

Analisa Harmonisa Pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga

Ahmad Fadlli¹, Aris Heri Andriawan²
Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118

Telp. - ext. -, Faks. -

E-mail: fadlli1306@gmail.com¹; aris_po@untag-sby.ac.id²

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya teknologi, penggunaan beban non linier semakin meningkat. Hal tersebut dapat diketahui semakin maraknya penggunaan peralatan listrik yang menggunakan converter dan inverter. Harmonisa merupakan gangguan dimana terjadi distorsi arus dan tegangan yang dapat berakibat munculnya rugi – rugi daya pada sistem distribusi listrik, kerusakan pada peralatan elektronik, serta berkurangnya lifetime atau usia pakai peralatan elektronik. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran, dan analisa pada MDP dan SDP Gedung Kuliah Bersama dan ditemukan kandungan THDi (harmonisa arus) pada panel MDP Fasa R 26,8%, Fasa S 31,1%, Fasa T 32,8%. Pada panel SDP Lantai Dasar Fasa R sebesar 52,47%, Fasa S 56,91%, Fasa T 54,79%. Pada panel SDP Lantai 1 Fasa R sebesar 20,87%, Fasa S 24,8%, Fasa T 36,37%. Pada SDP Lantai 8 Fasa R sebesar 78,44%, Fasa S 69,87%, Fasa T 46,77%, Lantai 9 Fasa R sebesar 8,73%, Fasa S 16,17%, Fasa T 15,96%. Sehingga berdasarkan hasil pengukuran pada panel MDP – panel SDP lantai 8 THDi melebihi batas standard IEEE 519 – 2014 dimana berdasarkan IEE 519-2014 untuk penelitian ini THDi yang diperbolehkan adalah di bawah 20%. Sehingga perlu dilakukan peredaman pada panel MDP.

Kata Kunci: Beban non linier, Harmonisa, IEEE 519 – 2014, THDi

1. PENDAHULUAN

1.1. Latarbelakang

Pembangunan gedung baru banyak mempertimbangkan efisiensi daya pada penggunaan tenaga listrik dengan mengoperasikan beban non linier. Beban non-linier adalah beban yang menghasilkan distorsi tegangan keluaran dan bentuk gelombang arus yang tidak sinusoidal karena ketidakseimbangan antara komponen arus dan tegangan [1]. Harmonisa muncul akibat adanya beban non linier, atau dengan kata lain harmonisa adalah gangguan yang timbul sebab pengoperasian beban listrik *non linier*. Semakin banyak piranti elektronika yang menggunakan converter, inverter maka harmonisa pada sistem kelistrikan akan menjadi semakin besar. Total Harmonic Distortion (THD) merupakan besarnya harmonisa dalam sebuah sistem kelistrikan. Total Harmonic Distortion (THD) adalah persentase total dari frekuensi harmonisa terhadap frekuensi dasarnya [2]. Kinerja dari piranti elektronika yang terpengaruh harmonisa lama kelamaan akan menurun dan menjadikan *lifetime* pemakaiannya berkurang [3].

Suatu harmonisa bisa diredam dengan memasang suatu filter yang disebut dengan filter harmonisa. Filter harmonisa terdiri dari Filter harmonisa aktif, maupun filter harmonisa pasif. Filter harmonisa bekerja dengan meredam amplitudo frekuensi dari suatu tegangan atau arus yang ada kandungan harmonisa didalamnya. Sehingga dengan pemasangan filter, harmonisa yang muncul dapat diminimalisir.

Penelitian ini dilakukan di Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga yang merupakan gedung kuliah, dibangun pada tahun 2019 yang terdiri dari 10 lantai dengan supply daya listrik sebesar 1250 KVA. Penggunaan peralatan yang banyak mengandung beban non linier yang jumlahnya cukup besar menyebabkan

terjadinya harmonisa pada sistem kelistrikan Gedung Kuliah Bersama. Berdasarkan latar belakang tersebut penulis menulis karya ilmiah dengan judul “Analisa Harmonisa pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga”.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Harmonisasi dicirikan sebagai gangguan dalam sistem tenaga yang disebabkan oleh distorsi pada arus dan tegangan. Munculnya gelombang dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamental inilah yang menyebabkan terjadinya distorsi ini. Jika frekuensi dasar (f) sama dengan atau lebih besar dari 50 Hz, alhasil ketika gelombang itu terjadi distorsi maka gelombang tersebut mengalami kelipatan frekuensi fundamentalnya, contohnya harmonik kedua ($2f$) pada 100Hz, ketiga ($3f$) pada 150Hz sehingga harmonisa ke- n mempunyai frekuensi nf [4].

Orde harmonik frekuensi dasar adalah 1, dan orde harmonik frekuensi harmonik adalah rasio frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar. Akibatnya, orde pertama terlihat sebagai harmonik dari orde 2 hingga n meskipun bukan harmonik. [5]. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n = \frac{f_n}{f} \quad (1)$$

dimana :

n = Orde harmonik

f_n = Frekuensi harmonik ke- n

f = Frekuensi fundamental

Individual Harmonik Distortion (IHD) merupakan perbandingan dari nilai RMS pada harmonisa individu dengan nilai RMS pada gelombang dasarnya. Sehingga didapatkan rumus sebagai berikut :

$$IHD = \frac{I_{HDh}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

IHD= IHD orde harmonik ke-h (h = 2,3,4,5,...)

IHDh= Nilai RMS arus atau tegangan harmonik ke-h

I1= Nilai RMS arus atau tegangan fundamental

Total Harmonik Distortion (THD) adalah total nilai presentase komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. Resiko kerusakan yang timbul pada peralatan elektronika akibat harmonisa akan semakin besar jika nilai dari THD besar. Total Harmonik Distortion (THD) sendiri terbagi menjadi 2, yakni THDi yang merupakan Total Harmonik Distortion arus dan THDv yang merupakan Total Harmonik Distortion tegangan. Perhitungan THD arus menggunakan rumus sebagai berikut [6] :

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

dimana :

I1= Komponen Arus Fundamental

In = Komponen Arus Harmonisa

Sedangkan nilai THD dari tegangan dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$THD_{Vn} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (4)$$

dimana :

V1= Komponen Tegangan Fundamental

Vn = Komponen Tegangan Harmonisa

Mengacu pada IEEE STD519-2014, ada dua macam harmonisa yakni harmonisa tegangan dan harmonisa arus dimana masing-masing daripadanya terdapat nilai batasan yang diijinkan. Nilai TDD bergantung pada nilai ISC/IL, dimana semakin besar nilai ISC/IL maka nilai standar TDD juga semakin besar.

Menurut Standar IEEE 519 - 2014, rasio hubung singkat harus diketahui terlebih dahulu untuk memperkirakan batas maksimum standar THDi dalam tenaga listrik. Rumus untuk menghitung SCratio adalah sebagai berikut :

$$SCratio = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (5)$$

dimana :

I_{SC} = Arus Short Circuit (A)

I_L = Arus beban maksimal (A)

Standar batasan harmonisa baik harmonisa arus maupun harmonisa tegangan yang diperbolehkan dan tercantum dalam standar IEEE 519-2014 ditampilkan pada tabel dibawah ini [7].

Tabel 1. Standar Harmonisa Arus

Vn ≤ 69 kV						
ISC/IL	3 ≤ h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h < 50	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
69 kV < Vn ≤ 161 kV						
<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 > 161 kV						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥50	3.0	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75

Tabel 1 merupakan standar harmonisa arus yang diperbolehkan. Sedangkan untuk harmonisa tegangan yang diperbolehkan dicantumkan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Standar Harmonisa Tegangan

Bus Voltage V at PCC	Individual Harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
V ≤ 1.0 kV	5,0	8,0
1 kV < V ≤ 69 kV	3,0	5,0
69 kV < V ≤ 161 kV	1,5	2,5
161 kV < V	1,0	1.5a

Berlandaskan tabel 2, maka bisa dinyatakan bahwa harmonisa tegangan yang diijinkan pada tempat penelitian adalah sebesar 5% untuk THD dan 3% untuk IHD. Hal tersebut dikarenakan tempat penelitian bekerja pada tegangan kerja antara 1 KV sampai 69KV.

Untuk mencari nilai I_{sc} (Arus hubung singkat) dapat dicari dengan rumus [8] :

$$I_{SC} = \frac{kVA_{TF}}{Z_{pu} \times \sqrt{3} \times kV_{\phi-\phi}} \quad (6)$$

dimana :

I_{SC} = Arus Short Circuit (A)

kVA_{TF} = Daya Transformator (KVA)

Z_{pu} = Impedansi Transformator (%)

kV_{φ-φ} = Tegangan nominal (kV)

Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi operasional dapat mengakibatkan hilangnya daya. Ketika arus beban memiliki komponen harmonik, efek overheating transformator adalah sebagai berikut [9] :

- Arus rms. Arus harmonik akan mengakibatkan arus rms trafo lebih tinggi dari yang seharusnya karena kapasitas (KVA) trafo memerlukan beban.

peningkatan kerugian konduktor sebagai akibat dari peningkatan arus rms.

- b. Eddy-current losses. Fluks magnet inilah yang menghasilkan arus induksi pada transformator. Gulungan, inti, dan konduktor lain dari transformator menjadi terlalu panas sebagai akibat dari arus induksi yang mengalir melaluinya. Kuadrat frekuensi arus yang menghasilkan arus eddy menyebabkan komponen rugi-rugi transformator ini bertambah besar. Akibatnya, pemanasan harmonik dari rugi-rugi transformator menjadi sangat signifikan.
- c. Rugi inti. Peningkatan rugi inti adalah akibat dari dampak harmonik pada tegangan yang diterapkan dan desain inti transformator. Distorsi tegangan meningkat dengan meningkatnya arus eddy di tumpukan inti

Berikut merupakan dampak yang dapat ditimbulkan oleh suatu harmonisa, terbagi atas:

- a. Harmoni jangka pendek bisa mempengaruhi gangguan pada pemintalan mesin listrik (generator/relay), ketidaktepatan pada alat ukur listrik berdasarkan prinsip induksi magnetik, dan gangguan pada peralatan pengaman sistem tenaga (relay). Harmonik akan mempengaruhi getaran dan suara mesin pada sistem komunikasi yang berada di dekat sistem tenaga listrik.
- b. Harmonisa jangka panjang dapat mengakibatkan timbulnya pemanasan, yang terbagi atas:
 - 1) Pemanasan pada mesin-mesin listrik. Bertambahnya rugi-rugi pada sistem diakibatkan oleh suatu harmonisa. Kerugian stator yang lebih besar dan perbedaan kecepatan yang disebabkan oleh medan magnet yang dihasilkan oleh koordinasi total adalah yang menciptakan ini.
 - 2) Pemanasan kapasitor. Rugi-rugi meningkat disebabkan oleh adanya perubahan beban pada kapasitor, dan kapasitor juga sensitive terhadap adanya perubahan beban.
 - 3) Transformator. Trafo distribusi akan menghasilkan kelipatan ganjil dari ketiga arus harmonik pada saat memuat daya beban nonlinier. Arus netral yang lebih besar dari arus fasa akan dihasilkan dari harmonik ini. Akibatnya, suhu kawat netral naik.

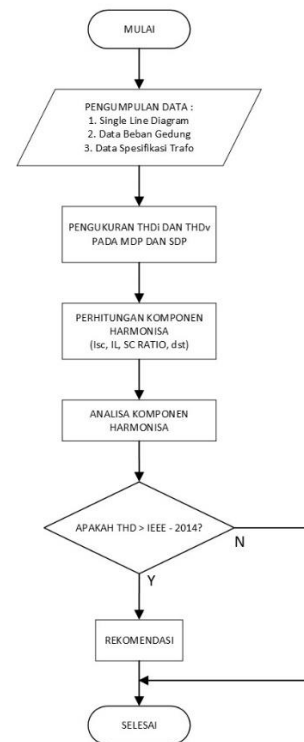
Memasang filter adalah salah satu pendekatan untuk mengurangi kehadiran harmonik. Filter pasif dan filter aktif adalah dua kategori filter harmonik. Kapasitor (C), induktor (L), dan resistor (R) adalah tiga komponen pasif yang membentuk filter harmonik pasif. Memasang filter pasif memiliki manfaat ganda yaitu mengurangi harmonik sekaligus meningkatkan faktor daya sistem tenaga. Filter pasif yang disetel tunggal adalah jenis filter pasif yang umum. Filter pasif single tuned adalah filter yang mempunyai frekuensi kerja pada satu frekuensi.

Filter yang dirangkai dari komponen elkadaya (IGBT atau MOSFET) merupakan definisi dari suatu filter harmonisa aktif. Salah satunya adalah Shunt Active Power Filter (APF). Filter ini bekerja dengan cara menghilangkan harmonisa yang muncul dan memenuhi persyaratan daya reaktif dari beban lokal,

sehingga gelombang yang muncul pada supply sumber AC masih berbentuk sinus [10].

3. Metode

Metode riset yang dilaksanakan yaitu dengan melaksanakan riset pustaka dan mencari referensi literature lain yang berhubungan dengan harmonisa dan melakukan pengamatan ialah dengan mengumpulkan data – data yang diperlukan dengan cara melakukan pengukuran. Langkah penelitian yang dilakukan dijelaskan dalam flowchart berikut ini.



Gambar 1. Flow chart penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengambil data pada panel MDP sampai panel SDP pada lantai 9 di Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga yang bertempat di Kampus C Universitas Airlangga, Mulyorejo, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur pada bulan Mei 2022.

Alat yang dipakai pada roset ini yaitu clamp meter merk Hioki yang dapat mengukur kandungan harmonisa dan memiliki beberapa satuan komponen listrik. Data pengukuran yang dibutuhkan adalah pengukuran IHD pada setiap fasa baik IHDi maupun IHDv, pengukuran tegangan dan arus baik fasa – fasa maupun fasa netral, pengukuran daya aktif, pengukuran daya reaktif dan pengukuran power faktor.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil

4.1 Data Spesifikasi Transformator

Buatan Pabrik : Trafindo
Tipe : Indoor
Daya : 1250 kVA

Tegangan Kerja : 20 KV / 400 V
 Hubungan : Dyn5
 Impedansi : 5,5%
 Trafo : 1 x 3 Phasa
 Untuk menganalisa Arus Hubung Singkat I_{SC} , dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{SC} = \frac{KVA \times 100}{\%Z \times \sqrt{3} \times KV}$$

Dimana sudah diketahui pada data spesifikasi transformator yang digunakan adalah sebagai berikut :
 $Z = 5,5 \%$
 $S = 1250 \text{ Kva} = 1.250.000 \text{ VA}$
 $V = 0,4 \text{ kV Phasa - phasa}$

Sehingga diperoleh :

$$I_{SC} = \frac{1250 \times 100}{5,5 \times \sqrt{3} \times 0,4} = 32803,99 \text{ A}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{1.250.000}{\sqrt{3} \times 400} = 1800,4 \text{ A}$$

4.2. Data Pengukuran pada MDP

4.2.1 Data Pengukuran Harmonisa Arus Pada MDP

Tabel 3. Kandungan Harmonisa Arus Pada MDP GKB Universitas Airlangga

Kandungan Harmonisa Arus Ganjil Pada MDP GKB				
Phasa	Harmonisa ke	IHD (%)	Arus (A)	Urutan
R	3	4	1,9	Nol
	5	18,1	11,2	Negatif
	7	12,3	1,6	Positif
	9	1,6	1,1	Nol
	11	6,42	2,7	Negatif
	13	8,83	0,7	Positif
	15	6,93	0,6	Nol
	17	5,66	0,5	Negatif
S	3	4	5,4	Nol
	5	21,5	16,1	Negatif
	7	14,2	1,7	Positif
	9	2,1	0,4	Nol
	11	6,42	1,8	Negatif
	13	9,84	4	Positif
	15	8,55	1,4	Nol
	17	7,31	0,8	Negatif
T	3	4,6	1,4	Nol
	5	21,3	7,7	Negatif
	7	14,7	1	Positif
	9	1,8	2	Nol
	11	6,43	1,1	Negatif
	13	9,84	0,3	Positif
	15	10,23	0,4	Nol
	17	8,79	0,4	Negatif
19	7,83	0,3	Positif	

4.2.2 Data Pengukuran Harmonisa Tegangan Pada MDP

Tabel 4. Kandungan Harmonisa Tegangan Pada MDP

Kandungan Harmonisa Tegangan Ganjil Pada MDP GKB				
Phasa	Harmonisa ke	IHD (%)	Tegangan (V)	Urutan
R	3	0,4	7	Nol
	5	1,2	0	Negatif
	7	1,1	3	Positif
	9	0,1	0	Nol
	11	1,1	2	Negatif
	13	0,6	1	Positif
	15	0,9	0	Nol
	17	1	0	Negatif
S	3	0,2	0	Nol
	5	1	7	Negatif
	7	1,2	3	Positif
	9	0,1	0	Nol
	11	0,8	2	Negatif
	13	1	1	Positif
	15	1,2	0	Nol
	17	0,9	0	Negatif
T	3	0,3	0	Nol
	5	1	7	Negatif
	7	1	3	Positif
	9	0,1	0	Nol
	11	0,8	2	Negatif
	13	1	1	Positif
	15	0,9	0	Nol
	17	1	0	Negatif
19	0,9	0	Positif	

Untuk mengetahui Total Harmonik Distortion Arus dan Tegangan pada MDP maka menggunakan rumus pada persamaan (3) untuk THDi dan persamaan (4) untuk THDv pada tinjauan pustaka, sehingga didapatkan nilai THDi untuk setiap phasa adalah sebagai berikut:

THDi phasa R = 26,8 %

THDi phasa S = 31,30 %

THDi phasa T = 32,80 %

Sedangkan untuk THDv didapatkan :

THDv phasa R = 2,54 %

THDv phasa S = 2,60 %

THDv phasa T = 2,52 %

4.2.3 Pengukuran Phasa – phasa pada MDP

Tabel 5. Data Hasil pengukuran Phasa – Phasa MDP

Phasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya aktif (KW)	Daya nyata (KVA)	Cos phi	THDv (%)	THDi (%)
R-S	398,8	300,10	207,31	216,54	0,955	2,54	26,80
S-T	398,6	332,96	229,87	216,54	0,942	2,60	31,30
R-T	395,4	302,71	207,31	193,83	0,935	2,52	32,80

4.2.4 Pengukuran Phasa – Netral Pada MDP

Tabel 5.Data Pengukuran Phasa – Netral Pada MDP

Phasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya aktif (KW)	Daya nyata (KVA)	Cos phi	THDv (%)	THDi (%)
R	228,8	258	57,42	60,78	0,955	2,54	26,80
S	230,8	224	50,28	53,99	0,942	2,60	31,30
T	228,5	208	47,80	50,81	0,935	2,52	32,80

Besarnya Pembebanan pada Gedung dapat diketahui pada menggunakan rumus berikut :

$$\frac{\text{Arus Nominal} \times 100 \%}{\text{Arus Full Load}}$$

Sehingga didapatkan :

Pembebanan pada Phasa R sebesar = 14,30%
 Pembebanan pada Phasa S sebesar = 12,38%
 Pembebanan pada Phasa T sebesar = 11,64%

Guna mengidentifikasi range harmonisa pada sebuah sistem melebihi standar atau tidak, maka diperlukan untuk mencari I_L pada tiap Phasa menggunakan rumus :

$$I_L = \frac{\text{Pembebanan}}{100} \times I_{FL}$$

Sehingga didapatkan :

$$I_L \text{ pada Phasa R : } \frac{14,30}{100} \times 1800,4 = 257,46 \text{ Ampere}$$

$$I_L \text{ pada Phasa S : } \frac{12,38}{100} \times 1800,4 = 222,89 \text{ Ampere}$$

$$I_L \text{ pada Phasa T : } \frac{11,64}{100} \times 1800,4 = 209,57 \text{ Ampere}$$

Sedangkan untuk mencari SC ratio bisa memakai rumus pada persamaan (5), sehingga SC ratio pada panel MDP dapat diketahui sebagai berikut :

$$\text{SC ratio Phasa R : } \frac{32803,99}{257,46} = 127,42$$

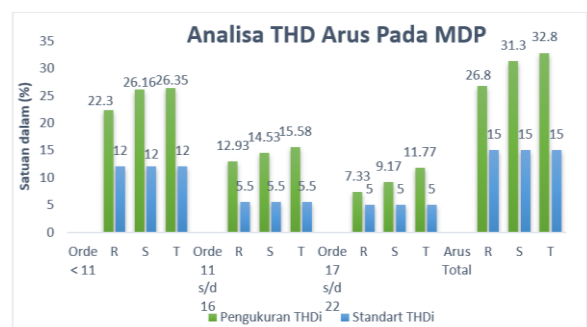
$$\text{SC ratio Phasa S : } \frac{32803,99}{222,89} = 147,17$$

$$\text{SC ratio Phasa T : } \frac{32803,99}{209,57} = 156,53$$

Tabel 6.Analisa THD Arus pada MDP

Phasa	IL	Isc/IL	Range	Pengukuran (%)	Standart (%)	Melebihi standart/ Tidak	Lebih (%)
Analisa THD Arus Orde < 11							
R	14,30% IFL	127,42	100-1000	22,30	12,0	Melebihi	10,3
S	12,38% IFL	147,17	100-1000	26,16	12,0	Melebihi	14,16
T	11,64% IFL	156,53	100-1000	26,35	12,0	Melebihi	14,35
Analisa THD Arus Orde 11 s/d 16							
R	14,30% IFL	127,42	100-1000	12,93	5,5	Melebihi	7,43
S	12,38% IFL	147,17	100-1000	14,53	5,5	Melebihi	9,03
T	11,64% IFL	156,53	100-1000	15,58	5,5	Melebihi	10,08
Analisa THD Arus Orde 17 s/d 22							
R	14,30% IFL	127,42	100-1000	7,33	5,0	Melebihi	2,33
S	12,38% IFL	147,17	100-1000	9,17	5,0	Melebihi	4,17
T	11,64% IFL	156,53	100-1000	11,77	5,0	Melebihi	6,77
THD Arus Total							
R	14,30% IFL	127,42	100-1000	26,80	15,0	Melebihi	11,80
S	12,38% IFL	147,17	100-1000	31,30	15,0	Melebihi	16,30
T	11,64% IFL	156,53	100-1000	32,80	15,0	Melebihi	17,80

Mengacu pada Tabel 6 yang merupakan tabel hasil analisa harmonisa arus pada panel MDP Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga dapat diketahui bahwa berdasarkan pengukuran THDi pada panel MDP melebihi dari nilai standar THDi pada IEEE – 519 2014. Nilai THD total yang diijinkan adalah sebesar 15%, sedangkan berdasarkan pengukuran diperoleh nilai THDi pada fasa R sebesar 26,80%, pada fasa S nilai THDi sebesar 31,30% dan pada fasa T nilai THDi sebesar 32,80%. Selain itu pada setiap orde harmonisa semua fasa melebihi batas yang diperbolehkan.



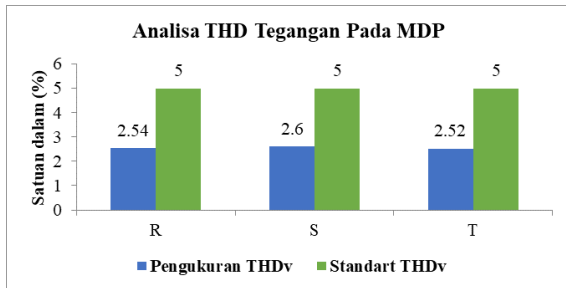
Gambar 2. Grafik Analisa THD (Total Harmonic Distortion) Arus Pada MDP Gedung.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa THD arus pada fasa T merupakan THD yang tertinggi dengan nilai 32,80% dan mempunyai selisih sebesar 17,80 dengan standart. Pada panel MDP ini juga diketahui bahwa semua orde harmonisa melebihi batas standart.

4.2.3 Analisa THD Tegangan pada MDP

Tabel 7. THD Tegangan pada MDP

Phasa	Pengukuran THDv (%)	Standart THDv (%)	Keterangan Melebihi atau tidak
R	2,54	5	Tidak Melebihi
S	2,60	5	Tidak Melebihi
T	2,52	5	Tidak Melebihi



Gambar 3. Grafik Analisa THD Tegangan Pada Panel MDP Gedung

Mengacu pada Gambar 3 pengukuran THD tegangan pada panel MDP menunjukkan bahwa harmonisa tegangan masih dibawah 5%. Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya harmonisa tegangan pada Panel MDP masih aman karena tidak melebihi standar yang berlaku.

PEMBAHASAN

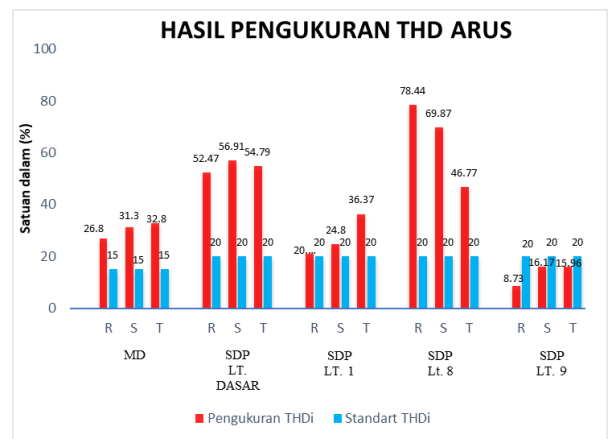
Dengan menggunakan cara yang sama pada pengukuran panel MDP, maka diperoleh data berikut pada tabel berikut ini.

Tabel 8. Analisa Arus pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga

MDP	PHASA	PENGUKURAN THDI (%)	STANDART THDI (%)	KETERANGAN
MDP	R	26,8	15,0	MELEBIHI STANDART
	S	31,3	15,0	MELEBIHI STANDART
	T	32,8	15,0	MELEBIHI STANDART
SDP LT. DASAR	R	52,47	20,0	MELEBIHI STANDART
	S	56,91	20,0	MELEBIHI STANDART
	T	54,79	20,0	MELEBIHI STANDART
SDP LT.1	R	20,87	20,0	MELEBIHI STANDART
	S	24,8	20,0	MELEBIHI STANDART
	T	36,37	20,0	MELEBIHI STANDART
SDP LT.8	R	78,44	20,0	MELEBIHI STANDART

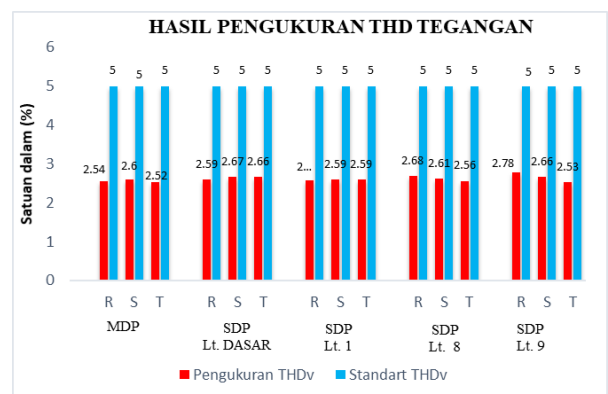
	S	69,87	20,0	MELEBIHI STANDART
	T	46,77	20,0	MELEBIHI STANDART
SDP LT.9	R	8,73	20,0	TIDAK MELEBIHI STANDART
	S	16,17	20,0	TIDAK MELEBIHI STANDART
	T	15,96	20,0	TIDAK MELEBIHI STANDART

Pada Tabel 8. dapat kita ketahui bahwa harmonisa pada Gedung terdapat pada panel MDP sampai panel lantai 8. Pada lantai 9 tidak melebihi standar yang diijinkan. Hal tersebut dikarenakan penggunaan lantai 9 digunakan untuk lokasi perkantoran, sehingga beban yang berjalan tidak seperti lantai dasar sampai lantai 8 yang digunakan untuk perkuliahan dan laboratorium.



Gambar 4. Grafik THD Arus Pada Gedung

Pada Gambar 4 merupakan grafik yang menampilkan hasil pengukuran THD arus pada Gedung Kuliah Bersama. Yang berwarna merah merupakan hasil pengukuran dan yang berwarna biru merupakan standar yang diperbolehkan.

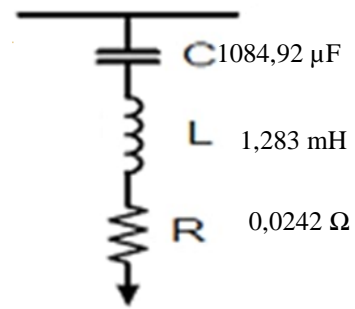


Gambar 5. Grafik THD Tegangan Pada Gedung

Pada Gambar 5 merupakan grafik yang didapatkan dari hasil pengukuran THD tegangan pada Gedung Kuliah Bersama. Yang berwarna merah merupakan hasil pengukuran dan yang berwarna biru merupakan standar yang diperbolehkan.

4.3. Rekomendasi Penggunaan Filter

Berdasarkan hasil pengukuran, maka dapat diketahui bahwa harmonisa pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga selain terdapat pada MDP juga terdapat pada SDP. Sehingga penggunaan filter yang disarankan adalah penggunaan filter pada sisi MDP. Pada penelitian ini filter yang dipakai guna meredam harmonisa yaitu filter single tuned pada setiap fasa dan pada orde ke 3, orde ke 7, orde ke 9, orde ke 11, orde ke 13, orde ke 15, orde ke 17, orde ke 19. Untuk mendesain filter, maka kita harus menghitung komponen yang digunakan, yaitu menghitung nilai R, L dan C pada setiap orde



Gambar 6. Desain Filter Single Tuned Fasa R orde 3

4.3.1 Perhitungan Filter untuk Orde ke- 3

Filter untuk Fasa R

a) Perhitungan Kapasitor

$$Q_c = P (\tan (\arccos \theta_1) - (\tan (\arccos (\theta_2)))$$

$$= 57,42 (\tan (\arccos 0,955) - (\tan (\arccos 1)))$$

$$= 17,833 \text{ KVAR}$$

f = Frekuensi fundamental 50 Hz

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

$$X_c = \frac{KV^2}{MVar} = \frac{(0,2288)^2}{0,01783} = 2,935 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \pi f X_c} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 2,935} = 0,00108492 \text{ F}$$

$$= 1084,92 \mu\text{F}$$

b) Perhitungan Induktor

Berdasarkan IEEE 1531-2003 pemilihan frekuensi pada filter tunggal ditentukan 3 % - 15 % dibawah frekuensi yang ditentukan sebagai toleransi untuk mencegah terjadinya resonansi pada sistem frekuensi pengganggu. Frekuensi *tuning* filter yang dipilih penulis adalah 10 % sehingga nilai penalaannya (h) yaitu, $3 - (10 \% \times 3) = 2,7$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} = \frac{2,935}{(2,7)^2} = 0,403 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \pi f} = \frac{0,403}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,001282376 \text{ H}$$

$$= 1,283 \text{ mH}$$

c) Perhitungan Resistor

Untuk menentukan nilai resistor, nilai Q yang dipakai yaitu 50. Seberapa pentingkah faktor kualitas, Untuk ketajaman filter dalam meminimalkan harmonik, Q adalah konstanta. Kualitas penyaringan meningkat dengan meningkatnya nilai Q. Sehingga diperoleh

$$R = \frac{n \times X_L}{Q} = \frac{3 \times 1,283}{50} = 0,0242 \Omega$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti pada fasa R orde ke 3, maka didapatkan hasil yang ditampilkan pada tabel 9. untuk orde ke 3 sampai ke 19 pada masing masing fasa.

Tabel 9. Rekapitulasi Komponen Filter

Rekapitulasi Perhitungan Komponen Filter Pasif Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga									
Orde	Fasa R			Fasa S			Fasa T		
	Resistor (Ω)	Induktor (mH)	Kapasitor (µF)	Resistor (Ω)	Induktor (mH)	Kapasitor (µF)	Resistor (Ω)	Induktor (mH)	Kapasitor (µF)
3	0,0242	1,2824	1084,9201	0,0245	1,2991	1070,9809	0,0237	1,2581	1105,8886
5	0,0145	0,4617	1084,9201	0,0147	0,4677	1070,9809	0,0142	0,4529	1105,8886
7	0,0104	0,2355	1084,9201	0,0105	0,2386	1070,9809	0,0102	0,2311	1105,8886
9	0,0081	0,1425	1084,9201	0,0082	0,1443	1070,9809	0,0079	0,1398	1105,8886
11	0,0066	0,0954	1084,9201	0,0067	0,0966	1070,9809	0,0065	0,0936	1105,8886
13	0,0056	0,0683	1084,9201	0,0056	0,0692	1070,9809	0,0055	0,0670	1105,8886
15	0,0048	0,0513	1084,9201	0,0049	0,0520	1070,9809	0,0047	0,0503	1105,8886
17	0,0043	0,0399	1084,9201	0,0043	0,0405	1070,9809	0,0042	0,0392	1105,8886
19	0,0038	0,0320	1084,9201	0,0039	0,0324	1070,9809	0,0037	0,0314	1105,8886

Pada Tabel 9 merupakan rekapitulasi dari perhitungan filter pasif yang digunakan pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga. Pada tabel tersebut dapat kita ketahui bahwa nilai dari komponen filter pada setiap orde berbeda. Hanya nilai kapasitor saja yang nilainya tetap sama pada semua orde pada setiap fasa. Hal tersebut dikarenakan nilai kapasitor hanya dipengaruhi oleh nilai Power Faktor dimana pada setiap orde harmonisa, nilai Power Faktor tetap sama tetapi nilai Power Faktor pada setiap fasa berbeda. Sehingga nilai kapasitor pada setiap orde sama tetapi pada setiap fasa berbeda.

Sedangkan pada induktor nilainya semakin kecil ketika orde yang difilter semakin besar. Hal tersebut dikarenakan terdapat nilai penalaan (h) pada perhitungan untuk mencari XL. Misalkan pada harmonisa orde ke 3, maka nilai penalaannya adalah $3 - (10 \% \times 3) = 2,7$ sedangkan pada orde ke 5 nilai penalaannya adalah $5 - (10 \% \times 5) = 4,5$. Sehingga semakin besar orde yang difilter, maka nilai XL akan semakin kecil. Sehingga menyebabkan nilai induktor (L) dan nilai resistor (R) semakin kecil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga yang sudah dilaksanakan alhasil bisa diringkas kalau ditemukan kandungan Harmonisa Arus yang melebihi batas standart IEEE 519 – 2014 pada masing masing panel antara lain pada panel MDP Fasa R 26,8%, Fasa S 31,1%, Fasa T 32,8%. Pada panel SDP Lantai Dasar Fasa R sebesar 52,47%, Fasa S 56,91%, Fasa T 54,79%. Pada panel SDP Lantai 1 Fasa R sebesar 20,87%, Fasa S 24,8%, Fasa T 36,37%. Pada SDP Lantai 8 Fasa R sebesar 78,44%, Fasa S 69,87%, Fasa T 46,77%.

Nilai harmonisa tegangan masih dibawah standart IEEE 519 – 2014. Dimana pada setiap phasa dan pada setiap panel yang diukur, nilai harmonisa tegangan masih dibawah 3% dimana standar maksimal untuk harmonisa tegangan adalah 5%.

Pemasangan filter harmonisa pada Gedung Kuliah Bersama Universitas Airlangga lebih efektif dipasang pada sisi MDP dikarenakan pada SDP terdapat harmonisa juga.

Dalam pemasangan filter harmonisa pada penelitian tugas akhir ini, penulis hanya melakukan perhitungan filter pasif singel tuned. Sebaiknya kedepannya filter yang dipasang adalah filter aktif.

Perlu adanya peninjauan ulang ketika Gedung dimanfaatkan sepenuhnya, karena ketika penulis melakukan penelitian, Gedung masih belum beroperasi secara penuh.

PUSTAKA

- [1] I. W. Rinas, Karya Ilmiah Analisa Thd (Total Harmonic Distortion) Dan Peningkatan Arus Pada Kawat Netral Terhadap Takseimbang Pada Sistem Tenaga Listrik Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran - Bali. 2016.
- [2] W. Prasetyadi, R. S. Wibowo, and O. Penangsang, "Evaluasi Harmonisa dan Perencanaan Filter Pasif pada Sisi Tegangan 20 kV Akibat Penambahan Beban pada Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Tuban," *J. Tek. Its*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2012, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/134431/evaluasi-harmonisa-dan-perencanaan-filter-pasif-pada-sisi-tegangan-20-kv-akibat>
- [3] I. N. Agus Sudiatma Pratama, I. W. Rinas, and A. Ibi Weking, "Simulasi Peredaman Distorsi Harmonisa Menggunakan Filter Aktif Dan Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Kelistrikan Di Hotel the Bene Kuta," *J. SPEKTRUM*, vol. 4, no. 2, p. 113, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2017.v04.i02.p15.
- [4] A. Suryadi, "Studi Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik Pada Kampus Politeknik Enjineri Indorama," *Sinergi*, vol. 20, no. 3, p. 213, 2016, doi: 10.22441/sinergi.2016.3.007.
- [5] A. I. Weking, "Studi Penggunaan Filter Dalam Meredam Distorsi Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Menggunakan ETAP," 2017.
- [6] N. R. W. J. Arrillaga, *Power System Harmonic*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [7] IEEE, "IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992), IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE Std 519-2014 (Revision IEEE Std 519-1992)*, vol. 2014, pp. 1–29, 2014, [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6826457>
- [8] SPLN D5.004-1: 2012, "Standar PT PLN (Persero)," *Power Qual. (Regulasi Harmon. Flicker dan Ketidakseimbangan Tegangan)*, no. 563, 2012.
- [9] Rohaini, "Analisa harmonisa pada transformator 345 kva di cv. wana indo raya," vol. 1, pp. 2–7, 2021.
- [10] A. heri Andiawan, "ANALISIS DAN SIMULASI ELIMINASI HARMONISA.pdf."