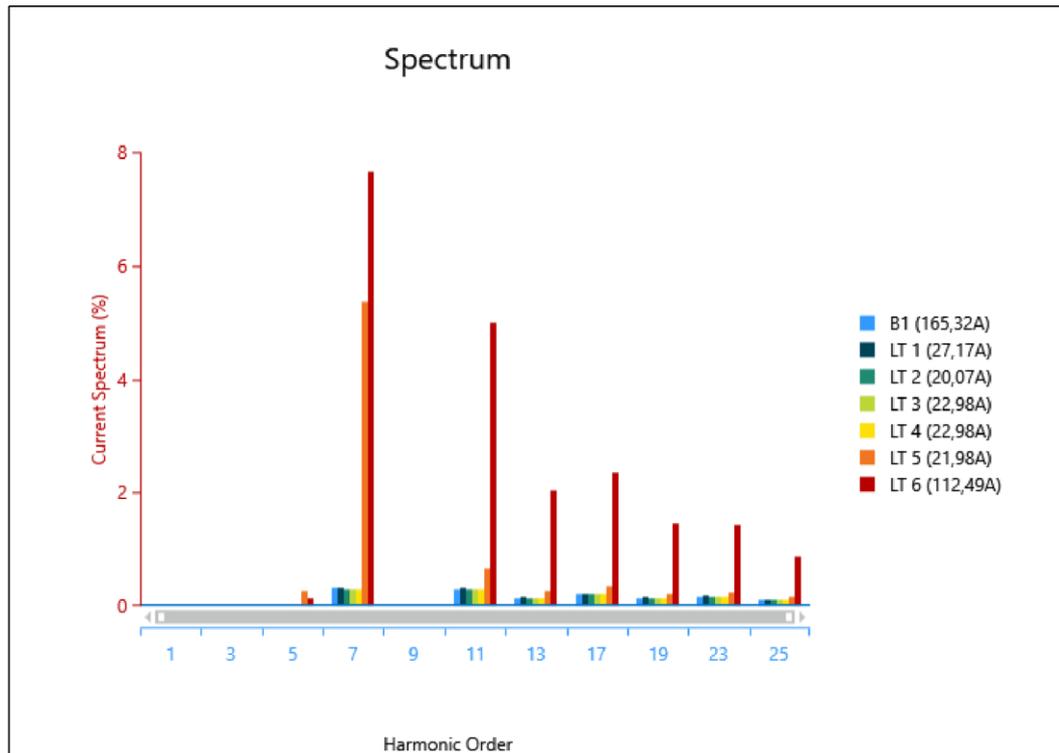
4.2.3 Hasil Simulasi Rangkaian Berjalan Tanpa Menggunakan Filter

Nilai Total Harmonic Distortion Current dari hasil simulasi untuk rangkaian berjalan dengan menggunakan filter telah disajikan dalam Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Nilai THDi Menggunakan Filter Pasif

Lokasi	Orde Harmonisa										Total THDi Hasil Simulasi(%)	
	1	3	5	7	9	11	13	17	19	23		25
Lantai Dasar												
Lantai 1												
Lantai 2												
Lantai 3												
Lantai 4												
Lantai 5												
Lantai 6												

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.3 yang merupakan hasil dari simulasi Total Harmonic Distortion (THDi) pada berbagai lantai tanpa menggunakan filter. THDi adalah parameter penting yang menunjukkan persentase distorsi harmonik total dalam sistem kelistrikan dengan perhitungan arus listrik yang mengalir. Tabel ini terdiri dari tiga kolom utama yang dapat dilihat dari kiri ke kanan yaitu: Lokasi, Orde Harmonisa, dan Total THDi Hasil Simulasi. Sehingga, tabel 4.3 ini dapat dibaca dengan cara sebagai berikut: lokasi pada lantai 6, untuk orde harmonisa ke-7, terdapat 8,75% distorsi harmonik dari total THDi sebesar 10,81%. Angka-angka ini memberikan gambaran rinci tentang tingkat distorsi harmonik pada setiap lantai. Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar 4. 5 berikut.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Nilai THDi Menggunakan Filter Pasif

Dari gambar 4.5 yang merupakan spectrum dari nilai THDi didapatkan beberapa informasi berupa :

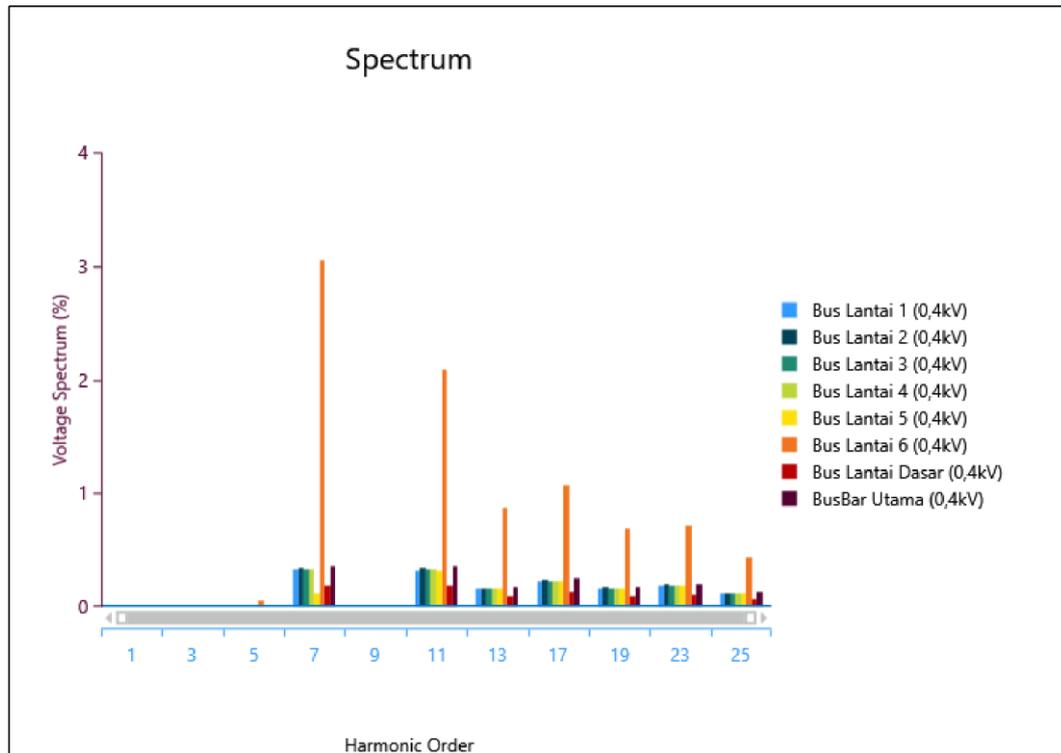
- Orde harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-7
- Nilai harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-7 dilantai 6
- Lantai 6 merupakan lantai yang memiliki jumlah harmonisa tertinggi dibanding lantai lainnya
- Orde harmonisa terendah terdapat pada orde ke-25
- Lantai yang memiliki harmonisa terendah terdapat pada lantai dasar dan lantai 1

Selanjutnya Nilai Total Harmonic Distortion Voltage dari hasil simulasi untuk rangkaian berjalan tanpa penggunaan filter dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Nilai THDv Menggunakan Filter Pasif

Lokasi	Orde Harmonisa										Total THDv Hasil Simulasi(%)	
	1	3	5	7	9	11	13	17	19	23		25
BusBar												
Utama												
Lantai												
Dasar												
Lantai												
1												
Lantai												
2												
Lantai												
3												
Lantai												
4												
Lantai												
5												
Lantai												
6												

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.4 yang merupakan hasil dari simulasi Total Harmonic Distortion (THDv) pada berbagai lantai tanpa menggunakan filter. THDv adalah parameter penting yang menunjukkan persentase distorsi harmonik total dalam sistem kelistrikan dengan perhitungan arus listrik yang mengalir. Tabel ini terdiri dari tiga kolom utama yang dapat dilihat dari kiri ke kanan yaitu: Lokasi, Orde Harmonisa, dan Total THDv Hasil Simulasi. Sehingga, tabel 4.4 ini dapat dibaca dengan cara sebagai berikut: lokasi pada lantai 5, untuk orde harmonisa ke-11, terdapat 0,30% distorsi harmonik dari total THDv sebesar 0,51%. Angka-angka ini memberikan gambaran rinci tentang tingkat distorsi harmonik pada setiap lantai. Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar 4. 6 berikut.



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Nilai THDv Menggunakan Filter Pasif

Dari gambar 4.6 yang merupakan spectrum dari nilai THDi didapatkan beberapa informasi berupa:

- Orde harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-7
- Nilai harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-7 dilantai 6
- Lantai 6 merupakan lantai yang memiliki jumlah harmonisa tertinggi dibanding lantai lainnya
- Orde harmonisa terendah terdapat pada orde ke-25
- Lantai yang memiliki harmonisa terendah terdapat pada lantai dasar dan lantai 1

4.3 Hasil Perbandingan Nilai THD

Hasil analisis simulasi rangkaian kelistrikan rumah sakit Mitra Medika Premiere dengan aplikasi ETAP menunjukkan bahwa nilai THD dapat bervariasi

tergantung pada faktor-faktor tertentu, seperti beban dan kondisi jaringan pada waktu tertentu. Informasi ini dapat memberikan panduan berharga untuk peningkatan kualitas dan keandalan pasokan listrik di RSUD Mitra Medika Premiere. Dengan memahami pola THD, kita dapat mengidentifikasi area-area yang membutuhkan perhatian lebih dalam upaya untuk mengoptimalkan kinerja dan meminimalkan gangguan listrik yang tidak diinginkan. Selain itu, data THD yang sudah ada dapat menjadi referensi penting bagi pihak terkait, termasuk tim teknis dan manajerial, dalam mengambil keputusan terkait perbaikan atau peningkatan infrastruktur kelistrikan. Dengan memiliki pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik distorsi harmonik total, kita dapat merencanakan langkah-langkah perbaikan yang terukur dan efektif. Untuk perbandingan nilai THD sebelum dan sesudah pemasangan filter dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai THDi Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter

Lokasi	Nilai THDi Sebelum Menggunakan Filter(%)	Nilai THDi Sesudah Menggunakan Filter(%)	Standar IEEE 519- 2014(%)
Lantai Dasar			
Lantai 1			
Lantai 2			
Lantai 3			
Lantai 4			
Lantai 5			
Lantai 6			

Pada tabel 4.5 dapat dilihat perbandingan nilai THDi sebelum dan sesudah menggunakan filter dengan standard IEEE 519 tahun 2014. Terdapat perbedaan nilai THDi sebelum dan sesudah menggunakan filter, setelah menggunakan filter dapat dilihat bahwa nilai THDi mengalami reduksi atau penurunan pada masing

masing lantai dan masih memenuhi standard IEEE 519 tahun 2014 terkecuali pada lantai 6.

Dari tabel 4.5 juga dapat dinyatakan bahwa penurunan nilai THDi terbesar terjadi pada lantai 6 sebesar 29,24%, pada lantai 6 ini nilai THDi setelah menggunakan filter sebesar 10,81% yang dimana nilai ini telah memenuhi standard IEEE 519 tahun 2014. Untuk penurunan nilai THDi terkecil terjadi pada lantai 2 sebesar 0,55%. Nilai THDi pada setiap lantai kecuali lantai 6 telah memenuhi standard IEEE 519 tahun 2014 yaitu sebesar 5% sehingga nilai pada tiap lantai kecuali lantai 6 dibawah atau sama dengan 5%.

Selain THDi nilai THD juga memiliki nilai THDv, yang dimana nilai THDv juga mengalami perubahan setelah menggunakan filter pasif. Nilai perbandingan THDv sebelum dan sesudah menggunakan filter dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai THDv Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter

Lokasi	Nilai THDv Sebelum Menggunakan Filter(%)	Nilai THDv Sesudah Menggunakan Filter(%)	Standar IEEE 519- 2014(%)
BusBar Utama Lantai Dasar Lantai 1 Lantai 2 Lantai 3 Lantai 4 Lantai 5 Lantai 6			

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai THDv pada masing-masing lantai setelah filter pasif mengalami penurunan dan dapat memenuhi standar IEEE 519 tahun

2014. Penurunan terbesar terdapat pada lantai 6 sebesar 12,03%, dan penurunan terendah terdapat pada lantai dasar sebesar 0,62%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada analisis harmonisa menggunakan filter pasif untuk menurunkan thd (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika) maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Simulasi pada sistem kelistrikan Rumah Sakit Mitra Medika Premiere menggunakan ETAP menunjukkan bahwa penggunaan filter pasif dapat efektif dalam menurunkan nilai harmonisa pada rangkaian. Harmonisa tertinggi terdeteksi pada lantai 6, di mana Total Harmonic Distortion pada arus (THDi) mencapai 29,24%, sementara Total Harmonic Distortion pada tegangan (THDv) mencapai 17,98%. Hasil ini menunjukkan pentingnya implementasi filter pasif untuk mengatasi masalah harmonisa dan memastikan stabilitas serta keandalan sistem kelistrikan di rumah sakit.
2. Penggunaan filter Single-Tuned dalam simulasi telah terbukti efektif dalam mengurangi nilai harmonisa pada orde ke-5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, dan 25. Reduksi paling signifikan terlihat pada harmonisa orde ke-6, di mana sebelumnya mencapai 29,24%, kini berhasil menurun menjadi 10,81%. Selain itu, terdapat penurunan yang mencolok pada nilai Total Harmonic Distortion (THDv) pada lantai 6, dimana sebelumnya sebesar 17,98% dan kini berhasil menurun menjadi 6,69%.

5.2 Saran

Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk menjelajahi penggunaan filter alternatif guna lebih efektif mereduksi harmonisa di lantai 6 dan memastikan bahwa

sistem memenuhi standar IEEE 519-2014. Upaya lebih lanjut dapat difokuskan pada penentuan jenis filter yang paling optimal untuk mengatasi permasalahan harmonisa. Pemilihan filter yang tepat dapat memberikan solusi yang lebih baik dalam menangani gangguan harmonisa, sehingga kinerja sistem dapat dioptimalkan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Penelitian dapat mencakup eksperimen menggunakan berbagai jenis filter, seperti filter pasif atau filter aktif, untuk menilai efektivitas masing-masing dalam mereduksi harmonisa. Selain itu, analisis lebih lanjut terhadap karakteristik harmonisa yang dominan pada lantai 6 dapat memberikan wawasan tambahan untuk merancang filter yang lebih spesifik. Pengintegrasian teknologi terkini dalam pemrosesan sinyal dan kontrol harmonisa juga dapat dieksplorasi untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PP No. 79, “PP No. 79 Thn 2014.” pp. 1–36, 2014.
- [2] 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,” *J. Emit.*, vol. 15, no. 2, pp. 31–46, 2015.
- [3] A. Purnomo and A. Adriansyah, “Analisis Losses Dan THD (Total Harmonic Distortion) Akibat Pengaruh Beban Non Linear Pada Transformator Daya,” *Pros. Semin. Nas. Peningkatan Mutu Perguru. Tinggi Univ. Mercu Buana Jakarta*, vol. 5, no. 2, pp. 182–188, 2019.
- [4] B. Singh, K. Al-haddad, and A. Chandra, “Harmonic elimination , reactive power compensation and load balancing in three-phase , four-wire electric distribution systems supplying non-linear loads,” *Electr. Power Syst. Res.* 44, vol. 44, no. 12, pp. 93–100, 1998.
- [5] E. S. Noviando, E. Ervianto, and I. Yasri, “Studi Penerapan ANN (Artificial Neural Network) Untuk Menghilangkan Harmonisa Pada Gedung Pusat Komputer,” *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2016.
- [6] Andi Syofian & Anju Martulesi, “Perencanaan dan Analisis Penentuan Letak Filter Harmonik pada Sistem Tenaga Listrik,” *Pros. Semin. Nas. Teknoin*, vol. 7, no. 3, pp. 1–8, 2008.
- [7] M. D. Faraby, M. Daffa, C. Putra, O. Penangsang, and R. S. Wibowo, “Analisis Penyebaran Harmonisa Pada Sistem Distribusi Radial Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode Forward Backward Sweep dan

- Harmonic Load Flow,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 3, no. September, pp. 80–85, 2021.
- [8] H. Prasetijo, P. Priswanto, W. H.P., and I. Irunowo, “Analisa Pemasangan Filter Pasif Sebagai Peredam Harmonisa Akibat Beban Non Linier,” *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, p. 109, 2023, doi: 10.30595/jrst.v7i1.16677.
- [9] D. Rohi, D. D. Utomo, and O. Penangsang, “Distorsi Harmonisa Pada Pelanggan Domestik Dengan Daya $250 \text{ VA} \leq \text{daya} \leq 2200 \text{ VA}$,” *Jurnal EECCIS*, vol. 3, no. 1. pp. 1–5, 2023.
- [10] J. Sinaga, R. M. Siburian, and J. Sirait, “Analisa Pengaruh Harmonisa pada Pengoperasian Beban Listrik,” *J. Teknol. Energi Uda*, vol. 9, no. 2, pp. 88–97, 2020.
- [11] P. Harahap, “Harmonisa Pada Peralatan X-Ray Mobile 100mA,” vol. 2, pp. 59–65, 2017, [Online]. Available: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=eMAzVZEAAAAJ&pagesize=80&sortby=pubdate&citation_for_view=eMAzVZEAAAAJ:NJ774b8OgUMC
- [12] I. K. A. Wiguna, I. W. Rinas, and I. W. A. Wijaya, “Analisis Penggunaan Filter Damped untuk Mereduksi Total Harmonic Distortion (THD) di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Klungkung,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 159, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p01.
- [13] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, “Power System Quality,” *McGraw Hill Prof.*, vol. 11, p. 526, 2012.
- [14] H. Sugiarto, “Mereduksi Harmonisa Arus dan Rugi Daya Akibat Beban

Non Linier dengan Memanage Penggunaan Beban Listrik Rumah Tangga,”
Elkha7, vol. 7, no. 1, pp. 34–41, 2015, [Online]. Available:

<http://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/downloadSuppFile/12023/805>

- [15] Jumadi and J. M. Tambunan, “Analisis pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di gedung cyber jakarta,” *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 108–117, 2015.
- [16] I. D. Gede, B. Satya, C. Gede, I. Partha, and I. W. A. Wijaya, “Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa Pada Pemasangan Grid TIE Inverter Dengan Menggunakan Simulink MATLAB,” *Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 03, pp. 72–78, 2017.
- [17] I Gede Aries Gunawan, I Wayan Rinas, and I Wayan Arta Wijaya, “Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” *Spektrum*, vol. 2, no. 3, pp. 130–135, 2015.
- [18] N. Setiaji, Sumpena, and A. Sugiharto, “Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik,” *J. Teknologi Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [19] A. von Meier, *Electric Power Systems: A Conceptual Introduction*. 2006. doi: 10.1002/0470036427.
- [20] M. R. A. Cahyono, “Analisa Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi Alternatif dengan Filter Pasif,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 3, p. 161, 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n3.595.2018.
- [21] J. Murianto, D. Febrianto, and F. Azmi, “Rancang Bangun Alat Uji Pada Perbaikan Faktor Daya Dengan Kapasitor Bank,” *JESCE (Journal Electr.*

- Syst. Control Eng.*, vol. 4, no. 1, 2020, [Online]. Available:
<https://www.ojs.uma.ac.id/index.php/jesce/article/view/3995>
<https://www.ojs.uma.ac.id/index.php/jesce/article/download/3995/2811>
- [22] T. Elektro, U. N. Surabaya, T. Elektro, and U. N. Surabaya, “Efisiensi Energi Listrik Dalam Upaya Meningkatkan Power Quality dan Penghematan Energi Listrik di Gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya Ardhin Najadiya Setya Achmad Imam Agung Abstrak,” *Teknol. Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 193–202, 2000.
- [23] W. S. Hari, “ANALISA LOSS VOLTAGE JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS,” 2014.
- [24] L. Assaffat, “Pengukuran Dan Analisa Kualitas Daya Listrik Di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang,” *Media Elektr.*, vol. 2, no. 1, pp. 18–23, 2009, [Online]. Available:
<http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/ME/article/view/482>
- [25] Lisiani, A. Razikin, and Syaifurrahman, “Identifikasi dan Analisis Jenis Beban Listrik Rumah Tangga Terhadap Faktor Daya (Cos Phi),” *J. Untan*, vol. 1, no. 3, pp. 1–9, 2020.
- [26] A. D. Sukarman, “Studi Pengaruh Beban Harmonik Dan Peningkatan Perawatan Pada Gedung Apartemen Serpong Greenview Banten,” *Jur. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 19–26, 2015.
- [27] A. M. Zulfatri Aini, *Desain Singel Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi*, no. 4. 2021.
- [28] R. Irwanto and J. Hidayat, “Analisa Harmonisa Pada Transformator 3

- Fasa,” *J. ONLINE PERSEGI BULAT - UTND*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [29] A. Z. Anne Ko, Wunna Swe, “Analysis of Harmonic Distortion in Non-linear Loads,” *ResearchGate*, vol. 19, no. 11, pp. 1–7, 2016.
- [30] S. A. Deokar and L. M. Waghmare, “Analysis of Distribution Transformer Performance under Non-linear Balanced Load Conditions and Its Remedial Measures,” *Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 152–161, 2011.
- [31] A. Souli, A. Hellal, R. Bashour, and A. Kharaz, “Impact of Loads on Power Flow in Power Systems Using PowerApps and ETAP,” *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. 5, no. 7, pp. 120–123, 2017, doi: 10.15199/48.2015.07.33.
- [32] I. Winarno and A. B. Pahlevi, “MENGUNAKAN FILTER AKTIF SHUNT BERBASIS FUZZY LOGIC,” pp. 63–69, 2017.
- [33] H. Sugiarto, “Kajian Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak,” *Vokasi ISSN 1693 – 9085 Vol.*, vol. 8, no. 2, pp. 80–89, 2012.
- [34] I. Suwanda, “Kajian Gangguan Harmonisa dan Simulasi Perbaikan Sistem Kelistrikan Di Gedung Rektorat Politeknik Negeri Ketapang,” *Energi Kelistrikan J. Ilm.*, vol. 11, no. 2, pp. 114–128, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.840.
- [35] R. Dhavitra, “Analisis Dampak Total Harmonic Distortion Terhadap Losses Dan Derating Pada Transformator Universitas Riau,” *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, pp. 1–16, 2015.
- [36] H. M. Yudha *et al.*, “Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Gedung Teknik Elektro Kampus 2 Politeknik Negeri Ujung Pandang,” *Media Elektr.*, vol.

- 2018, no. 2005, pp. 77–78, 2017.
- [37] A. Wibowo and A. Syakur, “Analisis Distorsi Harmonik Total Arus Bocor Permukaan Isolator Resin Epoksi Pengisi Silika Kondisi Kering Dan Basah,” *Transmisi*, vol. 2, no. 7, pp. 1–10, 2015.
- [38] A. Ramadhani, “Sistem Kelistrikan Rsud Ulin Yang Handal Menggunakan Distribusi Jaringan Listrik Tegangan Menengah 20 Kv Terintegrasi,” *Bul. Profesi Ins.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–4, 2018.
- [39] IEE, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” *IEEE Std 519TM-2014*, vol. 3, no. 1, pp. 1–30, 2014.
- [40] H. Yani, “Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Sriwijaya,” vol. 5, pp. 1–6, 2013.
- [41] R. K. Varma, S. Member, S. Arifur, and R. Member, “Harmonic Impact of a 20-MW PV Solar Farm on a Utility Distribution Network,” *IEEE Power Energy Technol. Syst. J.*, vol. 3, no. 3, pp. 89–98, 2016, doi: 10.1109/JPETS.2016.2550601.
- [42] dan S. Moh. Toifur, Venty Aghnani Nurhamidy, “Penentuan Kehalusan Lapisan Tipis Ni 80 Fe 20 Melalui Nilai Kapasitansi Lapisan Pada Untai Tapis R-C Lolos Rendah,” *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 30–36, 2005.
- [43] C. L. Collocott *et al.*, “Harmonic Emission of Non-Linear Loads in Distribution Systems – A Computer Laboratory Case Study,” *ResearchGate*, vol. 6, no. 5, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA48453.2020.9041104.

- [44] I. Hadi *et al.*, “Rancang Bangun Filter Portable,” *J. Teliska ISSN*, vol. 4, no. 3, pp. 1–7, 2012.
- [45] M. T. Riaz and H. Ali, “Analysis and Evaluating the Effect of Harmonic Distortion Levels in Industry,” *Int. Conf. Energy Conserv. Effic.*, vol. 3, no. 4, pp. 1–7, 2021.
- [46] Indra Aditama, *Perancangan Tapis Pasif (Single Tuned Filter) Untuk Mereduksi Harmonisa Arus Akibat Pemakaian Beban Non Linier Di Transformator Pemakaian Sendiri Pltu Tarahan*. 2013.
- [47] N. Soni, R. Varadharajan, and V. V. Gopalan, “Study on Optimal Harmonic Energy Harvesting from Non-linear Loads within Enterprise Buildings,” *Tek. Elektro*, vol. 8, no. 4, pp. 1–6, 2016.
- [48] Vira Rahmayanti, *Gambaran Sistem Distribusi Obat Dan Bahan Medis Habis Pakai (Bmhp) Di Instalasi Rawat Inap Rumah Sakit Umum Kota Tangerang Selatan Tahun 2017*, vol. 3, no. 5. 2017.
- [49] I. A. Utami, T. Prakoso, and I. Santoso, “Perancangan Band Pass Filter Mikrostrip Parallel Coupled Line pada Frekuensi 5,8 GHZ,” *ResearchGate*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.14710/transient.7.3.715-720.
- [50] S. Sun and L. Zhu, “Compact Dual-Band Microstrip Bandpass Filter Without External Feeds,” *IEEE Microw. Wirel. COMPONENTS Lett.*, vol. 15, no. 10, pp. 644–646, 2005.
- [51] W. Abbas and M. A. Saqib, “Effect of Nonlinear Load Distributions on Total Harmonic Distortion in a Power System,” *Tech Coloproctol DOI*, vol. 4, no. 7, pp. 1–6, 2020.
- [52] K. Nikum, R. Saxena, and A. Wagh, “Effect on Power Quality by Large

- Penetration of Household Non Linear Load,” *Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–5, 2016.
- [53] M. Rembet, A. Lakat, H. Luntungan, J. Teknik, M. Universitas, and S. Ratulangi, “Simulasi Respon Frekuensi Filter Butterworth Dan Chebyshev Tipe Ii Akibat Eksitasi Sinyal Acak,” *J. Tekno Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 62–66, 2019.
- [54] F. I. Pasaribu, “Implementasi Filter Rc Pada Reduksi Harmonisa Dalam Pengobatan Ceragem,” *Elektro dan Telekomunikasi*, vol. 3, no. 2, pp. 62–66, 2018.
- [55] Y. Li, F. Liu, T. K. Saha, O. Krause, and Y. Cao, “Hybrid inductive and active filtering method for damping harmonic resonance in distribution network with non-linear loads,” *IET Power Electron.*, vol. 8, no. 1, pp. 1616–1624, 2015, doi: 10.1049/iet-pel.2014.0521.
- [56] E. O. De Matos *et al.*, “Using linear and non-parametric regression models to describe the contribution of non-linear loads on the voltage harmonic distortions in the electrical grid,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 2, pp. 1825–1832, 2016, doi: 10.1049/iet-gtd.2015.0948.
- [57] Abdul Haris Mubarak, “Simulasi pemasangan filter harmonisa pada sistem tenaga listrik menggunakan software ETAP,” *Pros. Semin. Nas. ISSN 2443-1109*, vol. 02, no. 1, pp. 738–746, 2013.
- [58] V. Verma, V. P. Verma, and H. Singh, “THD Analysis of Non-Linear Loads,” *Int. J. Innov. Res. Electr. Electron. Instrum. Control Eng.*, vol. 7, no. 7, pp. 33–38, 2019, doi: 10.17148/IJIREEICE.2019.7706.
- [59] E. Kurniawan, B. Setiadi, F. T. Elektro, U. Telkom, and F. H. Pasif,

- “Analisis Filter Harmonisa Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Penyearah Terkendali Satu Fasa,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 2–8, 2015.
- [60] T. I. S. Jaisiva, S. Neelan, “Harmonic analysis in non – linear loads of power system,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 1–6, 2016.
- [61] M. A. M. Rifa’i, *ANALISA HARMONISA DAN RANCANG FILTER SINGLE TUNED PADA SISTEM KELISTRIKAN HARMONICS ANALYSIS AND DESIGN OF SINGLE TUNED FILTER ON ELECTRICAL SYSTEMS*. 2016.
- [62] N. Currents, “Analysis of active powers of non-linear loads connected to the high voltage network,” *Int. Sch. Nonsinusoidal Curr. Compens.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–4, 2015.
- [63] O. A. Rozak, “Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0,” *Epic J. Electr. Power, Instrum. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 2019, doi: 10.32493/epic.v2i2.2878.
- [64] I. N. Dani and dan M. R. , Usman Ba’afai, “Desain Filter Aktif dengan Skema Fuzzy Logic Controller untuk Mereduksi Harmonisa,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 2, pp. 62–68, 2014, doi: 10.17529/jre.v11i2.2294.
- [65] G. Milani, M. Valente, M. Fagone, T. Rotunno, and C. Alessandri, “Advanced non-linear numerical modeling of masonry groin vaults of major historical importance : St John Hospital case study in Jerusalem David St,” *Eng. Struct.*, vol. 194, no. April, pp. 458–476, 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.05.021.

- [66] L. Limantara, "Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa Pada Sistem Pembangkitan di Industri Limboto," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 18–21, 2002.
- [67] J. F. Abidin, "Analisis Unjuk Kerja Harmonik Di Instalasi Listrik Industri Dan Upaya Penanggulangannya," *J. Teknol. Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 176–189, 2015.
- [68] F. Schneider, J. Martin, A. Hapfelmeier, D. Jordan, G. Schneider, and C. M. Schulz, "The validity of linear and non-linear heart rate metrics as workload indicators of emergency physicians," *PLOS ONE*, vol. 5, no. 9, pp. 1–12, 2017.
- [69] H. Cooley *et al.*, "Observatory case study on total harmonic distortion in current at laboratory and office building Observatory case study on total harmonic distortion in current at laboratory and office building," *Physics (College. Park. Md).*, vol. 4, no. 8, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012008.
- [70] Y. R. Rodrigues, M. R. Monteiro, J. R. Monteiro, P. F. Ribeiro, and F. N. Belchior, "Impact of Non-Linear Loads and Renewable Generation on a University Research Building," *Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, vol. 8, no. 6, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICHQP.2016.7783438.
- [71] M. S. Islam, N. A. Chowdhury, A. K. Sakil, A. Khandakar, and H. Abu-rub, "Power Quality Effect of Using Incandescent , Fluorescent , CFL and LED Lamps on Utility Grid," *First Work. Smart Grid Renew. Energy*, vol. 2, no. 5, pp. 1–5, 2015.
- [72] R. P. B. Silva, R. Quadros, F. P. Santilio, L. C. P. Silva, B. C. Carvalho,

- and E. A. S. Silva, "A New Electronic Device for Analyzing the Impact of Non-Linear Loads in the Electrical Power Measurement for Billing Purposes," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 1, pp. 88–95, 2018.
- [73] E. Sulistyarso, *Analisis Aliran Beban Sistem Distribusi Menggunakan Etap Power Station 4 . 0 . 0*, vol. 2, no. 3. 2010.
- [74] A. W. Leonardus Heru Pratomo, Satrio Fitrianto, "Analisis Harmonisa Pada Off-Grid Photovoltaic Solar Power System Terhadap Beban Non-Linier," *Pros. Semin. Nas. Ris. dan Teknol. Terap. 2021*, vol. 3, no. 5, pp. 1–9, 2021.
- [75] L. Sibuea and R. Thayib, *Analisa Unjuk Kerja Filter Daya Hybrid Untuk Mengurangi Total Harmonisa Distorsi Pada Penggunaan Beban Non-Linear*, vol. 5, no. February. 2014.
- [76] Anggayuh Muttaqien, *Desain Dan Simulasi Cascaded Multilevel Inverter 3 Fasa Berbasis Fuzzy-Pi Untuk Kompensasi Harmonisa Akibat Beban Non Linier*. 2018.
- [77] R. Jankowski, "Non-linear FEM analysis of earthquake-induced pounding between the main building and the stairway tower of the Olive View Hospital," *Eng. Struct.*, vol. 31, no. 8, pp. 1851–1864, 2009, doi: 10.1016/j.engstruct.2009.03.024.
- [78] E. Widiarto and A. Jamaah, "Perancangan Low Pass RC Filter untuk Mereduksi Harmonik pada Lampu Hemat Energi (LHE) 20W," *JteT ISSN 2252-4908*, vol. 2, no. 3, pp. 129–135, 2013.
- [79] M. S. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, *Desain Penelitian Studi Kasus*. 2017.
- [80] J. Ahmad, "Desain Penelitian Analisis Isi (Content Analysis)," *Res. Gate*,

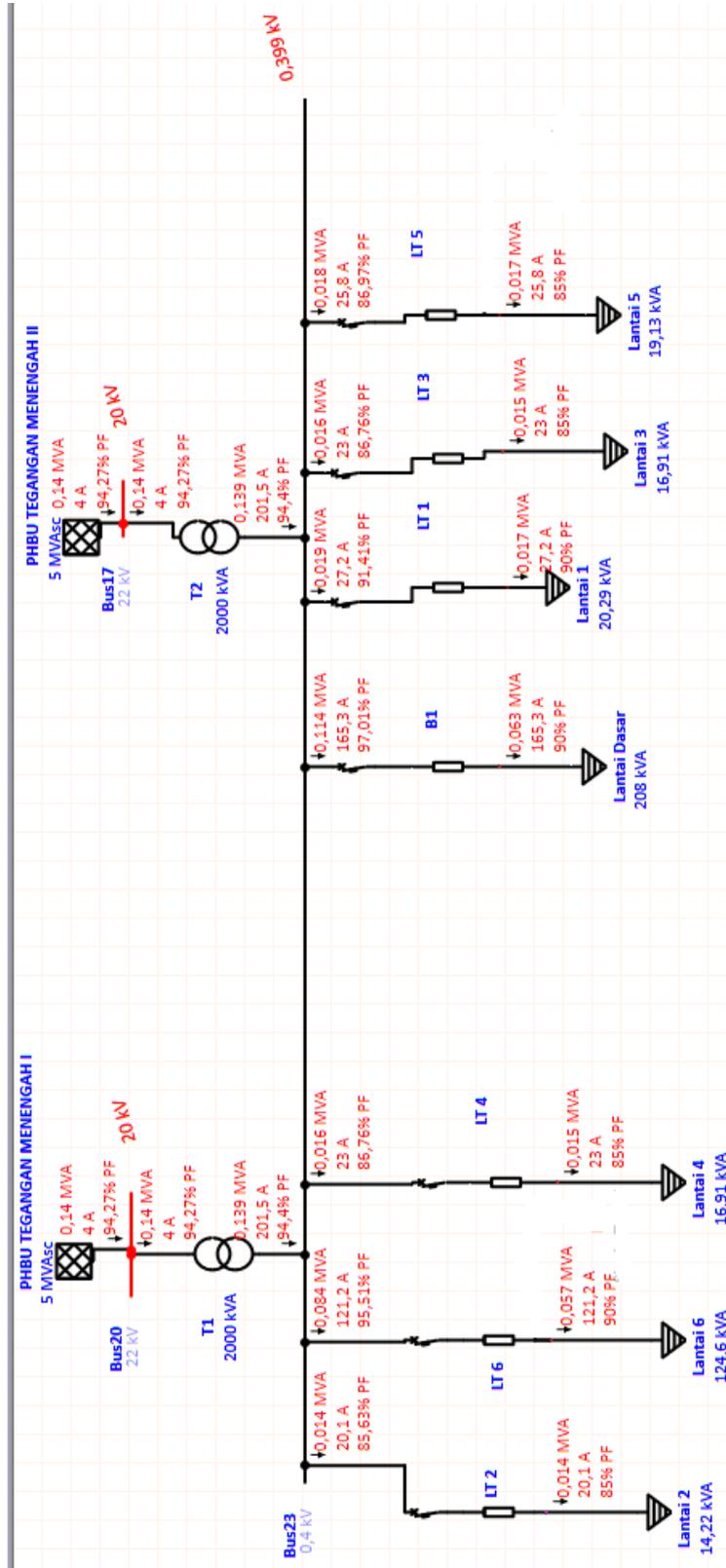
vol. 5, no. 9, pp. 1–20, 2018.

[81] M. A. Prof.Dr. M. Budyatna, *Metode Penelitian*. 2018.

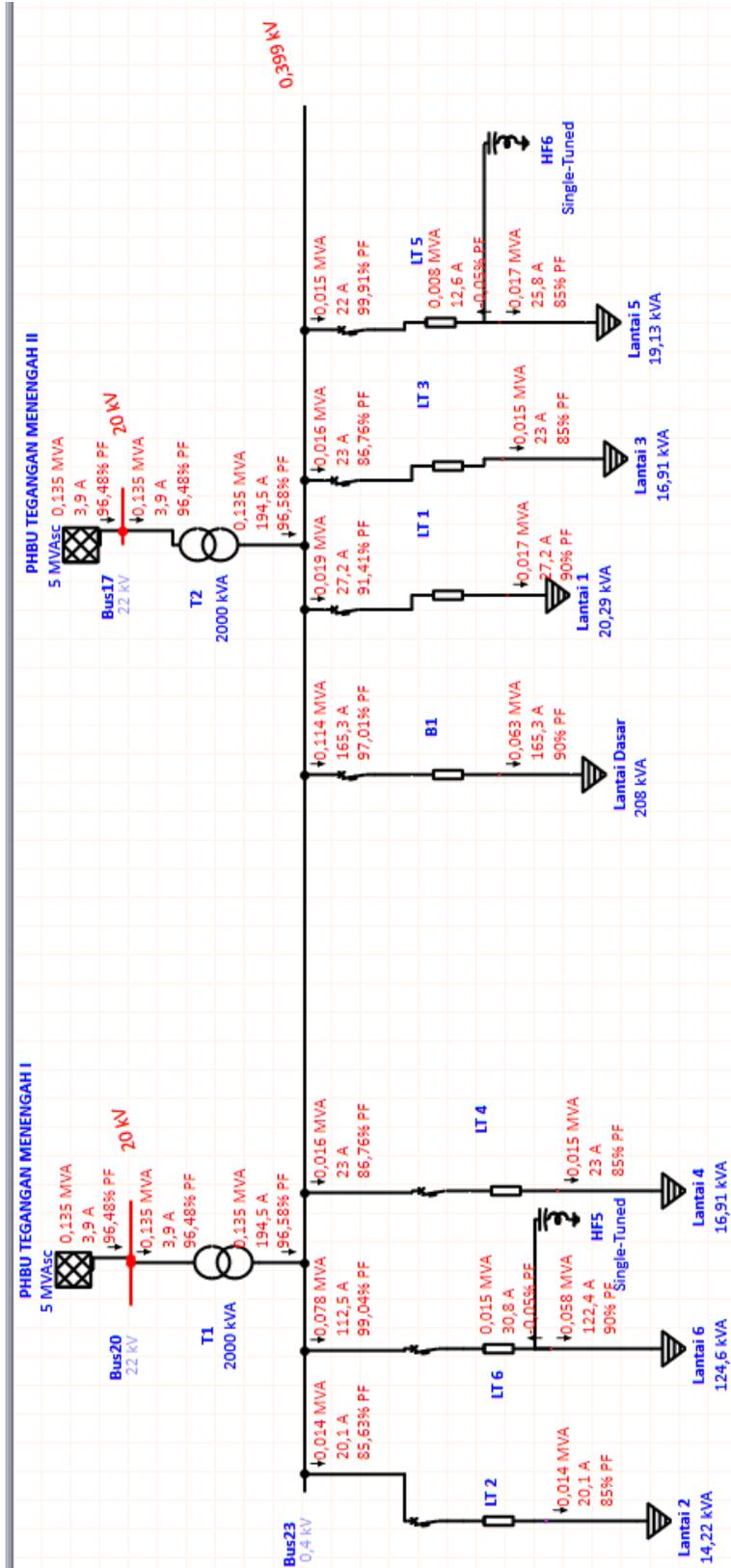
[82] Y. Nurmalasari and R. Erdiantoro, “Perencanaan Dan Keputusan Karier: Konsep Krusial Dalam Layanan BK Karier,” *Quanta*, vol. 4, no. 1, pp. 44–51, 2020, doi: 10.22460/q.v1i1p1-10.497.

LAMPIRAN

Rangkaian Tanpa Filter Pada Aplikasi ETAP



Rangkaian Dengan Filter Pasif Pada Aplikasi ETAP



Hasil Analisis Harmonisa Pada Setiap Lantai

Analisis *Total Harmonic Distortion* pada arus :

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\%$$

Lantai Dasar :

$$THD_I = \frac{\sqrt{0^2 + 1,3^2 + 0,567^2 + 0^2 + 0,461^2 + 0,251^2 + 0,311^2 + 0,211^2 + 0,244^2 + 0,157^2}}{157} \times 100\%$$
$$= 1,01 \%$$

Lantai 1 :

$$THD_I = \frac{\sqrt{0^2 + 0,223^2 + 0,097^2 + 0^2 + 0,08^2 + 0,037^2 + 0,055^2 + 0,037^2 + 0,043^2 + 0,028^2}}{25,8} \times 100\%$$
$$= 1,05 \%$$

Lantai 2 :

$$THD_I = \frac{\sqrt{0^2 + 0,157^2 + 0,068^2 + 0^2 + 0,056^2 + 0,026^2 + 0,038^2 + 0,026^2 + 0,03^2 + 0,02^2}}{19,1} \times 100\%$$
$$= 1,00 \%$$

Lantai 3 :

$$THD_I = \frac{\sqrt{0^2 + 0,179^2 + 0,078^2 + 0^2 + 0,064^2 + 0,03^2 + 0,044^2 + 0,03^2 + 0,035^2 + 0,22^2}}{20,1} \times 100\%$$
$$= 1,09 \%$$

Lantai 4 :

$$THD_l = \frac{\sqrt{0^2 + 0,132^2 + 0,078^2 + 0^2 + 0,064^2 + 0,121^2 + 0,044^2 + 0,03^2 + 0,035^2 + 0,022^2}}{21,8} \times 100\%$$

$$= 0,99 \%$$

Lantai 5 :

$$THD_l = \frac{\sqrt{0^2 + 5,1^2 + 1,3^2 + 0^2 + 0,079^2 + 0,037^2 + 0,054^2 + 0,037^2 + 0,043^2 + 0,028^2}}{27} \times 100\%$$

$$= 19,50 \%$$

Lantai 6 :

$$THD_l = \frac{\sqrt{0^2 + 31,1^2 + 10,4^2 + 0^2 + 5,7^2 + 2,3^2 + 2,6^2 + 1,6^2 + 1,6^2 + 0,948^2}}{114,75} \times 100\%$$

$$= 29,24 \%$$

Analisis *Total Harmonic Distortion* pada tegangan :

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

Lantai Dasar :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,002^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2}}{0,218} \times 100\%$$

$$= 1,12 \%$$

Lantai 1 :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,003^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0^2}}{0,334} \times 100\%$$

$$= 1,16 \%$$

Lantai 2 :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,003^2 + 0,002^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0^2}}{0,362} \times 100\%$$

$$= 1,17 \%$$

Lantai 3 :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,003^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0^2}}{0,331} \times 100\%$$

$$= 1,17 \%$$

Lantai 4 :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,003^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0^2}}{0,331} \times 100\%$$
$$= 1,17 \%$$

Lantai 5 :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,005^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0^2}}{0,353} \times 100\%$$
$$= 1,58 \%$$

Lantai 6 :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,042^2 + 0,015^2 + 0^2 + 0,008^2 + 0,003^2 + 0,004^2 + 0,003^2 + 0,003^2 + 0,002^2}}{0,2549} \times 100\%$$
$$= 17,98 \%$$

Bus Bar Utama :

$$THD_V = \frac{\sqrt{0^2 + 0,003^2 + 0,002^2 + 0^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0^2}}{0,361} \times 100\%$$
$$= 1,01 \%$$

LEMBAR ASISTENSI



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK

TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Zikri Fachriza Siregar
 NPM : 2107220078P
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : "Analisa Perbandingan Filter Aktif dan Pasif Menggunakan Metode Adaptif Sebagai Pengurangan Distorsi Harmonisa (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika)"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	15/5-2023	Perbaiki Rumus dan manfaat penelitian pada bab I	
2.	24/5-2023	Tambahkan landasan teor- dan Ragnian Penelitian di bab II.	
3.	22/6-2023	Pengelas Metode pada Diagram pada III	
4.	26/6-2023	Perbaiki diagram Alir Penelitian.	
5.	27/6-2023	ACC! Lanjut Semesta Proposal.	

Mengetahui,
Pembimbing

Benny Oktrialdi, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK

TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Zikri Fachriza Siregar
NPM : 2107220078P
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika)"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	9/8-2023	Perbaiki Simulasi dan Analisa Data.	
	11/9-2023	lengkapi Abstrak dan Bab V	
	29/9-2023	Lanjut Seminar Hasil.	

Mengetahui,
Pembimbing

Benny Oktrialdi, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK

TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Zikri Fachriza Siregar
NPM : 2107220078P
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Untuk Menurunkan THD (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika)"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	6/2-2024	Perbaikan data Penelitian	
	27/3-2024	ACC Lanjut meja hijau	

Mengetahui,
Pembimbing



Benny Oktrialdi, S.T., M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Zikri Fachriza Siregar
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/ 08 Desember 1999
Jenis kelamin : Laki - Laki
Umur : 24 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan : 174 cm / 58 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Desa Lobujiur Dusun 4, Kec. Aek Kuasan
Kab. Asahan
No Hp : 0812-6096-9899
Email : zikrisiregar32@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

SDN 010139 Gunung Melayu : Tahun 2005 – 2008
SDN 013826 Sengon Sari : Tahun 2008 - 2011
SMPN 40 Medan : Tahun 2011 - 2014
SMAN 15 Medan : Tahun 2014 - 2017
Politeknik Negeri Medan : Tahun 2017 – 2020
Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah : Tahun 2021 - 2024
Sumatera Utara, Teknik Elektro