

TUGAS AKHIR

ANALISA PENGGUNAAN FILTER PASIF HARMONISA DENGAN SISTEM STEP TERHADAP BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :
DAI RINALDY
2107220049



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dai Rinaldy

NPM : 2107220049

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Penggunaan Filter Pasif Harmonisa Dengan
Sistem Step Terhadap Beban Listrik Rumah Tangga

Bidang ilmu : Sistem Tenaga

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, 20 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Faisal Irsan Basaribu, S.T, S.Pd., M.T

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji



Dr. Rohana, S.T., M.T



Ir. Abdul Aziz Hutasuhat, M.M

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Elyk Satrio Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Dai Rinaldy

Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 16 April 2003

NPM : 2107220049

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisa Penggunaan Filter Pasif Harmonisa Dengan Sistem Step Terhadap Beban Listrik Rumah Tangga”,

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, 20 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,


DAI RINALDY

ABSTRAK

Peningkatan penggunaan peralatan elektronik rumah tangga berbasis non-linier, seperti AC, komputer, dan televisi, menyebabkan munculnya gangguan harmonisa yang dapat menurunkan kualitas daya listrik. Gangguan ini berpotensi merusak peralatan dan mengurangi efisiensi sistem kelistrikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan filter pasif harmonisa berbasis sistem step dalam mereduksi harmonisa pada beban listrik rumah tangga. Metode simulasi dilakukan menggunakan MATLAB Simulink dengan kondisi beban (900 W - 2200 W) dan melibatkan enam jenis filter, termasuk satu filter "New" yang dirancang untuk performa terbaik. Parameter yang dianalisis meliputi V_{rms} , I_{rms} , THDv, THDi, dan faktor daya ($\cos \phi$). Hasil simulasi menunjukkan bahwa filter "New" mampu menurunkan THDi secara signifikan hingga di bawah 10% dan meningkatkan faktor daya mendekati nilai ideal ($>0,9$). Pada beban tertinggi (2200 W), nilai THD pada arus adalah xxx% dan pada tegangan xxx%, menjadikan bentuk gelombang mendekati sinusoidal. Sistem step memungkinkan aktivasi filter secara bertahap, menjaga efisiensi dan menghindari pemborosan energi. Kombinasi antara filter pasif harmonisa dan sistem step terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas daya, menjadikannya solusi praktis dan efisien untuk mengurangi distorsi harmonik pada instalasi listrik rumah tangga.

Kata Kunci: Filter Pasif, Harmonisa, Sistem Step, *Total Harmonic Distortion*, Faktor Daya

ABSTRACT

The increasing use of household electronic appliances based on non-linear loads, such as air conditioners, computers, and televisions, has led to the emergence of harmonic disturbances that can degrade power quality. These disturbances have the potential to damage equipment and reduce the efficiency of electrical systems. This study aims to analyze the effectiveness of using a step-based passive harmonic filter system in reducing harmonics in household electrical loads. Simulation methods were carried out using MATLAB Simulink with load conditions (900 W - 2200 W) and involved six types of filters, including a newly designed “New” filter aimed at achieving the best performance. Parameters analyzed include V_{rms} , I_{rms} , THD_v , THD_i , and power factor ($\cos \phi$). The simulation results show that the “New” filter can significantly reduce THD_i to below 10% and increase the power factor towards its ideal value (>0.9). At the highest load (2200 W), the THD value for current is xxx%, and for voltage, it is xxx%, resulting in waveforms that are close to sinusoidal. The step system enables gradual activation of the filters, maintaining efficiency while avoiding energy waste. The combination of passive harmonic filters with a step system has proven effective in improving power quality, making it a practical and efficient solution for reducing harmonic distortion in household electrical installations.

Keywords: *Passive Filter, Harmonics, Step System, Total Harmonic Distortion, Power Factor*

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 “Analisa Penggunaan Filter Pasif Harmonisa Dengan Sistem Step Terhadap Beban Listrik Rumah Tangga” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ayahanda Yusli Edy, Ibunda Mistiani, Kakak Fany Fitria Suhada Serta Mas Rio Rizky Arisandi yang senantiasa memberikan cinta, dukungan moral, dan materi tanpa henti. Terima kasih atas doa, nasihat, dan kasih sayang yang tiada habisnya.
2. Bapak Prof. Dr. H. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Benny Oktrialdi, ST, MT, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T, yang dengan sabar telah

membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.

9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas dukungan administratif yang diberikan.
11. Teman Penulis yaitu Nadia Wulandari yang sudah memberikan segala dukungannya dalam berbagai bentuk selama penulisan skripsi ini berlangsung. Saya ucapkan terima kasih.
12. Teman-teman seperjuangan B1 Teknik Elektro stambuk 21, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini
13. Sahabat penulis Fitria, Zunaidi, M. Imam Al Hafiz, Fajar Fatham Mubina, Muhammad Rian Fauzan, Abdur Rahman H. Tarigan, Aldi Syahputra, M. Agus Suhardi, dan Irvan yang selalu kebersamai penulis dalam penulisan laporan tugas akhir.

Laporan 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 laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia elektro.

Medan, 20 Agustus 2025

Dai Rinaldy

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Harmonisa pada Sistem Kelistrikan	6
2.2.1 Penyebab Harmonisa pada Beban Rumah Tangga	8
2.2.2 Dampak Harmonisa	10
2.2.3 Standar Harmonisa Berdasarkan IEEE	12
2.3. Filter Pasif Harmonisa	13
2.3.1 Jenis Filter Pasif	15
2.3.2 <i>Double-Tuned Filter</i>	17
2.3.3 Penerapan Filter Pasif pada Sistem Rumah Tangga	23
2.4. Sistem Step pada Pengelolaan Beban Listrik	25
2.4.1. Fungsi dan Keunggulan Sistem Step	26
2.4.2. Implementasi Sistem Step pada Rumah Tangga	26

2.5. Indikator Kualitas Daya Listrik	29
2.5.1. <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD)	30
2.5.2. Faktor Daya (<i>Power Factor</i>).....	30
2.5.3 Resonansi dalam Harmonisa.....	33
2.5.4. Stabilitas Tegangan dan Arus	34
2.6. Pengaruh Kombinasi Filter Pasif dan Sistem Step terhadap Kualitas Daya	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1 Tempat dan Waktu.....	39
3.2 Alat dan Bahan.....	40
3.3 Tahap Penelitian	40
3.3 Diagram Alir	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Harmonik Tegangan untuk Tegangan Frekuensi Dasar 50 Hz	7
Gambar 2.2 Rangkaian Single Tuned Filter.....	16
Gambar 2.3 Rangkaian High-Pass Filter.....	16
Gambar 2.4 Rangkaian Band-Pass Filter	17
Gambar 2.5 Double-Tuned Filter.....	18
Gambar 2.6 Gelombang Faktor Daya Lagging (tertinggal).....	31
Gambar 2.7 Gelombang Faktor Daya Leading (Mendahului)	32
Gambar 2.8 Gelombang Faktor Daya Unity	32
Gambar 2.9 Gelombang beban resistif.....	35
Gambar 2.10 Gelombang beban induktif.....	36
Gambar 2.11 Gelombang beban kapasitif.....	36
Gambar 3.1 Peta lokasi tempat penelitian.....	39
Gambar 3.2 Tempat penelitian.....	39
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa	12
Tabel 2.2 Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa	13

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Filter.....	46
Lampiran 2 Perlengkapan pengambilan data	47
Lampiran 3 Pengambilan data.....	47
Lampiran 4 Lembar Asistensi Seminar Proposal.....	48
Lampiran 5 Lembar Asistensi Seminar Hasil	49
Lampiran 6 Lembar Asistensi Sidang Akhir.....	50
Lampiran 7 Daftar Riwayat Hidup.....	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi kelistrikan, penggunaan peralatan elektronik di rumah tangga semakin meluas. Perangkat seperti televisi, komputer, AC, dan alat elektronik lainnya kini menjadi bagian dari kebutuhan sehari-hari. Namun, pemakaian alat-alat tersebut dapat memengaruhi kualitas daya listrik yang diterima oleh sistem kelistrikan, salah satunya melalui distorsi harmonisa.

Harmonisa adalah suatu gelombang sinusoidal tegangan atau arus yang berfrekuensi tinggi [1]. Harmonisa merujuk pada frekuensi tambahan yang muncul pada sinyal listrik di luar frekuensi dasar (50 Hz di Indonesia). Distorsi harmonisa umumnya disebabkan oleh perangkat elektronik yang menggunakan daya non-linier, seperti alat dengan daya berbasis *switching*, inverter, dan berbagai peralatan lainnya. Keberadaan harmonisa ini dapat merusak peralatan listrik, menurunkan efisiensi sistem kelistrikan, serta menyebabkan peningkatan rugi daya dan gangguan pada perangkat sensitif.

Harmonisa juga memiliki dampak teknis dan ekonomi yang cukup signifikan. Secara teknis, harmonisa dapat meningkatkan rugi daya pada kabel, transformator, dan perangkat kelistrikan lainnya, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi sistem. Dari sisi ekonomi, harmonisa menyebabkan konsumsi daya yang lebih besar, sehingga tagihan listrik rumah tangga meningkat. Selain itu, peralatan yang terpapar harmonisa secara terus-menerus juga lebih rentan mengalami kerusakan, yang berarti biaya perawatan dan penggantian perangkat menjadi lebih tinggi.

Kondisi ini menjadi perhatian serius, terutama karena banyak perangkat rumah tangga modern yang dirancang untuk efisiensi tetapi tanpa mempertimbangkan dampak harmonisa yang dihasilkan. Sebagai contoh, perangkat inverter yang digunakan pada AC atau mesin cuci yang hemat energi, tetapi dapat menghasilkan harmonisa yang tinggi jika tidak diimbangi dengan pengelolaan daya yang baik. Oleh karena itu, perlu ada solusi yang dapat mengurangi harmonisa secara efektif, terutama di lingkungan rumah tangga.

Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu solusi yang umum digunakan adalah dengan memasang filter harmonisa. Filter harmonisa berfungsi untuk

menyaring frekuensi harmonisa dari sistem kelistrikan agar hanya frekuensi dasar yang diteruskan, sehingga kualitas daya listrik dapat dipertahankan. Salah satu jenis filter harmonisa yang banyak digunakan adalah filter pasif harmonisa. Filter pasif mampu mereduksi harmonisa pada orde yang telah ditentukan. Jenis filter pasif yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis filter pasif *double tuned*. Filter ini dirancang agar mampu mengurangi harmonisa yang terjadi.

Filter pasif terdiri elemen-elemen pasif seperti resistor, kapasitor, dan induktor. Filter pasif sendiri terdiri dari bermacam-macam jenis seperti, *single tuned filter*, *double tuned filter*, *type-C filter*, dan lain-lain [2].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan filter pasif harmonisa dengan sistem step pada beban listrik rumah tangga. Pendekatan sistem step memiliki beberapa keuntungan dibandingkan metode konvensional, seperti peningkatan fleksibilitas dan efisiensi dalam mengelola beban harmonisa sesuai dengan kebutuhan daya yang ada. Dengan mengaktifkan filter pasif harmonisa secara bertahap berdasarkan besar beban yang terhubung, diharapkan penggunaan energi menjadi lebih efisien dan terkontrol. Hal ini tidak hanya akan mengurangi biaya operasional dan konsumsi listrik, tetapi juga memperpanjang usia peralatan listrik karena distorsi harmonisa dapat ditekan secara lebih efektif. Penelitian ini diharapkan dapat menawarkan solusi yang praktis, efisien, dan ekonomis untuk meningkatkan kualitas daya listrik di rumah tangga, serta menjadi acuan dalam pengembangan teknologi filter harmonisa yang lebih adaptif dan hemat energi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sejauh mana penggunaan filter pasif harmonisa dapat meningkatkan kualitas daya pada sistem kelistrikan rumah tangga yang terdistorsi harmonisa?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan sistem step terhadap penambahan beban listrik dalam mengelola distribusi daya pada sistem kelistrikan rumah tangga?

3. Apa dampak penggunaan filter pasif harmonisa terhadap penurunan harmonisa pada beban listrik rumah tangga yang mengalami penambahan beban secara bertahap (sistem step)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi pengaruh penggunaan filter pasif harmonisa terhadap listrik rumah tangga yang mengalami distorsi harmonisa akibat penggunaan peralatan rumah tangga.
2. Menganalisis pengaruh sistem step terhadap penambahan beban listrik dalam rangka pengelolaan distribusi daya secara efisien pada sistem kelistrikan rumah tangga.
3. Menilai dampak penggunaan sistem step dan filter pasif harmonisa secara bersamaan terhadap pengurangan harmonisa pada sistem kelistrikan rumah tangga.

1.4 Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang perlu diperjelas, yaitu:

1. Memperbaiki kualitas daya pada sistem kelistrikan rumah tangga, yang menggunakan peralatan rumah tangga, seperti perangkat dengan motor induksi dan catu daya berbasis switching.
2. Sistem step filter yang diterapkan pada penelitian ini merujuk pada pengaturan penambahan beban listrik secara bertahap pada sistem kelistrikan rumah tangga dan pengaruhnya terhadap distribusi daya dan harmonisa.
3. Penelitian ini hanya membahas dampak penggunaan filter pasif harmonisa terhadap pengurangan harmonisa dan pengelolaan distribusi daya melalui sistem step, tanpa melibatkan analisis lebih lanjut terkait aspek lain seperti efisiensi energi secara keseluruhan atau gangguan tegangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi praktis bagi rumah tangga dalam meningkatkan kualitas daya listrik yang terdistorsi harmonisa dan meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan rumah tangga.
2. Memberikan solusi teknologi otomatis kelistrikan dalam pengelolaan distribusi daya.
3. Memberikan kontribusi pada penelitian dan pengembangan teknologi kelistrikan, terutama dalam penerapan sistem step dan filter pasif harmonisa untuk meningkatkan kualitas daya pada skala rumah tangga.

BAB 2

TINJAUAN PUSATAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pada penelitian [3] mengatakan bahwa peralatan listrik rumah tangga sebagian besar adalah peralatan elektronik yang merupakan beban non linier. Beban ini akan menimbulkan harmonisa yang dapat menyebabkan terdistorsinya arus pada sistem distribusi tenaga listrik. Distorsi arus ini dapat menyebabkan rugi daya dan menurunnya kualitas daya. Untuk mengurangi distorsi arus dan mengurangi rugi daya akibat beban non linier dapat dilakukan dengan tanpa menggunakan filter, salah satu caranya yaitu dengan manage/mengkombinasikan beban resistif dan induktif.

Pada penelitian [4] dipaparkan suatu metoda untuk mengurangi kandungan harmonisa arus pada sistem tenaga listrik akibat penerapan AC Inverter pada jaringan listrik 1 phasa rumah tangga atau perkantoran. Konsep dasar yang dikembangkan pada metoda ini adalah pengurangan harmonisa arus sistem jaringan listrik dilakukan dengan menghilangkan komponen-komponen harmonisa arus (harmonisa orde) yang mendominasi pada jaringan dengan cara memasang filter pasif yang dirangkai *single tuned*.

Penelitian [5] mengatakan bahwa salah satu cara untuk menanggulangi harmonisa adalah dengan menggunakan filter pasif. Dimana filter pasif ini dapat mereduksi harmonisa pada orde tertentu yang terdiri dari rangkaian LC yang dihubung seri. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran tingkat harmonisa pada sistem PLTS tersebut guna mengetahui seberapa besar nilai harmonisa pada sistem tersebut, apakah sudah sesuai dengan standar IEEE Std 519 TM,2014 yang diijinkan sehingga aman untuk sistem.

Terlihat pada penelitian [6] menyebut bahwa Impedansi pada rangkaian filter menunjukkan karakteristik kapasitif terhadap harmonisa orde rendah dan menjadi induktif pada harmonisa orde tinggi, sehingga nilai impedansi cenderung menurun secara signifikan di bawah frekuensi batas bawah yang telah ditentukan. Untuk mengatasi dua komponen harmonisa secara simultan, penggunaan *Double Tuned Filter* (DTF) menjadi solusi yang lebih efektif karena memiliki cakupan frekuensi kerja yang lebih luas dibandingkan *Single Tuned Filter* (STF).

Penelitian [7] mengatakan Filter pasif yang dikaji dalam penelitian ini meliputi filter harmonisa single tuned dan double tuned. Dalam proses perancangannya, elemen-elemen pasif pada filter dihitung dan ditentukan nilainya. Studi dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan kedua jenis filter dalam mereduksi distorsi harmonisa, serta menentukan lokasi pemasangan filter yang paling optimal. Selain itu, pengaruh variasi parameter beban dan kapasitor koreksi faktor daya terhadap distorsi harmonisa juga dianalisis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa filter double tuned lebih efektif dalam mereduksi harmonisa dibandingkan dengan filter single tuned

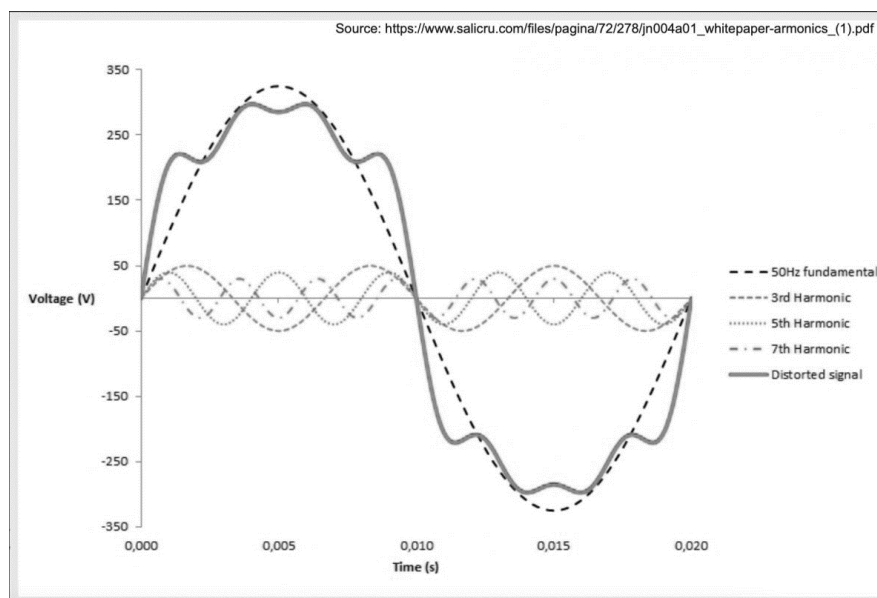
Meskipun penelitian-penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi signifikan dalam memahami dan mereduksi distorsi harmonisa menggunakan filter pasif, terdapat beberapa aspek yang belum sepenuhnya terjawab. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang tidak hanya merancang filter pasif harmonisa, tetapi juga menerapkan pendekatan sistem step untuk mengaktifkan filter secara bertahap berdasarkan variasi beban listrik, sehingga efisiensi energi dan kualitas daya listrik dapat lebih optimal.

2.2. Harmonisa pada Sistem Kelistrikan

Harmonisa merupakan gelombang arus atau tegangan listrik yang memiliki frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar sistem listrik (50 Hz atau 60 Hz). Fenomena ini terjadi akibat adanya peralatan elektronik non-linear yang mengganggu bentuk gelombang sinusoidal murni. Harmonisa adalah cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya.

Sebagai contoh, jika frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa kedua memiliki frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga memiliki frekuensi 150 Hz, dan seterusnya. Gelombang-gelombang harmonisa yang dihasilkan akan "menumpang" pada gelombang sinusoidal dasar, menghasilkan gelombang cacat yang merupakan penjumlahan antara gelombang murni dan gelombang harmonisa pada waktu yang bersamaan. Distorsi ini dikenal sebagai distorsi harmonisa.

Dampak harmonisa dapat sangat signifikan, termasuk panas berlebihan pada peralatan listrik, kerusakan peralatan, gangguan pada sistem, dan biaya operasional yang meningkat. Oleh karena itu, penting untuk mengatasi harmonisa dengan cara yang efektif. Beberapa cara untuk mengatasi harmonisa adalah dengan menggunakan filter harmonisa, menggunakan peralatan yang tahan harmonisa, mengoptimalkan desain sistem, dan melakukan pemeliharaan rutin pada peralatan listrik. Dengan memahami harmonisa dan cara mengatasinya, kita dapat meningkatkan kualitas daya listrik dan mengurangi risiko kegagalan peralatan listrik.



Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Harmonik Tegangan untuk Tegangan Frekuensi Dasar 50 Hz

Dalam sistem kelistrikan ideal, gelombang tegangan atau arus diharapkan berbentuk sinusoidal murni. Namun, peralatan yang menggunakan semikonduktor atau memiliki sifat non-linear seperti motor induksi, catu daya, dan perangkat elektronik lainnya, menyebabkan distorsi gelombang ini. Distorsi harmonisa merupakan gelombang tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya [8]. Secara umum besar distorsi harmonisa dinyatakan dalam Total Harmonic Distortion (THD) [9]. Harmonisa ini dapat menciptakan gelombang bentuk tak ideal yang lebih kompleks dan menghasilkan masalah dalam distribusi daya. Distorsi harmonisa akan mengakibatkan kerugian pada sistem jaringan, diantaranya adalah terjadinya

Resonansi paralel maupun seri [10]. Gelombang Harmonik Tegangan untuk Tegangan Frekuensi Dasar 50 Hz dapat dilihat pada Gambar 2.1.

2.2.1 Penyebab Harmonisa pada Beban Rumah Tangga

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linear dan beban non linier. Beban linier yang memberikan bentuk gelombang keluaran linier dimana arus yang mengalir akan sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, sedang 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 masukan. beban non-linier yang terpasang pada sistem. Penggunaan beban ini yang mengakibatkan arus dan tegangan terdistorsi. Beban nonlinier yang terpasang menyebabkan arus bervariasi sehingga tak sebanding dengan tegangan selama setiap setengah periode [11].

Harmonisa dalam sistem kelistrikan rumah tangga muncul akibat penggunaan peralatan listrik modern yang bersifat non-linear, yakni perangkat yang tidak menarik arus secara linier sepanjang siklus gelombang sinusoidal. Salah satu penyebab utama adalah peralatan elektronik seperti televisi, komputer, dan perangkat audio yang menggunakan catu daya jenis *switch-mode power supply* (SMPS). Catu daya ini bekerja dengan menarik arus hanya pada bagian tertentu dari siklus gelombang, menciptakan distorsi yang menghasilkan harmonisa. Selain itu, lampu hemat energi seperti CFL dan LED, meskipun efisien, juga berkontribusi pada harmonisa karena menggunakan rangkaian penyearah dan inverter untuk pengoperasiannya. Hal ini diperburuk jika lampu tersebut tidak dilengkapi filter harmonisa bawaan, terutama pada produk yang kualitasnya rendah.

Lebih jauh, peralatan rumah tangga yang menggunakan motor listrik, seperti kulkas, mesin cuci, pendingin ruangan (AC), dan blender, juga merupakan sumber harmonisa. Motor listrik ini, terutama yang dilengkapi pengendali kecepatan variabel atau inverter, menghasilkan arus yang tidak sinusoidal akibat proses switching yang memotong siklus gelombang. Peralatan berbasis semikonduktor, seperti pengisi daya ponsel, adaptor laptop, dan perangkat pengatur daya lainnya, turut berkontribusi pada harmonisa karena teknologi switching yang digunakan.

Selain itu, penggunaan inverter pada sistem energi terbarukan seperti panel surya dan sistem cadangan daya (UPS) juga dapat menciptakan harmonisa, terutama jika kualitas inverter rendah atau kapasitasnya tidak sesuai dengan kebutuhan beban.

Ketidakseimbangan beban listrik pada sistem tiga fasa, jika digunakan dalam rumah tangga, merupakan penyebab tambahan harmonisa. Ketidakseimbangan ini menyebabkan munculnya harmonisa triplen (kelipatan 3 seperti harmonisa 3rd, 9th, dan 15th), yang dapat terakumulasi di penghantar netral, meningkatkan risiko panas berlebih dan kerusakan pada sistem kelistrikan. Peralatan yang menghasilkan lonjakan daya instan, seperti pompa air, oven microwave, atau pemanas air, juga menciptakan harmonisa sesaat. Jika peralatan ini digunakan secara intensif atau tidak dirancang dengan baik, distorsi yang dihasilkan dapat signifikan. Selain itu, gangguan dari jaringan listrik utama seperti lonjakan tegangan atau ketidakseimbangan pasokan daya juga dapat memperparah harmonisa dalam rumah tangga.

Kualitas peralatan listrik menjadi faktor penting lainnya. Peralatan dengan kualitas rendah atau tanpa sertifikasi standar internasional seperti IEC atau SNI cenderung menghasilkan harmonisa lebih tinggi karena dirancang tanpa memperhatikan pengendalian distorsi. Misalnya, lampu LED murah sering kali tidak memiliki filter harmonisa bawaan, sehingga distorsi yang dihasilkan jauh lebih besar. Teknologi switching cepat pada alat rumah tangga modern, seperti oven induksi atau alat masak listrik otomatis, juga menjadi penyebab signifikan harmonisa, terutama karena gelombang switching yang dihasilkan tidak kompatibel dengan sistem kelistrikan yang ada.

Harmonisa juga dapat dipengaruhi oleh desain instalasi listrik rumah tangga. Misalnya, penghantar atau kabel yang kurang sesuai dengan beban, penempatan kapasitor yang tidak tepat, atau ketidaksesuaian rating komponen listrik dapat menciptakan kondisi resonansi yang memperkuat amplitudo harmonisa tertentu. Selain itu, sistem tanpa perlindungan harmonisa seperti filter pasif atau aktif cenderung lebih rentan terhadap efek harmonisa. Rumah tangga dengan banyak peralatan modern dan teknologi otomatis sering kali mengalami tingkat harmonisa yang lebih tinggi jika tidak ada manajemen daya yang memadai.

Keseluruhan, harmonisa dalam rumah tangga muncul dari kombinasi peralatan listrik yang tidak linier, gangguan jaringan, dan desain instalasi yang kurang optimal. Efeknya tidak hanya mengurangi efisiensi energi tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, peningkatan panas pada penghantar, serta risiko keselamatan yang lebih tinggi. Untuk mengurangi harmonisa, penting untuk menggunakan peralatan berkualitas baik, memastikan desain instalasi sesuai standar, dan mempertimbangkan penerapan filter harmonisa pasif atau aktif untuk menjaga kualitas daya listrik.

2.2.2 Dampak Harmonisa

Harmonisa dalam sistem kelistrikan rumah tangga dan industri memberikan dampak yang luas dan signifikan terhadap efisiensi, keandalan, dan keselamatan sistem listrik. Akibat dari harmonik yang terjadi adalah komponen-komponen peralatan dalam sistem akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan. Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonisa adalah panas lebih pada kawat netral, menimbulkan rugi-rugi pada sistem dan transformator serta dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus phase [12].

Arus harmonisa juga mengakibatkan konsumsi daya reaktif yang lebih besar, terutama pada sistem yang menggunakan beban induktif, sehingga berpotensi menambah biaya operasional. Selain itu, arus harmonisa yang berlebihan menyebabkan pemanasan berlebih pada komponen listrik seperti penghantar, motor listrik, generator, dan transformator, yang dapat mempersingkat masa pakai komponen tersebut dan meningkatkan risiko kerusakan dini. Kondisi ini juga memperburuk performa keseluruhan sistem kelistrikan, terutama pada instalasi yang tidak dirancang untuk menangani harmonisa.

Peralatan elektronik rumah tangga yang sensitif terhadap distorsi harmonisa, seperti komputer, perangkat audio, dan sistem komunikasi, sering kali mengalami gangguan atau kerusakan. Harmonisa menyebabkan ketidakstabilan catu daya, yang dapat mengganggu kinerja peralatan ini atau bahkan merusaknya. Motor listrik, baik yang digunakan dalam kulkas, mesin cuci, pendingin udara, maupun peralatan lainnya, juga terdampak signifikan oleh harmonisa. Gangguan ini berupa

peningkatan kebisingan, getaran, penurunan efisiensi, serta percepatan aus pada bantalan dan gulungan motor akibat medan magnet yang tidak stabil. Harmonisa juga berkontribusi pada kerusakan komponen motor, terutama pada motor dengan pengendali kecepatan variabel atau inverter, yang sangat bergantung pada gelombang tegangan yang stabil.

Dampak harmonisa juga terlihat pada penghantar netral, terutama dalam sistem tiga fasa. Harmonisa triplen (kelipatan tiga seperti harmonisa 3rd, 9th, dan seterusnya) memiliki sifat akumulatif yang dapat menyebabkan penghantar netral mengalami overload. Akumulasi ini tidak hanya meningkatkan suhu penghantar, tetapi juga meningkatkan risiko kebakaran listrik dan kerusakan serius pada instalasi. Harmonisa dapat mengganggu fungsi sistem proteksi listrik, seperti pemutus sirkuit dan relay, yang dirancang untuk bekerja pada gelombang sinusoidal murni. Distorsi harmonisa dapat menyebabkan perangkat proteksi gagal mendeteksi kondisi abnormal atau merespons secara tidak akurat, sehingga meningkatkan risiko kerusakan besar dalam sistem. Selain itu, resonansi yang disebabkan oleh interaksi harmonisa dengan induktansi dan kapasitansi sistem dapat memperbesar amplitudo arus atau tegangan harmonisa tertentu, yang dapat merusak kapasitor bank atau bahkan memicu kerusakan mekanis.

Harmonisa juga berdampak langsung pada kualitas tegangan sistem, menurunkan bentuk gelombang sinusoidal ideal yang diperlukan untuk menjaga stabilitas dan efisiensi sistem kelistrikan. Distorsi ini, yang diukur menggunakan parameter *Total Harmonic Distortion* (THD), berdampak buruk pada performa peralatan elektronik dan meningkatkan kemungkinan kegagalan komponen. Peralatan yang dirancang untuk bekerja pada tegangan sinusoidal, seperti alat ukur listrik (voltmeter, ammeter) dan sistem kontrol otomatis (inverter, PLC), menjadi kurang akurat atau bahkan tidak berfungsi dengan baik dalam kondisi harmonisa tinggi.

Dampak harmonisa juga dapat dirasakan dalam bentuk biaya operasional yang meningkat. Rugi-rugi daya tambahan yang dihasilkan harmonisa meningkatkan tagihan listrik, terutama pada sistem dengan tarif berbasis daya reaktif. Selain itu, frekuensi kerusakan yang lebih tinggi pada peralatan menyebabkan kebutuhan pemeliharaan lebih sering dan biaya penggantian yang

Batasan Distorsi Harmonisa Arus						
$V_n \leq 66 \text{ kV}$						
Isc/IL (A)	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 %
$66 \text{ kV} < V_n < 150 \text{ kV}$						

Isc/IL (A)	Orde Harmonisa Individu “h” Harmonisa Ganjil					THDi
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 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 %
Vn > 150 kV						
Isc/IL	Orde Harmonisa Individu “h” Harmonisa Ganjil					THDi
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 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 2.2 Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa

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

Keterangan :

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

Isc = Arus hubung singkat pada PCC.

IL = 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.

2.3. Filter Pasif Harmonisa

Filter pasif berfungsi untuk mengurangi harmonisa dalam sistem kelistrikan dengan memanfaatkan komponen pasif seperti induktor, kapasitor, dan resistor. Prinsip dasar kerja filter pasif adalah dengan menyaring frekuensi harmonisa tertentu dan membiarkan frekuensi dasar (misalnya 50 Hz atau 60 Hz) mengalir tanpa hambatan signifikan. Filter ini dirancang untuk menangkap harmonisa dengan menciptakan kondisi resonansi pada frekuensi tertentu. Ketika arus dengan frekuensi harmonisa tersebut melewati filter, induktor dan kapasitor yang disusun

secara seri atau paralel akan menciptakan impedansi rendah pada frekuensi harmonisa yang ditargetkan, sehingga arus harmonisa diarahkan untuk diserap oleh filter. Energi harmonisa yang diserap akan dilepaskan dalam bentuk panas pada resistor atau disalurkan ke komponen lainnya.

Induktor (L) dalam filter pasif berfungsi untuk menghambat arus harmonisa frekuensi tinggi, karena reaktansi induktifnya meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi. Dengan demikian, harmonisa yang berada pada frekuensi tinggi akan lebih banyak dialihkan ke filter dan mengurangi dampak negatifnya pada sistem kelistrikan. Di sisi lain, kapasitor (C) memiliki reaktansi yang rendah pada frekuensi harmonisa, sehingga memungkinkannya untuk menyerap dan mengarahkan harmonisa tersebut dengan efisien. Filter pasif ini juga membantu meningkatkan faktor daya dengan memanfaatkan kapasitor untuk mengurangi daya reaktif yang berlebihan dalam sistem, yang sering kali dihasilkan oleh beban induktif.

Selain itu, filter pasif dapat dirancang untuk menangani beberapa frekuensi harmonisa secara bersamaan, dengan menggunakan beberapa rangkaian resonansi yang memiliki frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Hal ini memungkinkan filter pasif untuk menangani berbagai harmonisa yang terdapat dalam sistem kelistrikan, meskipun dengan keterbatasan frekuensi harmonisa yang dapat diatasi dalam satu waktu. Filter pasif juga dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi, mulai dari sistem kelistrikan rumah tangga hingga industri besar, dengan tujuan untuk mengurangi distorsi harmonisa yang dapat mengganggu kinerja peralatan elektronik, motor listrik, dan transformator.

Keunggulan utama dari filter pasif adalah efisiensinya dalam menangani harmonisa pada frekuensi tertentu dengan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan filter aktif. Filter pasif juga lebih mudah diterapkan pada sistem kelistrikan yang sederhana dan tidak memerlukan sumber daya eksternal untuk operasionalnya. Namun, keterbatasan filter pasif terletak pada ketidakmampuannya untuk menyesuaikan diri dengan perubahan frekuensi harmonisa yang dapat muncul seiring dengan perubahan kondisi beban dalam sistem. Oleh karena itu, filter pasif lebih efektif pada kondisi sistem yang stabil dan memiliki harmonisa yang terprediksi dengan baik. Jika terjadi perubahan beban atau penambahan

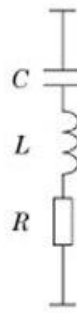
harmonisa di luar frekuensi desain filter, kinerjanya bisa menurun dan harmonisa yang lebih tinggi mungkin tetap muncul dalam sistem.

Meskipun demikian, filter pasif tetap menjadi solusi yang banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas daya pada sistem kelistrikan, terutama di lingkungan yang tidak memerlukan fleksibilitas tinggi. Dengan penggunaan filter pasif yang tepat, harmonisa dapat dikendalikan secara efektif, sehingga mengurangi potensi kerusakan pada peralatan listrik, meningkatkan efisiensi energi, serta memperpanjang umur komponen kelistrikan.

2.3.1 Jenis Filter Pasif

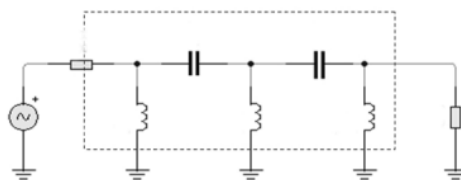
1. *Single-Tuned Filter*

Single tuned filter merupakan filter yang terdiri dari komponen induktor dan kapasitor yang di susun secara seri dan di pasang secara paralel pada beban [14]. Dirancang untuk menghilangkan satu frekuensi harmonisa tertentu dari sistem kelistrikan. Filter ini menggunakan kombinasi induktor dan kapasitor yang disusun sedemikian rupa untuk menciptakan resonansi pada frekuensi harmonisa yang ditargetkan. Ketika gelombang listrik dengan frekuensi harmonisa yang diinginkan masuk ke dalam filter, rangkaian resonansi akan memiliki impedansi rendah pada frekuensi tersebut, memungkinkan arus harmonisa untuk diserap dan diubah menjadi panas atau dilepaskan ke elemen lain dalam filter. Filter jenis ini sangat efektif ketika sistem kelistrikan memiliki harmonisa yang dominan pada satu frekuensi tertentu, seperti harmonisa ke-3 atau ke-5, yang sering ditemukan pada peralatan dengan motor listrik atau pengatur daya berbasis *switch-mode power supply* (SMPS). Meskipun efektif, kelemahan filter ini adalah ketidakmampuannya untuk menangani harmonisa lain yang berada di luar frekuensi yang disetel, sehingga filter ini hanya digunakan pada kondisi di mana harmonisa yang terjadi cukup spesifik. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat rangkaian *Single Tuned Filter* dimana kapasitor (C), induktor (L), dan resistor (R) dirangkai seri.

Gambar 2.2 Rangkaian *Single Tuned Filter*

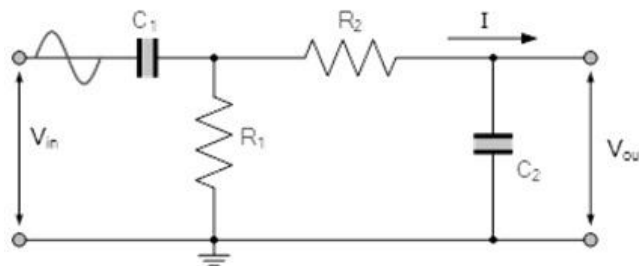
2. High-Pass Filter

High-pass filter adalah filter yang dirancang untuk memungkinkan melalui frekuensi tinggi dan mengurangi atau menghilangkan frekuensi rendah, termasuk harmonisa tingkat rendah dan frekuensi dasar. Filter ini dapat digunakan untuk mengurangi harmonisa tingkat tinggi, seperti harmonisa ke-7, ke-11, ke-13, dan seterusnya, yang sering kali muncul akibat penggunaan peralatan yang menggunakan pengatur kecepatan motor atau perangkat berbasis *switching* lainnya. Dalam desainnya, *high-pass filter* menggunakan kapasitor yang memiliki reaktansi rendah pada frekuensi tinggi, memungkinkan aliran harmonisa tinggi untuk melewati filter dengan sedikit hambatan. Sebaliknya, harmonisa pada frekuensi rendah, terutama yang berdekatan dengan frekuensi dasar, akan dihambat karena reaktansi kapasitif tinggi. Filter jenis ini berguna dalam mengatasi gangguan harmonisa yang muncul pada frekuensi lebih tinggi tanpa mempengaruhi sinyal daya utama pada frekuensi dasar. Untuk rangkaian band pass filter dibangun seperti pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3 Rangkaian *High-Pass Filter*

3. *Band-Pass Filter*

Band-pass filter adalah filter yang dirancang untuk memungkinkan melalui frekuensi dalam rentang tertentu, sekaligus menghilangkan frekuensi yang berada di luar rentang tersebut. Filter ini digunakan ketika harmonisa yang ingin dihilangkan berada dalam satu rentang frekuensi yang spesifik, atau ketika gangguan harmonisa terdiri dari beberapa frekuensi yang berdekatan. Dalam konfigurasi band-pass filter, baik induktor maupun kapasitor disusun untuk memiliki impedansi rendah pada rentang frekuensi target, memungkinkan frekuensi harmonisa dalam rentang tersebut untuk diteruskan, sementara harmonisa di luar rentang akan diblokir. Filter ini bermanfaat pada sistem yang menghasilkan beberapa harmonisa yang berdekatan dalam satu rentang frekuensi, seperti pada perangkat dengan teknologi switching yang menghasilkan berbagai frekuensi harmonisa dalam urutan tertentu. *Band-pass filter* efektif dalam menyaring harmonisa yang berada dalam rentang frekuensi yang diinginkan dan dapat digunakan untuk mengurangi gangguan atau distorsi yang disebabkan oleh beberapa harmonisa sekaligus. Untuk rangkaian band pass filter dibangun seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian *Band-Pass Filter*

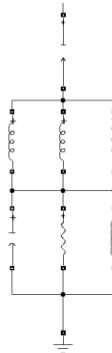
2.3.2 *Double-Tuned Filter*

Double-tuned filter merupakan salah satu jenis filter pasif yang dirancang khusus untuk mereduksi dua frekuensi harmonisa secara bersamaan. Filter ini adalah pengembangan dari *single-tuned filter*, yang hanya mampu menangani satu harmonisa pada suatu waktu. Filter harmonisa dipasang secara paralel dengan peralatan yang merupakan beban non linier dan sumber harmonisa [15]. Double-

tuned filter sering diaplikasikan pada sistem kelistrikan yang memerlukan pengendalian harmonisa pada dua frekuensi dominan, seperti harmonisa ke-5 dan ke-7, yang umumnya dihasilkan oleh beban non-linear, termasuk inverter atau perangkat berbasis catu daya elektronik.

Filter ini dibangun menggunakan kombinasi induktor (L), kapasitor (C), dan resistor (R) yang dirancang untuk menghasilkan dua frekuensi resonansi. Setiap frekuensi resonansi ditujukan untuk mengatasi harmonisa tertentu. Prinsip kerja filter ini memanfaatkan resonansi paralel untuk menciptakan jalur impedansi rendah pada kedua frekuensi tersebut. Dengan demikian, harmonisa yang sesuai dengan frekuensi target akan diarahkan melewati filter tanpa mengalir ke jaringan utama, sehingga distorsi harmonisa pada sistem dapat diminimalkan.

Filter ini memiliki beberapa kelemahan yaitu membutuhkan nilai kapasitor yang besar untuk mencapai performa yang sama seperti *single tuned filter* dan rugi – rugi daya tambahan pada resistor cukup besar [16]. *Double Tune Filter* dapat didesain dengan cara berikut :



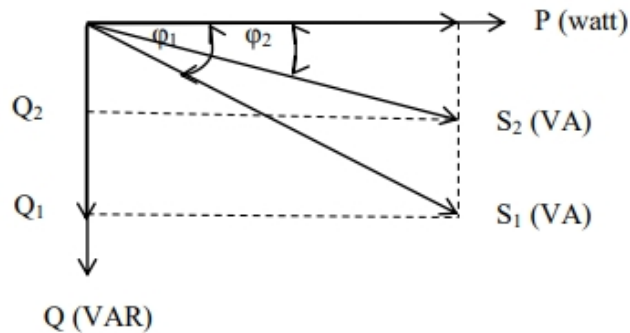
Gambar 2.5 Double-Tuned Filter

Dari Gambar 2.5 terlihat rangkaian *Filter Double-Tuned*. *Double-tuned filter* memiliki berbagai keunggulan signifikan dibandingkan dengan *single-tuned filter*, khususnya dalam pengelolaan harmonisa pada sistem kelistrikan secara efisien. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk mereduksi dua frekuensi harmonisa sekaligus, seperti harmonisa ke-5 dan ke-7, yang sering muncul akibat beban non-linear. Hal ini membuat *double-tuned filter* lebih efektif dibandingkan *single-tuned filter* yang hanya mampu menangani satu frekuensi harmonisa pada satu waktu. Di samping itu, penerapan *double-tuned filter* memungkinkan penghematan dalam hal ruang instalasi dan biaya, karena satu unit

filter ini dapat menggantikan dua *single-tuned filter*, sehingga kebutuhan material, ruang, dan biaya perawatan dapat diminimalkan.

Langkah-langkah merancang double-tuned filter adalah [17]:

1. Untuk menentukan kebutuhan daya reaktif dapat digambarkan dalam bentuk segitiga daya pada Gambar 2.6:



Gambar 2.6 Vektor segitiga daya untuk menentukan kebutuhan daya reaktif Q

Kebutuhan daya reaktif dapat dihitung dengan pemasangan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya beban. Komponen daya aktif (P) umumnya konstan, daya Semu (S) dan daya reaktif (Q) berubah sesuai dengan faktor daya beban.

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya Aktif (P)} \times \tan \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

Perhitungan Daya Reaktif (Q) dalam *software* MATLAB

P = [nilai daya aktif];

phi = [nilai sudut phi];

Q = P * tan(phi);

disp(Q);

Dengan merujuk vektor segitiga daya pada gambar 3.1 maka:

Daya reaktif pada PF awal yaitu:

$$Q_1 = P \times \tan \phi_1 \dots\dots\dots(2.2)$$

Perhitungan Daya Reaktif Q_1 dalam *software* MATLAB:

P = [nilai daya aktif];

phi1 = [nilai sudut phi1];

$$Q_1 = P * \tan(\phi_1);$$

disp(Q1);

Daya reaktif pada PF diperbaiki yaitu:

$$Q_2 = P \times \tan \phi_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Perhitungan Daya Reaktif Q_2 dalam *software* MATLAB:

P = [nilai daya aktif];

phi2 = [nilai sudut phi2];

$$Q_2 = P * \tan(\phi_2);$$

disp(Q2);

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya yaitu:

Daya reaktif:

$$\Delta Q = \Delta Q_1 - Q_2 \text{ atau}$$

$$\Delta Q = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \dots\dots\dots (2.4)$$

Perhitungan Perubahan Daya Reaktif (ΔQ) dalam *software* MATLAB:

P = [nilai daya aktif];

phi1 = [nilai sudut phi1];

phi2 = [nilai sudut phi2];

$$\Delta Q = P * (\tan(\phi_1) - \tan(\phi_2));$$

disp(Delta_Q);

Besar nilai yang didapat, selanjutnya menentukan nilai reaktansi kapasitif yang besarnya ditentukan berdasarkan Persamaan (2.6) dan besar nilai kapasitansi kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya pada Persamaan (2.7).

2. Menentukan ukuran kapasitas kapasitor Q_c berdasarkan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya. Daya reaktif kapasitor adalah:

$$Q_c = P \{ \tan (\cos^{-1} p f_1) - \tan (\cos^{-1} p f_2) \} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

P = beban (kW)

Pf_1 = faktor daya mula-mula sebelum diperbaiki

Pf_2 = faktor daya setelah diperbaiki

Berikut perhitungan Q_c dalam *software* MATLAB:

```

P = [nilai daya aktif];
pf1 = [nilai faktor daya awal];
pf2 = [nilai faktor daya akhir];
Qc = P * (tan(acos(pf1)) - tan(acos(pf2)));
disp(Qc);

```

3. Menentukan Reaktansi kapasitor

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \dots\dots\dots (2.6)$$

Perhitungan Reaktansi Kapasitif (Xc) dalam software MATLAB:

```

V = [nilai tegangan];
Qc = [nilai daya reaktif];

```

```

Xc = V^2 / Qc;
disp(Xc);

```

4. Menentukan kapasitansi dari kapasitor:

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_c} \dots\dots\dots (2.7)$$

Perhitungan Kapasitansi (C) dalam software MATLAB:

```

f0 = [nilai frekuensi];
Xc = [nilai reaktansi kapasitif];

```

```

C = 1 / (2 * pi * f0 * Xc);
disp(C);

```

5. Menentukan Reaktansi Induktif dari Induktor:

$$X_L = \frac{X_c}{h_n^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Perhitungan Induktansi (XL) dalam software MATLAB:

```

Xc = [nilai reaktansi kapasitif];
hn = [nilai h_n];

```

```

XL = Xc / (hn^2);
disp(XL);

```

6. Menentukan Induktansi dari Induktor:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_0} \dots\dots\dots (2.9)$$

Perhitungan Induktansi (L) dalam software MATLAB:

f_0 = [nilai frekuensi];

X_L = [nilai induktansi X_L];

$L = X_L / (2 * \pi * f_0)$;

disp(L);

7. Menentukan reaktansi karakteristik dari filter pada orde tuning:

$$X_n = h_n X_L \dots\dots\dots (2.10)$$

Perhitungan X_n dalam software MATLAB:

h_n = [nilai h_n];

X_L = [nilai induktansi X_L];

$X_n = h_n * X_L$;

disp(X_n);

8. Menentukan Tahanan (R) dari induktor:

$$R = \frac{X_n}{Q} \dots\dots\dots (2.11)$$

Perhitungan Resistansi (R) dalam software MATLAB:

X_n = [nilai X_n];

Q = [nilai daya reaktif Q];

$R = X_n / Q$;

disp(R);

Dari sisi desain, *double-tuned filter* dirancang lebih kompak dan sederhana, sehingga mempermudah integrasi ke dalam sistem yang memiliki keterbatasan ruang. Filter ini juga menunjukkan kinerja yang lebih stabil, terutama ketika digunakan dalam kondisi beban yang bervariasi, sehingga efektivitasnya dalam mereduksi harmonisa pada kedua frekuensi tetap terjaga. Selain itu, *double-tuned filter* menawarkan keunggulan dalam aspek pemeliharaan, karena hanya memerlukan satu unit untuk mengelola dua harmonisa sekaligus, sehingga waktu pemeliharaan dan biaya operasional dapat ditekan. Dengan berbagai keunggulan tersebut, *double-tuned filter* menjadi solusi yang lebih unggul dalam meningkatkan efisiensi energi, menjaga stabilitas kualitas daya, dan mengoptimalkan kinerja sistem kelistrikan dibandingkan *single-tuned filter*.

2.3.3 Penerapan Filter Pasif pada Sistem Rumah Tangga

Penerapan filter pasif pada sistem kelistrikan rumah tangga bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari harmonisa yang dihasilkan oleh berbagai perangkat listrik. Komponen utama untuk mereduksi harmonisa tersebut adalah kapasitor dan Induktor. Pemasangan komponen tersebut dapat dilakukan secara seri ataupun paralel. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh rating tegangan dan daya reaktif yang diinginkan. Sedangkan induktor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit Filter pasif [16]. Sistem kelistrikan rumah tangga sering kali menghadapi distorsi harmonisa akibat penggunaan peralatan elektronik dan listrik yang mengandung teknologi *switching*, seperti komputer, televisi, lampu hemat energi, dan peralatan berbasis motor listrik. Filter pasif dapat dipasang untuk mengurangi atau mengeliminasi harmonisa dalam sistem kelistrikan rumah tangga, dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas daya, mengurangi kerusakan pada peralatan, dan meningkatkan efisiensi energi. Berikut merupakan fungsi dari penerapan filter pasif pada sistem kelistrikan rumah tangga:

1. Mengurangi Gangguan Harmonisa

Filter pasif dapat dipasang pada sumber beban tertentu untuk menyaring frekuensi harmonisa yang dihasilkan oleh peralatan listrik rumah tangga. Sebagai contoh, perangkat seperti komputer atau televisi yang menggunakan catu daya *switch-mode power supply* (SMPS) cenderung menghasilkan harmonisa pada frekuensi tertentu. Filter pasif yang dirancang untuk menargetkan harmonisa tersebut akan menyerap dan mengurangi distorsi pada frekuensi harmonisa yang dihasilkan oleh peralatan ini, sehingga memperbaiki kualitas daya yang masuk ke dalam sistem kelistrikan rumah tangga.

2. Peningkatan Kualitas Daya

Dengan mengurangi harmonisa, filter pasif membantu meningkatkan kualitas daya listrik dalam rumah tangga. Harmonisa yang tidak teratasi dapat menyebabkan gangguan pada peralatan elektronik, motor listrik, dan sistem kelistrikan secara keseluruhan. Misalnya, motor yang digunakan pada peralatan rumah tangga seperti kulkas atau AC dapat terpengaruh oleh distorsi harmonisa, yang berpotensi

menurunkan efisiensi dan umur operasionalnya. Filter pasif membantu mengurangi dampak harmonisa pada motor, memastikan kinerja yang lebih stabil dan efisien.

3. Pengurangan Kerusakan pada Peralatan Listrik

Harmonisa yang tidak terkendali dapat menyebabkan peningkatan suhu pada penghantar listrik, komponen elektronik, dan motor listrik, yang pada gilirannya dapat mempercepat kerusakan peralatan. Filter pasif, dengan menyaring harmonisa yang berpotensi merusak, dapat mencegah terjadinya lonjakan arus yang dapat membahayakan peralatan listrik di rumah tangga. Dengan mengurangi distorsi harmonisa, filter pasif juga berfungsi untuk memperpanjang umur peralatan listrik rumah tangga.

4. Penghematan Energi

Penerapan filter pasif dalam rumah tangga tidak hanya meningkatkan kualitas daya tetapi juga dapat membantu mengurangi pemborosan energi. Harmonisa yang mengganggu dapat mengurangi efisiensi sistem kelistrikan dengan menciptakan daya reaktif berlebih, yang tidak dapat digunakan untuk melakukan kerja produktif. Filter pasif membantu mengurangi daya reaktif dan memastikan bahwa sebagian besar energi yang dikonsumsi digunakan untuk menghasilkan kerja yang berguna, seperti menjalankan perangkat listrik.

5. Penerapan pada Panel Listrik atau Sumber Utama

Filter pasif dapat dipasang pada panel listrik utama rumah tangga atau pada peralatan yang menghasilkan harmonisa tinggi, seperti motor atau peralatan dengan teknologi switching. Dengan demikian, sistem kelistrikan rumah tangga secara keseluruhan dapat terhindar dari dampak harmonisa tanpa memerlukan pemasangan filter pada setiap peralatan individual. Pemasangan filter pada panel utama memungkinkan filter untuk mengatasi harmonisa yang disebabkan oleh beberapa peralatan sekaligus, meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan rumah tangga secara keseluruhan.

6. Penggunaan Filter Sesuai Jenis Harmonis

Filter pasif yang dipilih dan diterapkan pada sistem rumah tangga harus disesuaikan dengan jenis harmonisa yang dominan dihasilkan oleh peralatan tertentu. Sebagai contoh, filter pasif single-tuned dapat digunakan untuk menyaring harmonisa tertentu seperti harmonisa ke-3 atau ke-5, sementara filter high-pass atau band-pass

dapat digunakan untuk menangani harmonisa pada frekuensi yang lebih tinggi. Pemilihan filter yang tepat membantu mengoptimalkan pengurangan harmonisa, menjamin bahwa hanya harmonisa yang relevan yang disaring, sementara daya utama tetap berjalan lancar.

7. Meningkatkan Faktor Daya

Penggunaan filter pasif dapat membantu meningkatkan faktor daya di rumah tangga, yang sering kali terganggu oleh daya reaktif yang disebabkan oleh harmonisa. Dengan mengurangi harmonisa, filter pasif meningkatkan komponen daya aktif, yang berarti lebih banyak energi yang digunakan untuk pekerjaan yang berguna, dan lebih sedikit yang terbuang sebagai daya reaktif. Ini berkontribusi pada pengurangan tagihan listrik dan peningkatan efisiensi keseluruhan dari sistem kelistrikan rumah tangga.

2.4. Sistem Step pada Pengelolaan Beban Listrik

Sistem step dapat didefinisikan sebagai pendekatan bertahap dalam pengelolaan atau pengurangan harmonisa pada sistem kelistrikan. Sistem ini melibatkan penggunaan beberapa filter pasif yang disusun secara berurutan atau bertahap untuk menangani harmonisa pada berbagai frekuensi yang berbeda. Setiap filter dalam sistem ini memiliki fungsi spesifik untuk menargetkan harmonisa pada frekuensi tertentu, sehingga memaksimalkan efisiensi dalam mengurangi gangguan harmonisa yang dapat merusak kualitas daya listrik.

Sistem step dalam hal ini merujuk pada langkah-langkah bertahap dalam penggunaan filter pasif yang dirancang untuk menyaring harmonisa secara selektif dan lebih terstruktur, sesuai dengan jenis harmonisa yang ada. Dengan cara ini, filter pasif yang dipilih dapat menangani frekuensi harmonisa spesifik, seperti harmonisa 3rd, 5th, atau harmonisa tingkat tinggi lainnya, secara efektif tanpa mengganggu kualitas daya listrik utama.

Pendekatan sistem step bertujuan untuk meningkatkan kualitas daya listrik di rumah tangga dengan mengurangi atau menghilangkan distorsi harmonisa, menjaga kestabilan tegangan dan arus, serta meningkatkan efisiensi operasional peralatan rumah tangga yang sensitif terhadap gangguan harmonisa.

2.4.1. Fungsi dan Keunggulan Sistem Step

Sistem step dengan filter pasif harmonisa memiliki fungsi utama untuk mengurangi atau menghilangkan harmonisa yang timbul akibat penggunaan peralatan listrik non-linear di rumah tangga, seperti perangkat dengan teknologi *switching*. Sistem ini bekerja dengan menyaring harmonisa pada frekuensi tertentu, yang dihasilkan oleh peralatan seperti komputer, televisi, dan lampu LED. Dengan menggunakan beberapa filter pasif yang disusun secara bertahap, sistem step mampu meningkatkan kualitas daya listrik yang diterima oleh peralatan rumah tangga, mengurangi distorsi arus dan tegangan, serta melindungi peralatan listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh harmonisa. Selain itu, penerapan sistem step dapat meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi pemborosan daya reaktif, yang pada gilirannya mengoptimalkan penggunaan daya aktif dalam sistem kelistrikan rumah tangga.

Keunggulan utama dari sistem step ini adalah kemampuannya untuk menyaring harmonisa secara efisien pada berbagai frekuensi, dengan pendekatan bertahap yang memungkinkan filter pasif menangani harmonisa dengan lebih tepat. Sistem ini juga sangat fleksibel karena filter yang digunakan dapat disesuaikan dengan karakteristik harmonisa yang ada di setiap rumah tangga, seperti filter single-tuned, high-pass, atau band-pass. Selain itu, penggunaan filter pasif ini dapat mengurangi biaya pemeliharaan, karena peralatan listrik akan lebih terhindar dari kerusakan dan memiliki umur yang lebih panjang. Sistem ini juga membantu meningkatkan faktor daya, mengurangi pemborosan energi, dan meningkatkan keandalan sistem kelistrikan rumah tangga secara keseluruhan. Dengan instalasi yang relatif mudah dan pemeliharaan minimal, sistem step dengan filter pasif harmonisa menawarkan solusi yang efisien dan praktis untuk menjaga kualitas daya dan efisiensi energi dalam sistem kelistrikan rumah tangga.

2.4.2. Implementasi Sistem Step pada Rumah Tangga

Implementasi sistem step dengan filter pasif harmonisa dalam sistem kelistrikan rumah tangga merupakan langkah strategis yang bertujuan untuk mengurangi distorsi harmonisa yang dapat mempengaruhi kualitas daya listrik. Proses implementasi ini melibatkan beberapa tahapan teknis yang dirancang untuk secara

efektif menyaring harmonisa pada berbagai frekuensi, menggunakan filter pasif yang disusun secara berurutan sesuai dengan jenis harmonisa yang terdeteksi. Tahapan implementasi tersebut antara lain:

1. **Identifikasi dan Analisis Harmonis:** Langkah pertama dalam implementasi sistem step adalah melakukan analisis menyeluruh terhadap kualitas daya listrik yang ada di rumah tangga. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi frekuensi harmonisa yang terdapat dalam sistem kelistrikan. Pengukuran kualitas daya dilakukan menggunakan alat seperti *Power Quality Analyzer*, yang mampu mendeteksi dan menganalisis distorsi harmonisa dalam bentuk gelombang arus dan tegangan. Hasil analisis ini akan memberikan gambaran tentang harmonisa mana yang dominan dan perlu ditangani, sehingga dapat dipilih solusi filter yang tepat.
2. **Seleksi dan Penyusunan Filter Pasif:** Setelah identifikasi harmonisa dilakukan, langkah berikutnya adalah pemilihan jenis filter pasif yang tepat untuk masing-masing frekuensi harmonisa. Filter pasif yang umum digunakan dalam sistem step mencakup filter *single-tuned* untuk mengatasi harmonisa pada frekuensi tertentu (seperti harmonisa ke-3 atau ke-5), filter *high-pass* untuk mengurangi harmonisa tingkat tinggi, serta filter *band-pass* untuk menyaring harmonisa dalam rentang frekuensi yang lebih spesifik. Filter-filter ini akan dipasang secara bertahap, dengan mempertimbangkan frekuensi harmonisa yang perlu disaring, sehingga dapat meminimalkan gangguan pada sistem kelistrikan rumah tangga.
3. **Penempatan Filter dan Instalasi Sistem:** Pemasangan filter pasif harmonisa dilakukan pada titik yang strategis dalam sistem kelistrikan rumah tangga. Filter dapat dipasang pada panel distribusi utama atau pada peralatan yang menghasilkan harmonisa, seperti perangkat dengan teknologi *switching* (misalnya, komputer atau inverter). Penempatan filter pada lokasi yang tepat sangat krusial untuk memastikan efektivitasnya dalam mengurangi atau menghilangkan harmonisa, serta untuk meminimalkan gangguan yang ditimbulkan pada peralatan lain dalam sistem. Pengaturan instalasi harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti impedansi, kapasitas beban, serta karakteristik sistem kelistrikan yang ada.
4. **Pemilihan dan Penyesuaian Kapasitas Komponen Filter:** Pemilihan kapasitas filter yang sesuai dengan beban dan jenis harmonisa yang ada juga merupakan bagian penting dari implementasi sistem step. Setiap filter pasif harus dirancang untuk

bekerja pada frekuensi harmonisa tertentu, dengan mempertimbangkan karakteristik impedansi dari beban listrik rumah tangga. Komponen filter seperti kapasitor, induktor, dan resistor harus dipilih berdasarkan nilai yang sesuai untuk frekuensi harmonisa yang ingin disaring. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa filter dapat bekerja dengan efisien dan efektif dalam mengurangi distorsi harmonisa.

5. **Monitoring dan Pemeliharaan Sistem:** Setelah filter dipasang, sistem step dengan filter pasif harmonisa perlu dipantau secara berkala untuk memastikan efektivitasnya dalam mengurangi harmonisa dan menjaga kualitas daya. Pemeliharaan berkala diperlukan untuk memastikan bahwa filter tetap berfungsi dengan baik. Kegiatan pemeliharaan meliputi pemeriksaan kondisi fisik komponen filter, pembersihan dari debu atau kotoran, pemeriksaan koneksi listrik, serta penggantian komponen yang sudah usang atau rusak. Pemantauan juga penting untuk mengevaluasi perubahan frekuensi harmonisa yang mungkin timbul akibat peralatan baru atau perubahan beban listrik.
6. **Evaluasi dan Penyesuaian Sistem Secara Berkala:** Evaluasi terhadap kinerja sistem step perlu dilakukan secara rutin untuk menilai efektivitas filter dalam menyaring harmonisa. Hal ini penting untuk memastikan bahwa sistem tetap bekerja secara optimal meskipun ada perubahan dalam karakteristik beban atau jenis peralatan yang digunakan. Jika ditemukan adanya harmonisa baru yang lebih dominan, filter yang ada dapat disesuaikan atau ditambahkan untuk memastikan pengelolaan harmonisa yang lebih baik. Penyesuaian ini bertujuan untuk memastikan kualitas daya tetap terjaga, serta untuk meminimalkan gangguan yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan rumah tangga.

Secara keseluruhan, implementasi sistem step dengan filter pasif harmonisa dalam rumah tangga memberikan solusi yang efektif dalam mengelola harmonisa, meningkatkan kualitas daya listrik, serta melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat distorsi harmonisa. Dengan pendekatan yang sistematis, pemilihan filter yang tepat, serta pemeliharaan dan evaluasi berkala, sistem ini dapat memberikan manfaat jangka panjang dalam meningkatkan efisiensi energi dan keandalan sistem kelistrikan rumah tangga.

2.5. Indikator Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya merujuk pada sejauh mana sistem tenaga listrik mampu menyediakan pasokan energi yang stabil, andal, dan sesuai dengan parameter teknis yang diperlukan oleh peralatan listrik yang terhubung. Parameter utama yang mencakup kualitas daya meliputi tegangan, frekuensi, bentuk gelombang, dan kontinuitas suplai daya. Dalam sistem kelistrikan, kualitas daya yang baik menjadi faktor krusial untuk memastikan efisiensi operasional, umur panjang peralatan, dan keamanan sistem secara keseluruhan.

Kualitas daya listrik menjadi sangat penting untuk diperhatikan, ketika semakin sensitifnya suatu peralatan baik di industri maupun di rumah tangga, kualitas daya listrik menjadi suatu hal yang perlu diperhatikan. Hal ini untuk mengurangi kemungkinan kerusakan-kerusakan peralatan sensitif tersebut [18].

Kualitas daya dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk distorsi harmonisa, fluktuasi tegangan, ketidakseimbangan beban, dan gangguan pasokan listrik seperti lonjakan tegangan, penurunan tegangan, pemadaman mendadak, dan flicker. Misalnya, harmonisa yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada peralatan listrik, kerugian daya tambahan, serta gangguan pada pengoperasian perangkat elektronik sensitif. Fluktuasi tegangan dan frekuensi yang tidak sesuai standar juga dapat menurunkan kinerja peralatan atau bahkan merusaknya.

Pengelolaan kualitas daya melibatkan pengendalian parameter-parameter ini agar tetap berada dalam batas yang dapat diterima. Langkah-langkah seperti pemasangan filter harmonisa (baik pasif maupun aktif), penggunaan perangkat pengatur tegangan otomatis (AVR), penyeimbangan beban, dan penerapan standar instalasi listrik yang baik dapat membantu menjaga kualitas daya.

Kualitas daya yang baik memiliki banyak manfaat, termasuk peningkatan efisiensi energi, pengurangan kerugian daya, perpanjangan umur peralatan, dan pengoperasian sistem yang lebih andal. Sebaliknya, kualitas daya yang buruk dapat menyebabkan penurunan produktivitas, peningkatan biaya pemeliharaan, serta kerugian ekonomi akibat gangguan operasional. Oleh karena itu, menjaga kualitas daya menjadi perhatian utama dalam desain, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem kelistrikan, terutama dalam lingkungan dengan beban non-linear dan perangkat elektronik yang semakin kompleks.

2.5.1. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah parameter yang digunakan untuk menggambarkan sejauh mana bentuk gelombang listrik (tegangan atau arus) menyimpang dari bentuk sinusoidal ideal akibat adanya harmonisa. THD mengukur tingkat distorsi dengan membandingkan total energi atau amplitudo harmonisa yang terdapat dalam gelombang terhadap energi atau amplitudo frekuensi dasar.

Secara praktis, THD digunakan untuk menilai kualitas daya listrik dalam berbagai aplikasi, termasuk rumah tangga, industri, dan pembangkit tenaga listrik. Berdasarkan kesepakatan yang disepakati dunia internasional, THD yang diterima adalah apabila bernilai dibawah 5% dari tegangan atau arus fundamentalnya. Apabila diatas batas tersebut maka alat elektronik tersebut tidak boleh digunakan.

THD menggambarkan seberapa besar komponen harmonisa yang terdapat dalam sinyal arus atau tegangan jika dibandingkan dengan komponen frekuensi dasar. THD (*Total Harmonic Distortion*) dapat dihitung dengan rumus:

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana :

V_1 = tegangan pada frekuensi dasar (misalnya 50Hz)

$V_2, V_3, \dots V_n$ = tegangan pada harmonisa ke-2, ke-3, dan seterusnya.

Nilai THD yang rendah menunjukkan bahwa sistem kelistrikan memiliki kualitas daya yang baik dan bentuk gelombangnya mendekati sinusoidal. Sebaliknya, nilai THD yang tinggi menunjukkan adanya distorsi signifikan dalam bentuk gelombang, yang dapat menyebabkan berbagai masalah pada sistem kelistrikan, seperti peningkatan panas, kerusakan perangkat, serta efisiensi daya yang menurun.

2.5.2. Faktor Daya (*Power Factor*)

Kualitas daya dalam sistem tenaga merupakan hal yang sangat penting untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas sistem tenaga listrik. Diantara permasalahan kualitas daya adalah penurunan nilai faktor daya yang menyebabkan konsumsi daya

menjadi berlebih. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan daya listrik maka kita harus meminimalkan keberadaan daya reaktif.[19]

Faktor daya adalah ukuran efisiensi penggunaan daya listrik dalam suatu sistem. Secara teknis, faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif (*real power*) dengan daya semu (*apparent power*) dalam suatu sirkuit listrik. Daya aktif adalah daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja, seperti menggerakkan motor atau menyuplai energi ke perangkat elektronik, sementara daya semu adalah gabungan dari daya aktif dan daya reaktif (*reactive power*), yang dihasilkan oleh komponen induktif atau kapasitif dalam sistem.

Rumus faktor daya adalah :

$$PF = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana:

PF = Faktor daya (*power factor*)

P = Daya aktif (Watt)

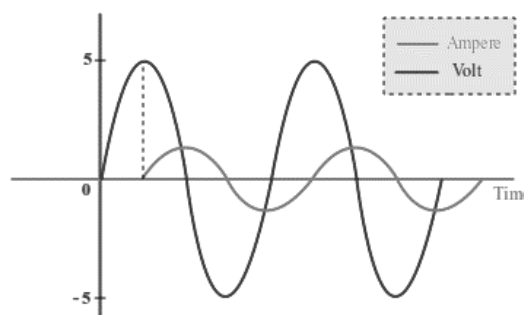
S = Daya semu (Volt-Ampere)

Faktor daya dinyatakan dalam nilai antara 0 hingga 1 atau dalam bentuk persen. Nilai faktor daya yang mendekati 1 menunjukkan bahwa sistem menggunakan daya listrik dengan efisien.

Jenis-Jenis Faktor Daya

1. Faktor Daya *Lagging* (Tertinggal):

Terjadi ketika beban bersifat induktif, seperti motor listrik, transformator, atau ballast pada lampu. Pada kondisi ini, arus tertinggal dari tegangan. Faktor daya lagging sering ditemukan dalam sistem industri atau rumah tangga yang memiliki banyak perangkat dengan beban induktif.

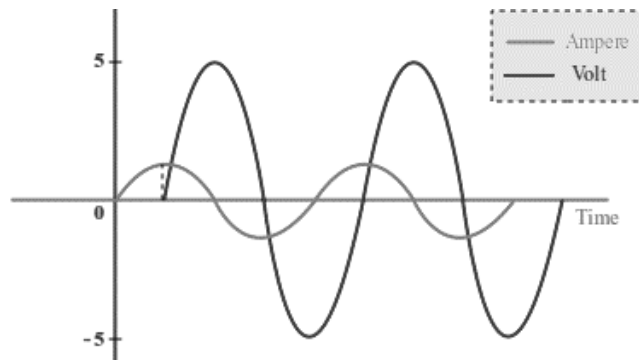


Gambar 2.6 Gelombang Faktor Daya *Lagging* (tertinggal)

Pada Gambar 2.6 menampilkan gelombang Faktor Daya *Lagging* (tertinggal) dimana arus tertinggal dari tegangan. Ini diakibatkan oleh beban rangkaian yang bersifat induktif.

2. Faktor Daya *Leading* (Mendahului):

Terjadi ketika beban bersifat kapasitif, seperti kapasitor bank atau beberapa perangkat elektronik. Pada kondisi ini, arus mendahului tegangan. Faktor daya leading biasanya jarang terjadi di sistem rumah tangga.

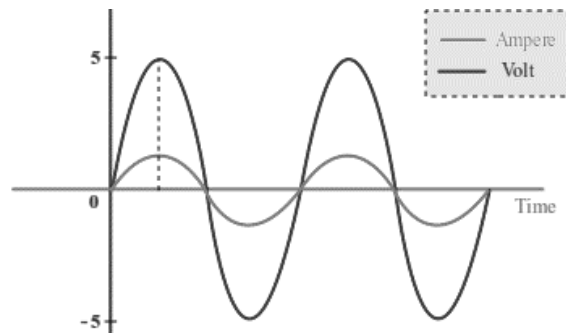


Gambar 2.7 Gelombang Faktor Daya *Leading* (Mendahului)

Pada Gambar 2.7 menampilkan gelombang Faktor Daya *Leading* (mendahului) dimana arus mendahului tegangan. Ini diakibatkan oleh beban rangkaian yang bersifat kapasitif.

3. Faktor Daya *Unity* (1 atau Mendekati 1):

Terjadi ketika beban bersifat resistif murni, seperti pemanas listrik atau lampu pijar. Pada kondisi ini, tidak ada daya reaktif, sehingga seluruh daya semu digunakan untuk menghasilkan daya aktif.



Gambar 2.8 Gelombang Faktor Daya *Unity*

Pada Gambar 2.8 menampilkan gelombang Faktor Daya *Unity* dimana arus dan tegangan memiliki fase yang sama. Ini diakibatkan oleh beban rangkaian yang bersifat resistif.

Faktor daya merupakan indikator penting dalam efisiensi penggunaan daya listrik. Sistem dengan faktor daya tinggi menunjukkan bahwa daya listrik digunakan secara optimal untuk melakukan kerja, sementara faktor daya rendah menunjukkan adanya pemborosan energi akibat daya reaktif yang besar. Upaya meningkatkan faktor daya, seperti penggunaan kapasitor bank atau filter harmonis, tidak hanya membantu mengurangi rugi-rugi energi dan biaya listrik tetapi juga meningkatkan keandalan dan kapasitas sistem kelistrikan secara keseluruhan.

2.5.3 Resonansi dalam Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik, fenomena resonansi merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam analisis harmonisa. Resonansi merupakan frekuensi tinggi yang terjadi dalam suatu rangkaian yang mengandung unsur induktif dan kapasitif, yang menyebabkan reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif saling menghilangkan, sehingga didapat karakteristik rangkaian sebagai resistor murni [20].

Resonansi terjadi ketika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif dalam suatu rangkaian saling meniadakan pada frekuensi tertentu, yang menyebabkan impedansi rangkaian menjadi sangat rendah (pada resonansi seri) atau sangat tinggi (pada resonansi paralel). Dalam konteks harmonisa, resonansi menjadi berbahaya ketika frekuensi harmonisa sistem yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar 50 Hz atau 60 Hz bertepatan atau mendekati frekuensi resonansi sistem. Misalnya, frekuensi harmonisa ke-3, ke-5, dan ke-7 masing-masing bernilai 150 Hz, 250 Hz, dan 350 Hz. Jika salah satu dari frekuensi tersebut berada dekat dengan frekuensi resonansi dari kombinasi induktansi dan kapasitansi dalam sistem, maka resonansi harmonik dapat terjadi.

Akibatnya, terjadi peningkatan tajam pada arus atau tegangan harmonisa, yang dapat menimbulkan distorsi berat, overcurrent, serta risiko kerusakan peralatan seperti trafo, kapasitor, dan filter itu sendiri.

Oleh karena itu, penting untuk merancang filter harmonisa yang mampu menghindari kondisi resonansi ini. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah pengaturan nilai induktansi (L) dan Resistansi (R) dalam filter pasif agar frekuensi resonansinya tidak berada di sekitar frekuensi harmonisa dominan.

2.5.4. Stabilitas Tegangan dan Arus

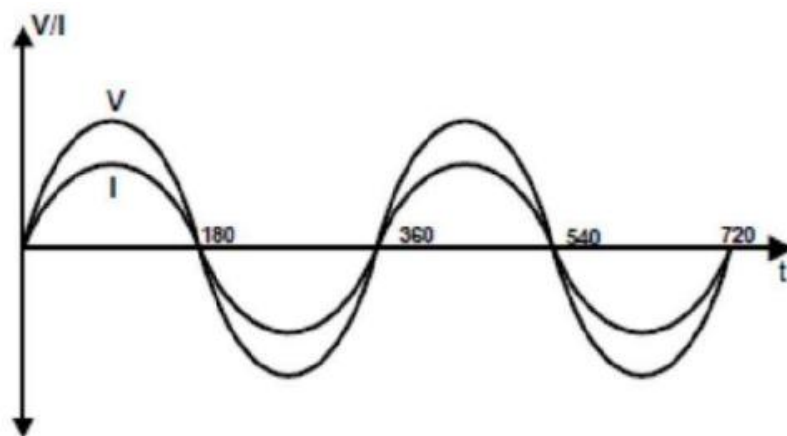
Stabilitas tegangan dan arus merupakan indikator kunci dalam menjaga kualitas daya listrik pada suatu sistem kelistrikan. Stabilitas tegangan ialah kemampuan dari sistem untuk menjaga nilai tegangan pada batas yang ditentukan baik sebelum, selama dan setelah terjadi gangguan [21]. Stabilitas tegangan mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan dalam batas toleransi yang diizinkan, meskipun terjadi perubahan beban, gangguan, atau fluktuasi kondisi operasi. Tegangan yang stabil sangat penting untuk memastikan perangkat listrik berfungsi secara optimal tanpa risiko kerusakan akibat lonjakan tegangan (*overvoltage*) atau penurunan tegangan (*undervoltage*). Ketidakstabilan tegangan sering kali disebabkan oleh perubahan mendadak pada beban, gangguan sistem seperti pemadaman sebagian, resistansi penghantar yang tinggi, atau ketidakseimbangan beban dalam sistem tiga fasa. Ketidakstabilan ini dapat menurunkan efisiensi sistem, merusak perangkat elektronik, dan menyebabkan ketidaknyamanan operasional.

Di sisi lain, stabilitas arus mengacu pada kemampuan sistem untuk menjaga aliran arus yang konsisten tanpa fluktuasi signifikan yang dapat memengaruhi performa perangkat listrik. Ketidakstabilan arus sering kali dipicu oleh gangguan harmonisa yang dihasilkan oleh beban non-linear, seperti inverter atau perangkat elektronik modern, lonjakan arus akibat penggunaan perangkat dengan daya tinggi, atau gangguan transien dari *switching* dan faktor eksternal. Ketidakstabilan ini dapat mengakibatkan *overheating* pada penghantar, kerusakan isolasi, serta gangguan operasional pada motor listrik dan perangkat elektronik lainnya.

Untuk mengatasi ketidakstabilan tegangan dan arus, berbagai strategi dapat diterapkan, seperti penggunaan stabilizer tegangan untuk mengelola fluktuasi, pemasangan filter harmonisa untuk mengurangi distorsi gelombang, manajemen beban untuk mencegah lonjakan daya, dan pemasangan kapasitor bank untuk

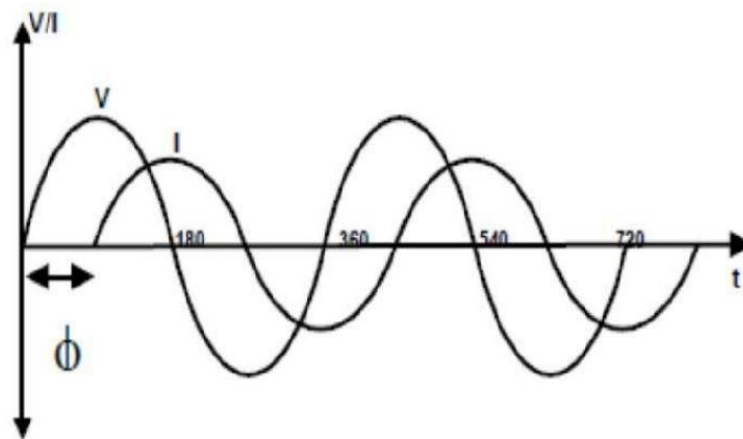
mengimbangi daya reaktif. Selain itu, desain sistem yang tepat, penggunaan perangkat berkualitas tinggi, dan pemantauan berkala juga menjadi langkah penting dalam memastikan stabilitas sistem. Dengan demikian, menjaga stabilitas tegangan dan arus tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kelistrikan, tetapi juga melindungi perangkat dari risiko kerusakan dan memperpanjang umur operasionalnya.

Dalam sebuah sumber arus bolak-balik, bila beban diaplikasikan bersifat resistif murni, maka gelombang tegangan dan arus adalah sephasa seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9 [22].



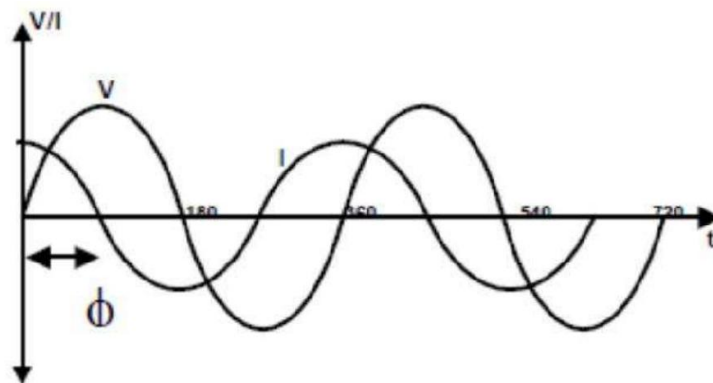
Gambar 2.9 Gelombang beban resistif

Beban yang bersifat induktif atau kapasitif dapat menggeser titik persilangan nol antara tegangan dan arus. Bila bebannya merupakan beban induktif persilangan nol gelombang arus muncul beberapa saat setelah persilangan nol gelombang tegangan muncul. Hal ini biasa dikatakan sebagai arus tertinggal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Gelombang beban induktif

Sebaliknya untuk arus beban yang bersifat kapasitif, persilangan nol gelombang arus akan muncul beberapa saat sebelum persilangan nol gelombang tegangan. Hal ini biasa dikatakan sebagai arus mendahului seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Gelombang beban kapasitif

2.6. Pengaruh Kombinasi Filter Pasif dan Sistem Step terhadap Kualitas

Daya

Prinsip kombinasi filter pasif dan sistem step dalam pengelolaan harmonisa bertujuan untuk memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam menangani distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan. Pendekatan ini memadukan kemampuan filter pasif untuk menyaring harmonisa pada frekuensi tertentu dengan pengaturan bertahap dari sistem step yang disesuaikan dengan kebutuhan beban listrik. Filter pasif, seperti *single-tuned*, *high-pass*, atau *band-pass*, dirancang untuk menangani frekuensi harmonisa spesifik, sementara sistem step memungkinkan pengoperasian filter secara dinamis, bergantung pada tingkat distorsi harmonisa yang terjadi.

Langkah awal dalam implementasi adalah identifikasi harmonisa menggunakan perangkat analisis kualitas daya, sehingga jenis harmonisa yang dominan dapat ditentukan. Berdasarkan data tersebut, filter yang sesuai dipasang pada lokasi strategis dalam sistem kelistrikan untuk memastikan efisiensi penyaringan yang maksimal.

Pengoperasian sistem step secara bertahap memberikan fleksibilitas dalam menangani variasi beban listrik. Filter diaktifkan atau dinonaktifkan sesuai dengan tingkat harmonisa yang terdeteksi, sehingga hanya filter yang benar-benar dibutuhkan yang akan bekerja. Hal ini tidak hanya mengurangi pemborosan energi tetapi juga memperpanjang umur komponen filter. Selain itu, kombinasi ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dan faktor daya dengan mengurangi arus harmonisa yang merusak, yang pada akhirnya menurunkan konsumsi daya reaktif. Salah satu keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk mengelola resonansi. Resonansi, yang dapat terjadi ketika impedansi jaringan cocok dengan frekuensi harmonisa tertentu, dapat dicegah dengan pengaturan urutan dan kapasitas filter melalui sistem step. Hal ini menjaga stabilitas sistem meskipun terjadi perubahan pada beban listrik atau karakteristik jaringan.

Selain memberikan pengelolaan harmonisa yang lebih baik, sistem ini juga dirancang untuk meningkatkan kualitas daya secara keseluruhan. Dengan meminimalkan harmonisa, tegangan dan arus pada sistem kelistrikan menjadi lebih stabil, mengurangi risiko panas berlebih, dan meningkatkan umur peralatan listrik. Teknologi ini juga sangat adaptif terhadap perubahan beban dan pola penggunaan listrik, menjadikannya solusi yang ideal untuk sistem kelistrikan modern yang sering mengalami variasi penggunaan. Pada rumah tangga, sistem step dengan filter pasif dapat diterapkan untuk mengatasi harmonisa yang dihasilkan oleh peralatan dengan teknologi switching, inverter, atau motor listrik yang digunakan secara intensif. Dengan kombinasi ini, dampak negatif harmonisa, seperti peningkatan panas penghantar, gangguan operasional peralatan, dan kerusakan komponen listrik, dapat diminimalkan secara signifikan.

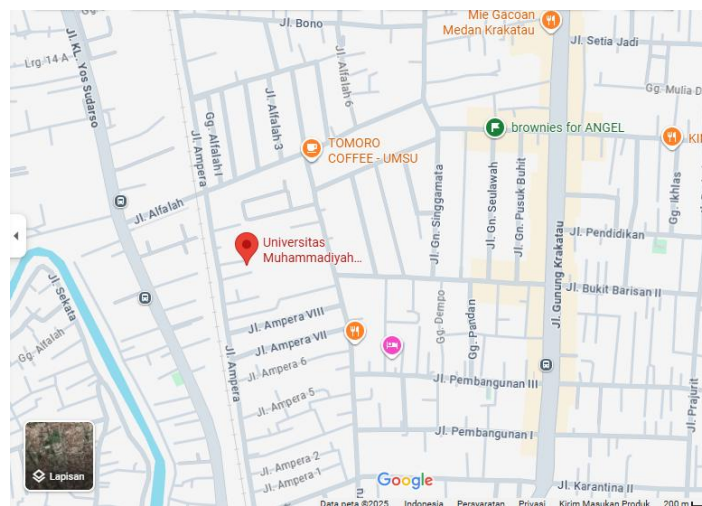
Lebih jauh, sistem ini memberikan manfaat tambahan berupa pengurangan gangguan elektromagnetik (EMI) yang sering terjadi akibat harmonisa tingkat tinggi. Dengan filter yang dirancang untuk bekerja pada rentang frekuensi tertentu,

gangguan yang memengaruhi perangkat elektronik sensitif dapat diminimalkan. Sistem step juga memberikan skalabilitas, memungkinkan penambahan atau penyesuaian filter jika terdapat perubahan kebutuhan daya di masa mendatang. Secara keseluruhan, kombinasi filter pasif dan sistem step tidak hanya memberikan solusi teknis dalam pengelolaan harmonisa tetapi juga menawarkan manfaat ekonomi, seperti penghematan biaya energi dan pengurangan risiko kerusakan pada peralatan listrik. Dengan pendekatan ini, rumah tangga dan sistem kelistrikan skala kecil dapat mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi, stabilitas daya yang lebih baik, dan keandalan operasional yang lebih optimal.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang ada di Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238. Adapun waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dari mulai 01 Desember 2024 sampai 10 Januari 2025.



Gambar 3.1 Peta lokasi tempat penelitian



Gambar 3.2 Tempat penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan pengamatan dan pengambilan data sebagai berikut :

1. *Transformer Power Analyzer* seri HTBS-IV
2. *Harmonic Analyzer*
3. Tang Ampere
4. Digital Multimeter
5. Laptop
6. *Software* Analisis Data (MATLAB)
7. Sumber Daya Listrik Rumah Tangga (lampu LED, TV, komputer, kulkas, AC, dll.)
8. Kabel dan Penghantar
9. Adaptor dan Terminal
10. Label dan Dokumentasi

3.3 Tahap Penelitian

1. Studi Literatur
Mengumpulkan referensi dari buku, jurnal, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian dan memahami teori dasar yang mendukung penelitian.
2. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Menentukan masalah yang diteliti dan merumuskan tujuan penelitian serta manfaatnya.
3. Perancangan Penelitian
Menentukan metode penelitian yang digunakan, menyusun kerangka pemikiran dan hipotesis serta merancang sistem atau alat yang akan diteliti.
4. Pengumpulan Data / Eksperimen
Melakukan percobaan atau simulasi sesuai rancangan dan mengumpulkan data hasil uji coba.

5. Pengolahan dan Analisis Data

Mengolah data yang diperoleh dan menganalisis hasil pengujian untuk menjawab rumusan masalah.

6. Evaluasi dan Pembahasan

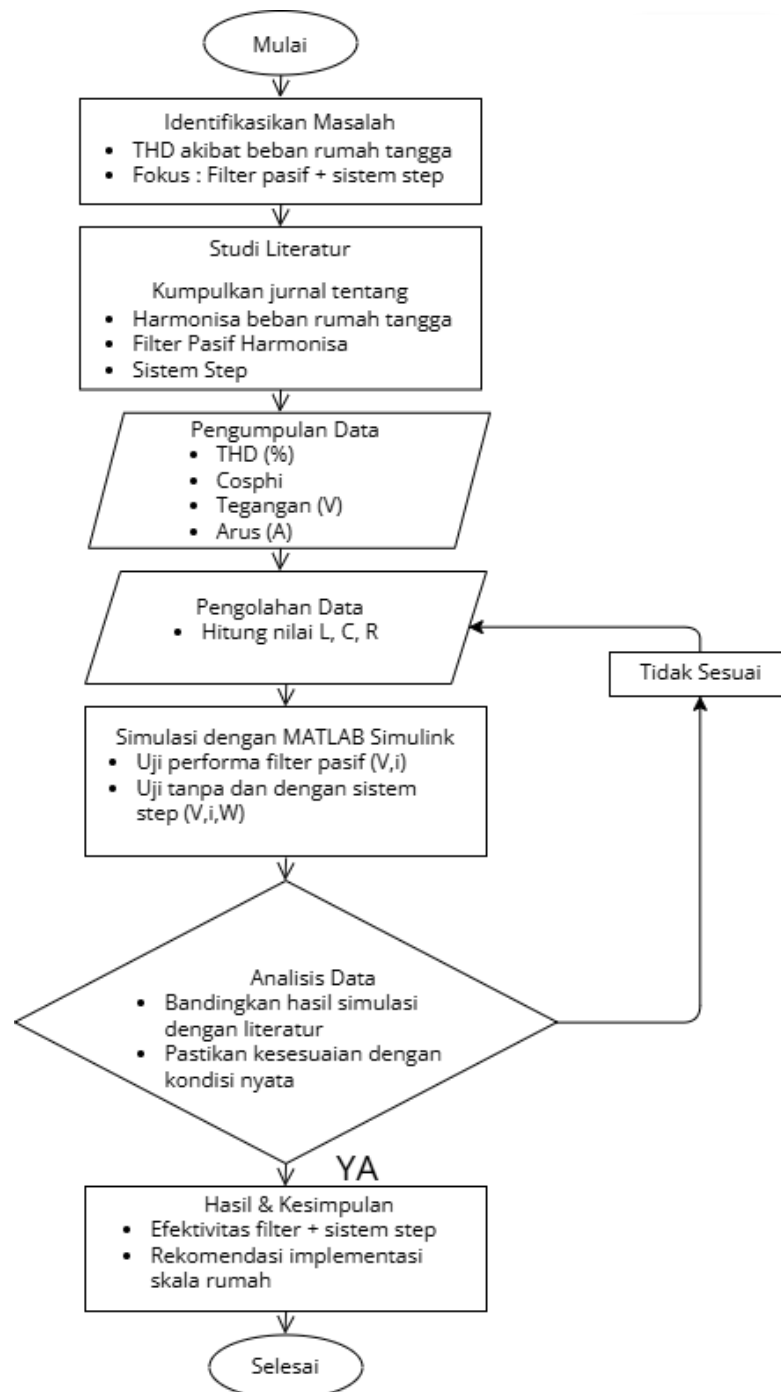
Membandingkan hasil penelitian dengan teori atau penelitian terdahulu dan memberikan interpretasi terhadap hasil yang diperoleh.

7. Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan dari hasil analisis dan memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

3.3 Diagram Alir

Proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.3



berikut ini.

Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pulungan Abdullah Yusuf and Sartika Dewi, “Jurnal Ilmiah Pendidikan PENGARUH FILTER PASIF DOUBLE TUNED PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA,” *Sintaksis J. Ilm. Pendidik.*, vol. 1, no. 1, pp. 10–12, 2021.
- [2] M. S. Ummah, “Analisa Perbandingan Filter Harmonisa Single Tune Dan Double Tune Pada Penyearah Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM),” *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019, [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- [3] S. N. I. Sibarani, “Fakultas Teknik UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA Fakultas Teknik,” no. 38, p. 13630, 2020.
- [4] D. Antono, A. Wasono, and ..., “Pengaruh Filter Pasif Pada Jaringan Listrik Akibat Pembebanan Ac Inverter 1 Hp Dan 2 Hp,” ... *Nas. Terap. Ris.* ..., pp. 73–81, 2015, [Online]. Available: <http://www.proceeding.sentrinov.org/index.php/sentrinov/article/view/7>
- [5] Y. Akhmalagani, A. B. Muljono, and I. M. Ginarsa, “DENGAN FILTER PASIF PADA SISTEM PLTS Measurement And Simulation Reduction Of Harmonic By Passive Filter At System Of Photovoltaic,” vol. 6, no. 2, pp. 103–110, 2025.
- [6] A. Lubis, M. Affandi, and M. Mustamam, “Combination of Single Tuned Filter and Double Tuned Filter to Reducing Current Harmonics,” 2020, doi: 10.4108/eai.16-11-2019.2293269.
- [7] M. Z. C. W. and A. M. S. N. A. L. Yousif, “Implementation of different passive filter designs for harmonic mitigation,” vol. 229–234, 2024.
- [8] M. D. Faraby, M. D. C. O. P. Putra, R. S. Wibowo, D. F. U. Putra, Mukhlisin, and A. Fitriati, “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. 1, pp. 80–85, 2021.
- [9] 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.
- [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, [Online]. Available: <https://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/teknologienergi/article/view/958>
- [11] 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.
- [12] H. Sugiarto, “Kajian Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak,” *Tek. Elektro Politek. Negeri Pontianak*, vol. 8, no. 2, pp. 80–89, 2012.
- [13] Z. F. Siregar, “ANALISIS HARMONISA MENGGUNAKAN FILTER PASIF UNTUK MENURUNKAN THD (Studi Kasus Rumah Sakit Mitra Medika),” 2024.
- [14] T. Harianto, Y. Shalahuddin, and D. A. Widining K., “Filter Pasif Single Tuned LC sebagai Kompensator Harmonisa Pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Matlab Simulink,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 7, no. 1, p. 127, 2018, doi: 10.36055/setrum.v7i1.3416.
- [15] Kasmir, “Pengurangan Harmonisa dengan Filter Pasif pada Tegangan Residensial Bebas Simulasi Matlab,” *J. Teliska ISSN*, vol. 4, no. 3, pp. 1–10, 2012.
- [16] Jason Dinovan Todo Tambun, “Studi Filter Pasif Harmonisa Pada Sisi Tegangan Rendah Sistem Kelistrikan PT Semen Tonasa Unit II dan III, Sulawesi Selatan,” *Tugas Akhir Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, pp. 1–115,

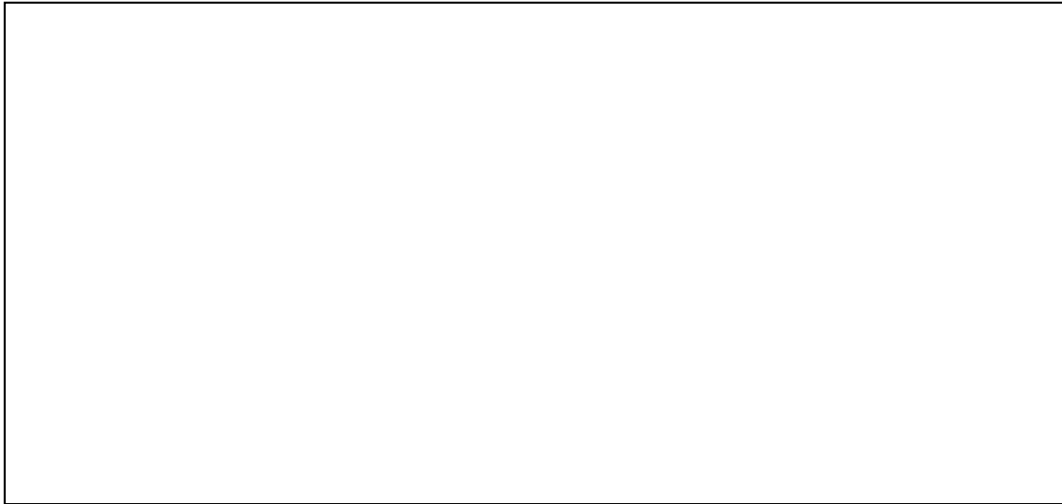
2018.

- [17] F. I. Pasaribu, "Mereduksi Harmonisa Pada Alat Terapi Ceragem Dengan Single-Tuned Passive Filter," pp. 1–10, 2014.
- [18] D. I. M. A. Iskandar, "Kualitas Daya Listrik," *Scribd*, no. November, pp. 1–3, 2012, [Online]. Available: <https://www.scribd.com/presentation/109455947/Kualitas-Daya-Listrik#>
- [19] 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, pp. 53–62, 2020, [Online]. Available: <https://www.ojs.uma.ac.id/index.php/jesce/article/view/3995%0Ahttps://www.ojs.uma.ac.id/index.php/jesce/article/download/3995/2811>
- [20] I. Rinas, "Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif Dan Filter Hybrid Shunt Untuk Meredam Meningkatnya Distorsi Harmonisa Yang Disebabkan Oleh Munculnya Gangguan Resonansi," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 9–15, 2013.
- [21] S. Mulyanto and M. E. P. Widagda, "Pengaruh Tegangan dan Beban Daya Listrik terhadap Arus dan Putaran Mesin pada Gentset Berbahan Bakar LPG," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, p. 40, 2019, doi: 10.33772/djitm.v11i1.8764.
- [22] F. R. Sebayang and A. R. Hasibuan, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Beban Resistif, Induktif, Kapasitif Generator Sinkron 3 Fasa Menggunakan Metode Pottier," *Singuda Ensikom*, vol. 3, no. 2, pp. 76–81, 2013, [Online]. Available: https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda_ensikom/article/view/2304
- [23] F. I. Pasaribu, I. D. Sara, T. Tarmizi, and N. Nasaruddin, "Harmonics Step Filter Control Model In Household Electricity," *Proceeding - 2023 2nd Int. Conf. Comput. Syst. Inf. Technol. Electr. Eng. Sustain. Dev. Smart Innov. Syst. COSITE 2023*, pp. 165–170, 2023, doi: 10.1109/COSITE60233.2023.10249342

LAMPIRAN



Lampiran 1 Pengujian Filter



Lampiran 2 Perlengkapan pengambilan data



Lampiran 3 Pengambilan data



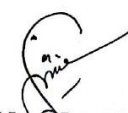
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : DAI RINALDY
NPM : 2107220049
JUDUL : ANALISA PENGGUNAAN FILTER PASIF HARMONISA DENGAN
SISTEM STEP TERHADAP BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	11/11 '2024	Perbaiki 1.3 Ruang Lingkup	
	9/12 '2024	Tambahkan gambar gelombang BAB 2 Tambahkan Prosedur Penelitian	
	31/12 '2024	Selesaikan Bagan Alir / Flowchart	
	13/1 '2025	Tambah daftar pustaka Tambah syntax matlab 3.4	
	14/1 '2025	Tambah penjelasan beban 2 gelombang	
	15/1 '2025	ACC untuk seminar Proposal.	

Dosen Pembimbing


Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : DAI RINALDY
NPM : 2107220049
JUDUL : ANALISA PENGGUNAAN FILTER PASIF HARMONISA DENGAN
SISTEM STEP TERHADAP BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	Senin 5 - 5 - 2025	Tambah teori resonansi di BAB 2 Tukar manfaat dengan ruang Ungkup	
2.	Senin 19-05-2025	Buat abstrak	
3.	Senin 2-06-2025	Abstrak kurang spesifik Perbaiki kesimpulan	
4.	Senin 23-06-2025	Masukkan nilai perhitungan matematis	
5.	Senin 7-07-2025	Masukkan grafik gelombang MATLAB.	
6.	Senin 14-07-2025	ACC Seminar Hasil	

Dosen Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd, M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : DAI RINALDY
NPM : 2107220049
JUDUL : ANALISA PENGGUNAAN FILTER PASIF HARMONISA DENGAN
SISTEM STEP TERHADAP BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	4/7 - 2025	Tambahkan kesimpulan	
2.	6/7 2025	acc untuk disidangkan	

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd, M.T

Lampiran 6 Lembar Asistensi Sidang Akhir

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Dai Rinaldy

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 16 April 2003

Jenis kelamin : Laki-laki

Umur : 22 Tahun

Agama : Islam

Status : Belum Menikah

Tinggi Badan / Berat Badan : 171 cm / 58 kg

Kewarganegaraan : Indonesia

Alamat : Gg. Pinang Lingk. 03 Paya Pasir, Kec. Medan Marelan, Kota Medan

No Hp : 082161799886

Email : dairinaldy16@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

SDN 064002 Belawan : Tahun 2009 - 2015

SMPN 39 Medan : Tahun 2015 - 2018

SMAN 9 Medan : Tahun 2018 - 2021

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Teknik Elektro : Tahun 2021 - 2025