

TUGAS AKHIR

**“ANALISIS DISTORSI HARMONIC PADA BEBAN NON-LINIER
MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION (Studi Kasus
RSU. Mitra Medika Premiere Medan)”**

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

Disusun Oleh :

NURDIANSYAH

1807220039



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FALKUTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : NURDIANSYAH

NPM : 1807220039

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Distorsi Harmonic Pada Beban Non-linier

Menggunakan Software ETAP POWER STATION (Studi Kasus RSU. Mitra Medika Premiere Medan)

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, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 2023

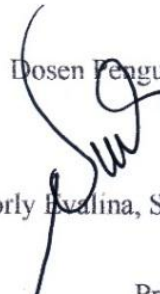
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



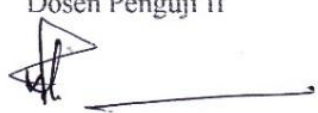
Rimbawati, S.T.,M.T

Dosen Penguji I




Noorly Izzalina, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



Ir. Abdul Aziz, S.T.,M.M

Program Studi Teknik Elektro Ketua,



Faisal Irsan Nasaribu, S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : NURDIANSYAH
Tempat/Tanggal Lahir : P.Berandan/28 Mei 2000
NPM : 1807220039
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Distorsi Harmonic Pada Beban Non-linier Menggunakan Software ETAP POWER STATION (Studi Kasus RSU. Mitra Medika Premiere Medan)”.

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dan 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, 23 Mei 2023

Saya yang menyatakan,



NURDIANSYAH

SURAT KETERANGAN SELESAI LAPORAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir/Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara :

Nama : NURDIANSYAH

NIM : 1807220039

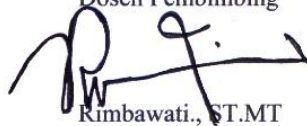
Judul Sripsi : Analisis Distorsi Harmonic Pada Beban non-linier Menggunakan Software ETAP POWER STATION (Studi Kasus RSU.Mitra Medika Premiere Medan)

Dengan ini menerangkan bahwa Laporan Tugas Akhir/Skripsi yang dilaksanakan oleh mahasiswa tersebut di atas sehingga saat ini dalam keadaan selesai tanpa masalah.

Demikian surat kesediaan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana semestinya.

Medan, 20 Februari 2023

Dosen Pembimbing



Rimbawati., ST.MT

ABSTRAK

Listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat diperlukan oleh manusia di era yang serba modern saat ini. Energi Listrik dituntut untuk dapat menghasilkan Kualitas Daya listrik (*Power Quality*) yang baik agar dapat memenuhi/melayani kebutuhan konsumen. Dalam menghasilkan daya listrik yang berkualitas bukanlah suatu hal yang mudah, pada kenyataannya sistem kelistrikan selalu mengalami gangguan dengan dampak yang berbeda-beda. Salah satu permasalahannya yaitu Harmonisa, 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). Hal ini berakibat buruk dan membahayakan, efek harmonisa pada sisi beban (bagi pengguna listrik) adalah peralatan listrik menjadi rusak dan cepat panas walaupun belum digunakan pada performa maksimumnya.

Kata Kunci : Sumber energi, Kualitas daya listrik (*Power Quality*), Beban non-linear, Distorsi Harmonisa

ABSTRACT

Electricity is one source of energy that is needed by humans in today's modern era. Electrical Energy is required to be able to produce good Power Quality in order to meet/serve consumer needs. In producing quality electrical power is not an easy thing, in fact the electrical system always experiences disturbances with different impacts. One of the problems is Harmonics, Harmonics is a problem that occurs due to the operation of non-linear loads. Non-linear loads interfere with sinusoidal voltage and current waves, which causes the output waveform to be different from the input waveform (distorted). This is bad and dangerous, the effect of harmonics on the load side (for electricity users) is that electrical equipment becomes damaged and heats up quickly even though it has not been used at its maximum performance.

Keywords : Energy source, Power Quality, Non-linear load, Harmonic Distortion

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 Pengaruh Distorsi Harmonic Pada Beban Non-Linier Menggunakan Software ETAP Power Station (Studi Kasus RSUD. Mitra Medika Premiere)” 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 menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibunda Rimbawati, 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 Siregarr, 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.
9. Teman-teman Asisten Laboratorium Rangkaian Listrik Dasar Periode 2020-2021.
10. Teman-teman Asisten Laboratorium Transmisi dan Distribusi Listrik 2021-2022.

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

Medan, 28 November 2022

NURDIANSYAH

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Ruang Lingkup	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematis Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	7
2.2. Landasan Teori	12
2.2.1. Sistem Kelistrikan RSUD Mitra Medika Premire Medan	12
2.2.2. Kualitas Daya Listrik	15
2.2.3. Harmonisa.....	32
2.2.4. Polaritas Komponen Harmonik	65
2.2.5. Mengidentifikasi Harmonisa.....	67
2.2.6. Indeks Harmonisa	68
2.2.7. Distorsi Harmonic.....	81
2.2.8. Standar Harmonisa Menurut Institute Of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).....	86
2.2.9. Beban Listrik.....	93
2.2.10. Software ETAP (Electric Transient and Analysis Program)	104
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	105

3.1.	Tempat dan Waktu	105
3.2.	Alat dan Bahan	105
3.3.	Metode Penelitian.....	106
3.4.	Data Penelitian	107
3.5.	Deskripsi Data	108
3.6.	Teknik Pengumpulan Data	109
3.7.	Pengolahan Data.....	110
3.8.	Desain Penelitian	110
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		114
4.1.	Hasil Data Pengukuran	114
4.1.1.	Tinjauan Umum Pengukuran, Perhitungan dan Simulasi Harmonisa 114	
4.1.2.	Hasil Pengukuran Kandungan Harmonisa.....	115
4.2.	Pemodelan Sistem Singel Line Diagram RSU Mitra Medika Premiere Pada Software ETAP Power Station 19.0.1.	Error! Bookmark not defined.
4.2.1.	Simulasi Aliran Daya.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2.	Simulasi Distorsi Harmonisa	Error! Bookmark not defined.
4.3.	Analisis Harmonik Pada Pembebanan	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.	Simulasi Analisis Harmonik Tanpa Beban Nonlinier Perangkat Elektronika Medis	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.	Simulasi Analisis Harmonik Dengan Beban Nonlinier Perangkat Elektronika Medis	Error! Bookmark not defined.
BAB 5 PENUTUP		123
5.1.	Kesimpulan.....	123
5.2.	Saran.....	124
DAFTAR PUSTAKA		125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 : Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik.....	13
Gambar 2. 2 : Flowchart Sistem Kelistrikan di RSUD Mitra Medika Premiere.....	14
Gambar 2. 3 : Segitiga Daya	26
Gambar 2. 4 : Arus Sephasa Dengan Tegangan	28
Gambar 2. 5 : Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut ϕ	28
Gambar 2. 6 : Faktor Daya “Leading”	29
Gambar 2. 7 : Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut ϕ	29
Gambar 2. 8 : Faktor Daya “Lagging”	30
Gambar 2. 9 : Prinsip Perbaikan Faktor Daya	30
Gambar 2. 10 : Keadaan SWELL & SAG	32
Gambar 2. 11 : Bentuk Gelombang Harmonisa	34
Gambar 2. 12 : Bentuk Gelombang Tegangan Dan Arus Sinusiodal	34
Gambar 2. 13 : Rangkaian Low Pass Filter (RC Filter).....	43
Gambar 2. 14 : Rangkaian Low Pass Filter (RL Filter)	44
Gambar 2. 15 : Rangkaian High Pass Filter (RC Filter)	46
Gambar 2. 16 : Rangkaian HPF RL Filter	49
Gambar 2. 17 : Rangkaian Band Pass Filter (BPF)	51
Gambar 2. 18 : Diagram Blok Band Stop Filter	53
Gambar 2. 19 : Karakteristik Blok Band Stop Filter.....	54
Gambar 2. 20 : Rangkaian Band Stop Filter	54
Gambar 2. 21 : Rangkaian Filter Pasif	58
Gambar 2. 22 : Filter Harmonik Pasif	59
Gambar 2. 23 : Konfigurasi Filter Pasif.....	60
Gambar 2. 24 : Rangkaian Filter Aktif	61
Gambar 2. 25 : Filter Harmonik Aktif	62
Gambar 2. 26 : Konfigurasi Filter Aktif	62
Gambar 2. 27 : Bentuk Gelombang Pada Frekuensi Fundamental	83
Gambar 2. 28 : Bentuk Gelombang Terdistorsi	83
Gambar 2. 29 : Bentuk Gelombang Pada Frekuensi	84
Gambar 2. 30 : Urutan Orde Harmonisa.....	89
Gambar 2. 31 : Distorsi Gelombang Akibat Harmonisa.....	90
Gambar 2. 32 : Bentuk Gelombang Sinusiodal & Gelombang Yang Terdistorsi	91

Gambar 2. 33 : Gelombang-Gelombang Non- Sinusoidal	91
Gambar 2. 34 : Gelombang Terdistorsi, Fundamental, Harmonisa	93
Gambar 2. 35 : Karakteristik Beban Listrik.....	99
Gambar 2. 36 : Bentuk Gelombang Beban Linier	101
Gambar 2. 37 : Bentuk Gelombang Beban Nonlinier	102
Gambar 2. 38 : Jenis Beban Non-Linier	102
Gambar 3. 1 : Flowchart Penelitian	113
Gambar 4. 1 Power And Harmonic Analyzer Langlois Kew6315.....	114
Gambar 4. 2 : Data Pengukuran Gardu Distribusi hingga Pada Panel Trafo	117
Gambar 4. 3 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_V	117
Gambar 4. 4 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_I	118
Gambar 4. 5 : Data Pengukuran Pada Sistem Genset Sampai Panel ATSError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 6 : Grafik Pengukuran Pada Sistem Genset Menuju Panel ATSError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 7 : Data Pengukuran Pada Sistem ATS Sampai Panel SDPError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 8 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_V	119
Gambar 4. 9 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_I	119
Gambar 4. 10 : Pengukuran Pada Panel Pembagi Beban Normal.....	122
Gambar 4. 11 : Pengukuran Pada Pembagi Beban Prioritas .Error! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 12 : Grafik Pengukuran Pada Panel Pembagi Beban NormalError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 13 : Grafik Pengukuran Pada Panel Pembagi Beban PrioritasError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 14 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_VError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 15 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_IError! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 16 :Singel Line Diagram Analisis Aliran Daya Pada ETAP 19.0.1.....Error! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 17 : Tampilan Kurva Gelombang Dan Spektrum Harmonisa Dengan Jenis Beban Non Linier Fluorescent	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 18 : Simulasi Distorsi Harmonisa Pada ETAP 19.0.1.Error! Bookmark not defined.	

Gambar 4. 19 : Spectrum Harmonisa Pada Trafo Yang Terdistorsi **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 20 : Hasil Gelombang Yang Terdistorsi Pada Transformator I **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 21 : Hasil Gelombang Yang Terdistorsi Pada Transformator II **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 22 : Hasil Gelombang Yang Terdistorsi Pada Masing-masing Busbar **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 23 : Spectrum Harmonisa Pada Busbar 7 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 24 : Hasil Gelombang Yang Terdistorsi Pada Masing-masing Cable **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 25 : Spectrum Harmonisa Pada Cable 3 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 26 : Diagram Satu Garis Harmonic Analysis Tanpa Beban Non-linier **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 27 : Spektrum harmonik dan bentuk gelombang sinusoidal sebelum adanya beban nonlinier **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 28 : Load Flow Analysis Harmonic Dengan Beban Nonlinier **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 29 : Gelombang Harmonik Beban Nonlinier Perangkat Elektronika Medis **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 30 : Spectrum Harmonic Pada Beban Nonlinier Perangkat Elektronika Medis **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 : Standarisasi Kualitas Daya Listrik	17
Tabel 2. 2 : Masalah Kualitas Daya Listrik, Dampak dan Penanggulangannya	20
Tabel 2. 3 : Efek Harmonik pada Beberapa Peralatan	40
Tabel 2. 4 : Polaritas dari Komponen Harmonisa.....	65
Tabel 2. 5 : Akibat dari Polaritas dari Komponen Harmonik	66
Tabel 2. 6 : Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa	86
Tabel 2. 7 : Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa	87
Tabel 4. 1 : Simulasi Aliran Daya Pada Software ETAP 19.0.1. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4. 2 : Hasil Informasi Simulasi Harmonic..... Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4. 3 : Hasil Simulasi Harmonisa Pada Cabang Sistem Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4. 4 : Nilai THDi dan THDv Pada Sistem Distribusi Tanpa Beban Nonlinier .. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4. 5 : Nilai Rugi-Rugi Setelah Adanya Beban Nonlinier Error! Bookmark not defined.	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Setiap makhluk hidup pasti akan membutuhkan sumber energi untuk dapat melaksanakan berbagai aktivitas sehari-hari. Sumber energi adalah segala sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses (PP No. 79, 2014). Energi yaitu suatu hal yang sangat penting bagi makhluk hidup, bahkan 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 kehidupannya. Listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat diperlukan dan tak bisa dilepaskan dari kehidupan manusia, terutama pada era modern saat ini. (Novix Jefri Alfama, 2015). Energi listrik pertama kali digunakan di Indonesia pada zaman penjajahan Belanda, tepatnya pada akhir Abad ke-19. Penemuan Listrik berawal dari seorang Cendekiawan asal Yunani Bernama *Thales* berkisar Tahun 600 M (Elinur, 2010). Pentingnya energi listrik bagi manusia ini, membuktikan bahwa kebutuhan listrik akan terus menerus bertambah dan harus diperhatikan kualitas penggunaannya dengan baik. Energi listrik pada saat ini selain digunakan sebagai sumber penerangan, listrik juga digunakan untuk membantu mempermudah pekerjaan manusia, baik dalam rumah tangga, perkantoran, dunia industri, maupun rumah sakit.

Hal tersebutlah, yang menjadi titik fokus para ahli untuk memikirkan bagaimana agar energi listrik tetap dapat terus dimanfaatkan oleh manusia dengan

baik. Energi listrik dapat 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 kemudian mengakibatkan kualitas daya listrik menurun dan peralatan elektronik yang digunakan menjadi bermasalah. Gelombang arus yang tidak sinus atau gelombang arus yang terdistorsi disebut sebagai harmonisa (Purnomo & Adriansyah, 2019). Harmonisa pada dasarnya merupakan gangguan yang terjadi akibat cacat gelombang dampak dari interaksi antara bentuk gelombang yang sinusoidal dengan komponen listrik gelombang lain yang tidak sinusoidal (Singh et al., 1998) (Noviando et al., 2016). 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 (Andi Syofian & Anju Martulesi, 2008).

Penyebab utama terjadinya gangguan harmonisa adalah akibat banyaknya pemakaian peralatan elektronik berbahan dasar semikonduktor yang dapat menghasilkan beban non-linier, seperti televisi, telepon kabel, komputer, dan lain sebagainya. 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 (Faraby et al., 2021). Distorsi harmonisa adalah perubahan dalam bentuk sinyal

yang tidak disengaja dan secara umum keberadaanya tidak diinginkan pada sistem. Distorsi harmonik dapat menyebabkan penurunan kinerja pada komponen dan kerusakan pada komponen (Marocana, 2021).

Harmonisa merupakan salah satu hal yang dapat menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang fundamental tegangan dan arus. Fenomena ini timbul akibat pengaruh dari karakteristik beban non linier yang dimodelkan sebagai suatu sumber beban yang menginjeksikan arus dan tegangan harmonisa ke dalam sistem tenaga listrik (Dermawan & Rahman, 2018). Selain itu, dapat juga menimbulkan beberapa hal, seperti: mengakibatkan faktor daya sistem menjadi lebih buruk, menimbulkan interferensi terhadap sistem telekomunikasi, meningkatkan rugi-rugi sistem, menimbulkan berbagai macam kerusakan pada peralatan listrik yang sensitif, berakibatkan penggunaan energi menjadi tidak efektif.

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, dilengkapi dengan peralatan - peralatan elektronika kesehatan dan kedokteran yang modern. Di mana peralatan - peralatan itu pastilah memerlukan suatu sistem kelistrikan yang baik, untuk menunjang bekerjanya peralatan tersebut. Akan tetapi, peralatan-peralatan elektronika kesehatan dan kedokteran saat ini dapat menghasilkan beban non-linier yang berakibat fatal terhadap peralatan yang dipakai maupun terhadap sistem

kelistrikkannya. Sehingga diperlukan suatu analisa pengujian dan atau monitoring yang rutin juga berkala terhadap sistem listrik di rumah sakit ini. 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. Maka dari itu agar hal tersebut dapat segera terealisasikan penulis melakukan sebuah penelitian Pengaruh Distorsi Harmonic Pada Beban Non-Linier Menggunakan Software ETAP Power Station pada RSUD Mitra Medika Premiere Medan.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh *Distorsi Harmonic* terhadap Sistem Distribusi Listrik di RSUD Mitra Medika Premiere Medan?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *Komponen Elektronika Kesehatan* Terhadap Harmonic di RSUD Mitra Medika Premiere Medan?
3. Bagaimana hasil pengujian *Pengaruh Distorsi Harmonic* dengan Menggunakan Software ETAP Power Station.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari “Pengaruh Distorsi Harmonic Pada Beban Non-Linier Menggunakan Software ETAP Power Station” yaitu :

1. Mengetahui pengaruh *Distorsi Harmonic* terhadap Sistem Distribusi Listrik di RSUD Mitra Medika Premiere Medan.

2. Mengetahui pengaruh penggunaan *Komponen Elektronika Kesehatan* yang menyebabkan Harmonisa pada arus dan tegangan listrik.
3. Mengetahui hasil pengujian *Pengaruh Distorsi Harmonic* dengan Software ETAP Power Station.

1.4. Ruang Lingkup

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

1. Membahas tentang dampak *Distorsi Harmonisa* terhadap sistem tenaga listrik.
2. Membahas tentang *Beban Linier* dan *Beban non-linier* pada komponen elektronika.
3. Membahas tentang pengaruh penggunaan peralatan elektronika kesehatan dan kedokteran terhadap sistem kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere Medan.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diambil dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat mencegah kerugian besar akibat dampak penurunan kualitas daya listrik yang disebabkan oleh distorsi harmonik.
2. Dapat meminimalisir 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.

1.6. Sistematis 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 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Salah satu sumber energi yang terus berkembang dan akan tetap terus dibutuhkan seiring perkembangan zaman yaitu ialah energi listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya gaya hidup dan peralatan yang dipakai. Energi listrik dibutuhkan untuk dapat membantu menjalankan keberlangsungan hidup manusia. Hampir seluruh peralatan yang digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari - hari menggunakan energi listrik, baik itu peralatan rumah tangga maupun peralatan yang terdapat pada industri (Zamzami et al., 2020).

Ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas, efisien maksudnya adalah energi yang diproduksi dapat digunakan secara maksimal oleh konsumen tidak mengalami kehilangan energi pada jaringan maupun pada peralatan listrik yang digunakan. Sedangkan berkualitas diartikan sebagai energi listrik yang memiliki tegangan dan frekuensi yang stabil (Asep Andang, Rukmi Sari Hartarti, IBG Manuaba, 2019). Namun, untuk menghasilkan energi listrik yang efisien dan berkualitas bukanlah perkara yang mudah untuk dilakukan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Sehingga untuk mencapai ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas perlu diprediksi dan diantisipasi agar gangguan yang terjadi masih dalam batas normal dan wajar (Asep Andang, Rukmi Sari Hartarti, IBG Manuaba, 2019).

Rumah sakit adalah suatu tempat pelayanan publik yang sangat penting dan tidak dapat terlepas dari kebutuhan suplay daya listrik yang berkualitas. Listrik yang berkualitas adalah listrik yang mampu menyuplai tegangan dan frekuensi secara konstan sesuai dengan nilai nominalnya (Rozak, 2019) (Mushaya et al., 2014). Hampir sebagian besar fasilitas peralatan medis dirumah sakit memerlukan energi listrik yang berkualitas terus menerus tanpa adanya gangguan, sehingga jika terjadinya gangguan maka akan merestart semua sistem peralatan medik tersebut akibatnya peralatan medik maupun non medik akan cepat mengalami kerusakan (Ramadhani, 2018). Salah satu aspek gangguan yang dapat mempengaruhi kualitas daya (*Power Quality*) listrik adalah harmonisa pada listrik, dimana bentuk gelombang listrik dari tegangan dan arus tidak lagi berbentuk gelombang sinusiodal murni (Matos et al., 2016a) (Patria et al., 2019).

Pengoperasian beban - beban non linear dapat menimbulkan distorsi harmonisa dalam bentuk gelombang tegangan dan arus yang mengakibatkan kondisi sistem kelistrikan tidak normal (Nassar et al., 2020). Banyaknya beban non linear adalah merupakan salah satu penyebab dari permasalahan kelistrikan yang menyebabkan dampak timbulnya harmonisa. Setiap komponen sistem kelistrikan dapat dipengaruhi oleh harmonisa walaupun dengan dampak yang berbeda - beda. Namun demikian komponen tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan atau kerugian besar (Kawasaki & Ogasawara, 2017) (Syafrudin et al., 2018). Oleh karena itu perlu adanya penelitian mengenai pengaruh harmonisa terhadap kinerja peralatan - peralatan medis dirumah sakit yang terhubung melalui suatu sistem kelistrikan.

Berdasarkan penelitian terdahulu terkait permasalahan gangguan harmonisa terhadap suatu sistem kelistrikan (Yusuf & Kastawan, 2021) mengatakan Industri Farmasi merupakan salah satu jenis industri yang banyak menggunakan beban non-linier sehingga dapat menimbulkan permasalahan gangguan harmonisa pada sistem daya listrik. Perlu diperhatikan bahwa penggunaan beban non linier dapat membawa dampak buruk terhadap sistem daya listrik di industri yang bersangkutan. Berdasarkan data hasil pengukuran dilapangan yang ia lakukan, terjadi ketidak seimbangan beban yang melebihi batas standar yang ada. Sedangkan (Agus Darwanto, 2014) menyatakan harmonisa merupakan permasalahan yang tak pernah dapat lepas dari sistem kelistrikan. Kenyataannya di dunia industri banyak digunakan peralatan yang bersifat non linier sebagai sumber utama penghasil harmonisa. Jika dibiarkan, kadar harmonisa yang tinggi dapat merusak peralatan kelistrikan, hal ini akan menambah biaya perawatan peralatan listrik yang tentu saja akan merugikan pengguna listrik itu sendiri, baik industri maupun rumah tangga. Dalam penelitiannya memakai bantuan software ETAP 4.00 dilakukan simulasi pemasangan filter harmonisa guna mencari solusi untuk mengatasi harmonisa simulasi dilakukan sebanyak 3 kali dengan jenis beban dan filter yang berbeda kemudian digabungkan menjadi satu, baik filter maupun beban. Dari hasil simulasi didapati terjadinya pengurangan hingga 1,9 % untuk setiap filter dari total kadar sebesar 8,45% dari THDv dan pengurangan hingga 9.76% untuk THDi dari total 22,92% pada system. Maka dapat disimpulkan pemasangan filter pada

system tenaga listrik terutama yang terletak dekat dengan beban non-linier, dapat mengurangi kadar harmonisa.

Kemudian dalam penelitian (Winarno et al., 2021) sistem tenaga listrik yang ideal apabila dapat menyalurkan energi listrik yang ditransmisikan secara konstan baik frekuensi maupun arus. Karena peningkatan beban daya lebih kompleks, terutama beban non-linier, akan mengubah bentuk gelombang dan spektrum arus menjadi terdistorsi. Gelombang dan spektrum yang terdistorsi pada arus disebabkan interaksi antara sistem gelombang sinusoidal dengan komponen gelombang lain yang dikenal sebagai harmonik. Penelitian ini membahas tentang perubahan gelombang dan spektrum pada sistem PLTS dengan cara menggunakan filter aktif menggunakan control PI dengan menggunakan beban - beban *Controlled Rectifier* dengan sudut penyalan 35° - 180° sehingga akan terlihat bentuk cacat gelombang spektrum pada beban non-linear berdampak terhadap gangguan peralatan seperti terjadinya pemanasan berlebih meningkatkan rugi rugi dan membuat perangkat elektronika cepat rusak. Filter aktif menggunakan control PI didasarkan pada inverter satu fasa dengan empat *Switch Control*, inverter akan terhubung paralel dengan beban non-linier. Dari uji coba menggunakan perangkat lunak simulasi Power Simulation (PS), menampilkan hasil simulasi dengan spektrum dari gelombang yang merupakan penerapan dari rancangan filter aktif. Hasil simulasi menunjukkan adanya perbaikan gelombang, grafik spektrum dan THD dengan pemasangan filter aktif menggunakan control PI.

Dari penelitian (Milani et al., 2019) menyimpulkan beban non linier yang belum berbentuk gelombang sinusoidal telah terdistorsi oleh distorsi harmonisa

arus. Beban non linier merupakan salah satu penyebab timbulnya distorsi yang dapat mengakibatkan kualitas daya listrik semakin buruk. Penelitian beliau membahas hasil simulasi penggunaan filter tunggal yang disetel untuk mengurangi distorsi yang disebabkan oleh beban non linier akibat personal computer dan printer untuk pencetakan. Pengukuran menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer*. Hasil pengukuran terhadap 4 merk PC yang berbeda menunjukkan bahwa nilai beban non linier yang dihasilkan mengalami penurunan.

Dan (Partaonan, 2015) melakukan suatu penelitian tentang salah satu peralatan medis yaitu Rontagen (*Sinar-X*) berdasarkan penelitian tersebut beban listrik yang bersifat tidak linier dapat menimbulkan distorsi bentuk gelombang, baik arus maupun tegangan yang merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas daya 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. *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). Penggunaan Filter *Single-Tuned Passive Filter* dan *Doubel-Tuned Passive Filter* serta penggabungan filter *Single-Tuned Passive Filter* dan *Doubel-Tuned Passive Filter* pada sinar-X dapat mereduksi

harmonisa dengan masing-masing Total Harmonisa Distorsi arus (THDi) dan Total Harmonisa Distorsi tegangan (THDv).

Maka pada penelitian ini dilakukan suatu analisa mengenai pengaruh pemakaian peralatan medis yang mengandung beban non linier di RSUD Mitra Medika Premire dengan bantuan simulasi pada Software ETAP Power Station versi 19.0.1, kemudian hasil yang didapat akan disimpulkan apakah pengaruh yang dihasilkan sesuai atau tidak dengan batas harmonisa sesuai standart IEEE 519 tahun 2014.

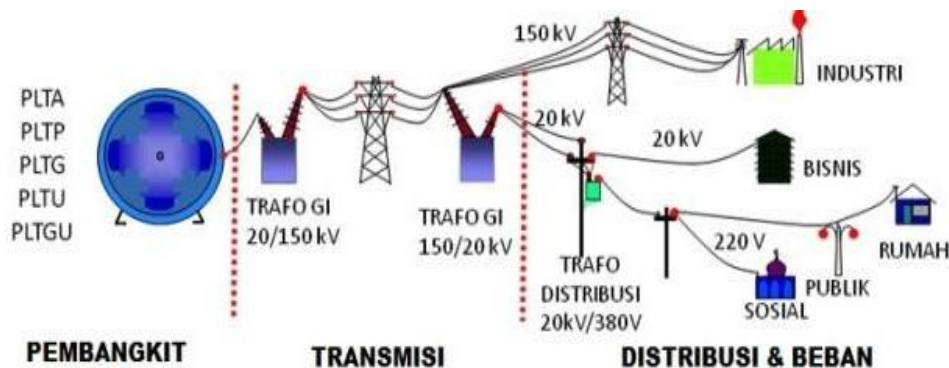
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Kelistrikan RSUD Mitra Medika Premire Medan

Sistem distribusi memiliki peran penting dalam proses penyaluran energi listrik dari sumber PLN ke konsumen. Energi listrik yang disalurkan harus memiliki kualitas yang baik dan tanpa adanya gangguan (Ambagapur, 2020) (Kalair et al., 2017). Kualitas daya listrik menjadi hal penting yang harus dijaga karena harus melayani banyak beban - beban listrik yang menuntut kualitas daya listrik sebaik mungkin untuk kelancaran operasional suatu sistem. Salah satu contohnya yaitu sarana publik seperti rumah sakit dengan pengoperasian peralatan - peralatan medis yang menuntut kualitas daya listrik yang ideal (Wiguna et al., 2018). RSUD Mitra Medika Premiere merupakan salah satu rumah sakit terbesar di kota Medan, dilegkapi dengan peralatan-peralatan medis yang mumpuni. Di mana

peralatan-peralatan itu pastilah memerlukan suatu sistem kelistrikan yang baik, untuk menunjang bekerjanya peralatan tersebut (Rohouma et al., 2019).

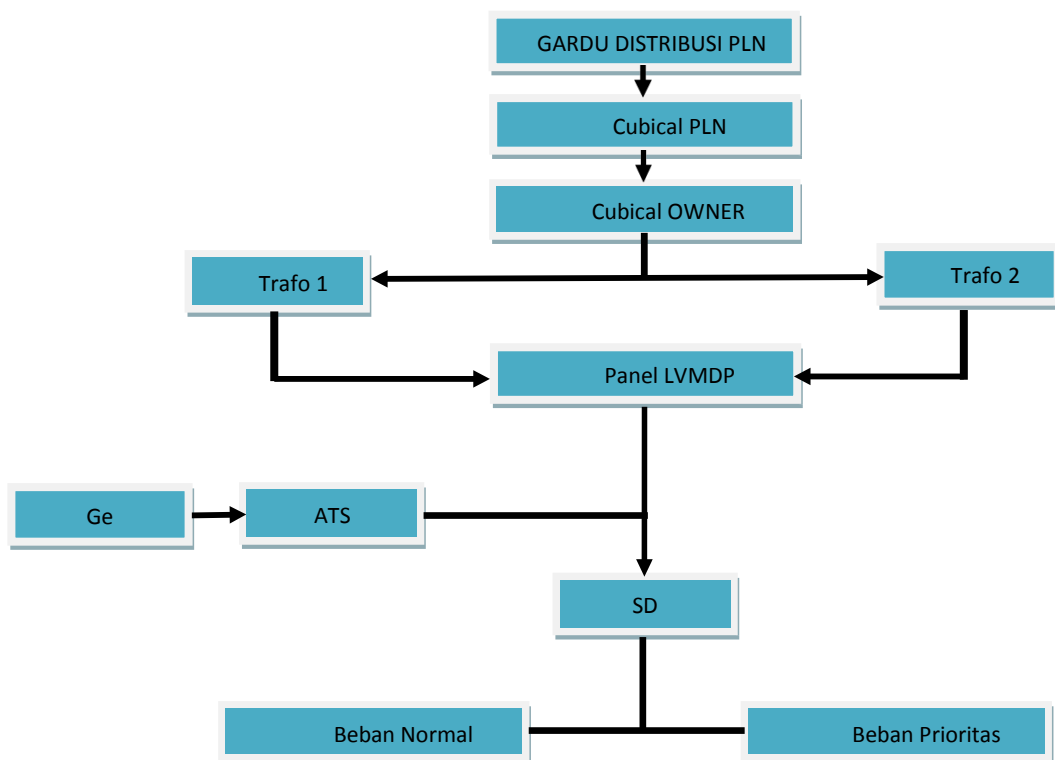
RSU Mitra Medika Premiere memiliki 2 buah transformator distribusi 20kV dengan kapasitas maksimum masing-masing 2000 kVa, dan 400 Voltage. Terdapat masing-masing 1 buah Panel LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) pada kedua transformator yang terpasang yang terhubung ke Mesin Genset (*Generator Set*) dan ATS (*Automatic Transfer Switch*) lalu kemudian dibagi menjadi beberapa Sub Distribution Panel (SDP) yang disalurkan ke 2 jenis beban konsumen yaitu beban normal dan beban prioritas (Apriliansyah & Gaffar, 2021). Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya penelitian yang membahas tentang pengaruh *Distorsi Harmonic* terhadap peralatan - peralatan medis di RSU Mitra Medika Premiere.



Gambar 2. 1 : Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik
Sumber: (Yusuf Ridho Surya Dharma Nainggolan, 2016)

Distribusi tenaga listrik adalah suatu sistem yang berfungsi membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan dari pusat pembangkit menuju konsumen. Tiga komponen utama dari sistem tenaga listrik yaitu pembangkit, transmisi dan distribusi Fungsi dari saluran distribusi adalah untuk

mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke beban dengan mengalirkan tegangan rendah untuk dipakai beban di sisi konsumen. Dibawah ini merupakan Flowchart dari Sistem Kelistrikan di RSUD Mitra Medika Premiere :



Gambar 2. 2 : Flowchart Sistem Kelistrikan di RSUD Mitra Medika Premiere

Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa gardu distribusi PLN sebagai Pembangkitan energi listrik menuju Panel *Medium Voltage (MV) Cubicel* PLN dan kemudian menuju Panel *Medium Voltage Distribution*. Setelah itu di distribusikan Menuju 2 buah trafo, dari trafo menuju Panel LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*), kemudian di transmisikan ke ATS (*Automatic Transfer Switch*) sebagai sistem Pengendali Otomatis apabila terjadinya kegagalan sistem ataupun ketika terjadinya pemadaman listrik dengan jangka waktu cukup panjang.

Dari Panel ATS (*Automatic Transfer Switch*) lalu menuju ke Generator (GenSet) sebagai sebuah pembangkitan energi listrik cadangan ketika sistem mengalami kegagalan. Setelah dari GenSet kemudian di distribusikan kembali menuju Panel ATS (*Automatic Transfer Switch*) kemudian menuju Panel SDP (*Sub Distribution Panel*), lalu setelah di distribusikan lagi ke SDP (*Sub Distribution Panel*) kemudian di transmisikan lagi menuju Panel Pembagian Beban yaitu Beban Normal dan Beban Prioritas.

2.2.2. Kualitas Daya Listrik

Perhatian terhadap kualitas daya listrik dewasa ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik dan utilitas kelistrikan. Istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan (S. Hidayat et al., 2021).

Jenis gangguan kualitas daya tersebut antara lain adalah Harmonisa, kualitas daya listrik ini sangat berpengaruh terhadap naik turunnya tegangan pada batas - batas tertentu yang mengakibatkan terjadinya kerusakan pada peralatan produksi ataupun hasil produksi (Irwanto & Hidayat, 2022). Terdapat beberapa faktor yang menimbulkan penurunan kualitas daya listrik, salah satunya adalah Distorsi Harmonisa. Penggunaan beban-beban listrik dalam jumlah yang besar khususnya beban non linier merupakan penyebab timbulnya harmonisa (Jankowski, 2009) (Mushaya et al., 2014). Saat ini permasalahan terkait dengan harmonisa menjadi hal yang perlu diwaspadai karena memberikan implikasi negatif terhadap sistem

seiring dengan berkembangnya peralatan - peralatan listrik dengan beban non linier (Ambagapur, 2020).

Sistem tenaga listrik dituntut menghasilkan daya listrik yang berkualitas, terutama untuk menyuplai suatu beban yang penting dan sensitif. Masalah kualitas daya listrik meliputi setiap masalah yang berhubungan dengan tegangan, arus atau frekuensi yang menyebabkan kegagalan atau kesalahan pengoperasian pada peralatan listrik yang digunakan (Luqman Assaffat, 2009). Jika peralatan listrik bekerja secara tepat dan handal tanpa mengalami kendala dan kerugian dapat dikatakan peralatan listrik tersebut mempunyai kualitas daya yang bagus, sebaliknya ketika perlengkapan listrik gagal fungsi (*Malfunction*), kurang handal atau mengalami kerugian pada saat penggunaan, dapat dikatakan bahwa peralatan tersebut memiliki kualitas daya yang buruk (A.A. Gede Marta Pratama, I Wayan Rinas, 2021) (Koley et al., 2017).

Kualitas daya listrik dapat dikatakan baik jika arus, tegangan, dan frekuensi yang terdapat di suatu tempat atau sektor selalu konstan (Purwanto & Supriyadi, 2016). 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 (Ariana et al., 2017).

Tegangan	198 – 231 Volt
	330,6 – 402,8 Volt
Frekuensi	49,5 – 50,5 Hz

Tegangan THD	5 %
Arus THD	5 %
Arus grounding	300 Ma
Faktor Daya (Cos ϕ)	> 0,85

Tabel 2. 1 : Standarisasi Kualitas Daya Listrik (Wiyono, 2011)

Permasalahan kualitas daya atau *Power Quality* dapat menyebabkan masalah yang tidak diinginkan, seperti pemadaman listrik, kerusakan peralatan elektronik, kehilangan data, sampai tagihan listrik yang meningkat (Silva et al., 2018). Dalam hal ini ada 9 jenis permasalahan kualitas daya, penyebab dan efeknya. Gangguan kualitas daya atau *Power Quality* berkisar dari lonjakan yang hanya berlangsung mikrodetik hingga pemadaman yang berlangsung berjam-jam. Berikut Permasalahan Kualitas Daya beserta solusinya :

1. Gangguan Sementara

Gangguan ini menyebabkan kehilangan semua daya secara tidak sengaja di suatu area. Durasi sekitar 2 detik sampai 2 menit. Penyebabnya biasanya karena kegagalan fungsi pada peralatan listrik, pengaruh cuaca, atau faktor *human error*. Hal ini menyebabkan sistem *shut down*. Kemungkinan solusi yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan *UPS dan UPS Generator*.

2. Pemadaman Jangka Panjang

Pemadaman jangka panjang tidak beda jauh dengan gangguan sementara. Perbedaannya pada durasinya yang lebih lama, yaitu 2 menit lebih. Penyebabnya, efek, dan solusinya sama dengan Gangguan sementara.

3. Gangguan Sesaat

Gangguan sesaat yaitu kehilangan daya karena sengaja maupun kecelakaan yang sangat singkat. Durasi dari milidetik sampai 1 atau 2 detik. Penyebabnya peralihan operasi yang berusaha mengisolasi masalah listrik dan mempertahankan daya ke area anda. Akibatnya yaitu bisa menyebabkan peralatan listrik mati atau rusak, pemrograman hilang, atau *disk drive* rusak sehingga dapat kehilangan data - data penting pada *disk drive*. Kemungkinan Solusi: menggunakan *UPS (Uninterruptible Power Supply)*, generator motor, *standby power supply*.

4. Sag atau Undervoltage

Sag atau *Undervoltage* atau penurunan voltase terjadi dengan durasi milidetik hingga beberapa detik. *Undervoltage* merupakan *sag* yang lebih lama beberapa detik. Penyebabnya biasanya karena melakukan Start - up atau *shutdown* peralatan listrik utama, terjadinya hubung singkat (*fault clearing*), atau sirkuit listrik yang berukuran kecil. Efek dari gangguan ini adalah kehilangan atau kerusakan data pada *disk drive*, lampu menjadi redup atau terang sendiri, Tampilan layar pada alat elektronik menjadi menyusut, peralatan elektronik *shutdown* atau merestart sendiri. Solusi yang bisa dilakukan yaitu dengan memindahkan komputer ke sirkuit listrik yang berbeda, *voltage regulator*, *constant voltage transformer (Ferro-resonant transformer)*, *power conditioner*, *UPS (uninterruptible power supply)*, dan *superconductor storage*.

5. Membengkak atau Tegangan Berlebih

Overvoltage atau tegangan berlebih karena meningkatnya *voltase* dengan durasi milidetik hingga beberapa detik, *voltase* yang lebih besar gelombang yang lebih lama dari beberapa detik. Penyebab, efek, dan solusi sama dengan *undervoltage*.

6. Transient, Impulse, atau Spike

Terjadi perubahan tegangan yang tiba - tiba hingga beberapa ratus sampai ribuan volt biasanya durasi dalam microdetik. Penyebab adalah operasi *switching* peralatan, menghidupkan dan mematikan peralatan elektronik atau mesin, pelepasan statis, atau terkena petir. Efeknya ada kesalahan pemrosesan pada suatu alat atau data, kehilangan data, papan sirkuit yang terbakar. Solusinya yaitu menggunakan *surge suppressor* (untuk transients), *power conditioner*, *generator motor*.

7. Notch

Merupakan gangguan polaritas yang berlawanan dari bentuk gelombang dalam durasi microdetik. Secara umum penyebab, efek, dan solusi sama seperti *Transient*, *Impulse*, atau *Spike*.

8. Noise

Sinyal listrik yang tidak diinginkan dari frekuensi tinggi dari peralatan lain yang terjadi dalam durasi Sporadis. Penyebabnya adalah gangguan elektromagnetik: dari peralatan, transmisi gelombang mikro dan radar; dari siaran radio dan TV, las busur, pemanas; dari printer laser, termostat, kabel longgar; atau dari landasan yang tidak tepat. Efeknya dapat mengganggu peralatan elektronik

yang sensitif, tetapi biasanya tidak merusak. Ini dapat menyebabkan kesalahan pemrosesan dan kehilangan data. Solusinya yaitu menggunakan *Isolation transformer, power conditioner, UPS (uninterruptible power supply), motor generator*.

9. Distorsi Harmonik

Perubahan gelombang sinus murni (distorsi gelombang sinus), karena beban non-linear, pada *power supply*. Penyebabnya adalah beban non-linear, efek yang ditimbulkan adalah dapat menyebabkan motor, transformator dan kabel terlalu panas. Cara yang dapat ditempuh agar arus atau tegangan harmonisa dapat diminimalisir antara lain dengan pemasangan: Filter pasif L, Filter pasif C, dan Filter pasif LC (*Low Pass Filter*).

Tabel 2. 2 : Masalah Kualitas Daya Listrik, Dampak dan Penanggulangannya (Almanda et al., 2018)

Tipe Gangguan	Dampak	Alat Pelindung
<i>Voltage Sag (Dip)</i> ; penurunan tegangan atau arus listrik 0.1 – 0.9 pu dalam waktu 0.5 eycles – 1 menit, karena gangguan atau starting beban besar.	<i>Equipment shutdwon</i>	Regulator tegangan, UPS, D-STATCOM
<i>Voltage Swell</i> , kenaikan tegangan atau arus listrik pada frekuensi 1.1-1.8 pu dalam waktu 0.5- 1 menit, karena lepasnya beban besar.	Kerusakan alat karena kerusakan isolasi.	Regulator tegangan, UPS, D-STATCOM
<i>Elevctrical Noise</i> , distorsi (tidak priodic) bentuk gelombang sinus, kontak tidak sempurna, grounding tak bagus.	Ketidaktepatan pada operasi peralatan <i>mikroprosesor</i>	Trafo isolasi atau UPS

<i>Impluses (spikes and surges)</i> , kenaikan tegangan dalam waktu (mikro-mili detik) karena <i>lighting</i> , gangguan atau <i>switching</i> beban besar	Kerusakan pada peralatan elektronika dan kerusakan isolasi	<i>Surges suppressor (I periodic)</i> dan UPS
Harmonik, perubahan dari bentuk gelombang sinus murni secara <i>periodic</i> , karena <i>power electronic, arc furnaces, gas discharge lighting device</i> .	Pemanasan berlebih pada motor, trafo, kesalahan operasi pada relay dan kerusakan isolasi	Filter atau UPS

Kualitas daya banyak dipengaruhi antara oleh jenis beban yang tidak linear, ketidakseimbangan pembebanan, distorsi gelombang harmonik 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) (Islam et al., 2015) (Patria et al., 2019). Adapun parameter yang mempengaruhi kualitas daya listrik yaitu :

1. Daya Listrik

a. Pengertian Daya Listrik

Daya memiliki arti sebagai energi per satuan waktu, dalam bahasa Inggris disebut dengan *Electrical Power* adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian (Kirch et al., 2019). Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Watt. Sumber energi seperti tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut (Matos et al., 2016a) (Singh et al., 1998). Dengan kata lain, daya listrik adalah tingkat konsumsi energi

dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (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 :

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

Dimana :

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). Satuan turunan Watt yang sering dijumpai diantaranya adalah seperti dibawah ini :

$$1 \text{ miliWatt} = 0,001 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ kiloWatt} = 1.000 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ MegaWatt} = 1.000.000 \text{ Watt}$$

Rumus umum yang digunakan untuk menghitung daya listrik dalam sebuah rangkaian listrik adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

$$\dots\dots\dots(2.2)$$

Atau :

$$P = I^2 R \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P = V^2 / R \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

P = Daya Listrik dengan satuan Watt (W)

V = Tegangan Listrik dengan Satuan Volt (V)

I = Arus Listrik dengan satuan Ampere (A)

R = Hambatan dengan satuan Ohm (Ω)

b. Persamaan Rumus Daya Listrik

Jika variabel yang diketahui hanya Tegangan (V) dan Hambatan (R), jadi kita tidak dapat menggunakan rumus dasar daya listrik yaitu $P = VI$, namun kita dapat menggunakan persamaan berdasarkan konsep Hukum Ohm untuk mempermudah perhitungannya.

Hukum Ohm :

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.5)$$

Jadi, jika yang diketahui hanya Arus Listrik (I) dan Hambatan (R) saja.

$$P = V \times I$$

$$P = (I \times R) \times I$$

$$P = I^2 R \dots\dots\dots(2.6)$$

Sedangkan penjabaran rumus jika diketahui hanya Tegangan (V) dan Hambatan (R) saja.

$$P = V \times I$$

$$P = V \times (V / R)$$

$$P = V^2 / R \dots\dots\dots(2.7)$$

c. Macam-macam Jenis Daya Listrik

1) Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan kekuatan sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi oleh beban (Kirch et al., 2019). 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 :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (1 phasa)} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \text{ (3 phasa)} \dots\dots\dots(2.9)$$

- Dimana :
- P = Daya aktif (watt)
 - V = Tegangan (volt)
 - I = Arus (ampere)
 - IL = arus jaringan (ampere)
 - $\cos \varphi$ = Faktor daya
 - V_L = Tegangan jaringan (volt)

2) Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet (Pareira, 2017). 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 :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \text{ (1 phasa) } \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \text{ (3 phasa) } \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana : Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

VL = Tegangan jaringan (Volt)

IL = Arus jaringan (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 (Meier Alexander, 2011). 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 :

$$S = V \cdot I \text{ (1 phasa) } \dots\dots\dots(2.12)$$

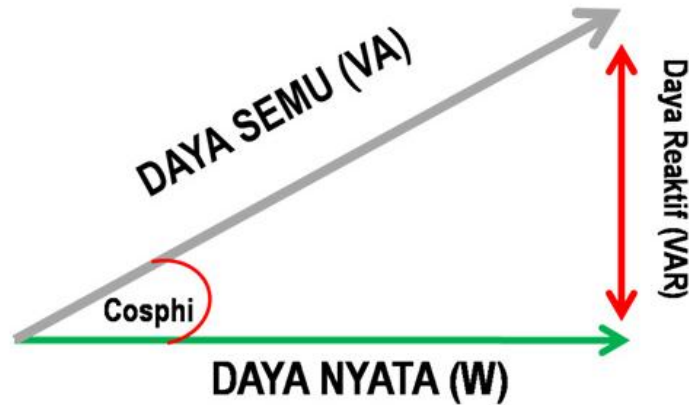
$$S = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \text{ (3 phasa) } \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana : S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Hubungan dari ketiga daya diatas disebut sistem segitiga daya dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2. 3 : Segitiga Daya (Saifuddin et al., 2018)

2. Faktor Daya

a. Pengertian

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 (Marrero-Winkens et al., 2020). 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 (Faiz et al., 2015) (Esyte et al., 2021).

Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. 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 (Rao et al., 2010) (Cannizzaro et al., 2016). Cara yang mudah untuk mengantisipasi turunnya faktor daya listrik dapat dilakukan dengan memilih beban-beban yang mempunyai faktor daya besar juga dapat dilakukan dengan memasang kapasitor (Muhammad Irfan, Seno Darmawan Panjaitan, 2014).

Kapasitor adalah komponen listrik yang justru menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana dia tersambung. Pemasangan kapasitor dapat memperbaiki faktor daya, jika faktor daya di perbaiki maka daya reaktif dapat berkurang dan mendekati daya aktif. Suatu beban dengan faktor daya 1.0 merupakan beban yang hanya mengandung nilai resistansi murni dan merupakan pembebanan yang paling efisiensi (Anggoro Arso Pambudi, 2016).

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 (Chegsakul et al., 2022) (Zulfatri Aini, 2021).

b. Sifat Faktor Daya

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 (Noor & , Henry Ananta, 2017).

1) Faktor Daya Unity

Faktor daya unity adalah keadaan saat nilai $\cos\phi$ adalah satu dan tegangan sephas dengan arus. Faktor daya unity akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni.

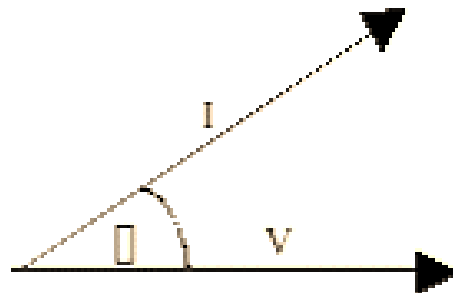


Gambar 2. 4 : Arus Sephas Dengan Tegangan (Noor & , Henry Ananta, 2017)

Pada gambar 2.4 diatas terlihat nilai $\cos\phi$ sama dengan 1 yang menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu.

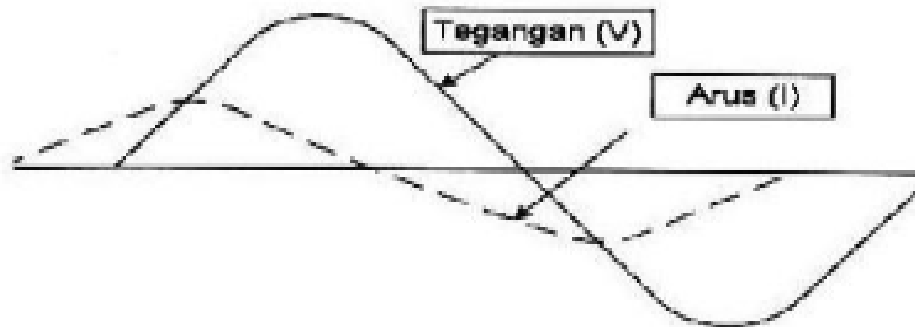
2) Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor 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. 5 : Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut phi

(Noor & , Henry Ananta, 2017)

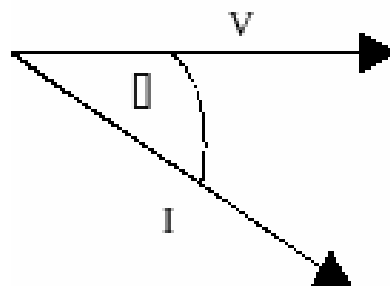


Gambar 2. 6 : Faktor Daya “Leading” (Noor & , Henry Ananta, 2017)

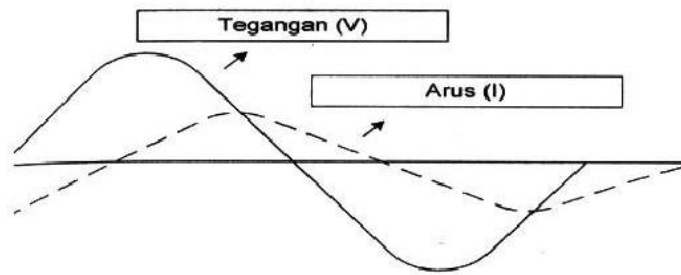
Berdasarkan gambar 2.5 dan 2.6 terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem.

3) Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah 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. 7 : Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut phi (Noor & , Henry Ananta, 2017)

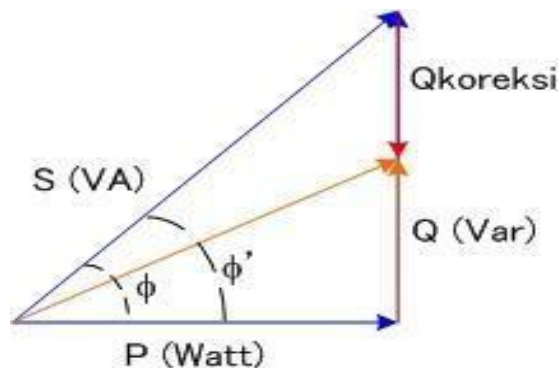


Gambar 2. 8 : Faktor Daya “Lagging” (Janny F. Abidin, 2013)

Berdasarkan gambar 2.7 dan 2.8 terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem.

c. Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya untuk memperbesar harga $\cos \phi$ (pf) yang rendah, hal yang mudah dilakukan adalah dengan cara mempersempit sudut ϕ_1 sehingga menjadi ϕ_2 berarti $\phi_1 > \phi_2$. Usaha untuk memperkecil sudut ϕ itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (VAR) Komponen daya reaktif yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan tersebut dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor atau lebih dikenal dengan istilah kapasitor bank. Perbaikan faktor daya dapat diilustrasikan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2. 9 : Prinsip Perbaikan Faktor Daya (Noor & , Henry Ananta, 2017)

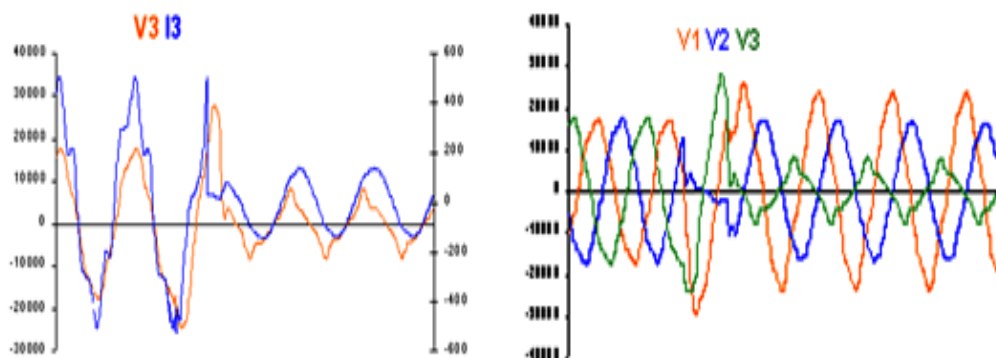
Masalah *Power Quality* adalah persoalan perubahan bentuk tegangan, arus atau frekuensi yang bisa menyebabkan kegagalan atau misoperation peralatan, baik peralatan milik PLN maupun milik konsumen; artinya masalah *Power Quality* bisa merugikan pelanggan maupun PLN (Elektro et al., 2000) (Lang et al., 2019). 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 harmonik 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 (Situmorang, 2014). Masalah *Power Quality* menjadi penting karena : Saat ini kualitas peralatan yang dimiliki konsumen lebih sensitive, pada sistem utilitas telah terjadi meningkatnya level Hharmonik, konsumen belum memiliki dan mendapat informasi yang cukup menyangkut masalah *power quality*, kegagalan satu komponen pada sistem distribusi dan

instalasi bisa membawa konsekuensi tertentu (Sugiarto, 2012) (Purnomo & Adriansyah, 2020).

Kualitas tegangan listrik yang diterima konsumen memerlukan lebih banyak aspek yang harus ditinjau. Kualitas tegangan listrik menyangkut parameter listrik dalam keadaan ajeak (*Steady State*) dan parameter dalam keadaan peralihan (*transient*) (Melck & Wiseman, 2020). Kualitas tegangan listrik yang dituntut oleh masing masing peralatan berbeda antara satu peralatan dengan yang lain. Persoalan *Power Quality* yang terjadi meliputi kejadian-kejadian (SWELL_ & SAG) seperti digambarkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 10 : Keadaan SWELL & SAG
(Aas Wasri Hasanah, Tony Koerniawan, 2018)

2.2.3. Harmonisa

1. Definisi Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik, daya yang didistribusikan adalah pada level tegangan dengan frekuensi tunggal (50 Hz atau 60 Hz), tetapi karena perkembangan beban listrik yang semakin pesat dan kompleks, terutama

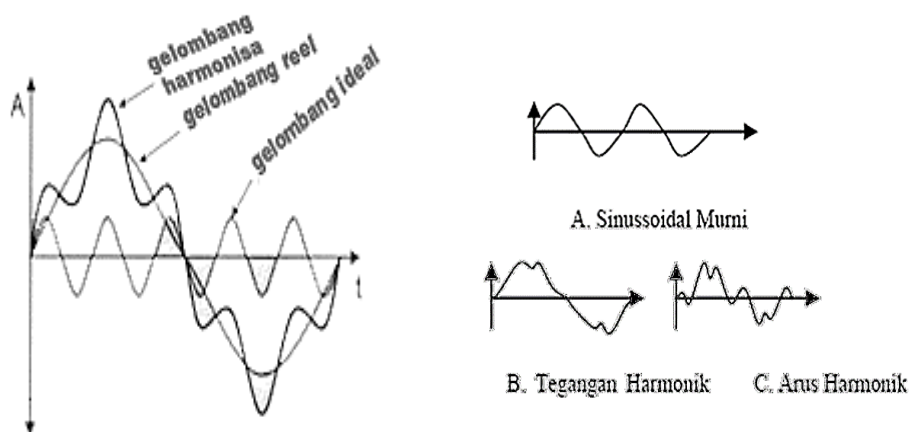
penggunaan beban-beban non linier, sehingga akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombang murni sinusoidalnya (Gunawan et al., 2015).

Seiring dengan semakin meningkatnya peralatan - peralatan listrik dengan beban non-linier yang digunakan pada saat ini, salah satu konsekuensi yang harus dihadapi adalah timbulnya permasalahan baru yaitu distorsi harmonisa. Fenomena ini menyebabkan gelombang tegangan atau arus pada beban tidak lagi sama dengan gelombang fundamentalnya (Anggoro Arso Pambudi, 2016). Keberadaan harmonik secara terus-menerus akan menyebabkan distorsi pada gelombang sinus tegangan dan arus, hal ini menyebabkan beberapa pengaruh buruk terhadap sistem maupun peralatan listrik (Suhendar, 2016) (Wiguna et al., 2018).

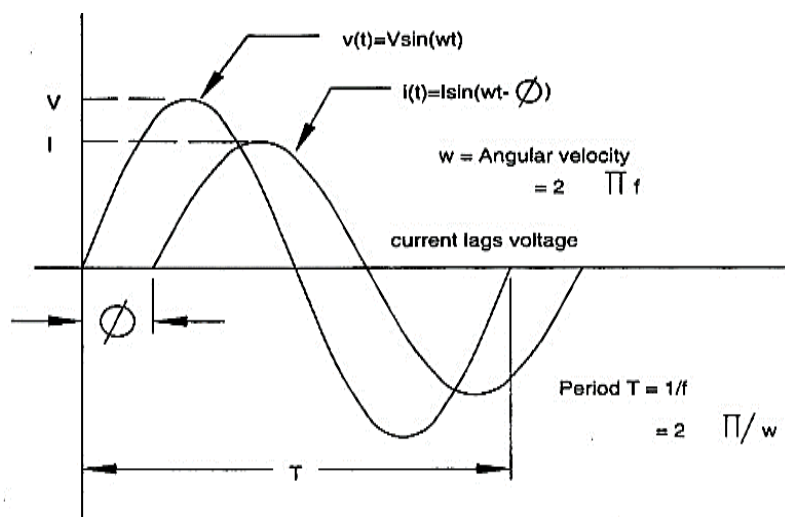
Harmonisa merupakan suatu permasalahan yang terjadi akibat dioperasikannya beban non-linear. Beban non-linear mengganggu gelombang tegangan dan arus yang sinusoidal, yang mengakibatkan bentuk gelombang keluarannya menjadi tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Distorsi gelombang ini timbul karena adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi yang berbeda dari frekuensi dasarnya, yaitu dikenal sebagai frekuensi fundamental harmonisa (Prabowo et al., 2015) (Irwanto & Hidayat, 2022). Semakin banyak penggunaan peralatan elektronika (beban non-linier) 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 (Wiguna et al., 2018). Dalam beberapa literatur menyebutkan dengan adanya harmonisa pada jaringan, akan timbul arus netral yang besar. Hal ini berakibat

buruk dan membahayakan, efek harmonisa pada sisi beban (bagi pengguna listrik) adalah peralatan listrik menjadi rusak dan cepat panas walaupun belum digunakan pada performa maksimumnya (Zulfatri Aini, 2021) (Souli et al., 2017).

Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni (Luqman Assaffat, 2009) (Huda et al., 2021). Terlihat bentuk ideal dari bentuk gelombang tegangan dan arus pada Gambar berikut :



Gambar 2. 11 : Bentuk Gelombang Harmonisa (Gede et al., 2017) (Suwanda, 2019)



Gambar 2. 12 : Bentuk Gelombang Tegangan Dan Arus Sinusiodal

(Irwanto & Hidayat, 2022)

Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik sehingga akibatnya terjadi distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, distorsi ini terjadi karena adanya gejala pembentukan gelombang - gelombang dengan frekuensi berbeda yaitu perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hasil perkaliannya disebut frekuensi harmonik sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonick. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang - gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan penjumlahan antara gelombang murni dengan gelombang harmoniknya (Gabr, 2018) (Ulinuha, 2016).

2. Jenis – Jenis Harmonisa

Berdasarkan ordenya harmonik dapat dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :

- a) Harmonik Genap
- b) Harmonik Ganjil
- c) Interharmonisa, dan
- d) Subharmonisa

Harmonik genap adalah harmonik 2,4,6,8, dan seterusnya sedangkan harmonik ganjil 3,5,7,9, dan seterusnya. Harmonik pertama tidak disebut harmonik ganjil karena merupakan komponen frekuensi fundamental dari gelombang periodik (Anne Ko,Wunna Swe, 2016). Di Indonesia frekuensi fundamental adalah 50 Hz. Pada kenyataannya, sebagian besar beban non linier menghasilkan harmonik kelipatan ganjil dari frekuensi fundamentalnya. Interharmonisa adalah harmonisa yang frekuensinya tidak merupakan kelipatan integral dari frekuensi dasarnya. Subharmonisa yaitu harga frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi fundamentalnya (Deokar & Waghmare, 2011) (Hafiz et al., 2021). Sedangkan berdasarkan urutan fasanya harmonik dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

- a) Harmonik urutan positif (*Positive Sequence*)
- b) Harmonik urutan negatif (*Negative Sequence*)
- c) Harmonik urutan nol (*Zero Sequence*)

Harmonik urutan positif mempunyai urutan fasa yang sama dengan harmonik dasarnya. Harmonik ini menyebabkan penambahan panas di konduktor, circuit breaker, dan panel - panel yang terdapat system distribusi listrik (Weking et al., 2013).

Harmonik urutan negatif memiliki urutan fasa yang berlawanan dengan harmonik 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 (Almanda et al., 2018).

Harmonik urutan nol tidak memproduksi suatu perputaran medan dikedua arah, sehingga menghasilkan panas yang lebih dibanding dengan urutan positif maupun urutan negatif. Harmonik urutan kosong ini tidak dapat dihilangkan, hal ini dikarenakan tidak terdapatnya fuse yang dapat menurunkan aliran arus. Bahaya yang dapat ditimbulkan oleh harmonik urutan kosong adalah arus normal yang berlebihan sehingga dapat mengakibatkan kebakaran (Hafiz et al., 2021) (Ulinuha, 2016).

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa perpaduan harmonik ganjil dengan urutan kosong yang lebih berbahaya dan merugikan. Harmonik - harmonik yang dimaksud adalah harmonik ke 3,9,15,21 dan seterusnya (Daut et al., 2006) (Sitompul, 2009).

3. Penyebab Sumber Timbulnya Harmonisa

Seperti yang telah disebutkan di atas, munculnya harmonik penyebab utamanya 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 (Daut et al., 2006) (Souli et al., 2017). 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 (Kovernikova, 2015).

Sumber harmonik 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-lain (Tambunan et al., 2015) (Elsebaay et al., 2017).

4. Akibat Yang di Timbulkan Oleh Harmonisa

Efek harmonik yang ditimbulkan pada sistem energi listrik tergantung pada sumber harmonik, letak sumber harmonik dan karakteristik jaringan listrik. Pengaruh harmonik pada sistem tenaga listrik secara umum dapat menyebabkan peralatan menjadi lebih cepat panas, isolasi menjadi menurun, *lifetime* peralatan menjadi berkurang, dan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. Kerusakan tersebut dikarenakan peralatan tersebut sensitif terhadap gangguan yang terjadi karena masuknya frekuensi - frekuensi tinggi (Pinzón et al., 2016) (Margareta, 2014). Berikut adalah beberapa akibat yang ditimbulkan oleh adanya harmonisa :

- Temperatur pada tranformator lebih meningkat dari normalnya.
- Terlalu panasnya motor-motor yang dioperasikan (karena *eddy current* yang timbul sehingga menambah kerugian daya).
- Terjadinya kesalahan pada penunjukan alat ukur.

- Putusnya pengaman (*fuse*) pada kapasitor bank atau isolasi kapasitor menjadi lebih panas, sehingga bila terlalu melampaui batas dapat mengalami kerusakan pada kapasitor itu sendiri.
- Terjadinya kesalahan operasi pada peralatan-peralatan kontrol dan pemutus yang terhubung dengan bus yang telah terganggu.
- Menimbulkan kerugian besar dan menyebabkan peralatan-peralatan listrik cepat rusak ataupun tidak dapat bekerja dengan maksimal seperti semula.
- Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi.
- Pemutus beban dapat bekerja di bawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal.
- Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Triplen harmonisa pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi.

Peran harmonisa pada sistem tenaga listrik cukup besar, terutama pada alat-alat yang terdapat pada sistem tenaga. (Chen et al., 2020). 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 (Alexander Kusko, 2016).

Efek harmonisa tidak dapat dihilangkan secara sepenuhnya, tetapi dapat dikurangi (Rinas, 2011) (Pang, 2016). Ada beberapa cara yang biasa digunakan dalam mengurangi efek harmonisa, yaitu dengan penggunaan filter pasif seperti

pemasangan kapasitor, penambahan jumlah fasa, dan kompensasi atau injeksi harmonisa negatif. Pada Tabel 2.3 berikut menjelaskan beberapa efek akibat gangguan harmonisa pada beberapa peralatan :

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

Tabel 2. 3 : Efek Harmonik pada Beberapa Peralatan (Sugiarto, 2012)

Efek harmonisa tidak dapat dihilangkan secara sepenuhnya, tetapi dapat dikurangi. Ada beberapa cara yang biasa digunakan dalam mengurangi harmonisa, yaitu dengan penggunaan filter pasif seperti pemasangan kapasitor, penambahan jumlah fasa, dan kompensasi atau injeksi harmonisa negative (Martin et al., 2016).

5. Cara Mengatasi Dampak Harmonisa

Telah kita sepakati bahwa 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 negative (Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, 2018) (Rawa, M. J. H. , Thomas, D. W. P. , Sumner, 2011).

Pada dasarnya filter dikelompokkan menjadi filter pasif dan filter aktif. Dengan demikian filter dapat dikelompokkan berdasarkan response (tanggapan) frekuensinya menjadi 4 jenis:

1. Filter Lolos Rendah/ Low pass Filter

Low Pass Filter sering disingkat dengan LPF adalah Filter atau penyaring yang melewatkan sinyal frekuensi rendah dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi tinggi. Dengan kata lain, LPF akan menyaring sinyal frekuensi tinggi dan meneruskan sinyal frekuensi rendah yang diinginkannya. Sinyal yang dimaksud ini dapat berupa sinyal listrik seperti sinyal audio atau sinyal perubahan tegangan. LPF yang ideal adalah LPF yang sama sekali tidak melewatkan sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off (f_c) atau tegangan ouput pada sinyal frekuensi diatas frekuensi cut-off sama dengan 0 V. Dalam bahasa Indonesia, *Low Pass Filter* ini sering disebut juga dengan Penyaring Lolos Bawah atau Tapis Pelewat Rendah (Alaydrus & Buana, 2016).

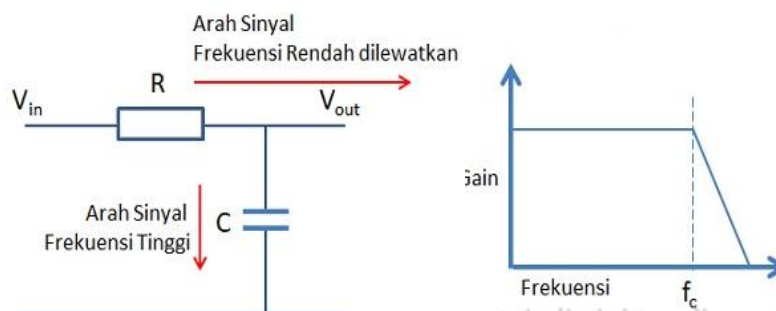
Penyaring Lolos Bawah atau *Low Pass Filter* ini dapat dibuat dengan menggunakan beberapa macam komponen pasif seperti resistor dan kapasitor atau induktor. *Low Pass Filter* yang dibuat dengan resistor dan kapasitor disebut

dengan *Low Pass RC Filter* sedangkan Low Pass Filter yang dibuat dengan resistor dan induktor disebut dengan *Low Pass RL Filter* (Handajadi, 2014) (Varma et al., 2016). 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 (Moh. Toifur, Venty Aghnani Nurhamidy, 2005) (Collocott et al., 2020).

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-Capacitor) dan *Low Pass RL Filter* (Resistor-Induktor). Berikut ini adalah pembahasan mengenai kedua konfigurasi Low Pass Filter Pasif ini.

a) Low Pass RC Filter

Low Pass RC Filter atau Penyaring Lolos Bawah RC ini adalah rangkaian filter yang terdiri dari dari komponen pasif resistor dan kapasitor yang meneruskan sinyal frekuensi rendah dan memblokir sinyal frekuensi tinggi. Untuk membuat Low Pass RC Filter, resistor diletakkan secara seri ke sinyal input dan kapasitor ditempatkan sejajar atau paralel dengan sinyal input seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 13 : Rangkaian Low Pass Filter (RC Filter) (Alaydrus & Buana, 2016)

Dengan rangkaian Low Pass RC Filter pada gambar 2.13 diatas, kapasitor yang merupakan perangkat reaktif ini akan menawarkan resistansi yang berbeda terhadap sinyal frekuensi yang berbeda yang masuk melaluinya. Resistansi pada kapasitor akan sangat tinggi apabila dilewati oleh sinyal frekuensi rendah atau DC dan resistansi akan menjadi rendah apabila dilewati oleh sinyal frekuensi tinggi. Dengan demikian, kapasitor akan memblokir sinyal frekuensi rendah atau sinyal DC sehingga sinyal tersebut harus melewati atau diteruskan ke jalur alternatif yang ditunjukkan oleh arah panah pada gambar 2.14 diatas. Sedangkan sinyal frekuensi tinggi akan melewati kapasitor karena kapasitor menawarkan resistansi yang rendah bagi sinyal frekuensi tinggi tersebut. Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off frekuensi dari rangkaian RC adalah :

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(2.15)$$

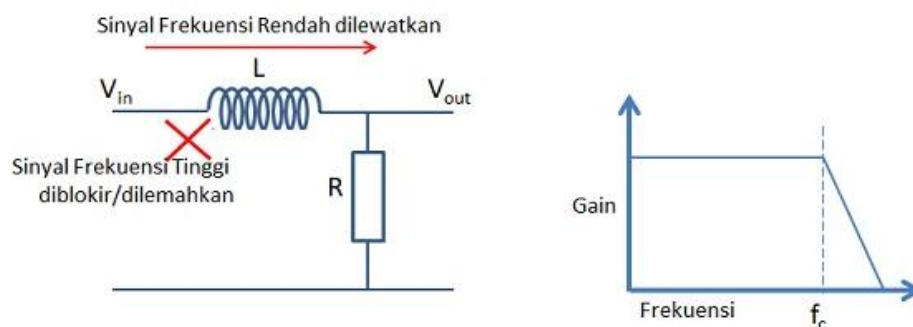
Dimana :

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

b) Low Pass RL 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 dibawah ini :



Gambar 2. 14 : Rangkaian Low Pass Filter (RL Filter) (Alaydrus & Buana, 2016)

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. Oleh karena itu, penempatan induktor di rangkaian berbeda dengan penempatan kapasitor pada rangkaian RC Filter (Lubis, 2014) (Riaz & Ali, 2021). 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 (Indra Aditama, 2013) (Soni et al., 2016). Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off Frekuensi dari rangkaian RL adalah :

$$f = R / 2\pi L \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

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*.

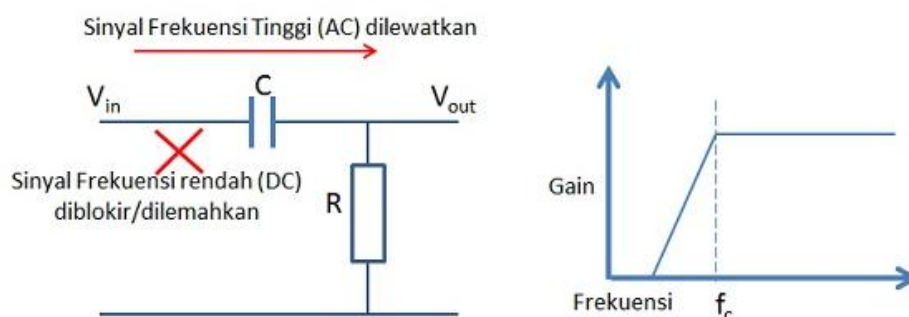
High Pass Filter atau biasanya disingkat dengan HPF adalah filter atau penyaring frekuensi yang dapat melewatkan sinyal frekuensi tinggi dan menghambat atau memblokir sinyal frekuensi rendah. Dengan kata lain, sinyal frekuensi tinggi akan lebih mudah melewati High Pass Filter (HPF) sedangkan sinyal frekuensi rendah akan dihambat atau dipersulit untuk melewatinya. HPF yang ideal adalah HPF yang sama sekali tidak melewatkan sinyal dengan frekuensi dibawah frekuensi cut-off (Sudarti , Wira Bahari Nurdin, 2014) (Riaz & Ali, 2021). Pada dasarnya, High Pass Filter (HPF) adalah kebalikan dari Low Pass Filter (LPF). Dalam bahasa Indonesia, High Pass Filter disebut juga dengan Tapis Lolos Tinggi atau Penyaring Lolos Atas (Abbas & Saqib, 2020) (Syarif Budhiman, 2002).

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* (Varma et al., 2016) (Vira Rahmayanti, 2017).

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

a) High Pass RC Filter

High Pass RC Filter atau Penyaring Lolos Atas RC adalah rangkaian penyaring frekuensi yang terdiri dari komponen pasif yaitu resistor dan kapasitor yang meneruskan sinyal frekuensi tinggi tetapi menghambat atau memblokir frekuensi rendah. Untuk membuat penyaring RC ini, kapasitor ditempatkan secara seri dengan sinyal input rangkaian dan resistor ditempatkan secara paralel atau sejajar dengan sinyal input seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 15 : Rangkaian High Pass Filter (RC Filter) (Modul, 2017)

Dari rangkaian *High Pass RC Filter* yang terlihat pada gambar 2.16 diatas, kapasitor yang merupakan komponen reaktif ini akan menawarkan resistansi yang berbeda terhadap sinyal frekuensi yang berbeda yang masuk melaluinya. Resistansi kapasitor akan tinggi terhadap sinyal frekuensi rendah atau sinyal DC sedangkan resistansi rendah terhadap sinyal frekuensi tinggi. Karena dengan karakteristik kapasitor yang beresistansi tinggi terhadap sinyal frekuensi rendah atau sinyal DC, kapasitor tersebut akan menghalangi sinyal frekuensi rendah untuk melewatinya sehingga hanya sinyal frekuensi tinggi saja yang berhasil melewati kapasitor tersebut. Kapasitor jenis ini juga berfungsi sebagai kapasitor kopling (*Coupling Capacitor*) karena melewatkan sinyal AC tetapi memblokir sinyal DC (R. Hidayat et al., 2020) (Hameed et al., 2016).

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 inputnya. Dengan kata lain, sinyal DC hanya sebagai daya agar dapat mengoperasikan mikrofon namun tidak boleh muncul pada output yang bersinyal AC (Audio) (Collocott et al., 2020). Jadi, untuk meneruskan sinyal audio yang berbentuk sinyal AC dan memblokir sinyal DC, kita memerlukan rangkaian High Pass Filter (HPF) atau Penyaring Lolos Atas (Utami et al., 2019) (Nikum et al., 2016). Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off Frekuensi dari rangkaian RC High Pass Filter adalah :

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

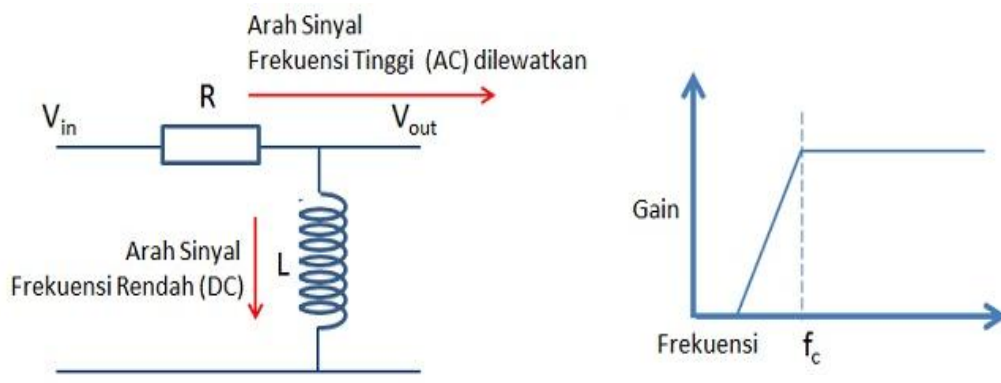
$\pi = 3.14$

R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)

C = Nilai Kapasitor dalam satuan Farad (F)

b) High Pass RL Filter

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 merangkai 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. 16 : Rangkaian HPF RL Filter (Utami et al., 2019)

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 (Sun & Zhu, 2005) (Riaz & Ali, 2021).

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. Di satu sisi, sinyal frekuensi rendah akan melewati jalur ke Induktor karena Induktor menawarkan resistansi yang rendah untuk sinyal frekuensi rendah (Abbas & Saqib, 2020) (Nikum et al., 2016). Rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off Frekuensi dari rangkaian RL adalah :

$$f = R / 2\pi L \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

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

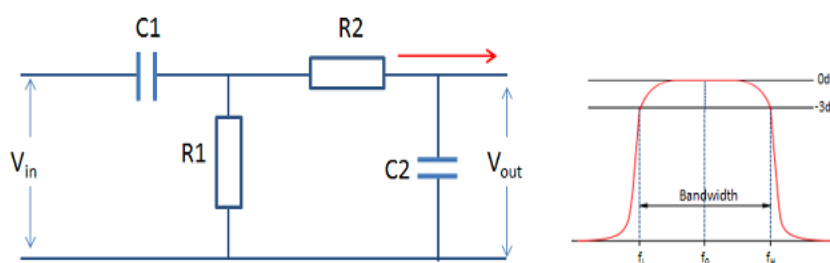
Band Pass Filter atau sering disingkat dengan BPF adalah filter atau penyaring frekuensi yang melewatkan sinyal frekuensi dalam rentang frekuensi tertentu yaitu melewatkan sinyal yang berbeda diantara frekuensi batas bawah hingga frekuensi batas atasnya. Dengan kata lain, Band Pass Filter atau Tapis Lolos Atas ini akan menolak atau melemahkan sinyal frekuensi yang berada diluar rentang yang ditentukan.

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 (Rembet et al., 2019) (Matos et al., 2016b). Sebuah Tapis Lolos Atas atau Band Pass Filter (BPF) pasif yang dapat meloloskan rentang atau pita frekuensi tertentu ini pada dasarnya dapat dihasilkan dengan cara menggabungkan rangkaian *Low Pass Filter* (Tapis Lolos Bawah) dan rangkaian *High Pass Filter* (Tapis Lolos Atas) (Noor & , Henry Ananta, 2017).

a) Rangkaian Band Pass Filter (Tapis Lolos Atas)

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 (f_H) dan frekuensi batas bawah (f_L) ini biasanya dikenal dengan filter Bandwidth (Pasaribu, 2018) (Li et al., 2015).

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 (f_c Lower) dan poin Frekuensi Cut Off yang lebih tinggi (f_c Higher). 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 (Abdul Haris Mubarak, 2013) (Verma et al., 2019).



Gambar 2. 17 : Rangkaian Band Pass Filter (BPF) (Kurniawan et al., 2015)

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 (Kurniawan et al., 2015) (S.Jaisiva, S.Neelan, 2016). 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.

$$f = 1/2\pi RC \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

$\pi = 3,14$

R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)

C = Nilai Kapasitor dalam satuan Farad (F)

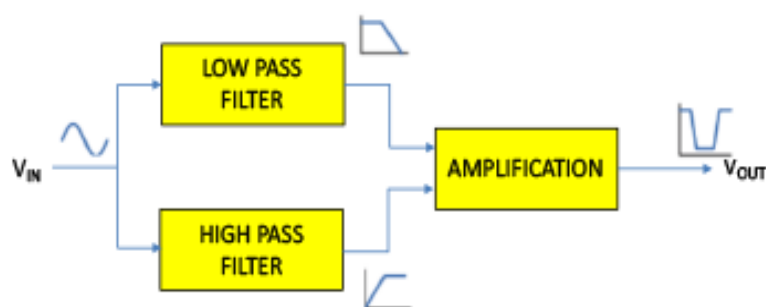
4. Filter Tolah Rentang/Band stop Filter or Notch Filter.

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

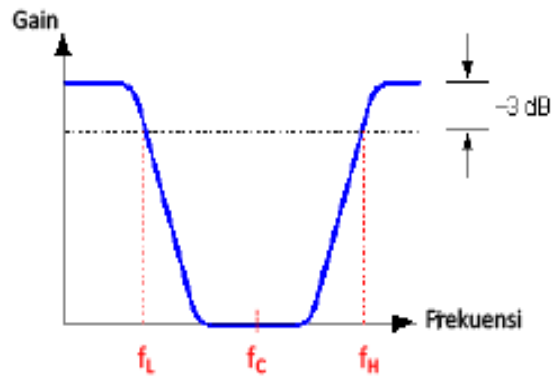
dilewatkannya. Dengan kata lain, Band Stop Filter akan melewatkan semua frekuensi yang berada di luar kedua sisi rentang titik cut-off tersebut (Rifa'i, 2016) (Currents, 2015).

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* (Rozak, 2019).

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.

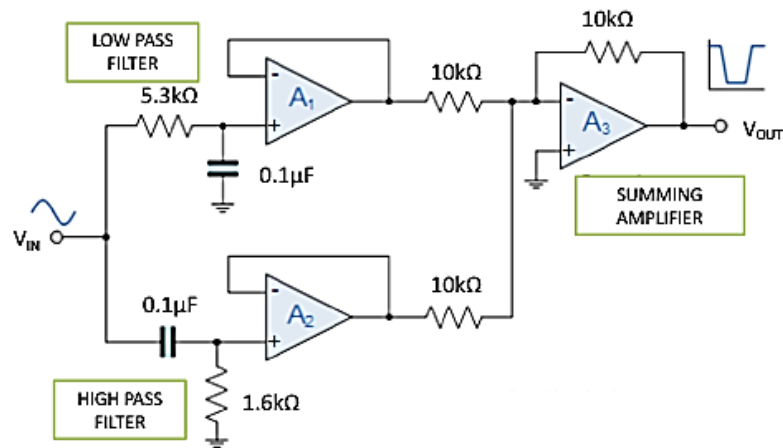


Gambar 2.18 : Diagram Blok Band Stop Filter (Dani & , Usman Ba'afai, 2014)



Gambar 2. 19 : Karakteristik Blok Band Stop Filter (Milani et al., 2019)

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. 20 : Rangkaian Band Stop Filter (Limantara, 2002)

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.

$$f = 1/2\pi RC \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

$\pi = 3,14$

R = Nilai Resistor dalam satuan Ohm (Ω)

C = Nilai Kapasitor dalam satuan Farad (F)

Adapun cara yang paling banyak digunakan untuk mengatasi harmonisa antara lain dengan memasang filter. Filter adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk membuang tegangan output pada frekuensi tertentu. Untuk merancang rangkaian filter dapat digunakan komponen pasif (R,L,C) dan komponen aktif (Op-Amp, transistor) (Jonner Sitompul, 2015) (S.Jaisiva, S.Neelan, 2016). Solusi yang paling sering ditawarkan untuk mengatasi harmonisa adalah dengan memasang *Active Harmonic Filter* yang harganya notabene sangat tinggi. Solusi yang paling ekonomis adalah dengan memasang *reactor* atau *choke* pada beban yang menghasilkan harmonic paling tinggi seperti pada inverter (VSD) motor. Namun hal itu, selain kurang efektif dalam membendung harmonik, impedansi dari reactor yang tinggi dapat menyebabkan *voltage drop* (Dani & , Usman Ba'afai, 2014) (Lamedica et al., 2018).

Active Harmonic Filter bekerja dengan mengukur besarnya harmonik yang mengalir dan kemudian menyuntikkan gelombang berlawanan yang akan

meniadakan harmonik tersebut. Pada umumnya *Active Harmonic Filter* dapat mengatasi harmonik dengan sangat baik, hanya saja dikarenakan biayanya yang sangat tinggi, menjadi solusi yang kurang tepat bagi semua orang (Rajani et al., 2017).

Passive Harmonic Filter (filter harmonik pasif) merupakan solusi lainnya. Dengan memasang kapasitor dengan *tuned reactor*, maka kapasitor bank tidak hanya dapat memperbaiki faktor daya (*cos phi*), tetapi juga dapat berfungsi sebagai filter harmonik. Menggunakan kapasitor bank dapat menjadi solusi harmonik yang sangat ekonomis (Ridwan & Cahyono, 2018).

Solusi yang lebih tepat adalah dengan membendung harmonik langsung ke sumber penyebab harmonik tersebut sebelum menjalar ke seluruh sistem distribusi listrik. Dengan memasang Mirus Lineator AUHF (*Advanced Universal Harmonic Filter*) membendung harmonik pada beban tersebut, maka otomatis sistem distribusi dan perangkat lain akan aman dari gangguan harmonik (Gómez et al., 2016) (Ahmad Yani, 2019). Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonik pada sistem distribusi antara lain:

- Memperbesar kawat netral
- Pemasangan filter harmonisa
- 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 keseluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin (Abidin, 2015) (Schneider et al., 2017).

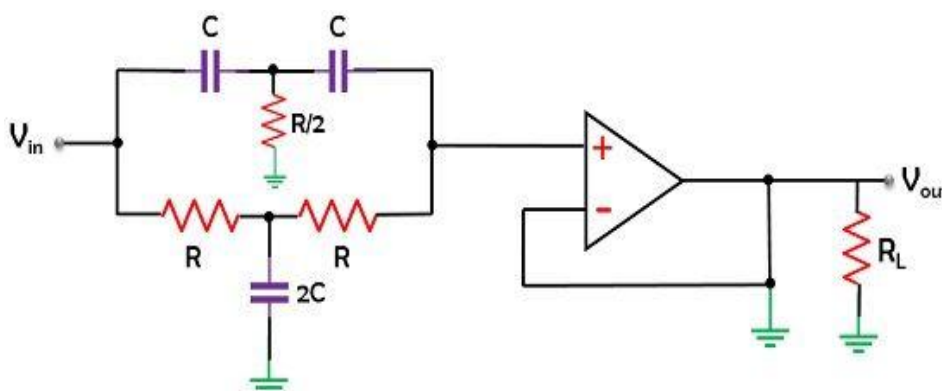
Selain itu filter harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem. Selain itu penggunaan filter harmonisa pada frekuensi dasarnya 50 Hz dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya mencapai rata-rata 0.80 – 0.94. Filter harmonisa itu sendiri digolongkan menjadi 2, yaitu filter pasif dan filter aktif (Wibowo & Syakur, 2015).

a) Filter 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 (Cooley et al., 2020). 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 (Rodrigues et al., 2018).

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 dipengaruhi oleh impedansi jala-jala (Islam et al., 2015) (Silva et al., 2018). Oleh sebab itu, pemasangan filter pasif perlu mempertimbangkan impedansi jala-jala. Filter pasif juga meninjeksikan daya reaktif karena terdiri dari komponen induktor dan kapasitor.



Gambar 2. 21 : Rangkaian Filter Pasif (Sulistyarso, 2010)

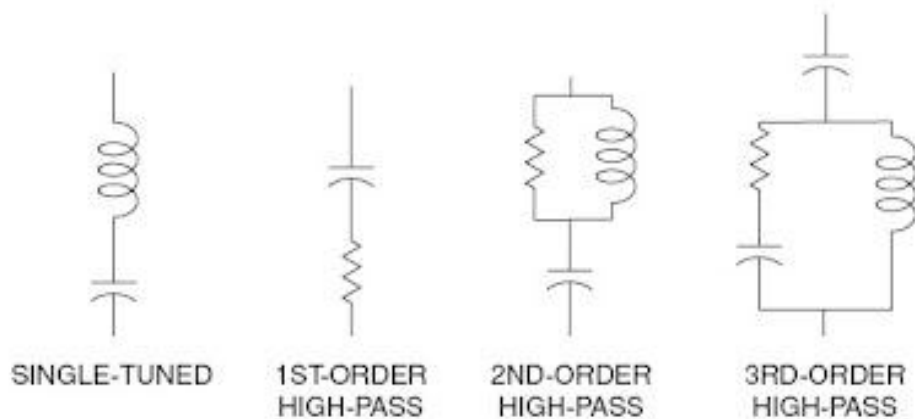
Untuk rentang frekuensi radio, filter pasif memiliki kemampuan respons yang baik. Tetapi adanya induktor dalam rangkaian menimbulkan masalah dalam aplikasi frekuensi rendah. Seperti dalam kasus frekuensi rendah, induktansi induktor harus dinaikkan, yang pada akhirnya membutuhkan lebih banyak lilitan pada kumparan (Leonardus Heru Pratomo, Satrio Fitrianto, 2021).

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 (Sibuea & Thayib, 2014) (Anggayuh Muttaqien, 2018).

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 (Jankowski, 2009). 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 (Singh et al., 1998).



Gambar 2. 22 : Filter Harmonik Pasif (Widiarto & Jamaah, 2013)



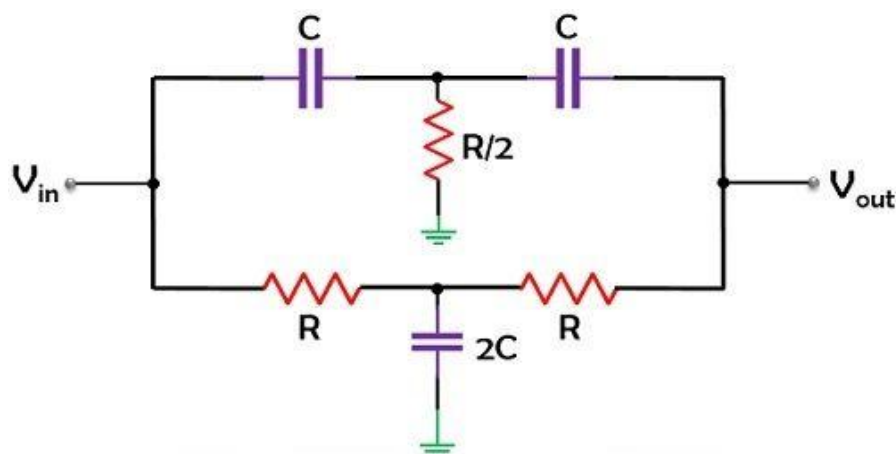
Gambar 2. 23 : Konfigurasi Filter Pasif (Widiarto & Jamaah, 2013)

b) Filter Aktif

Filter aktif bekerja dengan menginduksikan arus induktif dan arus kapasitif ke sistem. Filter harmonisa aktif dirangkai dari komponen elektronika daya seperti IGBT atau MOSFET. Dengan menggunakan komponen ini, filter aktif mempunyai karakteristik yang berlawanan dengan filter pasif. Filter aktif merespon arus harmonisa relatif lebih bebas dari pengaruh kondisi pada sistem, mis-impedansi sistem. Dengan begitu, filter aktif mempunyai performen yang sangat ideal. Untuk menunjang performen filter aktif, maka dibutuhkan pealatan digital meliputi *Analog to Digital converter* dan sebaliknya, *DSP (Digital Signal Processor)* untuk kontroler, maupun *FPGA* untuk pembangkitan pulsa PWM. Termasuk pula penggunaan sensor tegangan/arus. Dengan perangkat seperti ini, Filter aktif relatif jauh lebih mahal dibanding filter pasif (Ambagapur, 2020).

Filter aktif adalah rangkaian filter yang disusun menggunakan transistor dan op-amp sebagai komponen dasarnya. Juga ada penambahan komponen pasif, seperti resistor dan kapasitor, tetapi bukan induktor. Filter menunjukkan sifat selektivitas frekuensi. Jadi rangkaian filter aktif menggunakan transistor dan op-

amp untuk melewati hanya pita frekuensi selektif sambil melemahkan frekuensi lainnya (Sulistyarso, 2010) (Rheni Dariatitar, 2021). Gambar di bawah ini menunjukkan contoh rangkaian filter aktif:



Gambar 2. 24 : Rangkaian Filter Aktif (Sulistyarso, 2010)

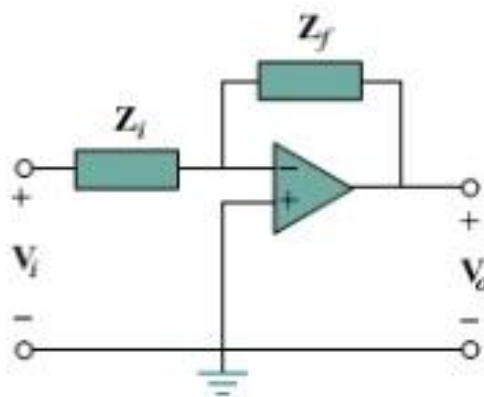
Pada gambar rangkaian 2.24 filter aktif menghasilkan karakteristik filter yang dibutuhkan, diproses oleh interkoneksi op-amp, integrator, inverter dll dengan resistor dan kapasitor. Op-amp dalam rangkaian filter aktif digunakan secara terintegrasi. Jadi pastikan ukurannya kecil dan tidak terlalu besar (Indra Aditama, 2013) (Rohouma et al., 2019).

Op-amp memiliki impedansi input tinggi dan impedansi output rendah. Jadi filter aktif tersebut menghapus efek pembebanan pada sumber dan beban. Namun komponen aktif memiliki bandwidth yang terbatas sehingga terkadang menyebabkan kesulitan dalam pengoperasian sinyal frekuensi tinggi. Juga, kebutuhan akan sumber dc eksternal dibutuhkan pada unit filter aktif karena tidak dapat menggunakan daya penggerak dari sinyal pada inputnya (Sulistyarso, 2010) (Pareira, 2017). Pada filter aktif umumnya menggunakan komponen R,C dan Op-Amp, sehingga hasil filter lebih baik dikarenakan pada filter ini terdapat suatu

komponen yang digunakan sebagai penguat sinyal dan tegangan yang dinamakan op-amp (Kalair et al., 2017) (Mustamam, Usman Baafai, 2014).



Gambar 2. 25 : Filter Harmonik Aktif (Moldul Praktikum, 2017)



Gambar 2. 26 : Konfigurasi Filter Aktif (Moldul Praktikum, 2017)

Bagaimanapun, harmonisa adalah parameter yang dapat diukur. Untuk itu distorsi harmonisa juga dapat dikontrol menggunakan beberapa metode dasar sebagai berikut:

- Mengurangi arus harmonisa pada beban dengan menambahkan line reaktor atau transformator secara seri.
- Menambahkan filter untuk menyerap atau memblokir arus harmonisa dari sistem, misalnya fliter shunt yang bekerja untuk hubung singkat arus

harmonisa sedekat mungkin dengan sumber dan filter harmonik aktif yang secara elektronik mengkompensasi komponen harmonisa ke beban non-linier.

- Memodifikasi respon frekuensi sistem terhadap harmonik, misalnya dengan mengubah ukuran kapasitor, memindahkan atau melepas kapasitor, dan menambahkan detune reactor pada system.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pengukuran harmonisa listrik sangat penting karena berdampak pada efisiensi daya, fungsionalitas, dan masa pakai peralatan; sumber harmonik perlu diidentifikasi dan dikendalikan sebelum membahayakan peralatan. Untuk dapat menghitung rasio tegangan dan arus sirkulasi pada orde harmonisa fer-Fasa tegangan listrik dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$V_{hf-f} = n^{f-n} : \sqrt{2} \dots\dots\dots(2.19)$$

Nilai efektif tegangan fasa-netral fundamental setiap orde harmonisa berturut-turut akan menghasilkan nilai total efektif tegangan fasa-netral sebagaimana persamaan berikut :

$$V_{f-n} = \sqrt{nf_1^2 + nf_2^2 + nf_3^2 + dst} \dots\dots\dots(2.20)$$

Hal tersebut juga berlaku pada perhitungan tegangan fasa-fasa setiap orde harmonisanya,sehingga akan menghasilkan nilai rasio antara tegangan fasa-netral dan tegangan fasa-fasa yang dinyatakan pada persamaan berikut :

$$\frac{V_{f-f}}{V_{f-n}} = \dots\dots\dots(2.21)$$

Dari persamaan 2.19, 2.20 dan 2.21 diketahui V = tegangan fundamental fasa harmonisa, h = orde harmonisa, $f-n$ = fasa-netral, $f-f$ = fasa-fasa, dan nf = nilai total fasa tegangan harmonisa pada orde harmonisa. selanjtnya untuk menghitung arus sirkulasi harmonisa dengan mencari tegangan puncak dan tegangan efektif pada masing-masing komponen harmonisa yang dinyatakan pada persamaan berikut ini :

$$V_{hm} = wh \% \times V_{hm} : \sqrt{2} V \dots\dots\dots(2.22)$$

Untuk mencari nilai reaktansi komponen harmonisa dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$X_{h1} = 2\pi \times f \times I_f \times 10^{-3} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$X_{h3} = 3 \times X_{h1} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$X_{h9} = 9 \times X_{h1} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dst...,

Kemudian untuk mencari nilai impedansi dan nilai arus sirkulasi di setiap fasa untuk komponen harmonisa dalam suatu sistem listrik dinyatakan dalam persamaan berikut :

Persamaan Impedansi Harmonisa

$$|Z_h| = I_f + X_{h1} \dots\dots\dots(2.26)$$

Persamaan Arus Sirkulasi Harmonisa

$$I_{hrms} = \frac{I_f \cdot \sqrt{2}}{|Z_h|} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dapat disimpulkan V = tegangan fundamental, hm = orde harmonisa, wh % = nilai persentase harmonisa pada setiap ordenya, X = komponen harmonisa, $2 \times \pi = 3,14$, f = frekuensi harmonisa, I_f = induktansi fasa.

2.2.4. Polaritas Komponen Harmonik

Setiap komponen sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonik walaupun dengan akibat yang berbeda. Namun demikian komponen tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan. Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonik adalah panas lebih pada kawat netral dan transformator sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu phase. Pada keadaan normal, arus beban setiap phase dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya beban tidak linier satu phase akan menimbulkan harmonik kelipatan tiga ganjil yang disebut triplen harmonik (harmonik ke-3, ke-9, ke-15 dan seterusnya) yang sering disebut zero sequence harmonik. Harmonik ini tidak menghilangkan arus netral tetapi dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus phase (Kawasaki & Ogasawara, 2017) (Afif Arsoni, 2020). Adapun Polaritas dari Komponen Harmonisa pada Tabel 2.4 dibawah ini :

Tabel 2. 4 : Polaritas dari Komponen Harmonisa
(Tony Koerniawan; & Aas Wasri Hasanah, 2019)

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Uruan	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Harmonik pertama urutan polaritasnya adalah positif, harmonik kedua urutan polaritasnya adalah negatif dan harmonik ketiga urutan polaritasnya adalah nol, harmonik keempat adalah positif (berulang berurutan sampai seterusnya)

(Nassar et al., 2020). Berikut adalah akibat yang ditimbulkan dari masing-masing polaritas komponen harmonik pada Tabel 2.5 dibawah ini :

Tabel 2. 5 : Akibat dari Polaritas dari Komponen Harmonik
(Tony Koerniawan; & Aas Wasri Hasanah, 2019)

Urutan	Pengaruh pada Motor	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Menimbulkan medan magnet putar arah majau (forward)	Panas
Negatif	Menimbulkan medan magnet putar arah mundur (reverse)	Panas Arah putaran motor berubah
Nol	Tidak ada	Panas Menimbulkan/menambah arus pada kawat netral

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh urutan polaritas komponen harmonik antara lain tingginya arus netral pada sistem 3 phase 4 kawat (sisi sekunder transformator) karena arus urutan nol (*zero sequence*) dan arus ini akan terinduksi ke sisi primer transformator dan akan berputar pada sisi primer transformator yang biasanya memiliki belitan delta (Nassar et al., 2020). Hal ini akibat pada kawat netral tidak memiliki peralatan pemutus arus untuk proteksi tegangan atau arus lebih. Pengaruh harmonik pada transformator sering tanpa disadari dan tidak dapat diantisipasi keberadaannya sampai terjadi gangguan yang penyebabnya tidak jelas (Utomo et al., 2021).

Hal ini dapat juga terjadi bila perubahan konfigurasi atau jenis beban yang dipasok. Transformator dan peralatan induksi lainnya, selalu terpengaruh oleh harmonik karena trafo itu sendiri dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya. selain itu transformator juga merupakan media utama antara pembangkit dengan beban. Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan

mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya (Sugiarto, 2012) (Arifin Wibisono, Andhika Wicaksono Dwi Tangguh Klapoviq, 2021).

2.2.5. Mengidentifikasi Harmonisa

Untuk mengidentifikasi kehadiran harmonik pada sistem distribusi, dapat diketahui melalui langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Identifikasi Jenis Beban yang dipasok, misalnya peralatan apa yang dipakai oleh konsumen. Bila banyaknya peralatan yang mempunyai komponen utama terbuat dari bahan semikonduktor seperti komputer dan alat bantu, pengatur kecepatan motor, atau peralatan lain yang menggunakan arus searah maka dapat diperkirakan masalah harmonik ada diintalasi konsumen tersebut.
- b. Pemeriksaan Transformator Untuk transformator yang memasok beban non linier apakah ada kenaikan temperaturnya tidak normal. Arus sekunder transformator baik phase maupun netral perlu dilihat. Bandingkan arus netralnya dengan arus fasa pada keadaan beban tidak seimbang. Apabila arus netralnya lebih besar maka dapat diperkirakan adanya trilen harmonik dan kemungkinan turunnya kinerja transformator.
- c. Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah Terjadinya arus lebih pada kawat netral (untuk sistem 3 phase dan 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 Volt maka terdapat indikasi adanya masalah harmonik pada beban tersebut. Apabila indikasi-indikasi adanya harmonik

telah diketahui maka perlu dilakukan langkah-langkah untuk mengatasi masalah gangguan harmonik antara lain dengan mengetahui harmonik untuk menentukan harmonik-harmonik yang dominan dan sumber utamanya.

2.2.6. Indeks Harmonisa

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 harmonik terdapat beberapa indeks yang penting untuk menggambarkan efek dari harmonik pada komponen sistem tenaga (Indriana Zella Margareta, 2014) (Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, 2018). Adapun indeks tersebut ialah :

1) Total Harmonic Distortion/ THD

THD didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonik terhadap komponen fundamentalnya. Total Harmonic Distortion (THD) adalah ukuran dari nilai efektif dari komponen harmonik bentuk gelombang yang terdistorsi. Perbandingan antara nilai RMS dari komponen harmonisa terhadap nilai RMS pada frekuensi fundamental disebut dengan Total Harmonic Distortion /THD (Tanoto et al., 2006) (Suhendar, 2016).

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 harmonik dari gelombang sinus sempurna. Pada saat terjadi gelombang sinus sempurna maka nilai THD adalah nol (Adi Widiastira et al., 2016).

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan nilai prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar prosentase THD ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat harmonisa yang terjadi pada arus maupun tegangan. Nilai THD yang diijinkan secara Internasional maksimal berkisar 5% dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya (Sun & Zhu, 2005). Untuk mencari THD dari tegangan dapat digunakan persamaan :

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \dots\dots\dots(2.28)$$

Sedangkan THD dari arus dapat digunakan persamaan

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \dots\dots\dots(2.29)$$

Total Harmonic Distortion (THD) didefinisikan sebagai perbandingan nilai rms komponen harmonisa terhadap komponen dasar (fundamental) dan biasanya dinyatakan dalam %. 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 :

$$THD_V = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan :

V_n = Tegangan Harmonik *Orde* ke-n

V_1 = Tegangan Fundamental (V_{rms})

$n = 2 - \infty$

$$THD_i = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

I_n = Arus Harmonik *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 :

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2} \dots\dots\dots(2.33)$$

Pada keadaan tidak ada harmonisa

$$V_{rms} = V_{1rms} \text{ dan } I_{rms} = I_{1rms} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana :

V_{rms} = tegangan rms fundamental

I_{rms} = arus rms fundamental

THDv = total harmonic dictortion tegangan

THDi = 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 harmoniknya (Indriana Zella Margareta, 2014) (Suwanda, 2019). Dari sini bisa kita asumsikan bahwa daya aktif nantinya hanya menentukan resistansi sistem, daya reaktif pada frekuensi dasar menentukan induktansi sistem, dan daya reaktif pada frekuensi harmonik dapat menentukan impedansi harmonik. 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 (Sugiarto, 2012).

THD merupakan rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari nilai fundamental dan biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks ini digunakan untuk menyatakan deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa terhadap gelombang sinusoidal murni (Weking et al., 2013) (Vira Rahmayanti, 2017). Total Distorsi Harmonik (THD) tegangan dan arus, yaitu :

$$\frac{\sum_{h>1}^{h \max} M_h^2}{M_1^2} \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

THD = Total Harmonic Distortion

M_h = nilai rms arus atau tegangan harmonik ke-h

M₁ = nilai rms arus atau tegangan pada frekuensi dasar

2) Individual Harmonic Distortion/IHD

IHD (Individual Harmonic Distortion) adalah perbandingan antara nilai arus atau tegangan harmonik orde ke-h terhadap nilai arus atau tegangan fundamental, IHD (Individual Harmonic Distortion) merupakan rasio nilai RMS dari harmonik individual terhadap nilai RMS fundamental. Kontribusi setiap komponen harmonik terhadap distorsi arus dan tegangan dinyatakan oleh Individual Harmonic Distortion (IHD). Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai RMS harmonisa individual dengan nilai RMS fundamentalnya (Mustamam, Usman Baafai, 2014). Kontribusi setiap komponen harmonik terhadap distorsi arus dan tegangan dinyatakan oleh Individual Harmonic Distortion (IHD). Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai RMS harmonisa individual dengan nilai RMS fundamentalnya. Sebagai contoh, nilai rms arus harmonik ketiga pada beban non linier adalah 20 A. Nilai rms dari arus harmonik kelima adalah 15 A, dan nilai rms arus fundamental adalah 60 A (Dhavitra, 2015).

Adapun *Individual Harmonic Distortion* (IHD) tegangan seperti yang terdapat pada standar IEEE Std. 519-2014 adalah perbandingan (rasio) antara

besar rms dari harmonisa individual dengan besar rms gelombang fundamental yang dinyatakan dalam persen (Hendra Zulkarnain, 2018). Besar IHD untuk masing-masing order harmonisa dinyatakan seperti pada :

$$IHD_h = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana: IHD_h = besar IHD untuk urutan harmonisa ke h

V_h = besar rms tegangan harmonisa individual order ke h

V₁ = besar rms tegangan fundamental

3) Total Demand Distortion/TDD

Tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD, akan tetapi hal tersebut dapat saja salah saat diinterpretasikan. Aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai THD yang tinggi, namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak ke sistem tenaga listrik (Hidayati, 2018). THD adalah ukuran dari nilai efektif bentuk gelombang yang terdistorsi dari komponen harmonisa. THD disebut juga faktor distorsi (distortion factor). THD berlaku untuk arus dan tegangan. THD digambarkan sebagai nilai rms dari harmonik di atas fundamental, dibagi dengan nilai rms fundamental (Widiarto & Jamaah, 2013) (Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, 2018).

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. Maka dapat dilakukan dengan melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan

bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Ini disebut dengan Total Demand Distortion (TDD), merupakan rasio jumlah akar kuadrat nilai RMS komponen harmonisa arus hingga orde tertentu terhadap nilai RMS arus beban maksimum (Dhavitra, 2015) (Yudha et al., 2017). Beberapa analis mencoba untuk menghindari kesulitan seperti ini dengan melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar, hal ini disebut *Total Demand Distortion* (TDD) (I Made Suartika, 2016).

Untuk menghindari kesalahan interpretasi tersebut maka perhitungan THD dirubah dengan mereferensikan perhitungannya pada besar arus beban puncak (peak demand load current) dibandingkan dengan mereferensikan perhitungan pada besar arus fundamental dan parameter ini dinamakan Total Demand Distortion (TDD) (Kurniawan et al., 2015). Berdasarkan standar IEEE Std. 519-2014, TDD didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) antara besar RMS kandungan harmonisa sampai komponen ke lima puluh (atau lebih jika diperlukan) dan tidak termasuk interharmonics dengan besar RMS arus beban puncak (maximum demand current) yang dinyatakan dalam persen (Alaydrus & Buana, 2016). Besar TDD arus dinyatakan seperti pada :

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana : I_L = arus beban puncak (maksimum) pada frekuensi fundamental diukur pada PCC.

Ada dua cara yang disarankan dalam mengukur besar arus beban puncak I_L tersebut yaitu :

1. Untuk beban yang sudah beroperasi pada sistem, perhitungan I_L dapat dilakukan dengan menghitung besar rata-rata arus beban puncak dari data dua belas bulan terakhir dari operasional sistem. Besar arus beban puncak adalah seperti pada Persamaan.

$$I_L = \frac{KW}{pf \cdot \sqrt{3} KV} A \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana : pf = faktor daya rata-rata dua belas bulan terakhir

2. Untuk fasilitas yang baru dibangun dimana data arus beban puncak selama dua belas bulan terakhir tidak ada maka besar I_L harus diperkirakan (estimasi) sesuai perkiraan keadaan beban yang akan dilayani.

Dalam hal harmonik arus, kita tidak dapat sepenuhnya mengandalkan indeks THD saat ini, karena arus fundamental berubah dengan variasi beban. Arus dalam rangkaian atau sistem dapat berupa arus beban penuh untuk jangka waktu tertentu atau dapat dikurangi sesuai dengan bebannya. Mengingat variasi beban dalam rangkaian atau sistem, tidak disarankan untuk mengikuti THD arus, yang merupakan rasio penjumlahan harmonik arus terhadap arus fundamental (Zulfatri Aini, 2021) (Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, 2018). Distorsi saat ini malah diukur menggunakan TDD, TDD adalah distorsi arus harmonik yang dihitung dalam sistem kelistrikan terhadap permintaan beban penuh (Kirch et al., 2019). TDD secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$Total Demand Distortion, TDD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left[\frac{I_h^2}{I_L^2} \right]} \times 100\% \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana :

h = bilangan harmonik individu

I_H = besaran masing-masing komponen harmonik arus

I_L = beban permintaan maksimum pada frekuensi saluran.

Dampak distorsi harmonik arus pada suatu sistem dapat dipahami dari nilai TDD. TDD memadatkan informasi harmonik dalam bentuk gelombang arus tanpa bergantung pada fungsi waktu bentuk gelombang. THD dan TDD saat ini berbagi hubungan berikut:

$$TDD = THD \times \frac{I_1}{I_L} \dots\dots\dots(2.40)$$

I_1 adalah besaran komponen fundamental arus. Nilai THD yang tinggi dengan TDD yang rendah menunjukkan adanya efek harmonik pada sistem yang tidak signifikan. Pada beban penuh, nilai THD dan TDD sama dan ini merupakan masalah kualitas daya yang serius (Indriana Zella Margareta, 2014) (Zulfatri Aini, 2021). TDD dapat menggambarkan distorsi arus sebagai persentase dari arus permintaan beban penuh dan merupakan indeks kualitas daya terbaik untuk menjelaskan harmonik arus pada konsumen akhir (Maharani et al., 2021).

Nilai TDD memberikan informasi mengenai linearitas beban yang terhubung ke sistem kelistrikan. Distorsi arus lebih kecil ketika beban linier, oleh karena itu, nilai TDD rendah dalam kasus tersebut. Ketika beban memperkenalkan non-linearitas ke sistem, nilai TDD meningkat. Jika persentase beban non-linier kecil dibandingkan dengan permintaan beban sistem penuh, TDD lebih kecil (Agus Widodo, 2013).

Untuk menghitung nilai hubung singkat tiga fasa pada PCC (*Point Of Common Coupling*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{1000 \times MVA}{\sqrt{3} kv} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana MVA dan kV mewakili kapasitas hubung singkat tiga fasa 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 :

$$I_L = \frac{kw}{PF \sqrt{3} kV} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dengan :

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

PF = power factor

kV = tegangan line to line di PCC

Menentukan batasan maksimum distorsi arus harmonisa digunakan persamaan :

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \dots\dots\dots(2.43)$$

Dengan :

I_{sc} = arus hubung singkat

I_L = arus beban nominal

Distorsi tegangan harmonik dari sistem distribusi umum yang menghubungkan konsumsi listrik tergantung pada harmonik arus dan impedansi sistem pada frekuensi harmonik yang berbeda. Konsumen listrik terhubung ke

sistem tenaga di Point-of-Common Coupling (PCC). Short-Circuit Ratio (SCR) mendefinisikan impedansi sistem dan signifikan, karena impedansi dipengaruhi dan dibatasi oleh arus hubung singkat dalam system (Novix Jefri Alfama, 2013) (Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, 2018). SCR menggambarkan seberapa besar pengaruh harmonisa tegangan terhadap kualitas daya sistem akibat harmonisa arus yang dihasilkan oleh konsumen. SCR dapat dinyatakan sebagai:

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} \dots\dots\dots(2.44)$$

I_{SC} adalah arus hubung singkat. Rasio SCR yang lebih rendah menunjukkan bahwa arus hubung singkat sangat kecil. Sistem seperti itu memiliki impedansi tinggi, yang menyebabkan distorsi arus lebih sedikit, dan karenanya, TDD lebih sedikit. Standar IEEE 519 menghubungkan nilai TDD dan SCR, pelanggan bertanggung jawab untuk menjaga harmonik saat ini dan TDD di bawah batas yang direkomendasikan ini. Untuk mendorong hal ini, beberapa perusahaan listrik telah mengusulkan denda bagi pelanggan yang melewati batas TDD di PCC (Wahri Sunanda, 2011) (Zulfatri Aini, 2021).

4) Root Mean Squared/RMS

RMS dapat didefinisikan sebagai akar kuadrat rata-rata dari fungsi yang terdapat amplitude dari fungsi berkalanya pada suatu periode (Tanoto et al., 2006) (Yusuf Ridho Surya Dharma Nainggolan, 2016). Sehingga RMS didapat persamaan sebagai berikut :

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2 (t) dt} \dots\dots\dots(2.45)$$

Sedangkan untuk menghitung tegangan dan arus (V_{rms} dan I_{rms}) adalah :

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \dots\dots\dots(2.47)$$

Atau dapat juga didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots V_n^2} \dots\dots\dots(2.48)$$

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots I_n^2} \dots\dots\dots(2.49)$$

Nilai RMS merupakan besaran nilai yang sering dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini berdasarkan kenyataan bahwa pada umumnya alat ukur yang digunakan dalam proses pengukuran besaran listrik biasanya menunjukkan nilai RMS seperti arus rms atau tegangan rms. Nilai RMS digunakan karena beberapa alat elektronik (seperti beberapa komponen pada alat ukur) mempunyai batas untuk menahan kalor/panas tertentu (M. Ikhlas Setiawan, Agung Budi Muljono, 2014) (Sinaga et al., 2020).

Disamping itu, berbeda dengan sinyal DC yang memiliki nilai aktual sehingga pengukuran sinyal AC dilakukan dengan mencari nilai ekuivalen DC-nya. Nilai inilah yang disebut dengan nilai RMS yang dalam terminology elektrik, nilai RMS akan ekuivalen dengan DC heating value-nya (Dhavitra, 2015). Dengan demikian nilai RMS arus bolak-balik dapat dikatakan sebagai besarnya nilai arus searah yang akan memberikan efek pemanasan yang sama dengan efek pemanasan yang disebabkan arus bolak-balik tersebut pada suatu tahanan yang sama (Tanoto et al., 2006) (Dhavitra, 2015).

Karena pada sistem arus bolak-balik (AC) bentuk gelombang arus maupun tegangan berupa sinusoidal. Selain itu besarnya tegangan rata-rata setengah gelombang terukur dapat mewakili setengah gelombang yang lain karena luasnya sama. Tegangan *rms* adalah tegangan yang terukur pada alat ukur, nilai Root Means Square merupakan nilai akar kuadrat rata-rata dari fungsi berkala pada suatu periode yang terdapat amplitudo. Sebenarnya tegangan maksimum juga dapat diukur dengan menggunakan osciloscop, namun pada alat ukur seperti Voltmeter yang terukur adalah tegangan *rms*, karena akibat adanya arus berlebih pada saat terdapat beban yang dikonversi menjadi energi panas (Yusuf Ridho Surya Dharma Nainggolan, 2016).

Cara Menghitung Root Mean Square (RMS) adalah dengan mengurangi nilai aktual dengan nilai peramalan kemudian dikuadratkan dan dijumlahkan keseluruhan hasilnya kemudian dibagi dengan banyaknya data. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dihitung kembali untuk mencari nilai dari akar kuadrat.

$$RMS = \sqrt{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2} \dots\dots\dots(2.50)$$

Dimana :

A_t = Nilai data Aktual

F_t = Nilai hasil peramalan

N = banyaknya data

\sum = Summation (Jumlahkan keseluruhan nilai)

RMS dapat berkisar dari 0 hingga ∞ (tak terhingga), RMS dapat berorientasi negatif dimana nilai yang lebih rendah menunjukkan nilai yang lebih baik. Jika

nilai RMS lebih kecil, hal ini berarti bahwa nilai yang diprediski dekat dengan nilai yang diamati atau observasi, dan sebaliknya (Dermawan, 2016).

RMS digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan sebuah model dalam memprediksi suatu nilai numerik. Semakin kecil nilai RMS, dapat dikatakan model semakin akurat dalam memprediksi.

2.2.7. Distorsi Harmonic

Distorsi harmonisa adalah setiap perubahan dalam bentuk sinyal yang tidak disengaja dan secara umum keberadaannya tidak diinginkan pada sistem. Harmonisa merupakan salah satu hal yang dapat menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang fundamental tegangan dan arus (Apriliansyah & Gaffar, 2021). Distorsi harmonik disebabkan peralatan yang memiliki beban non linear pada sistem distribusi tenaga listrik. Peralatan yang memiliki beban non linear merupakan kondisi di mana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya. Fenomena ini timbul akibat pengaruh dari karakteristik beban non linier yang dimodelkan sebagai suatu sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa kedalam sistem tenaga listrik (Prasetyo, 2020) (Irwanto & Hidayat, 2022).

Akibat yang ditimbulkan dengan adanya distorsi harmonisa ini beragam bergantung pada masing - masing karakteristik beban peralatan listrik itu sendiri. Secara garis besar distorsi harmonik berakibat pada timbulnya fenomena sebagai berikut :

1. Meningkatnya nilai tegangan dan arus *rms*.

2. Terjadinya peningkatan nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus.
3. Berubahnya nilai frekuensi sistem.
4. Terjadinya getaran dan suara pada mesin-mesin yang berputar seperti generator dan motor.
5. Gangguan pada alat-alat pengaman sistem tenaga listrik, seperti pada relay dan pemutus beban.
6. Gangguan pada perangkat kendali yang digunakan dalam sistem elektronik.
7. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi.
8. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter.

Hubungan antara frekuensi harmonik dan fundamental dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$f_h = n f_i \dots\dots\dots(2.50)$$

dimana :

f_h = frekuensi harmonik

n = kelipatan gelombang (bilangan bulat)

f_i = frekuensi fundamental

Gelombang harmonik ini akan menumpang pada gelombang fundamental sehingga akan terbentuk gelombang yang terdistorsi. Hal ini dikarenakan efek penjumlahan dari gelombang harmonisa dengan gelombang fundamentalnya.

Gelombang harmonisa ini dapat dijabarkan pada deret Fourier berikut ini :

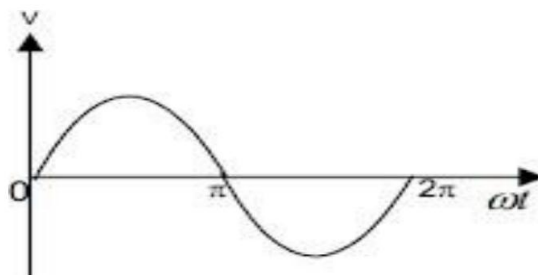
$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} (\alpha_h \cos(h\omega t) + b_h \sin(h\omega t)) \dots\dots\dots(2.51)$$

Dimana : $\alpha_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$

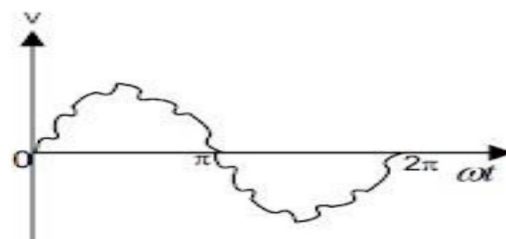
$$\alpha_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(h\omega t) dt ; b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(h\omega t) dt$$

α_0 adalah komponen DC, sedangkan α_h dan b_h adalah komponen AC.

Pada sistem tenaga listrik AC ideal, energi listrik disalurkan dalam frekuensi tunggal yang konstan dan pada level tegangan yang konstan pula. Tetapi dengan perkembangan beban listrik yang semakin besar dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban tak linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombangnya seperti terlihat pada gambar berikut :

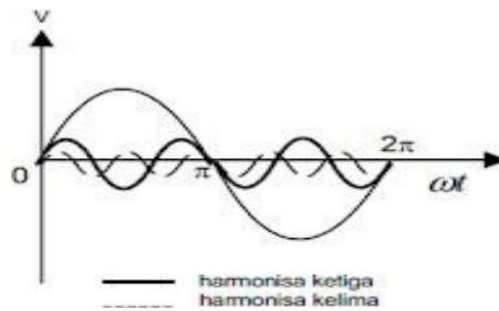


Gambar 2. 27 : Bentuk Gelombang Pada Frekuensi Fundamental (Sinaga et al., 2020)



Gambar 2. 28 : Bentuk Gelombang Terdistorsi (Sinaga et al., 2020)

Frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya seperti ditunjukkan pada gambar di bawah :



Gambar 2. 29 : Bentuk Gelombang Pada Frekuensi (Sinaga et al., 2020)

Efek harmonisa tidak dapat dihilangkan secara sepenuhnya, tetapi dapat dikurangi. Ada beberapa cara yang biasa digunakan dalam mengurangi harmonisa, yaitu dengan penggunaan filter pasif seperti pemasangan kapasitor, penambahan jumlah fasa, dan kompensasi atau injeksi harmonisa negative (Suprayogi, 2012) (Luqman Assaffat, 2018). Untuk mengatasi berbagai persoalan yang ditimbulkan oleh distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik, dengan cara menghilangkan atau mengurangi kandungan arus harmonisa sampai memenuhi batasan harmonisa yang diizinkan.

Teori yang dipakai untuk memahami gelombang harmonisa adalah Teori dari deret fourier. Dalam metode fourier series dapat menunjukkan komponen yang genap dan ganjil. Bentuk umum dari persamaan fourier series dapat ditunjukkan ke dalam persamaan sebagai berikut :

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ A_n \cos \left(\frac{2\pi \cdot nt}{T} \right) + B_n \sin \left(\frac{2\pi \cdot nt}{T} \right) \right\}$$

.....(2.52)

Rumus diatas diperuntukkan untuk gelombang yang berperiode kontinu yang mana didalam teori fourier menyatakan hal-hal yang mengacu pada

persamaan 2.52 yaitu A_0 (nilai rata-rata dari fungsi $x(t)$), A_n dan B_n (koefisien deret) ketiga koefisien tersebut didapat dengan persamaan :

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) dt \dots\dots\dots(2.53)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt \dots\dots\dots(2.54)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt \dots\dots\dots(2.55)$$

Dimana : n = indek harmonisa

Berdasarkan persamaan diatas, secara umum harmonisa tegangan dan arus dinyatakan dalam deret fourier :

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} A_n \cos(h\omega t + \phi h) \dots\dots\dots(2.56)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} B_n \cos(h\omega t + \theta h) \dots\dots\dots(2.57)$$

Dimana h adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 1,2,3...dst.

Istilah “rata-rata (*average*)” ini sebenarnya ini meliputi beberapa ukuran pemusatan. Rata-rata (*average*) adalah nilai khas yang mewakili sifat tengah, atau posisi pusat, dari suatu kumpulan data. Untuk mendapatkan nilai rata-rata harmonisa digunakan persamaan berikut :

$$nR = \frac{F \times 100 \%}{3} \dots\dots\dots(2.58)$$

Dimana :

nR = Jumlah Rata-rata F = Jumlah Fasa

Sedangkan untuk mencari derajat kandungan total distorsi harmonik arus (%ITHD) maupun tegangan (%VTHD) digunakan persamaan :

$$\%MTHD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{maks}} M_h^2}}{M_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.59)$$

Dimana : M_h = komponen harmonisa

M_1 = komponen pada frekuensi dasarnya

h = 2,3,4,5,.....

2.2.8. Standar Harmonisa Menurut Institute Of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Standar harmonik yang digunakan adalah standar harmonisa IEEE 519 tahun 2014. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik. Untuk yang pertama adalah batasan harmonik arus, dan yang kedua adalah batasan harmonik tegangan (Wibowo & Syakur, 2015). Untuk standar harmonik 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 harmonik tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai (Sitompul, 2009) (Ramadhani, 2018).

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 (IEEE, 2014)*.

Tabel 2. 6 : Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa (IEE, 2014)

Batasan Distorsi Harmonisa Arus		
$V_n \leq 66 \text{ Kv}$		
	Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam persen I_L	<i>Total Harmonic</i>
	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil	

I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	<i>Distortion (THDi)</i>
	< 20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	
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 < Vn < 150 kV						
I_{sc}/I_L	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					<i>THDi</i>
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 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						
I_{sc}/I_L	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					<i>THDi</i>
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 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. 7 : Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa (IEE, 2014)

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.

I_L = arus beban maksimum pada PCC.

TDD = Total demand distortion

Catatan ;

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

Harmonisa berdasarkan dari urutan ordenya adalah harmonisa ke 3,5,7,9,11 dan seterusnya, seperti pada Gambar 2.29 dibawah ini, Orde Harmonisa dapat di rumuskan sebagai berikut :

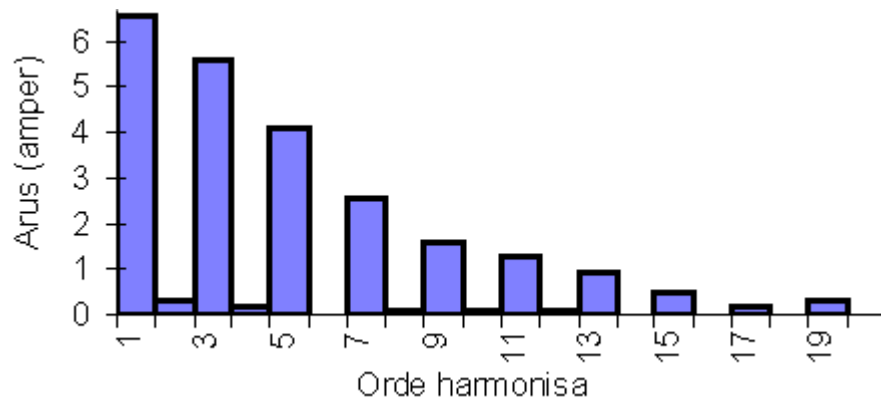
$$n_h = \frac{F_n}{F} \dots\dots\dots(2.60)$$

Dimana :

n_h = Orde Harmonisa

F_n = Frekuensi ke-n

F = Frekuensi Fundamental (50 Hz)



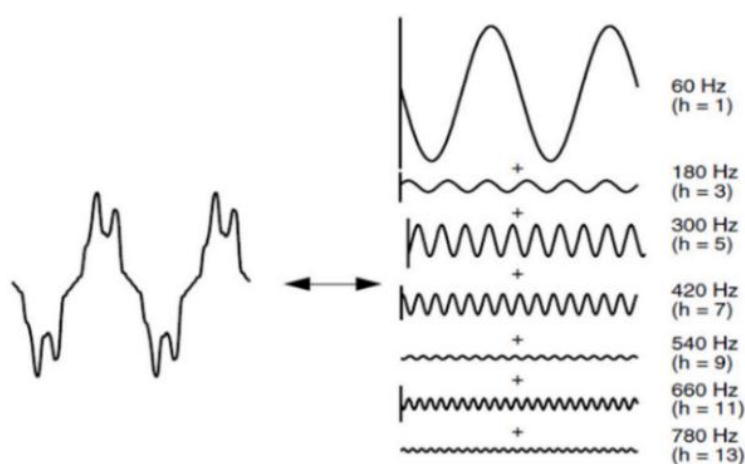
Gambar 2. 30 : Urutan Orde Harmonisa (Esye et al., 2021)

Distorsi harmonisa dapat menimbulkan efek yang berbeda-beda yang terhubung dengan jaringan listrik terutama karakteristik beban listrik itu sendiri. Secara umum pengaruh harmonisa pada peralatan tenaga listrik, nilai rms lebih besar dapat menyebabkan pemanasan yang lebih tinggi pada konduktor, trafo, ataupun komponen listrik lainnya (Dhavitra, 2015) (Noor & , Henry Ananta, 2017). Pemanasan yang berlebih dapat menurunkan daya tahan komponen sehingga bisa menyebabkan kerusakan apabila harmonisa yang timbul cukup besar (Suryadi, 2016).

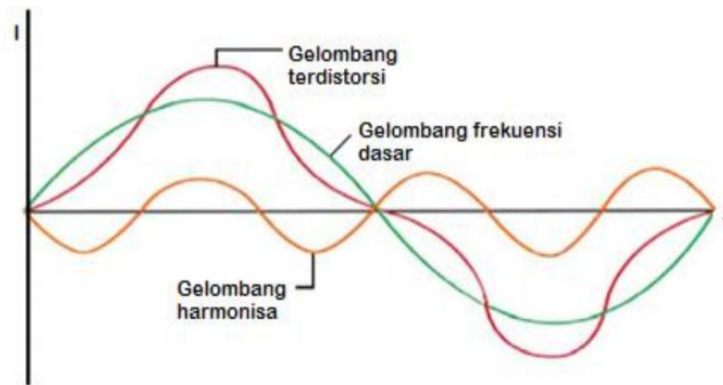
Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus lebih besar, nilai puncak yang lebih besar dapat memperburuk daya tahan komponen, dan semakin besarnya tegangan jatuh karena kawat sering menerima tegangan puncak. Mengubah nilai frekuensi mempengaruhi impedansi kawat, dimana semakin tinggi frekwensi berarti semakin sering kawat menerima tegangan puncak sehingga semakin besar tegangan jatuh yang terjadi, *resonansi* dapat terjadi pada frekuensi tertentu dan dapat menyebabkan arus meningkat (Nigara, 2015) (Triharto et al., 2018).

Banyaknya aplikasi beban non linier pada sistem tenaga listrik membuat arus menjadi sangat terdistorsi dengan persentase harmonisa arus, tingginya persentase kandungan harmonisa arus *Total Harmonic Distortion* atau disingkat dengan THD pada suatu sistem tenaga listrik dapat menyebabkan timbulnya beberapa persoalan, persoalan yang dapat ditimbulkan dari harmonisa berdampak sangat serius yang mana dampak terjadi serius pada sistem listrik, menimbulkan berbagai macam kerusakan pada peralatan listrik yang rentan dan menyebabkan penggunaan energi listrik tidak teratur (Al & Zondra, 2021).

Komponen harmonisa adalah gelombang yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan asli terhadap frekuensi dasar (frekuensi fundamental) (Tony Koerniawan; & Aas Wasri Hasanah, 2019). Harmonisa adalah fenomena yang disebabkan oleh aksi muatan listrik non-linier, yang merupakan sumber terbentuknya gelombang frekuensi tinggi (*multiple main frequency*). Dibawah ini adalah merupakan bentuk gelombang distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik ditunjukkan pada gambar berikut :

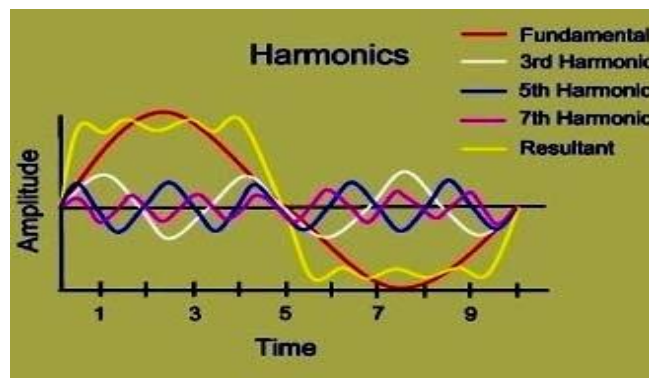


Gambar 2. 31 : Distorsi Gelombang Akibat Harmonisa (Suwanda, 2019)



Gambar 2. 32 : Bentuk Gelombang Sinusoidal & Gelombang Yang Terdistorsi (Adi Widiastira et al., 2016)

Distorsi harmonisa dipengaruhi oleh peralatan yang memiliki beban *non-linear* pada sistem tenaga listrik, sehingga menyebabkan terbentuknya gelombang yang non-sinusoidal seperti berikut :



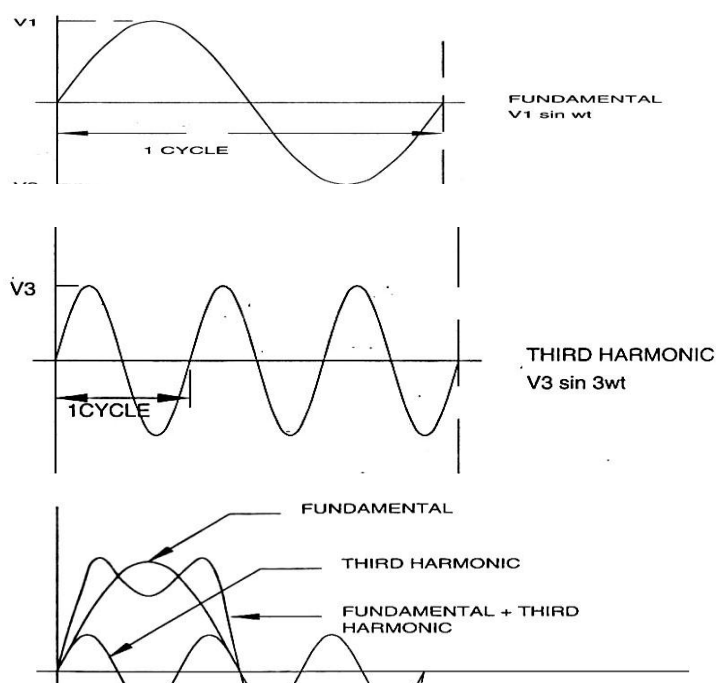
Gambar 2. 33 : Gelombang-Gelombang Non- Sinusoidal (Agus Darwanto, 2014)

Tingginya persentase kandungan harmonisa arus dan tegangan pada suatu sistem tenaga listrik dapat menyebabkan timbulnya beberapa persoalan harmonisa yang serius pada sistem tersebut dan lingkungannya (Suryadi, 2016). Penambahan jaringan kelistrikan dalam sistem tenaga menyebabkan berkembangnya masalah kualitas daya. penambahan beban berupa semi konduktor berkontribusi secara menyeluruh dalam penambahan harmonisa arus dan tegangan. Harmonisa dari suatu gelombang arus atau tegangan pada sistem tenaga listrik dihasilkan oleh

suatu sumber harmonisa yang disebut beban non linier (Mukhsin Akhsin Jaelani, 2020).

Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya (Mustamam, Usman Baafai, 2014). Jika frekuensi pada 50 Hz dikatakan frekuensi fundamental atau frekuensi dasar (f), maka jika gelombang tersebut mengalami distorsi bila mengalami kelipatan frekuensi dari frekuensi dasarnya, misalnya harmonik kedua ($2f$) pada 100 Hz, ketiga ($3f$) pada 150 Hz dan harmonisa ke- n memiliki frekuensi nf (Dhavitra, 2015) (Aas Wasri Hasanah, Tony Koerniawan, 2018).

Beban non linier akan memberikan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (bentuk gelombang harmonisa yang kedua, ketiga dan seterusnya dijumlahkan dengan gelombang dasar) (Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, 2018). Berikut ini adalah bentuk gelombang sinusoidal atau gelombang fundamental yang terkena dampak harmonisa dengan menjumlahkan gelombang - gelombang sinusnya :



Gambar 2. 34 : Gelombang Terdistorsi, Fundamental, Harmonisa
(S. Hidayat et al., 2021)

Distorsi harmonisa akan mengakibatkan kerugian pada sistem jaringan, diantaranya adalah terjadinya resonansi paralel maupun seri. Salah satu penyebabnya adalah pemasangan kapasitor shunt pada jaringan yang digunakan untuk kompesasi daya reaktif (Aris Budiman, Indriana Zella Margareta, 2014). Terjadinya resonansi ini akan meningkatkan tegangan - tegangan harmonisa yang cukup besar pada bus kapasitor yang bisa merusak kapasitor itu sendiri dan komponen jaringan lainnya, sehingga dalam upaya memperoleh efisiensi dan kualitas sistem tenaga listrik, maka pengaruh harmonisa harus diperhitungkan (Maharani et al., 2021).

2.2.9. Beban Listrik

1) Klasifikasi Beban Listrik

Secara umum beban yang dilayani oleh sistem distribusi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu : sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha (Budiman, 2016). Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik- karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini

berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing- masing konsumen di sektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan ditunjukkan oleh adanya fluktuansi konsumsi energi elektrik yang sangat besar (Aris Budiman, Indriana Zella Margareta, 2014). Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut lebih dominan di malam hari. Sedangkan pada sektor industri, fluktuansi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak dengan beban rata-rata hampir mendekati nilai satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada waktu malam hari (Tambunan et al., 2015) (Gede et al., 2017).

Berdasarkan jenis konsumsi energi listrik, secara garis besar beban listrik dapat diklasifikasikan ke dalam :

a. Beban Rumah Tangga

Beban listrik rumah tangga pada umumnya berupa lampu untuk penerangan, alat-alat rumah tangga, seperti : kipas angin, pemanas air, lemari es, dan lain-lain.

b. Beban Komersial

Beban komersial (bisnis) pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara, dan alat-alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran, hotel dan juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan, dan akan menurun di sore hari.

c. Beban Fasilitas Umum

Pengklasifikasian beban ini sangat penting, artinya bila kita akan melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari. Konsumsi energi listrik pada sektor industri akan lebih merata karena banyaknya industri yang bekerja siang dan malam (Budiman, 2016). Dilihat dari sisi ini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata, sedangkan pada beban fasilitas umum lain lebih dominan pada 24 Jam/hari. Namun pada hal ini penulis akan mencoba membahas permasalahan yang timbul pada karakteristik beban pada sektor fasilitas umum, tepatnya pengaruh yang ditimbulkan dari jenis beban pada peralatan elektrikal (Rasyid & Muhammad, 2021) (Aris Budiman, Indriana Zella Margareta, 2014). Di sini penulis mencoba menganalisa dampak karakteristik beban listrik pada salah satu gedung fasilitas umum yaitu rumah sakit di kota Medan tepatnya adalah RSUD Mitra Medika Premire.

2) Karakteristik Beban Listrik

Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) karakteristik beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

- a) Beban Resistif (R)
- b) Beban Induktif (L)
- c) Beban Kapasitif (C)

Adapun penjelasan dari ketiga karakteristik beban listrik diatas akan penulis jelaskan sedikit sebagai berikut :

a) Beban Resistif

Beban resistif adalah sebuah peralatan listrik yang didalamnya terdapat komponen yang bekerja dengan sistem resistansi. Jadi, jenis beban ini hanya mengonsumsi daya aktif. Beban resistif tidak akan mengakibatkan perubahan pada faktor daya, sehingga memiliki nilai *cos phi* yang tetap. Contoh beban resistif yang biasa digunakan ialah elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar.

Persamaan Daya Beban Resistif yaitu :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.61)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

b) Beban Induktif

Alat listrik yang menggunakan beban induktif biasanya beroperasi dengan prinsip kerja induksi. Tidak hanya itu saja, alat listrik yang menggunakan beban induktif juga memakai kawat penghantar. Umumnya kawat ini dililitkan pada bagian inti kumparan untuk menghambat laju arus pada rangkaian instalasi listrik. Karakteristik lain dari alat yang menggunakan beban induktif yakni adanya daya

harmonik yang dihasilkan. Daya ini nantinya bisa menyerap daya aktif sekaligus daya reaktif dalam rangkaian. Akhirnya daya $\cos\phi$ pada rangkaian listrik tersebut juga akan mengalami penurunan. Contoh penggunaan beban induktif biasanya terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti : (*coil*), transformator, dan *solenoida*. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan (*lagging*).

$$P = V \times I \times \cos \Theta \text{ (1 Fasa) } \dots\dots\dots(2.62)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \Theta \text{ (3 Fasa) } \dots\dots\dots(2.63)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt) $\cos \Theta$ = Faktor Daya (Nilainya lebih kecil dari 1)

V= Tegangan (Volt) Θ = Sudut antara arus dan tegangan

I= Arus (Ampere)

c) Beban Kapasitif

Beban Kapasitif adalah suatu alat yang membutuhkan daya listrik dan memiliki kemampuan kapasitansi yaitu kemampuan untuk menyerap dan menyimpan energi listrik dalam waktu sesaat. Beban kapasitif mengkonsumsi/menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif, sehingga alat dengan beban ini dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya listrik dalam batasan tertentu. Beban kapasitif menyebabkan terhambatnya laju tegangan, sehingga terjadinya pergeseran posisi gelombang arus menjadi mendahului dari

gelombang tegangan (*leading*). Adapun Persamaan Daya Beban Kapasitif berikut ini :

- Persamaan Daya Beban Kapasitif 1 Phasa

$$P = V \times I \times \cos \Theta \text{ (1 Phasa) } \dots\dots\dots(2.64)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \Theta \text{ (3 Phasa) } \dots\dots\dots(2.65)$$

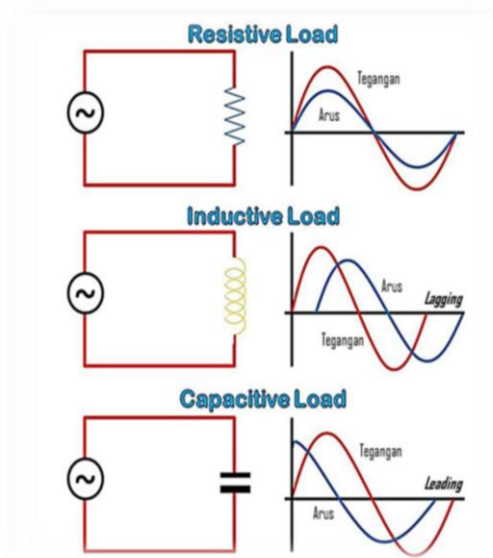
Keterangan :

P = Daya (Watt) $\cos \Theta$ = Faktor Daya (Nilainya lebih kecil dari 1)

V = Tegangan (Volt) Θ = Sudut antara arus dan tegangan

I = Arus (Ampere)

Biasanya komponen listrik yang bekerja dengan beban kapasitif memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen alat listrik yang termasuk jenis beban kapasitif adalah Kapasitor (*kondensator*) ini dapat menimbulkan panas pada peralatan tersebut sehingga dapat mengakibatkan penurunan daya.



Gambar 2. 35 : Karakteristik Beban Listrik (Tambunan et al., 2015)

Untuk cara perhitungan Daya Listrik dilakukan dengan cara memperhitungkan Jenis Arus yang dipakai dan Jenis bebannya. Untuk Jenis Arus, kita kenal dengan Arus DC (Direct Current) dan Arus AC. Untuk Perhitungan Daya Arus DC. kita menggunakan Rumus Persamaan 2.41 yaitu : $P = V \times I$ Watt, sedangkan untuk Perhitungan Daya AC, kita harus memperhatikan jenis bebannya. Ada 3 Jenis beban pada pemakaian Arus AC, yaitu : 1. Beban Resistif (R) misalnya : Elemen Strika; Solder; Oven; Heater, termasuk beban non Induktif lainnya, dll. 2. Beban Induktif (L) misalnya : Solenoid, Motor-motor Listrik; Lampu Tabung (TL) dan Ballast. 3. Beban Capasitif (C) misalnya Capasitor Bank yang dipasang pada Mall-mall.

Contoh Perbandingan Perhitungan Daya terhadap Beban Induktif tanpa memperhitungkan Faktor Daya (Cos Q) dengan memperhitungkan Faktor Daya (

Cos phi). Misalkan Sebuah Air Condition (AC) dengan Kapasitas 1 KW (1000 Watt) dipasang pada Tegangan 220 Volt, dengan Faktor Daya 0,8.

a. Perhitungan tanpa Cos phi : $P = V \times I$ Watt $\rightarrow I = P/V$ Watt $\rightarrow I = 1000$ Watt/220 Volt = 4,5 Amp.

b. Perhitungan dengan Cos phi : $P = V \times I \times \text{Cos phi}$ $\rightarrow I = P/V \times \text{Cos phi}$ $\rightarrow I = 1000/220 \times 0,8 = 5,6$ Amp.

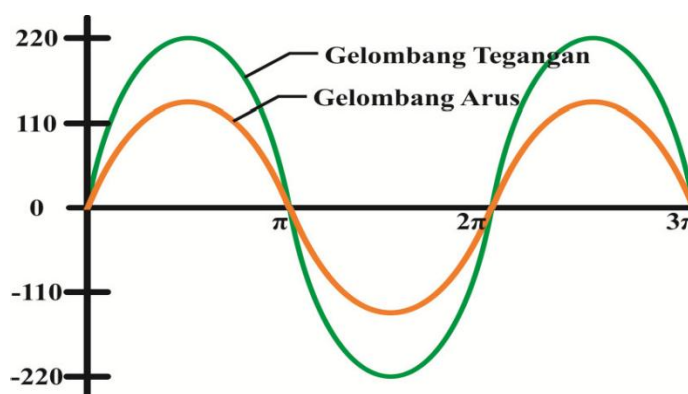
Memperhatikan Perhitungan-perhitungan diatas, maka sangat jauh berbeda pemakaian Arus pada Beban yang sama tanpa memperhitungkan Cos phi dengan Memperhitungkan Cos phi (Simamora, 2018). Dampak dari kesalahan ini terlihat jelas bahwa, nilai Arus (I) adalah sebagai Acuan dalam Penyediaan Peralatan pendukung Instalasi Listrik, seperti Penggunaan Kabel, kita harus memperhatikan Kemampuan Hantar Arusnya (KHA). Penggunaan/Pemasangan MCB (Mini Circuit Breaker), harus memperhatikan Arus beban yang akan mengalir melalui MCB tersebut. Bahkan di dalam PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) ada aturan/Persyaratan bahwa nilai MCB yang harus dipasang untuk Beban-beban Motor Listrik dengan Rotor Sangkar adalah : Sebesar-besarnya 2,5 kali dari Arus Nominalnya (In). Jadi bila dalam perhitungan Nilai Arus Nominalnya sebesar 5,6 Ampere, maka Nilai MCB yang harus dipasang adalah : $2,5 \times 5,6 \text{ A} = 14 \text{ A}$. Karena tidak ada MCB 14 A maka kita dapat gunakan MCB dengan Nilai 16 A. Akan beda hasilnya bila kita tidak perhitungkan Faktor Daya sebagaimana yang dilakukan oleh Seorang Electrician tersebut diatas, karena dia mengabaikan Faktor Daya dari Air Condition (AC) (Noor & , Henry Ananta, 2017).

3) Beban Listrik Pada Transformator Distribusi

Didalam sistem tenaga listrik dikenal 2 dua jenis beban listrik yaitu: Beban listrik linier dan Beban listrik non linier. Adapun penjelasannya sebagai berikut :

A. Beban Linier

Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan / nilai arus berbanding secara linier terhadap tegangan. Beban linier merupakan beban yang komponen arusnya sebanding dengan tegangannya. Terdapat hubungan linier antara arus dan tegangan, sehingga bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan, seperti terlihat pada Gambar 2.9 dibawah ini, sebuah beban linier menarik arus sinusoidal ketika disuplai oleh tegangan sinusoidal. Contoh beban linier adalah motor listrik, pemanas, lampu, dll (A.A. Gede Marta Pratama, I Wayan Rinas, 2021).

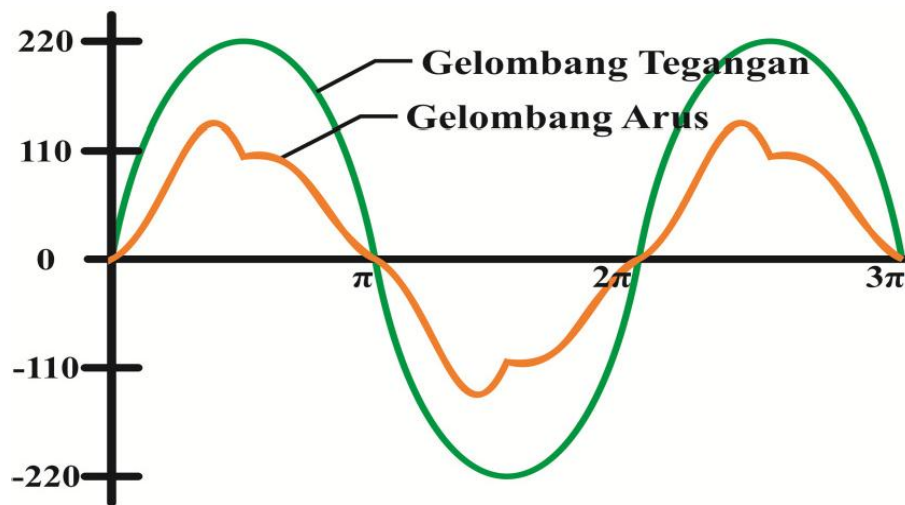


Gambar 2. 36 : Bentuk Gelombang Beban Linier (Gede et al., 2017)

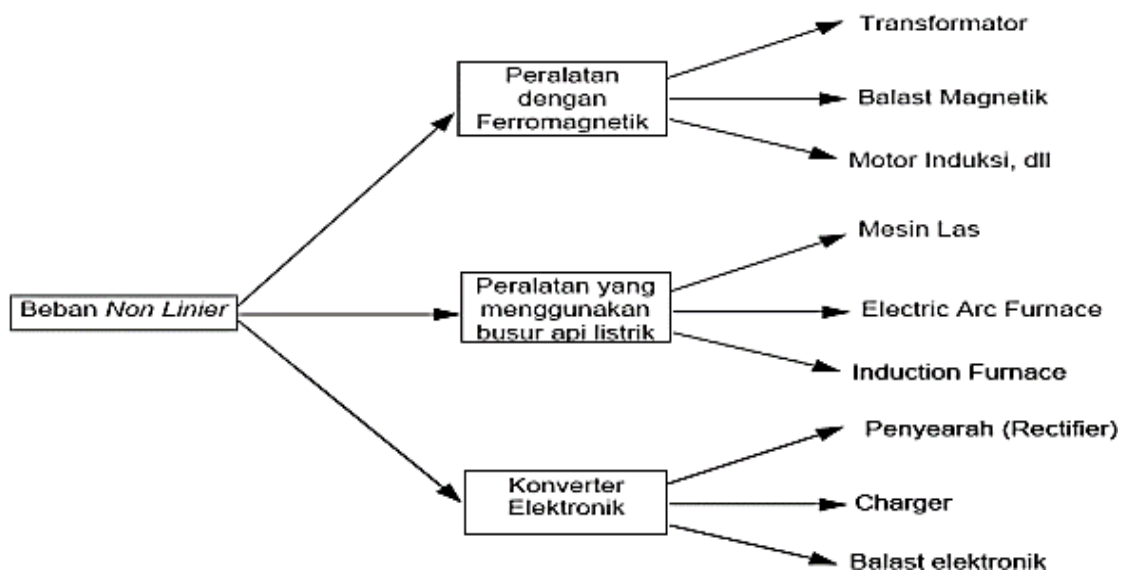
B. Beban non-Linier

Beban non linear adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan

gelombang masukannya atau dengan kata lain disebut distorsi tegangan dan arus listrik. Beban non-linier adalah beban yang mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus, sehingga bentuk gelombangnya berubah atau cacat. Contoh beban non-linier adalah penyearah, UPS, komputer, pengontrol kecepatan motor, lampu pelepasan, motor DC, mesin UV, dan masih banyak lainnya (Tambunan et al., 2015).



Gambar 2. 37 : Bentuk Gelombang Beban Nonlinier (Gede et al., 2017)



Gambar 2. 38 : Jenis Beban Non-Linier (Alit et al., 2016)

Bila arus atau tegangan tidak sinusoidal, ada dua definisi umum yang digunakan yaitu *True Power Factor* (PF_{true}) dan *Distorsi Power Factor* (PF_{dist}). *True Power Factor* (PF_{true}) adalah faktor daya sebenarnya akibat adanya harmonisa (beban non-linier). *True Power Factor* (PF_{true}) dipengaruhi oleh THD.

$$PF_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(2.66)$$

$$PF_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms} \times I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.67)$$

Dimana :

- PF_{true} = faktor daya sebenarnya pada kondisi beban non-linier
- THDv = distorsi harmonisa total dari tegangan (%)
- THDi = distorsi harmonisa total dari arus (%)
- P_{avg1} = daya rata-rata pada beban non-linier
- V_{rms} = tegangan pada kondisi beban non-linier
- I_{rms} = arus pada kondisi beban non-linier

Oleh karena THDv biasanya tidak melebihi 10 % maka faktor daya sebenarnya menjadi :

$$PF_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms} \times I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} = \frac{PF_{disp}}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.68)$$

Atau

$$PF = \frac{DPF}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.69)$$

Dimana

$$P_{f_{disp}} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms} \times I_{rms}} \dots\dots\dots(2.70)$$

$$P_{f_{disp}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.71)$$

Dan pada kondisi beban tanpa harmonik $PF_{true} = P_{f_{disp}}$

2.2.10. Software ETAP (Electric Transient and Analysis Program)

Software ETAP merupakan perangkat lunak yang dapat mendukung dan memudahkan dalam menganalisa sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam offline untuk simulasi tenaga listrik dan online untuk pengelolaan data *real time*. *Harmonic analysis* pada Software ETAP memberikan fasilitas untuk mensimulasikan, memodelkan dan menganalisis fenomena harmonisa pada sistem tenaga listrik. Pada hal ini penulis menggunakan Software ETAP versi 19.0.1 untuk melihat hasil analisis distorsi Hormisa yang ditimbulkan oleh penggunaan beban non-linier dari pemakaian peralatan elektronika kesehatan (Verma et al., 2019) (I Putu Budi Aryawan, 2018).

BAB 3

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 12 Maret 2022 sampai 30 Juni 2022.

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 Acer Aspire 5 dengan prosesor Core i3 Generasi 11
5. Kendaraan Bermotor
6. Penyimpanan Data Praktis

3.3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan pada 12 Maret 2022 sampai 30 Juni 2022 bertempat di RSUD Mitra Medika Premire yang ada 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. Melakukan pengukuran setiap sistem kelistrikan (Pengukuran Parameter listrik, dan pengukuran parameter harmonisa)
3. Mengumpulkan data hasil pengukuran (data jumlah kapasitas beban yang terpasang, data faktor daya, data nilai arus, data nilai tegangan, data saluran daya yang terpasang, dan data nilai harmonisa)
4. Mengumpulkan data sistem (data gambar singel line diagram kelistrikan RSUD Mitra Medika Premire, data pembangkitan, data saluran, dan data diagram jaringan)
5. Evaluasi pengambilan data (periksa pengumpulan data, klasifikasi pembagian beban, dan hitung data jumlah beban yang terpasang)
6. Menyiapkan Software ETAP Power Power Station versi 19.0.1
7. Membuat gambar singel line diagram sistem kelistrikan RSUD Mitra Medika Premire pada lembar kerja program ETAP
8. Memasukkan parameter data yang diperlukan pada program ETAP

9. Melakukan simulasi analisis harmonisa dengan menambahkan beban non-linear pada seluruh sistem
10. Melakukan simulasi analisis harmonisa tanpa beban pada seluruh sistem
11. Menampilkan seluruh hasil simulasi yang telah dilakukan.
12. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilaksanakan.
13. Selesai

3.4.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. Adapun data-data yang diperlukan sebagai berikut :

1. Gambar Singel Line Diagram Kelistrikan.
2. Kapasitas beban listrik yang terpasang.
3. Jumlah total keseluruhan Perangkat/unit elektronika yang terpasang.
4. Data Reel Time Beban Harian dengan perkiraan waktu (Pagi,Siang,Sore, dan Malam Hari).
5. Data pengukuran nilai faktor daya, nilai arus, nilai tegangan, dan data nilai harmonisa pada alat elektronik yang terhubung ke sistem kelistrikan.

6. Data sistem kelistrikan (data Pembangkitan, data saluran daya yang terpasang, dan data diagram jaringan).

3.5.Deskripsi Data

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tanggal 15 September sampai dengan 17 September 2022 di RSUD Mitra Medika Premiere, maka hasil penelitian disajikan dalam bentuk penyajian data yang sesuai dengan hasil pengukuran yang dilakukan sebelumnya.

Pada penelitian ini data diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung. Penelitian dilakukan pada jam 09.00; 14.00; 16.00; dan 18.00 WIB pada setiap harinya. Data pengukuran yang diambil ialah arus (I), tegangan (V), harmonisa arus (THDi), harmonisa tegangan (THDv), nilai faktor daya (PF), nilai daya semu (S), nilai daya nyata (P), dan nilai daya reaktif (Q). Data hasil pengukuran akan dituangkan dalam bentuk tabel-tabel.

Kandungan harmonisa arus dan tegangan listrik pada penelitian ini, dapat diketahui dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer Fluke 43B. Alat ukur ini digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, harmonisa (THD) arus dan tegangan. Tampilan hasil pengukuran dari alat ukur Power Quality Analyzer Fluke 43B dapat berbentuk gelombang, spektrum yang terjadi pada tiap-tiap orde harmonisa dan dapat berbentuk teks. Kemudian hasil pengukuran dibandingkan dengan standar harmonik yang diperkenankan dan seterusnya dilakukan analisa.

Dalam penelitian ini peneliti membatasi penelitiannya meliputi yang pertama melakukan simulasi aliran daya serta simulasi harmonisa menggunakan software ETAP 19.0.1 dilanjutkan menghitung rugi-rugi daya akibat Total Harmonic Distortion (THD) sehingga dapat melihat hasil simulasi.

3.6. Teknik Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer, antara lain data single line diagram sistem kelistrikan di RSUD Mitra Medika Premiere, data jumlah dan tipe serta kapasitas beban yang terpasang pada setiap ruangan yang tersambung pada setiap MLTP di masing-masing MDP, data panjang serta spesifikasi kabel dari MLTP ke setiap ruangan yang disuplainya, dan data Jumlah Peralatan Elektronis yang terhubung ke sistem kelistrikan. Dalam penelitian ini, pengumpulan data-data yang diperoleh berdasarkan metode-metode seperti berikut ini, yaitu :

1. Metode observasi

Metode pengumpulan data dengan melakukan pencarian data-data yang dipergunakan dalam penelitian ini ke instansi-instansi yang terkait maupun wawancara dengan narasumber.

2. Penelaahan kepustakaan

Metode pengumpulan data yang dilakukan dengan membaca literatur-literatur yang berkaitan dengan permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini.

3.7. Pengolahan Data

Data yang didapat dari pengukuran secara langsung pada sistem kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere kemudian dianalisis dengan melakukan pengelompokan terlebih dahulu. Data besar orde, tegangan, arus tiap orde diinput melalui program yang ada pada Software ETAP Power Station versi 19.0.1 untuk mendapatkan spektrum gelombang sehingga akan terlihat gelombang sinusoidal yang terdistorsi baik untuk tegangan maupun gelombang arus.

3.8. 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 (Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, 2017). 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 (Ahmad, 2018).

Pada suatu penelitian, seorang peneliti harus menggunakan jenis penelitian yang tepat. Hal ini dimaksud agar peneliti dapat memperoleh gambaran yang jelas mengenai masalah yang dihadapi serta langkah-langkah yang digunakan dalam mengatasi masalah tersebut. (Ahmad, 2018) menyatakan bahwa “Metode penelitian dapat diartikan sebagai cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, dan dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga dapat digunakan untuk memahami, memecahkan,

dan mengantisipasi masalah”. Adapun jenis metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif.

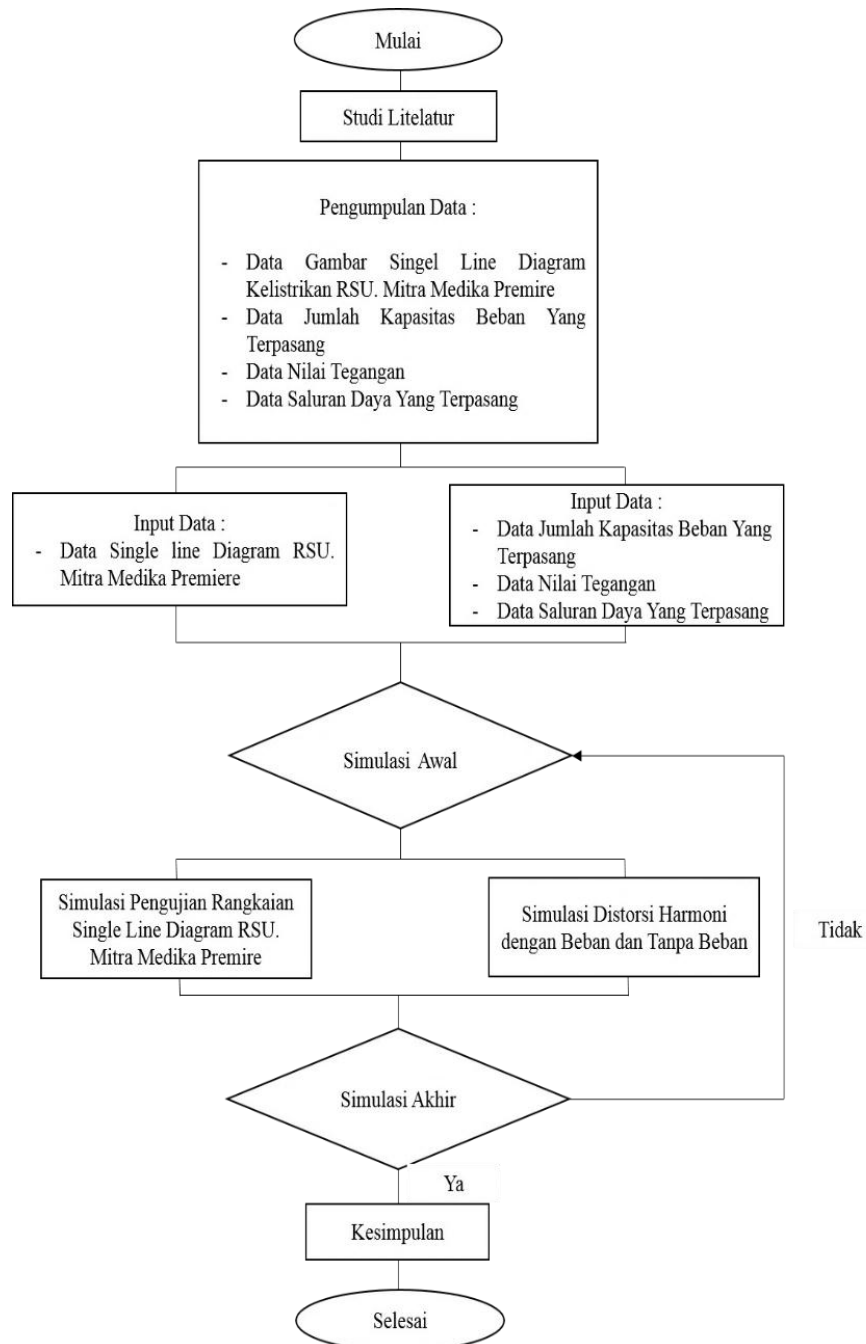
Menurut (Prof.Dr. M. Budyatna, 2018) menyatakan bahwa “Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya. Dalam metode penelitian kuantitatif, (Prof.Dr. M. Budyatna, 2018) mengemukakan bahwa “penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang banyak dituntut mengemukakan 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 (Nurmalasari & Erdiantoro, 2020) menjelaskan bahwa “penelitian deskriptif ialah penelitian yang dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih detail mengenai suatu gejala atau fenomena. Hasil akhir dari penelitian ini biasanya berupa tipologi atau pola-pola mengenai fenomena yang sedang dibahas”. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa metode penelitian kuantitatif deskriptif yaitu untuk mengungkapkan kejadian atau fakta, keadaan, fenomena, variabel dan keadaan yang terjadi saat penelitian berlangsung dengan menyuguhkan apa yang sebenarnya terjadi.

Penelitian ini memilih metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif karena sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mendeskripsikan atau

menggambarkan pengaruh/dampak nilai harmonisa 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

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka peneliti menggunakan berbagai teori untuk menjawabnya. Penelitian disini metode yang digunakan yaitu metode kuantitatif dimana pada penelitian disini yang disajikan gunakan berbentuk angka angka. Metode kuantitatif merupakan penelitian yang menggunakan pembentukan dalam angka angka yang banyak menuntut angka di mulai dari sebuah pengumoulan data data, perhitungan terhadap data , serta menampilkan hasil. Setelah masalah diidentifikasi, maka selanjutnya masalah tersebut dirumuskan. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengumpulan data guna memperoleh data yang dibutuhkan seperti tegangan, arus, faktor daya, frekuensi, THD, dan lain-lain. Data yang telah terkumpul selanjutnya dianalisis. Analisis diarahkan untuk menjawab rumusan masalah yang diajukan. Data hasil analisis selanjutnya disajikan dan diberi pembahasan. Penyajian data dapat menggunakan tabel, grafik, dan sebagainya. Setelah hasil penelitian diberikan pembahasan, maka selanjutnya dapat disimpulkan. Kesimpulan berisi jawaban singkat terhadap setiap rumusan masalah berdasarkan data yang telah didapatkan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Data Pengukuran

4.1.1. Tinjauan Umum Pengukuran, Perhitungan dan Simulasi Harmonisa

Pada saat penelitian digunakan suatu alat untuk mendukung jalannya penelitian agar mendapatkan hasil yang sesuai. Alat penelitian yang digunakan adalah Power & Harmonic Analyzer. Alat ukur ini dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, harmonisa (THD), dan lain-lain. Tampilan hasil pengukuran dari alat ukur Power and Harmonic Analyzer Langlois ini dapat berbentuk gelombang, spektrum yang terjadi pada setiap orde-orde harmonisa, dan dapat berupa teks.



Gambar 4. 1 Power And Harmonic Analyzer Langlois Kew6315
(Sutisna et al., 2019)

4.1.2. Hasil Pengukuran Kandungan Harmonisa

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan besarnya gelombang harmonik pada sistem kelistrikan di RSUD Mitra Medika Premiere. Fenomena dari hasil penelitian merupakan hasil yang tidak direkayasa, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggung jawabkan dan merupakan hasil penelitian yang sebenar-benarnya.

Dalam penelitian ini peneliti membatasi penelitiannya meliputi yang pertama melakukan pengukuran pada sistem pembangkitan, sistem distribusi, sistem menuju pembagian beban, melakukan simulasi aliran daya serta simulasi harmonisa menggunakan software ETAP 19.0.1 dilanjutkan menghitung rugi-rugi daya akibat Total Harmonic Distortion (THD) sehingga dapat melihat pengaruh dari adanya Distorsi Harmonisa pada sistem kelistrikan. Pengukuran dilakukan selama 3 hari (Kamis, Jum'at dan Sabtu) dengan interval pencuplikan data 30 menit. Data kandungan yang diukur dengan alat Power Quality Analyzer DM III Multitest meliputi harmonisa tegangan dan arus tiap fasa R, S, T, dan N.

1. Pengukuran Pada Gardu Distribusi PLN hingga Panel Trafo

Dari hasil pengukuran yang sudah terlampir di dapat bahwa pada proses distribusi PLN hingga Panel Trafo mengalami Distorsi Harmonisa dengan THD_V sebesar 14,60 % dan THD_I sebesar 24,35 % dimana penyuplai harmonisa terbesar berasal dari Transformator (Trafo). Hal tersebut dinyatakan dalam persamaan 2.19 dan 2.20 berikut ini :

Analisa perhitungan THD_v

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{1.60_2^2 + 1.56_3^2 + 1.55_4^2 + 1.54_5^2 + 1.57_6^2 + 1.52_7^2 + 1.55_8^2 + 1.55_9^2 + 1.53_{10}^2 + 1.55_{11}^2 + 1.55_{12}^2}}{1.60}$$

$$THD_v = \frac{23.37}{1.60}$$

$$THD_v = 14.60$$

Analisa perhitungan THD_i

$$THD_i = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{6.21_2^2 + 6.27_3^2 + 6.23_4^2 + 6.23_5^2 + 6.25_6^2 + 6.56_7^2 + 6.31_8^2 + 6.31_9^2 + 6.31_{10}^2 + 6.31_{11}^2 + 6.31_{12}^2}}{6.21}$$

$$THD_i = \frac{151.22}{6.21}$$

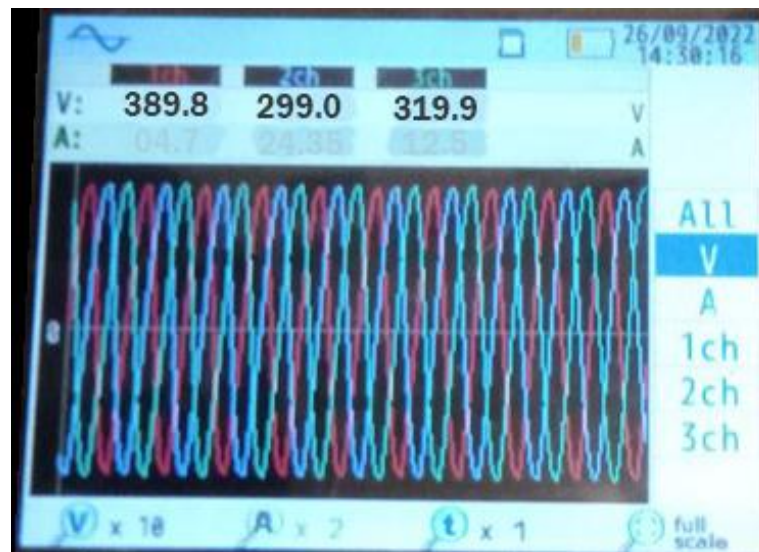
$$THD_i = 24.35$$

Dari hasil analisis pengukuran yang telah dilakukan maka tingkat distorsi harmonisa dapat dinyatakan pada grafik diagram pengukuran sebagai berikut :

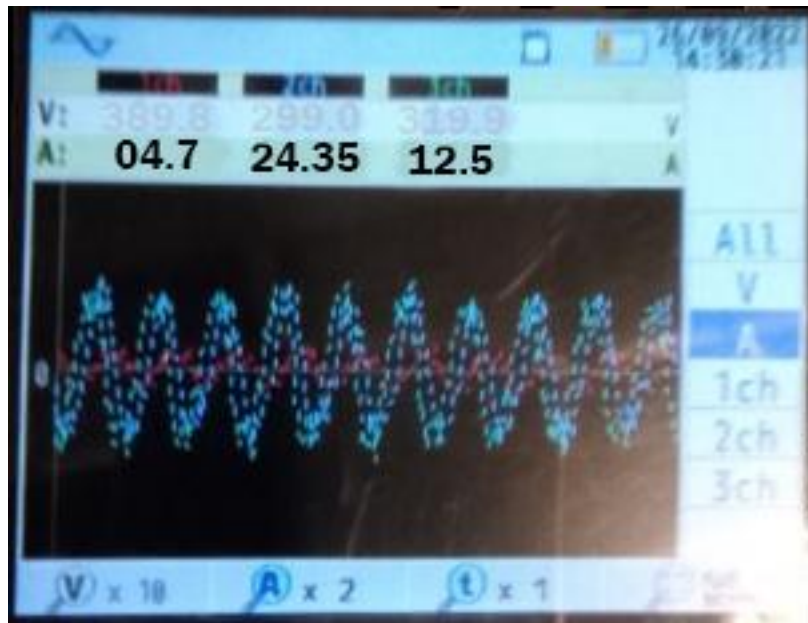


Gambar 4. 2 : Data Pengukuran Gardu Distribusi hingga Pada Panel Trafo

Dan dari hasil pengukuran maka gelombang tingkat distorsi THD_V maupun THD_I dapat dinyatakan sebagai berikut :



Gambar 4. 3 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_V

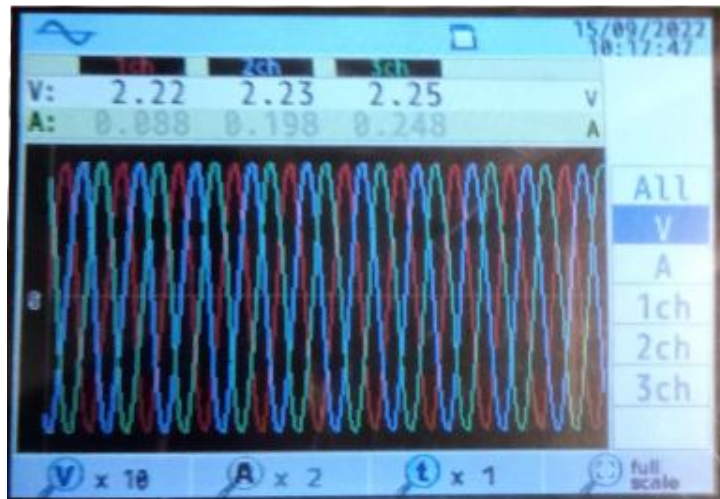


Gambar 4. 4 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_I

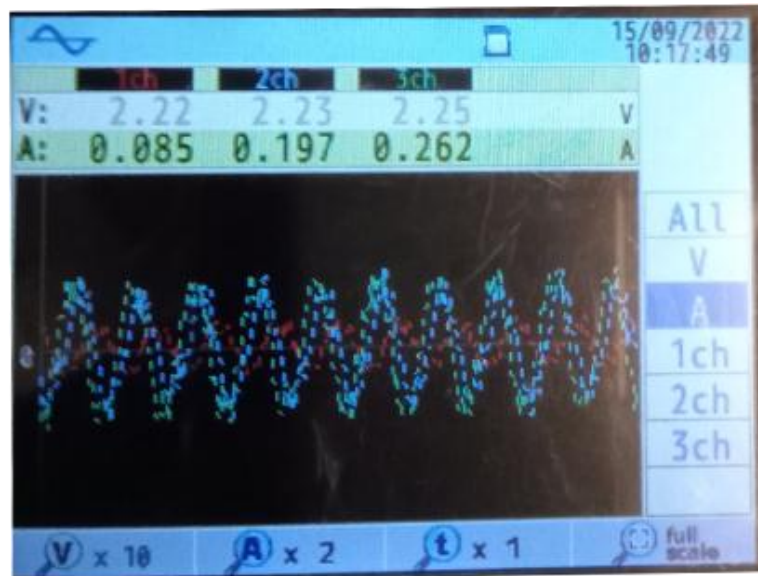
Dari gambar 4.2 sampai 4.4 dapat disimpulkan bahwa THD terbesar dihasilkan dari panel trafo yaitu sebesar 14.60 %, hal itu diketahui karena trafo merupakan salah satu peralatan listrik yang prinsip kerjanya berdasarkan hukum induksi elektromagnetik dimana bisa menyebabkan panas berlebih terhadap trafo dan kegagalan sistem kepada peralatan lainnya.

2. Pengukuran Pada Panel SDP (Sub Distribution Panel)

Dari hasil pengukuran yang sudah terlampir di dapat bahwa pada Panel SDP (Sub Distribution Panel) di dapat nilai harmonisa THD_V sebesar 16,55 % dan THD_I sebesar 49,61 % untuk sistem Generator hingga Panel ATS, sedangkan pada sistem ATS sampai panel SDP di dapat nilai harmonisa THD_V sebesar 4,91 % dan THD_I sebesar 32,21 % dimana penyuplai harmonisa terbesar yaitu dari sistem Genset menuju Panel ATS.



Gambar 4. 5 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_V



Gambar 4. 6 : Gelombang Distorsi Harmonisa THD_i

Sistem Kelistrikan RSUD Mitra Medika Premiere medan menggunakan utilitas Kelistrikan Panel ATS sehingga apabila terjadinya pemutusan listrik dari PLN secara mendadak dapat diback-up oleh sistem ATS yang ada. Namun untuk waktu tranfer pada saat genset akan hidup secara otomatis membutuhkan delay waktu sehingga hal inilah yang menyebabkan timbulnya harmonisa listrik dengan

tingkat THD 37.74 % seperti dijabarkan pada gambar 4.5 sampai dengan 4.9 diatas.

3. Pengukuran pada Panel Pembagian Beban

Dari hasil pengukuran yang sudah terlampir di dapat bahwa pada proses pembagian beban, pada Beban Normal mengalami Distorsi Harmonisa dengan tingkat THD_V sebesar 85,97 % dan THD_I sebesar 76,90 % dimana penyuplai harmonisa terbesar pada Beban Normal berasal dari peralatan *Medical Central Record Instalation* dan Sitem Lift yang pada umumnya digunakan secara terus-menerus. Sedangkan untuk Beban Prioritas mengalami Distorsi Harmonisa dengan tingkat THD_V sebesar 70,60 % dan THD_I sebesar 22,82 % dimana penyuplai harmonisa terbesar yaitu dari Perangkat Elektronik Medis CT SCAN, MAMMOGRAFI, dan X-RAY. Hal tersebut dapat dinyatakan dari persamaan 2.45 berikut ini :

Analisa perhitungan THD_V pada Panel Pembagi Beban Normal

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

$$THD_V = \frac{\sqrt{1.99_2^2 + 0.99_3^2 + 0.90_4^2 + 1.88_5^2 + 0.62_6^2 + 0.11_7^2 + 0.22_8^2 + 0.25_9^2 + 4.14_{10}^2 + 0.99_{11}^2 + 17.7_{12}^2}}{1.96}$$

$$THD_V = \frac{340.45}{1.96}$$

$$THD_V = 1.58 \%$$

Analisa perhitungan THD_I

$$THD_I = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{1.33_2^2 + 0.26_3^2 + 0.44_4^2 + 0.37_5^2 + 0.14_6^2 + 1.46_7^2 + 1.51_8^2 + 3.31_9^2 + 0.56_{10}^2 + 0.41_{11}^2 + 0.123_{12}^2}}{1.42}$$

$$THD_I = \frac{109.20}{1.42}$$

$$THD_I = 16.90 \%$$

Analisa perhitungan THD_V pada pembagi Beban Prioritas

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

$$THD_V = \frac{\sqrt{1.83_2^2 + 1.26_3^2 + 0.46_4^2 + 7.97_5^2 + 1.14_6^2 + 1.46_7^2 + 1.51_8^2 + 1.31_9^2 + 2.56_{10}^2 + 0.31_{11}^2 + 0.77_{12}^2}}{9.93}$$

$$THD_V = \frac{251.96}{49.21}$$

$$THD_V = 20,60 \%$$

Analisa perhitungan THD_I

$$THD_I = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{23.33_2^2 + 0.05_3^2 + 1.76_4^2 + 0.93_5^2 + 0.14_6^2 + 1.46_7^2 + 5.54_8^2 + 8.31_9^2 + 0.56_{10}^2 + 0.41_{11}^2 + 0.13_{12}^2}}{11.04}$$

$$THD_I = \frac{251.96}{11.04}$$

$$THD_I = 41.06 \%$$

Dari hasil analisis pengukuran yang telah dilakukan maka tingkat distorsi harmonisa dapat dinyatakan pada grafik diagram pengukuran sebagai berikut :



Gambar 4. 7 : Pengukuran Pada Panel Pembagi Beban Normal

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan analisis data, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengukuran, perhitungan dan simulasi sistem harmonisa dapat disimpulkan bahwa pada sistem distribusi kelistrikan mengalami distorsi harmonisa, yang mana hal tersebut dapat memicu dan menimbulkan kegagalan sistem serta dapat menyebabkan kerugian besar yang tidak diinginkan.
2. Komponen elektronika kesehatan dengan tingkat distorsi harmonisa tertinggi yaitu MAMMOGRAPHY, CT SCAN, RADIOLOGIST, dan X-RAY DR DIGITAL, dimana dari hasil pengukuran dan analisis perhitungan didapatkan nilai THD_V 23,30 % dan THD_I 20,95 %. Tingginya pengaruh distorsi harmonisa pada peralatan elektronika kesehatan menyebabkan lambatkan respon sensorik dan pencatatan data dengan kisaran waktu 0,5 – 3 detik.
3. Hasil Simulasi Harmonisa pada software ETAP Power Station menunjukkan Kandungan harmonisa THD_V % dan THD_I % di RSUD Mitra Medika secara umum berada di atas standar yang diizinkan (5%), kecuali pada waktu-waktu tertentu pada saat sedikitnya penggunaan komputer/peralatan elektronik lainnya di gedung tersebut bahkan pada waktu pemakaian beban yang besar nilainya bisa mencapai 44,9%.

5.2. Saran

1. Kondisi beban listrik pada Rumah Sakit Mitra Medika, beban tidak terdistribusi merata pada masing-masing fasa, sehingga pada kawat netral mengalir arus yang dapat membahayakan sistem dan menimbulkan rugi-rugi, untuk itu disarankan perlu ditinjau kembali pembagian beban atau penambahan beban baru disambungkan pada fasa yang bebannya masih rendah agar lebih merata.
2. Diharapkan adanya pemasangan filter harmonisa pada sistem kelistrikan di Rumah Sakit Mitra Medika agar dapat menanggulangi dampak terjadinya distorsi harmonisa.
3. Semoga semakin banyak yang meneliti dan mengembangkan permasalahan kelistrikan yang semakin banyak terutama pada permasalahan Harmonisa dan Kualitas daya listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- A.A. Gede Marta Pratama, I Wayan Rinas, A. A. M. P. (2021). Analisa Pengaruh Pengoperasian Filter Aktif Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Di RS BIMC Nusa Dua. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(3), 157–163.
- Aas Wasri Hasanah, Tony Koerniawan, Y. (2018). Kajian Kualitas Daya Listrik Plts Sistem Off-Grid di STT-PLN. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 10(2), 93–101.
- Abbas, W., & Saqib, M. A. (2020). Effect of Nonlinear Load Distributions on Total Harmonic Distortion in a Power System. *Tech Coloproctol DOI*, 4(7), 1–6.
- Abdul Haris Mubarak. (2013). Simulasi pemasangan filter harmonisa pada sistem tenaga listrik menggunakan software ETAP. *Prosiding Seminar Nasional ISSN 2443-1109*, 02(1), 738–746.
- Abidin, J. F. (2015). Analisis Unjuk Kerja Harmonik Di Instalasi Listrik Industri Dan Upaya Penanggulangannya. *Jurnal Teknologi Elektro*, 6(3), 176–189.
- Adi Widiastara, W. A., Rinas, I. W., & Sukerayasa, I. W. (2016). Analisis Pengaruh Total Harmonic Distortion Terhadap Losses dan Efisiensi Transformator RSUD Kabupaten Klungkung. *Teknologi Elektro*, 16(1), 107–116. <https://doi.org/10.24843/mite.1601.15>
- Afif Arsoni. (2020). *Studi Pengaruh Dampak Harmonisa Terhadap Penurunan Daya Mampu Dan Umur Transformator Pada Pelnggan Bisnis Di Menara Xl Data Center*.
- Agus Darwanto. (2014). Analisis Simulasi Pemasangan Filter Harmonisa Menggunakan ETAP 4.00 Di PLTU Unit 1 PT. Indonesia Power Tambak Lorok Semarang. *Majalah Ilmiah STTR Cepu*, 18(3), 1–6.
- Agus Widodo. (2013). *Tuned Filter Pada Sistem Distribusi Standar Ieee 18 Bus Dengan Menggunakan Software Etap*.
- Ahmad, J. (2018). Desain Penelitian Analisis Isi (Content Analysis). *Research Gate*, 5(9), 1–20.
- Ahmad Yani. (2019). Pengaruh Harmonisa Terhadap Kesalahan Pengukuran

- Energi Listrik Pada Kwh Meter Analog / Digital. *ISSN 2598–3814*, 14(2), 99–105.
- Al, M., & Zondra, E. (2021). Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Pada Vsd Dengan Beban Motor Electrical SUBMERSIBLE PUMP DI PT. CPI. *Jurnal Teknik*, 15(April), 9–17.
- Alaydrus, M., & Buana, U. M. (2016). Simulasi Filter Lolos Bawah dengan Teknologi Mikrostrip menggunakan Software Sonnet. *50 IncomTech, Journ l Telekomunikasi Dan Ko a Omputer*, 3(1), 1–17. <https://doi.org/10.22441/incomtech.v3i1.1113>
- Alexander Kusko, M. T. T. (2016). *Power Quality in Electrical System*.
- Alit, I. P., Widiantara, A., Rinas, I. W., Weking, A. I., Elektro, J. T., Teknik, F., Udayana, U., Thd, I., Point, B., & Villa, B. (2016). Analisis Pengaruh Pengoperasian Beban- Beban Non-Linier Terhadap Distorsi Harmonis Alit, I. P., Widiantara, A., Rinas, I. W., Weking, A. I., Elektro, J. T., Teknik, F., Udayana, U., Thd, I., Point, B., & Villa, B. (2016). Analisis Pengaruh Pengoperasian Be. *E-Journal SPEKTRUM*, 3(1), 54–59.
- Almanda, D., Dermawan, E., & Diniardi, E. (2018). Analisis Perancangan Filter High-Pass Damped Filter Untuk Beban FL-4 Pada PL-LB/2 Berbasis Etap. *Jurnal Teknologi*, 10(2), 161–166.
- Ambagapur, M. R. (2020). *Analisis Harmonisa Arus Dan Tegangan Pada Peralatan Kesehatan*.
- Andi Syofian & Anju Martulesi. (2008). Perencanaan dan Analisis Penentuan Letak Filter Harmonik pada Sistem Tenaga Listrik. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, 7(3), 1–8.
- Anggayuh Muttaqien. (2018). *Desain Dan Simulasi Cascaded Multilevel Inverter 3 Fasa Berbasis Fuzzy-Pi Untuk Kompensasi Harmonisa Akibat Beban Non Linier*.
- Anggoro Arso Pambudi, N. (2016). Rancang Bangun Filter Harmonik Untuk Perbaikan Kualitas Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 320 WP. *Jom FTEKNIK*, 85(1), 1–8.

- Anne Ko, Wunna Swe, A. Z. (2016). Analysis of Harmonic Distortion in Non-linear Loads. *ResearchGate*, 19(11), 1–7.
- Apriliansyah, D., & Gaffar, A. (2021). Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi – Rugi Daya Pada Transformator Distribusi ULP Karebosi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 2(3), 178–184.
- Ariana, I. G., Rinas, I. W., & Arjana, I. G. D. (2017). Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam. *Teknologi Elektro*, 16(April), 97–106.
- Arifin Wibisono, Andhika Wicaksono Dwi Tangguh Klapoviq, L. H. P. (2021). Analisis Kualitas Daya Pada Off-Grid Photovoltaic Solar Power System Terhadap Beban Linier. *Prosiding Seminar Nasional Riset Dan Teknologi Terapan (RITEKTRA) 2021*, 5(3), 1–8.
- Aris Budiman, Indriana Zella Margareta, A. S. (2014). Reduksi Harmonisa Pada Sistem Distribusi Standard IEEE 9 Bus Dengan Filter High-Passed Damped. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*, 2(6), 9–18.
- Asep Andang, Rukmi Sari Hartarti, IBG Manuaba, I. K. (2019). The Investigation of a Single-phase Shunt Hybrid Active Power Filter with FCS MPC and Hysteresis Control. *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, 2(1), 416–421. <https://doi.org/10.1109/ICSECC.2019.8907158>
- Budiman, H. (2016). Analisis Dan Perbandingan Akurasi Model Prediksi Rentet Waktu Support Vector Machines Dengan Support Vector Machines Particle Swarm Optimization Untuk Arus Lalu Lintas Jangka Pendek. *Systemic: Information System and Informatics Journal*, 2(1), 19–24. <https://doi.org/10.29080/systemic.v2i1.103>
- Cannizzaro, M. A., Borz, M. D. L., Bianco, M. D. S. Lo, Okatyeva, M. D. V., Cavallaro, M. D. A., & Buffone, M. D. A. (2016). Comparison between Focus Harmonic scalpel and other hemostatic techniques in open thyroidectomy: A systematic review and meta-analysis. *CLINICAL REVIEW*, 10(2), 1–8. <https://doi.org/10.1002/HED>

- Chegsakul, T., Kim, K., Kim, D., & Chung, C. (2022). Harmonisa in defibrillator equipment (DC Shock)using simulink Matlab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/821/1/012025>
- Chen, C., Chien, T., & Lee, P. (2020). Prefrontal Brain Electrical Activity and Cognitive Load Analysis Using a Non-linear and Non-Stationary Approach. *IEEE Access*, 8(1), 21115–21124. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038807>
- Christiano, L. J., & Fitzgerald, T. J. (1999). July 1999 The ' ideal ' band pass filter can be used to isolate the component of a time series that lies optimal for one particular time series representation , nevertheless works well for standard P0 Box 6387. *NBER Working Paper No.7257*, 2(1), 1–73.
- Collocott, C. L., Town, C., Africa, S., Town, C., Africa, S., Town, C., & Africa, S. (2020). Harmonic Emission of Non-Linear Loads in Distribution Systems – A Computer Laboratory Case Study. *ResearchGate*, 6(5), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA48453.2020.9041104>
- Cooley, H., Phurisamban, R., Gleick, P., Li, H., Wang, J., City, B., Abood, S. B., & Abdul-, T. M. (2020). 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*, 4(8), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1432/1/012008>
- Currents, N. (2015). Analysis of active powers of non-linear loads connected to the high voltage network. *International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation*, 5(3), 1–4.
- Dani, I. N., & , Usman Ba'afai, dan M. R. (2014). Desain Filter Aktif dengan Skema Fuzzy Logic Controller untuk Mereduksi Harmonisa. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 11(2), 62–68. <https://doi.org/10.17529/jre.v11i2.2294>
- Daut, I., Syafruddin, H. S., Ali, R., Samila, M., & Haziah, H. (2006). The Effects of Harmonic Components on Transformer Losses of Sinusoidal Source Supplying Non-Linear Loads. *American Journal of Applied Sciences* 3,

3(12), 2131–2133.

- Deokar, S. A., & Waghmare, L. M. (2011). Analysis of Distribution Transformer Performance under Non-linear Balanced Load Conditions and Its Remedial Measures. *Emerging Technology and Advanced Engineering*, 1(2), 152–161.
- Dermawan, E. (2016). Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Kabel ‘NYA.’ *Jurnal Teknologi*, 8(2), 1–6. <https://doi.org/10.24853/jurtek.8.2.93-100>
- Dermawan, E., & Rahman, R. L. (2018). Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa terhadap Deviasi Pengukuran Energi Listrik pada kWh Meter. *Jurnal Elektrum*, 15(2), 7–16.
- Dhavitra, R. (2015). Analisis Dampak Total Harmonic Distortion Terhadap Losses Dan Derating Pada Transformator Universitas Riau. *Jom FTEKNIK*, 2(1), 1–16.
- Elektro, T., Surabaya, U. N., Elektro, T., & Surabaya, U. N. (2000). 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. *Teknologi Elektro*, 6(3), 193–202.
- Elinur, D. (2010). Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Economics*, 1(1), 97–119.
- Elsebaay, A., Ramadan, M., & Adma, M. A. A. (2017). Studying the Effect of Non-Linear Loads Harmonics on Electric Generator Power Rating Selection. *European Scientific Journal*, 13(18), 548–561. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n18p548>
- Esye, Y., Lesmana, S., Program, D., Teknik, S., Persada, U. D., Studi, P., Elektro, T., Persada, U. D., Aktif, D., Semu, D., & Reaktif, D. (2021). Analisa perbaikan faktor daya sistem kelistrikan. *ISSN 2088-060X*, XI(1), 103–113.
- Faiz, J., Ghazizadeh, M., & Oraee, H. (2015). Derating of transformers under non-linear load current and non-sinusoidal voltage – an overview. *IET Generation, Transmission & Distributio*, 9(1), 486–495.

<https://doi.org/10.1049/iet-epa.2014.0377>

- Faraby, M. D., Daffa, M., Putra, C., Penangsang, O., & Wibowo, R. S. (2021). Analisis Penyebaran Harmonisa Pada Sistem Distribusi Radial Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode Forward Backward Sweep dan Harmonic Load Flow. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 3(September), 80–85.
- Gabr, W. I. (2018). Impact of Grid Connected Photovoltaic System on Total Harmonics Distortion (THD) of Low Voltage Distribution Network : A Case Study. *IEEE*, 8(20), 1–8.
<https://doi.org/10.1109/MEPCON.2018.8635216>
- Gede, I. D., Satya, B., Gede, C., Partha, I., & Wijaya, I. W. A. (2017). Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa Pada Pemasangan Grid TIE Inverter Dengan Menggunakan Simulink MATLAB. *Teknologi Elektro*, 16(03), 72–78.
- Gómez, J. R., Gregio, K., Santo, D., & Antonio, M. (2016). Linear and non-linear methods for prediction of peak load at University of São Paulo. *Measurement*, 7(8), 187–201.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.09.053>
- Gunawan, I. G. A., Rinas, I. W., & Wijaya, I. W. A. (2015). Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *E-Journal SPEKTRUM*, 2(3), 130–135.
- Hafiz, M., Aziz, A., Azizan, M. M., & Sauli, Z. (2021). A review on harmonic mitigation method for non-linear load in electrical power system A Review on Harmonic Mitigation Method for Non-Linear Load in Electrical Power System. *AIP*, 2(2), 1–12.
- Hameed, Z., Yousaf, A., Rafay, M., & Sial, K. (2016). Harmonics in Electrical Power Systems and how to remove them by using filters in ETAP. *ResearchGate*, 1(2), 1–8.
- Handajadi, W. (2014). Peningkatan Kualitas Daya Listrik Dalam Pemakaian Lumener Menggunakan Lampu Hemat Energi (Lhe). *Jurnal Teknologi*, 7(2),

134–140.

- Hendra Zulkarnain. (2018). *Penggunaan Indeks Harmonisa Sebagai Parameter Condition Monitoring Transformator Distribusi PLN*.
- Hidayat, R., Ramady, G. D., Elektro, T., Tinggi, S., & Mandala, T. (2020). Desain low pass filter butterworth dengan komponen aktif voltage controlled voltage source. *ISU TEKNOLOGI STT MANDALA*, 15(2), 31–36.
- Hidayat, S., Hariyanto, A., & Darmana, T. (2021). Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Penggunaan Modul Surya Sederhana Untuk Pompa Air Rumah Tangga. *KILAT*, 10(1), 42–52.
- Hidayati, D. N. U. R. (2018). *Perkiraan Kebutuhan Konsumsi Energi Listrik Di Kabupaten Pati Pada Tahun 2026 Dengan Menggunakan Metode Gabungan* (Vol. 1, Issue 3). http://eprints.ums.ac.id/58944/1/NASKAH_PUBLIKASI.pdf
- Huda, Z., Purwasih, N., Permata, D., & Despa, D. (2021). Analisis Harmonisa pada Sistem AC Microgrid Terhubung ke Grid. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro Analisis*, 15(2), 153–159.
- I Made Suartika. (2016). *Analisa Penanggulangan Thd (Total Harmonic Distortion) Dengan Filter Pasif Pada Sistem Tenaga Listrik* (Vol. 5, Issue 2).
- I Putu Budi Aryawan, et al. (2018). Analisis Pemasangan Filter Pasif Dan Aktif Terhadap Kandungan Harmonisa Dan Rugi-Rugi Daya Gardu Distribusi Ka 2085 Di PT. PLN (Persero) Distribusi Bali Rayon Mengwi. *E-Journal SPEKTRUM*, 5(1), 41–48.
- IEE. (2014). IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. *IEEE Std 519TM-2014*, 3(1), 1–30.
- Indra Aditama. (2013). *Perancangan Tapis Pasif (Single Tuned Filter) Untuk Mereduksi Harmonisa Arus Akibat Pemakaian Beban Non Linier Di Transformator Pemakaian Sendiri Pltu Tarahan*.
- Indriana Zella Margareta. (2014). Perancangan High Pass Damped Filter Pada Sistem Distribusi Standar Ieee 9 Bus Dengan Menggunakan Software Etap Power Station 7.0. In *Implementation Science* (Vol. 39, Issue 1).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>

Irwanto, R., & Hidayat, J. (2022). Analisa Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa. *JURNAL ONLINE PERSEGI BULAT - UTND*, 1(1), 1–6.

Islam, M. S., Chowdhury, N. A., Sakil, A. K., Khandakar, A., & Abu-rub, H. (2015). Power Quality Effect of Using Incandescent , Fluorescent , CFL and LED Lamps on Utility Grid. *First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy*, 2(5), 1–5.

Jankowski, R. (2009). Non-linear FEM analysis of earthquake-induced pounding between the main building and the stairway tower of the Olive View Hospital. *Engineering Structures*, 31(8), 1851–1864. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.024>

Janny F. Abidin. (2013). Analisis Pengaruh Harmonik Terhadap Nilai Faktor Daya Dan Rugi Daya Di Instalasi Listrik Industri. *Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi*, 8(2), 151–155.

Jonner Sitompul, S. (2015). Aplikasi Reactor Pada Capacitor Bank Sebagai Peredam Harmonik Catu Daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV Pusat Teknologi Limbah Radioaktif*, 2(1), 299–306.

Kalair, A., Abas, N., Kalair, A. R., Saleem, Z., & Khan, N. (2017). Review of harmonic analysis , modeling and mitigation techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78(April), 1152–1187. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.121>

Kawasaki, S., & Ogasawara, G. (2017). Influence analyses of harmonics on distribution system in consideration of non-linear loads and estimation of harmonic source. *Journal of International Council on Electrical Engineering*, 8972(May), 0. <https://doi.org/10.1080/22348972.2017.1324267>

Kirch, C., Edwards, M. C., Meier, A., & Meyer, R. (2019). Beyond Whittle :

- Nonparametric Correction of a Parametric Likelihood with a Focus on Bayesian Time Series Analysis *. *Bayesian Analysis*, 14(4), 1037–1073.
- Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, J. U. N. (2018). Analisa Harmonisa Pada Busbar Darurat BNA, BNB, Dan BNC Di RSG GA. Siwabessy. *SEMINAR NASIONAL SDM TEKNOLOGI NUKLIR*, 1(3), 297–303.
- Koley, E., Shukla, S. K., Ghosh, S., & Mohanta, D. K. (2017). Protection scheme for power transmission lines based on SVM and ANN considering the presence of non-linear loads. *IET Generation, Transmission & Distributio*, 1(4), 2333–2341. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1802>
- Kovernikova, L. (2015). Active powers at the connection nodes of the non-linear loads to the high voltage network. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 9(11), 145–148. <https://doi.org/10.15199/48.2015.11.36>
- Kurniawan, E., Setiadi, B., Elektro, F. T., Telkom, U., & Pasif, F. H. (2015). Analisis Filter Harmonisa Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Penyearah Terkendali Satu Fasa. *E-Proceeding of Engineering*, 2(3), 2–8.
- Lamedica, R., Ruvio, A., Ribeiro, P. F., & Regoli, M. (2018). A Simulink model to assess harmonic distortion in MV/LV distribution networks with time-varying non linear loads. In *Simulation Modelling Practice and Theory*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.10.012>
- Lang, B. H., Ng, S., Lau, L. L. H., & Cowling, B. J. (2019). A Systematic Review and Meta-analysis Comparing the Efficacy and Surgical Outcomes of Total Thyroidectomy Between Harmonic Scalpel Versus Ligasure. *ENDOCRINE TUMORS*, 1(3), 1918–1926. <https://doi.org/10.1245/s10434-012-2849-6>
- Leonardus Heru Pratomo, Satrio Fitrianto, A. W. (2021). Analisis Harmonisa Pada Off-Grid Photovoltaic Solar Power System Terhadap Beban Non-Linier. *Prosiding Seminar Nasional Riset Dan Teknologi Terapan (RITEKTRA) 2021*, 3(5), 1–9.
- Li, Y., Liu, F., Saha, T. K., Krause, O., & Cao, Y. (2015). Hybrid inductive and active filtering method for damping harmonic resonance in distribution network with non-linear loads. *IET Power Electronics*, 8(1), 1616–1624.

<https://doi.org/10.1049/iet-pel.2014.0521>

- Limantara, L. (2002). Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa Pada Sistem Pembangkitan di Industri Limboto. *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 18–21.
- Lubis, A. R. (2014). *Perancangan Passive Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonik Arus Pada Transformator Arus Akibat Beban Nonlinier*.
- Luqman Assaffat. (2009). Pengukuran Dan Analisa Kualitas Daya Listrik Di Paviliun Garuda Rumah Sakit Dr. Karyadi Semarang. *Media ElektriKa*, 2(1), 18–23. <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/ME/article/view/482>
- Luqman Assaffat, S. A. C. (2018). Analisis Perbaikan THD Tegangan Listrik Dengan Filter Pasif Studi Kasus Di Finish Mill Tuban IV PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. *Rekayasa Elektrikal Dan Energi*, 1(1), 37–43.
- M. Ikhlas Setiawan, Agung Budi Muljono, dan I. M. A. N. (2014). Pengukuran Dan Analisis Harmonisa Arus Dan Tegangan Pada Sinkronisasi Generator. *Teknik Elektro*, 1(4), 1–14.
- Maharani, G. S., Pravitasari, D., Nisworo, S., Elektro, T., & Tidar, U. (2021). Analisis kualitas daya listrik pada alat bengkel. *RISSET TEKNOLOGI TERAPAN*, 7(2), 1–5.
- Margareta, I. Z. (2014). *Perancangan High Pass Damped Filter Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 9 Bus Dengan Menggunakan Software ETAP Power Station 7.0* (Vol. 2, Issue 1).
- Marocana, L. (2021). *Pengukuran dan analisis distorsi harmonik pada instalasi pelanggan berdasarkan variasi area dengan level distorsi harmonik berbeda* (Vol. 6, Issue 3).
- Marrero-Winkens, C., Sankaran, C., & Schätzl, H. M. (2020). From seeds to fibrils and back: Fragmentation as an overlooked step in the propagation of prions and prion-like proteins. *Biomolecules*, 10(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/biom10091305>
- Martin, J., Schneider, F., Kowalewskij, A., Jordan, D., Hapfelmeier, A., Kochs, E. F., Wagner, K. J., & Schulz, C. M. (2016). Linear and non-linear heart rate

metrics for the assessment of anaesthetists ' workload during general anaesthesia. *British Journal OfAnaesthesia*, 117(6), 767–774. <https://doi.org/10.1093/bja/aew342>

Matos, E. O. De, Soares, T. M., Bezerra, U. H., De, M. E., Tostes, L., Rodrigo, A., Manito, A., Cordeiro, B., & Jr, C. (2016a). 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 Generation, Transmission & Distributio*, 10(2), 1825–1832. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.0948>

Matos, E. O. De, Soares, T. M., Bezerra, U. H., De, M. E., Tostes, L., Rodrigo, A., Manito, A., Cordeiro, B., & Jr, C. (2016b). 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 Generation, Transmission & Distribution*, 10(2), 1825–1832. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.0948>

Meier Alexander. (2011). Quantitative Bewegungsanalyse epileptischer Anfälle zur Differenzierung hypermotorischer und automotorischer Anfälle. *Abbildungsverzeichnis*, 2(3), 1–77.

Melck, A. L., & Wiseman, S. M. (2020). Harmonic Scalpel Compared to Conventional Hemostasis in Thyroid Surgery: A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Surgical Oncology*, 20(10), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2010/396079>

Milani, G., Valente, M., Fagone, M., Rotunno, T., & Alessandri, C. (2019). Advanced non-linear numerical modeling of masonry groin vaults of major historical importance : St John Hospital case study in Jerusalem David St. *Engineering Structures*, 194(April), 458–476. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.021>

Modul. (2017). *Band Pass Filter*.

Moh. Toifur, Venty Aghnani Nurhamidy, dan S. (2005). Penentuan Kehalusan Lapisan Tipis Ni 80 Fe 20 Melalui Nilai Kapasitansi Lapisan Pada Untai

- Tapis R-C Lolos Rendah. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 7(1), 30–36.
- Moldul Praktikum. (2017). *Modul VIII Filter Aktif*.
- Muhammad Irfan, Seno Darmawan Panjaitan, M. S. (2014). Sistem Kendali Dan Monitoring Faktor Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler Dan Internet Of Things (Iot). *Techno*, 2(2), 1–9.
- Mukhsin Akhsin Jaelani. (2020). Analisis Distorsi Harmonik Pada Sistem Distribusi Dan Reduksinya Menggunakan Tapis Harmonik Dengan Bantuan ETAP Power Station 4 . 0. In *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201* (Vol. 2, Issue 1).
- Mushaya, C. D., Caleo, P. J., Bartlett, L., Buettner, P. G., & Ho, Y. H. (2014). Harmonic scalpel compared with conventional excisional haemorrhoidectomy : a meta-analysis of randomized controlled trials. *Tech Coloproctol DOI*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10151-014-1169-1>
- Mustamam, Usman Baafai, M. R. (2014). Perbandingan Passive Lc Filter Dan Passive Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonisa Variable Speed Drive Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa. *PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN*, 16(2), 1–16.
- Nassar, S. R., Eisa, A. A., Saleh, A. A., Farahat, M. A., & Amal, F. (2020). Evaluating the Impact of Connected Non Linear Loads on Power Quality- a Nuclear Reactor case study Evaluating the Impact of Connected Non Linear Loads on Power Quality- a Nuclear Reactor case study. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 00(00), 1–10. <https://doi.org/10.1080/16878507.2020.1828018>
- Nigara, A. G. (2015). *Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Texturizing Di PT ASIA PASIFIC FIBERS Tbk Kendal Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0*.
- Nikum, K., Saxena, R., & Wagh, A. (2016). Effect on Power Quality by Large Penetration of Household Non Linear Load. *International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES-2016)*, 9(3), 1–5.

- Noor, F. A., & , Henry Ananta, dan S. S. (2017). Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(2), 66–73.
- Noviando, E. S., Ervianto, E., & Yasri, I. (2016). Studi Penerapan ANN (Artificial Neural Network) Untuk Menghilangkan Harmonisa Pada Gedung Pusat Komputer. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–6.
- Novix Jefri Alfama. (2013). *Analisis Harmonik Dan Perancangan Single Tuned Filter Pada Sistem Distribusi Standar Ieee 18 Bus Dengan Menggunakan Software Etap Power Station 4.0* (Vol. 6).
- Novix Jefri Alfama. (2015). Analisis Harmonik dan Perancangan Single Tuned Filter pada Sistem Distribusi Standar IEEE 18 Bus dengan Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0. *Jurnal Emitor*, 15(2), 31–46.
- Nurmalasari, Y., & Erdiantoro, R. (2020). Perencanaan Dan Keputusan Karier: Konsep Krusial Dalam Layanan BK Karier. *Quanta*, 4(1), 44–51. <https://doi.org/10.22460/q.v1i1p1-10.497>
- Pang, Y. (2016). Analysis and Treatment of Harmonie in Power Network with Railway based on ETAP Software. *Asia-Paeifje Power and Energy*, 6(4), 1424–1429.
- Pareira, W. H. (2017). *Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Kualitas Daya Pada Jaringan Distribusi Radial di area Atambua Kabupaten Belu*.
- Partaonan. (2015). *Mereduksi Harmonisa Pada Peralatan X-Ray Mobile 100Ma Dengan Menggunakan Filter Pasif (Single Tuned And Double Tuned Passive Filter)* (Vol. 7, Issue 2).
- Pasaribu, F. I. (2018). Implementasi Filter Rc Pada Reduksi Harmonisa Dalam Pengobatan Ceragem. *Elektro Dan Telekomunikasi*, 3(2), 62–66.
- Patria, N., Putra, U., & Soeprijanto, A. (2019). Harmonic Effect For Voltage Stability Condition In Radial Distribution System. *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA) Harmonic*, 4(3), 165–170.

- Pinzón, J., Pedraza, A., & Santamaría, F. (2016). Harmonic Impact of Non-Linear Loads in a Power Distribution System. *ResearchGate*, 1(7), 1–6.
- PP No. 79. (2014). *PP No. 79 Thn 2014* (pp. 1–36).
- Prabowo, D. N., Haddin, M., & Nugroho, D. (2015). Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis Matlab/Simulink. *Media Elektrika*, 8(2), 1–15.
- Prasetyo, A. (2020). Analisis Simulasi Gelombang Harmonisa Dan Instalasi Filter Menggunakan Etap 12.6 Pada BUS PWI Di JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban. *SIMETRIS*, 14(1), 22–27.
- Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M. S. (2017). *Desain Penelitian Studi Kasus*.
- Prof. Dr. M. Budyatna, M. A. (2018). Metode Penelitian. In *Ulber Silalahi*.
- Purnomo, A., & Adriansyah, A. (2019). Analisis Losses Dan THD (Total Harmonic Distortion) Akibat Pengaruh Beban Non Linear Pada Transformator Daya. *Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi Universitas Mercu Buana Jakarta*, 5(2), 182–188.
- Purnomo, A., & Adriansyah, A. (2020). Analisis Losses Dan THD (Total Harmonic Distortion) Akibat Pengaruh Beban Non Linear Pada Transformator Daya Modeling Losses And THD (Total Harmonic Distortion) Influenced Of Non L ... Analisis Losses Dan THD (Total Harmonic Distortion) Akibat Penga. *Prosiding*, 2(4), 1–8.
- Purwanto, E. D. Y., & Supriyadi, A. (2016). Structural Performance Evaluation With Pushover Analysis Case Study: The Integrated Central Surgery Building , Bethesda Hospital in Yogyakarta. *Applied Mechanics and Materials*, 845(1998), 265–273.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.845.265>
- Rajani, A., Subagio, D. G., Subekti, R. A., Saputra, H. M., Ilmu, L., Indonesia, P., & Barat, J. (2017). Analisis Korelasi Pembebanan Lampu Hemat Energi Terhadap Distorsi Harmonik. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 7(2), 1–8.
- Ramadhani, A. (2018). Sistem Kelistrikan Rsud Ulin Yang Handal Menggunakan Distribusi Jaringan Listrik Tegangan Menengah 20 Kv Terintegrasi. *Buletin*

- Profesi Insinyur*, 1(2), 1–4.
- Rao, U., Chandan, S. N. S., & Thakur, K. (2010). Power Quality Issues With Medical Electronics Equipment In Hospitals. *International Conference on Industrial Electronics*, 6(1), 1–5.
- Rasyid, R., & Muhammad, M. (2021). Analisa Kualitas Daya Listrik Pada Gardu Distribusi Universitas Khairun. *Journal of Science and Engineering*, 4(1), 28. <https://doi.org/10.33387/josae.v4i1.3097>
- Rawa, M. J. H. , Thomas, D. W. P. , Sumner, M. (2011). Simulation of Non-linear Loads for Harmonic Studies. *Crown*, 2(4), 1–6.
- Rembet, M., Lakat, A., Luntungan, H., Teknik, J., Universitas, M., & Ratulangi, S. (2019). Simulasi Respon Frekuensi Filter Butterworth Dan Chebyshev Tipe Ii Akibat Eksitasi Sinyal Acak. *Jurnal Tekno Mesin*, 5(2), 62–66.
- Rheni Dariatitar. (2021). Analisa Harmonisa Konverter AC-AC Tiga Fasa. *Teknik Elektro*, 3(5), 1–6.
- Riaz, M. T., & Ali, H. (2021). Analysis and Evaluating the Effect of Harmonic Distortion Levels in Industry. *International Conference on Energy Conservation and Efficiency*, 3(4), 1–7.
- Ridwan, M., & Cahyono, A. (2018). Analisa Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi Alternatif dengan Filter Pasif. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 7(3), 0–7.
- Rifa'i, M. A. M. (2016). *ANALISA HARMONISA DAN RANCANG FILTER SINGLE TUNED PADA SISTEM KELISTRIKAN HARMONICS ANALYSIS AND DESIGN OF SINGLE TUNED FILTER ON ELECTRICAL SYSTEMS*.
- Rinas, I. W. (2011). Analisis Perbandingan Penggunaan Filter Pasif Dan Filter Aktif Untuk Menanggulangi THD Pada Sistem Kelistrikan Di Ruang PUSKOM Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana. *Teknologi Elektro*, 10(1), 20–27.
- Rodrigues, Y. R., Monteiro, M. R., Monteiro, J. R., Ribeiro, P. F., & Belchior, F. N. (2018). Impact of Non-Linear Loads and Renewable Generation on a University Research Building. *International Conference on Harmonics and*

- Quality of Power*, 8(6), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2016.7783438>
- Rohouma, W., Balog, R. S., Peerzada, A. A., & Begovic, M. M. (2019). D-STATCOM For Harmonic Mitigation In Low Voltage Distribution Network With High Penetration of Nonlinear Loads. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.134>
- Rozak, O. A. (2019). Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0. *EPIC : Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, 2(2), 1–12. <https://doi.org/10.32493/epic.v2i2.2878>
- S.Jaisiva, S.Neelan, T. I. (2016). Harmonic analysis in non – linear loads of power system. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(5), 1–6.
- Saifuddin, M. A. H., Djufri, I. A., Rahman, M. N., & Listrik, A. S. D. (2018). Pada Gedung Kantor Bupati Kabupaten. *Jurnal PROtek*, 05(1), 49–57.
- Samapta, A. E. (2015). Analisis Filter Line Impedance Stabilization Network Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada DC-DC Converter. *E-Proceeding of Engineering*, 2(3), 6939–6947.
- Schneider, F., Martin, J., Hapfelmeier, A., Jordan, D., Schneider, G., & Schulz, C. M. (2017). The validity of linear and non-linear heart rate metrics as workload indicators of emergency physicians. *PLOS ONE*, 5(9), 1–12.
- Sibuea, L., & Thayib, R. (2014). *Analisa Unjuk Kerja Filter Daya Hybrid Untuk Mengurangi Total Harmonisa Distorsi Pada Penggunaan Beban Non-Linear* (Vol. 5, Issue February).
- Silva, R. P. B., Quadros, R., Santilio, F. P., Silva, L. C. P., Carvalho, B. C., & Silva, E. A. S. (2018). A New Electronic Device for Analyzing the Impact of Non-Linear Loads in the Electrical Power Measurement for Billing Purposes. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 16(1), 88–95.
- Simamora. (2018). Analisa Pengaruh Harmonik Pada Motor Induksi. In *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota* (Vol. 1, Issue 3).
- Sinaga, J., Siburian, R. M., & Sirait, J. (2020). Analisa Pengaruh Harmonisa Pada

- Pengoperasian Beban Listrik. *Jurnal Teknologi Energi Uda*, 9(September), 88–97.
- Singh, B., Al-haddad, K., & Chandra, A. (1998). Harmonic elimination , reactive power compensation and load balancing in three-phase , four-wire electric distribution systems supplying non-linear loads. *Electric Power Systems Research* 44, 44(12), 93–100.
- Sitompul, H. (2009). *Analisis Pengaruh Harmonik Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Pesero) Cabang Medan* (Vol. 4, Issue 3).
- Situmorang, B. L. (2014). *Studi Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Automatic Transfer Switch (ATS) Saat Peralihan Beban (Studi Kasus : PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk Pontianak)*.
- Soni, N., Varadharajan, R., & Gopalan, V. V. (2016). Study on Optimal Harmonic Energy Harvesting from Non-linear Loads within Enterprise Buildings. *Teknik Elektro*, 8(4), 1–6.
- Souli, A., Hellal, A., Bashour, R., & Kharaz, A. (2017). Impact of Loads on Power Flow in Power Systems Using PowerApps and ETAP. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 5(7), 120–123. <https://doi.org/10.15199/48.2015.07.33>
- Sudarti , Wira Bahari Nurdin, B. A. (2014). Perbandingan Metode Pengiriman Data Untuk Meningkatkan Kinerja Elektrokardiograf Nirkabel. *Core*, 3(3), 1–8.
- Sugiarto, H. (2012). Kajian Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak. *Vokasi ISSN 1693 – 9085 Volume*, 8(2), 80–89.
- Suhendar, N. A. (2016). Penerapan Static Var Compensation Untuk Perbaikan Faktor Daya dan Distorsi Harmonisa Pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik di PT Krakatau Steel Cold Rolling Mill. *The 3rd National Conference on Industrial Electrical and Electronics (NCIEE) Proceedings*, 4(1), 203–207.
- Sulistyarso, E. (2010). *Analisis Aliran Beban Sistem Distribusi Menggunakan Etap Power Station 4 . 0 . 0* (Vol. 2, Issue 3).

- Sun, S., & Zhu, L. (2005). Compact Dual-Band Microstrip Bandpass Filter Without External Feeds. *IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS*, 15(10), 644–646.
- Suprayogi, I. (2012). *Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (JST) (Studi Kasus : Sub Das Siak Hulu)* (Issue 2011).
- Suryadi, A. (2016). Studi Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik Pada Kampus Politeknik Enjening Indorama. *Sinergi*, 20(3), 213. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.3.007>
- Sutisna, Usrah, I., Hiron, N., & Andang, A. (2019). Power analyzer based arduino-uno validation using Kyoritsu KEW 6315 and Hioki 328-20. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 550(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/550/1/012024>
- Suwanda, I. (2019). Kajian Gangguan Harmonisa dan Simulasi Perbaikan Sistem Kelistrikan Di Gedung Rektorat Politeknik Negeri Ketapang. *Energi & Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*, 11(2), 114–128. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i2.840>
- Syafrudin, R., Haidlir, A., & Rachman, A. (2018). Analisis Total Harmonik Distorsi Pada Panel ACPDB Akibat Beban Non Linear. *ISU TEKNOLOGI STT MANDALA*, 13(2), 33–44.
- Syarif Budhiman, R. D. (2002). Aplikasi Filter Lolos Atas dan Filter Lolos Bawah dalam Penajaman Aplikasi Filter Lolos Atas dan Filter Lolos Bawah dalam Penajaman Citra SPOT-XS Untuk Deteksi Penyebaran Tumpahan Minyak di Perairan Pulau Batam. *PUSBANGJA*, 2(3), 34–42.
- Tambunan, J. M., Harmonik, D., & Daya, P. (2015). Analisis Pengaruh Jenis Beban Listrik Terhadap Kinerja Pemutus Daya Listrik Di Gedung Cyber Jakarta. *JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN*, 7(2), 1–10.
- Tanoto, Y., Limantara, L., & Dewi, R. S. (2006). Simulasi Filter Aktif Hibrid Konfigurasi Seri-Seri dan Unjuk Kerjanya Untuk Meredam Harmonisa pada Beban Induction Furnace. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi*

Industri, 6(1), 1–7.

- Tony Koerniawan; & Aas Wasri Hasanah. (2019). Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT-PLN Jakarta. *Kilat*, 8(2), 180–189. <https://doi.org/10.33322/kilat.v8i2.547>
- Triharto, R., Sukmana, J., & Koeseoma, K. I. (2018). Perancangan Filter Harmonisa Pasif Pada Sistem Kelistrikan Reaktor RSG-GAS. *Prosiding SDMIN-STTN Yogyakarta*, 10(2), 258–263.
- Ulinuha, A. (2016). Asesmen Ukuran Dan Lokasi Tapis Pasif Harmonik Untuk Mitigasi Distorsi Beban Tak Linier. *The 3rdUniversty Research Coloquium*, 1(2), 48–55.
- Utami, I. A., Prakoso, T., & Santoso, I. (2019). Perancangan Band Pass Filter Mikrostrip Parallel Coupled Line pada Frekuensi 5,8 GHZ. *ResearchGate*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.14710/transient.7.3.715-720>
- Utomo, H. B., Putri, E. B., & Kunci, K. (2021). Perhitungan Rugi-Rugi pada Transformator Akibat Harmonisa dan Perancangan Filter Pasif Menggunakan MATLAB. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2(1), 1–7.
- Varma, R. K., Member, S., Arifur, S., & Member, R. (2016). Harmonic Impact of a 20-MW PV Solar Farm on a Utility Distribution Network. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 3(3), 89–98. <https://doi.org/10.1109/JPETS.2016.2550601>
- Verma, V., Verma, V. P., & Singh, H. (2019). THD Analysis of Non-Linear Loads. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 7(7), 33–38. <https://doi.org/10.17148/IJIREEICE.2019.7706>
- Vira Rahmayanti. (2017). Gambaran Sistem Distribusi Obat Dan Bahan Medis Habis Pakai (Bmhp) Di Instalasi Rawat Inap Rumah Sakit Umum Kota Tangerang Selatan Tahun 2017. In *Undergraduate Thesis* (Vol. 3, Issue 5).
- Wahri Sunanda, Y. A. R. (2011). Watak Harmonik Pada Inverter Tiga Fasa Tak Berbeban. *Jurnal Ilmiah Foristek*, 1(1), 16–21.

- Weking, A. I., Rinas, I. W., & Suwardana, A. K. (2013). Simulasi Penentuan Penempatan Filter Aktif Shunt Untuk Mendapatkan Distorsi Daya Yang Terkecil Di Blue Point Bay Villa & Spa. *Teknologi Elektro*, 12(2), 1–9.
- Wibowo, A., & Syakur, A. (2015). Analisis Distorsi Harmonik Total Arus Bocor Permukaan Isolator Resin Epoksi Pengisi Silika Kondisi Kering Dan Basah. *Transmisi*, 2(7), 1–10.
- Widiarto, E., & Jamaah, A. (2013). Perancangan Low Pass RC Filter untuk Mereduksi Harmonik pada Lampu Hemat Energi (LHE) 20W. *JteT ISSN : 2252-4908*, 2(3), 129–135.
- Wiguna, I. K. A., Rinas, I. W., & Wijaya, I. W. A. (2018). Analisis Penggunaan Filter Damped untuk Mereduksi Total Harmonic Distortion (THD) di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Klungkung. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(2), 159. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i02.p01>
- Winarno, I., Dewantara, B. Y., Studi, P., Elektro, T., Hang, U., & Surabaya, T. (2021). Penggunaan Filter Aktif Dengan Pi Controller Untuk Meredam Harmonisa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Solar Cell. *KURVATEK*, 6(1), 69–80.
- Wiyono, G. (2011). *Kualitas Daya Listrik (Power Quality) Perkembangan Teknologi □ Karakteristik elektris baru*.
- Yudha, H. M., Assaffat, L., AR, A., Andrei, H., Andrei, P. C., Constantinescu, L. M., Beloiu, R., Cazacu, E., Stanculescu, M., Kurniawan, R., Kualitas, A., Di, D., Pendidikan, M., & Indonesia, N. (2017). Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Gedung Teknik Elektro Kampus 2 Politeknik Negeri Ujung Pandang. *Media Elekrika*, 2018(2005), 77–78. <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/ME/article/view/482>
- Yusuf, E., & Kastawan, W. (2021). Karakteristik Harmonisa Pada Sistem Daya Listrik Air Handling Unit (AHU) Industri Farmasi. *Jurnal Energi*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.35313/energi.v10i1.2311>
- Yusuf Ridho Surya Dharma Nainggolan, F. (2016). Analisis Keandalan Berbasis Sistem pada Jaringan Distribusi 20kV UPJ PT. PLN Persero Area Pekanbaru

Rayon Panam. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–9.

Zamzami, A., Ardita Y, I. M., & Husnayain, F. (2020). Studi Harmonisa Akibat Komponen Penyearah Pada Gardu Traksi Kereta Rel Listrik (KRL). *CYCLOTRON*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.30651/cl.v3i2.5570>

Zulfatri Aini, A. M. (2021). *Desain Singel Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi* (Issue 4).