

Analisis Dan Mitigasi Harmonisa Pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda Dengan Menggunakan *Software* ETAP

Muhammad Ali Luthfi¹, Rusda², Khairuddin Karim³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

rusda@polnes.ac.id

Abstrak- Gangguan harmonisa akibat beban non-linier menjadi tantangan signifikan dalam menjaga kualitas daya listrik, terutama pada sistem distribusi di lingkungan institusi pendidikan. Penelitian ini menyajikan analisis harmonisa serta evaluasi dua metode mitigasi — bank kapasitor dan filter harmonik pasif tipe single-tuned — pada sistem kelistrikan Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bank kapasitor mampu menurunkan nilai THDi dari 19,87% menjadi 4,3%, namun menyebabkan penurunan signifikan pada faktor daya hingga -17,96%. Sebaliknya, penerapan filter harmonik menurunkan THDi menjadi 13,64%, namun meningkatkan faktor daya dari 93,62% menjadi 99,2%, serta menurunkan THDv. Analisis ini mengindikasikan bahwa meskipun bank kapasitor lebih efektif dalam reduksi THDi, filter harmonik memberikan performa yang lebih seimbang dari segi stabilitas tegangan dan efisiensi daya. Dengan demikian, pemilihan metode mitigasi harmonisa sebaiknya mempertimbangkan *trade-off* antara efisiensi reduksi harmonik dan kualitas daya sistem secara keseluruhan.

Kata kunci: Filter Single Tune, Harmonisa, THD, ETAP

I. PENDAHULUAN

Kualitas daya menjadi perhatian utama untuk konsumsi daya saat ini, karena pelanggan ingin perangkat mereka ditenagai oleh daya berkualitas agar tidak cepat mengalami kerusakan. Identifikasi kualitas daya sangat penting sebagai langkah awal dalam melakukan manajemen beban dan peningkatan kualitas daya.

Harmonisa mempunyai banyak dampak berbahaya pada komponen sistem tenaga yang bervariasi tergantung pada jenis beban atau sumber daya. Dampak dari harmonisa dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori dasar: dampak jangka pendek dan dampak jangka panjang. Jangka pendek dampak biasanya yang paling terlihat dan terkait terhadap distorsi tegangan yang berlebihan, disamping itu, dampak jangka panjang seringkali tidak terdeteksi dan umumnya berhubungan dengan peningkatan rugi-rugi resistif atau tegangan tegangan. Dampak utama dari tegangan dan arus harmonisa pada sistem energi adalah penurunan faktor daya, terlalu panas dari fase dan konduktor netral, efisiensi generator berkurang dari hari ke hari karena harmonisa, arus eddy dan rugi-rugi histeresis pada transformer, *overheating* komponen sistem, generator, motor dan transformator dan lain-lain, aliran arus tambahan melalui daya kapasitor [1].

Pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda identik dengan peralatan-peralatan yang modern dan sensitif terhadap *supply daya* yang diterimanya melalui sebuah sistem *supply daya*. Peralatan-peralatan ini dipakai setiap harinya yang umumnya berbasis elektronika, yang mempunyai potensi untuk menurunkan kualitas daya dengan menyumbang arus/tegangan yang cacat. Monitoring terhadap kualitas daya pada suatu sistem kelistrikan di institusi pendidikan khususnya yang memakai peralatan-peralatan berbasis elektronika atau elektronika daya merupakan hal yang sangat mendasar dan harus dilakukan mengingat peralatan-peralatan tersebut dapat menurunkan kualitas daya. Kita ketahui bahwa beban-beban yang terdapat pada peralatan listrik perkantoran sekarang ini tidak hanya terdiri dari beban linier saja tetapi juga terdiri dari beban-beban non linier [2].

Terdapat banyak metode yang dilakukan untuk mengurangi harmonisa sistem, di mana salah satunya dengan menggunakan filter. Filter bisa pasif, aktif atau *hybrid*. Filter pasif merupakan filter yang terdiri dari elemen pasif seperti kapasitor, induktor dll. dan karena itu tidak memerlukan sumber daya eksternal. Ini merupakan jenis filter termurah yang memberikan rendah jalur impedansi ke harmonisa yang tidak diinginkan. Jenis filter ini umumnya digunakan dalam jaringan distribusi daya, desain *cross over speaker*, *bypass* catu daya, berbagai sirkuit buatan sendiri dan diskrit, dll. Dalam studi ini, ETAP digunakan untuk memodelkan berbagai kekuatan jaringan dan melakukan analisis dan mitigasi harmonisa. ETAP adalah perangkat lunak yang sangat ramah pengguna dimana alat utama yang diperlukan untuk analisis dan mitigasi harmonisa yang efisien mudah dioperasikan untuk menjadi hasil yang lebih baik [3].

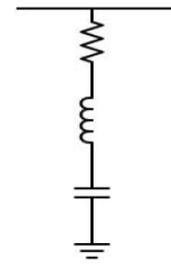
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Harmonisa

Harmonisa adalah tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi dari kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Apabila komponen frekuensinya dua kali lipat dari frekuensi fundamentalnya, maka disebut frekuensi orde ke 2 dan seterusnya. Seiring meningkatnya jumlah pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan, semakin banyak perangkat elektronik daya yang ditambahkan ke dalam jaringan utama, sehingga meningkatkan jumlah keseluruhan harmonisa ke dalam pasokan utama itu sendiri [3].

Beban non-linier adalah salah satu sumber utama harmonisa pada suatu sistem tenaga konvensional. Pengaruh

harmonisa yang ditimbulkan pada sistem satu fasa atau tiga fasa adalah terjadinya gelombang arus dan tegangan yang terdistorsi. Akibat langsung dari gelombang distorsi yang mengganggu ini yaitu meningkatnya arus yang mengalir pada netral [4].



Gambar 1. Single tuned filter

B. Parameter Harmonisa

Total Harmonic Distortion (THD) adalah nilai total distorsi harmonik dari perbandingan antara arus / tegangan pada semua orde harmonik dengan arus / tegangan pada frekuensi fundamental yang dinyatakan dalam persen (%). Nilai THD dijadikan sebagai mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal [5].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} x_n^2}}{x_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- THD = Total Harmonic Distortion,
- X_n = Nilai RMS dari arus atau tegangan harmonisa ke-n,
- X₁ = Nilai RMS dari arus atau tegangan pada frekuensi dasar

Individual Harmonic Distortion (IHD) merupakan rasio antara nilai efektif atau rms dari harmonisa individual dengan nilai rms harmonisa frekuensi fundamental yang dinyatakan dalam presentase. Pada pengukuran menggunakan *power quality analyzer* nilai harmonik individual arus dinyatakan sebagai I harm dan tegangan sebagai U harm. Nilai arus dan tegangan pada setiap orde berbeda-beda Berikut rumus IHD pada arus dan tegangan [6].

$$\sqrt{\left(\frac{X_{sn}}{X_{s1}}\right)^2} \times 100\% = \frac{X_{sn}}{X_{s1}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- X_{sn} = tegangan dan arus pada orde ke-n,
- X_{s1} = tegangan dan arus fundamental,

C. Mitigasi Dengan Filter Pasif Single Tuned

Filter pasif menyediakan jalur impedansi rendah ke harmonik yang tidak diinginkan. Filter pasif dapat disusun dari rangkaian kombinasi induktor, kapasitor, dan resistor. Filter pasif dapat disetel tunggal seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. *Single tuned filter* didesain untuk mengurangi harmonik tunggal. Filter ini pada dasarnya digunakan untuk mengurangi harmonik orde rendah sementara *double tuned filter* dirancang untuk mengurangi dua harmonik yang dirancang dan digunakan untuk mengurangi harmonik orde tinggi yang ada dalam sistem [7].

Besarnya nilai kapasitor dan induktor beserta impedansinya masing – masing yang digunakan untuk merancang *single tuned filter* adalah sebagai berikut:

$$XC = \frac{kV^2}{MVar} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- X_C = reaktansi C (Ω),
- kV² = tegangan (kV),
- MVar = komposisi daya reaktif (MVar),

Sehingga diperoleh nilai kapasitor:

$$C = \frac{1}{2\pi f Xc} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

- C = kapasitor (μF),
- X_C = impedansi C (Ω),
- F = frekuensi (Hz),

Menentukan nilai reaktansi L dan nilai induktansi untuk komponen filter.

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- X_L = reaktansi induktor (Ω),
- X_C = Reaktansi kapasitor (Ω),
- h = orde harmonisa yang akan difilter,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- L = induktor (mH),
- X_L = reaktansi induktor (Ω),
- F = frekuensi (Hz),

Menentukan nilai kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya:

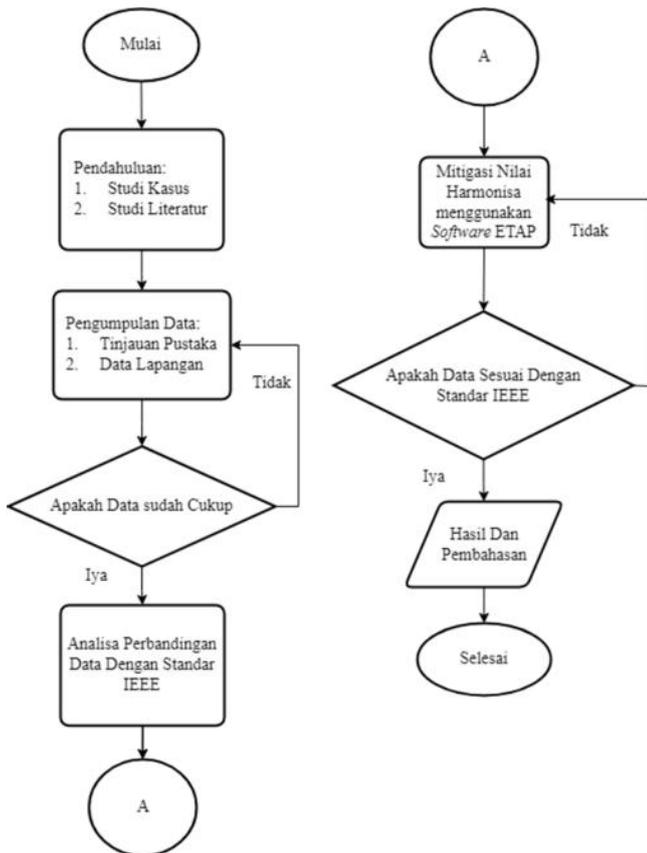
$$Q1 = S \times \sin [\text{arc cos } \theta] \dots\dots\dots (7)$$

$$Q2 = S \times \sin [\text{arc cos } \theta] \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots (9)$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda dengan melakukan pengukuran pada sistem kelistrikannya menggunakan *Power Quality Analyzer*. Selanjutnya dilakukan perbandingan data hasil pengukuran dengan standar IEEE. Sistem kelistrikan sederhana ini dimodelkan sebagai diagram satu garis (*single line diagram*) untuk melakukan analisis harmonik. *Load flow analysis* dilakukan untuk mendapatkan nilai kVA dan faktor daya yang dapat digunakan pada saat mendesain filter. *Harmonic Load Flow Analysis* dan terakhir adalah melakukan mitigasi dengan mereduksi harmonik menggunakan filter. Dari pemodelan hingga mitigasi dilakukan menggunakan *Software ETAP*.



Gambar 2 Alur penelitian

A. Data Pengukuran

Busbar fase R dengan tegangan 0.22 kV dari transformator 555 kVA yang digunakan untuk pendistribusian daya listrik ke gedung Direktorat Politeknik Negeri Samarinda. Pada bus ini didapat nilai tertinggi THD tegangan dan arus yaitu 2.16 % dan 7.35 % yang terdapat pada Rabu 1 Maret 2023.

TABEL 1
NILAI IHD TEGANGAN DAN ARUS PADA BUSBAR FASE R

Orde	%IHD		Orde	%IHD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1.41	5.66	27	0.12	0.08
5	1.18	1.22	29	0.15	0.15
7	0.2	0.73	31	0.07	0.11
9	0.82	1.26	33	0.09	0.08
11	0.39	1.73	35	0.1	0.16
13	0.27	0.62	37	0.05	0.05
15	0.27	0.31	39	0.03	0.05
17	0.17	0.39	41	0.07	0.17
19	0.17	0.14	43	0.05	0.05
21	0.28	0.32	45	0.05	0.08
23	0.12	0.32	47	0.01	0.08
25	0.2	0.29	49	0.04	0.06

Busbar fasa S bertegangan 0.22 kV dari transformator 555 kVA. Dari pengukuran didapat nilai tertinggi untuk THD tegangan sebesar 1.88 % dan THD arus sebesar 6.66 % yang terdapat pada Rabu 1 Maret 2023.

TABEL 2
NILAI IHD TEGANGAN DAN ARUS PADA BUSBAR FASA S

Orde	%IHD		Orde	%IHD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1.02	4.49	27	0.14	0.21
5	1.09	1.3	29	0.11	0.25
7	0.51	0.85	31	0.07	0.13
9	0.73	2.05	33	0.08	0.13
11	0.37	1.57	35	0.08	0.21
13	0.17	0.27	37	0.13	0.16
15	0.34	0.79	39	0.07	0.08
17	0.09	0.65	41	0.03	0.12
19	0.13	0.2	43	0.1	0.09
21	0.29	0.5	45	0.04	0.08
23	0.1	0.43	47	0.01	0.04
25	0.1	0.2	49	0.05	0.02

Busbar fasa T memiliki tegangan 0.22 kV dari transformator 555 kVA. Setelah melakukan pengukuran didapatlah nilai tertinggi untuk THD tegangan sebesar 2.18 % dan THD arus sebesar 19.87 % yang terdapat pada Rabu 1 Maret 2023.

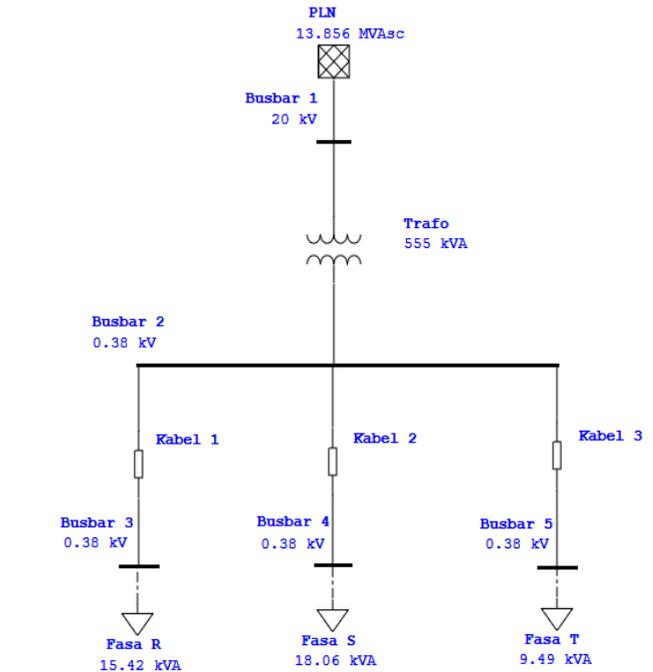
TABEL 3
NILAI IHD TEGANGAN DAN ARUS PADA BUSBAR FASA T

Orde	%IHD		Orde	%IHD	
	Tegangan	Arus		Tegangan	Arus
3	1.07	17.19	27	0.18	0.58
5	1.53	5.08	29	0.16	0.68
7	0.37	1.84	31	0.03	0.18
9	0.71	5.07	33	0.11	0.39
11	0.39	4.01	35	0.01	0.12
13	0.3	1.43	37	0.05	0.21
15	0.23	1.17	39	0.03	0.07
17	0.26	1.25	41	0.02	0.12
19	0.15	0.63	43	0.06	0.25
21	0.31	1.14	45	0.02	0.14
23	0.11	0.59	47	0.02	0.11
25	0.11	0.54	49	0.01	0.07

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Single Line Diagram Pada Gedung

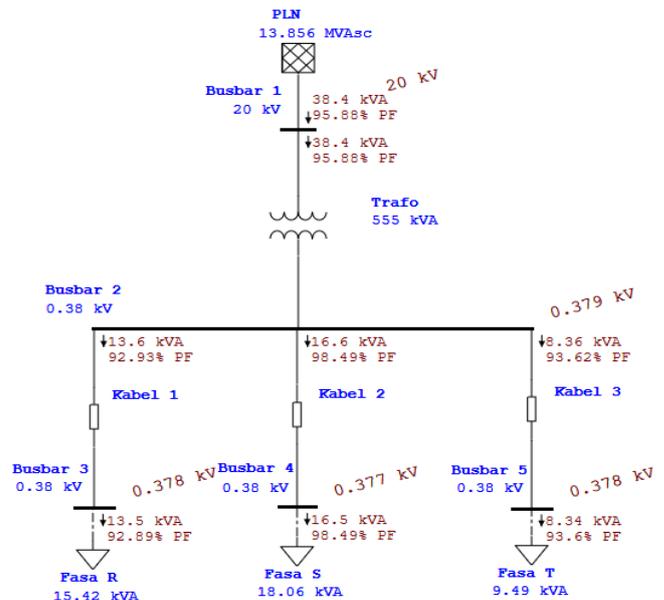
Sistem kelistrikan sederhana ini dimodelkan sebagai diagram satu garis untuk melakukan analisis harmonik. Beban yang terhubung dengan bus bar dimodelkan sebagai sumber harmonik untuk menciptakan distorsi harmonik pada jaringan listrik ini. Sumber harmonik ini pada jaringan listrik akan dianalisa menggunakan analisis harmonik dan teknik mitigasi akan dipakai untuk menghilangkan distorsi harmonik.



Gambar 3 Single line diagram sistem kelistrikan gedung simulasi pada ETAP

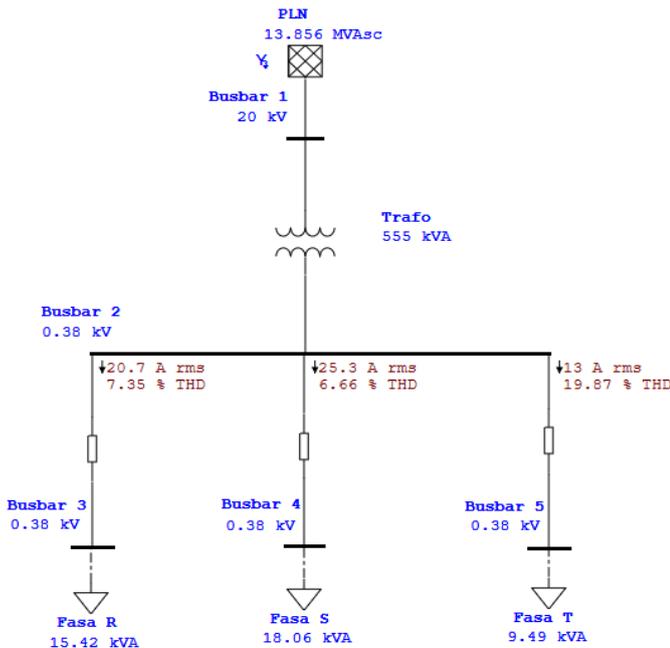
B. Load Flow Analysis

Load flow analysis perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai kVA dan faktor daya yang dapat digunakan pada saat mendesain filter. Hasil analisis aliran beban yang sudah dilakukan nilai faktor daya pada ketiga beban yang didapat sangat baik. Namun pada realita pengukuran sangat sulit mendapatkan nilai faktor daya yang ideal karena beberapa faktor. Maka semakin mendekati nilai ukur yang ada dengan angka 1 maka kualitas dayanya akan semakin baik dan banyak daya yang termanfaatkan. Tetapi jika nilai faktor daya semakin menjauhi angka 1 maka kualitas dayanya juga akan kurang baik dan sudah pasti banyak daya yang kurang bisa dimanfaatkan.



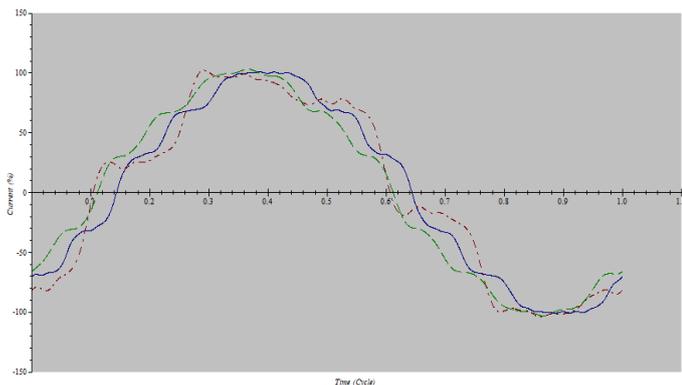
Gambar 4 Hasil analisis aliran beban

C. Harmonic Load Flow Analysis



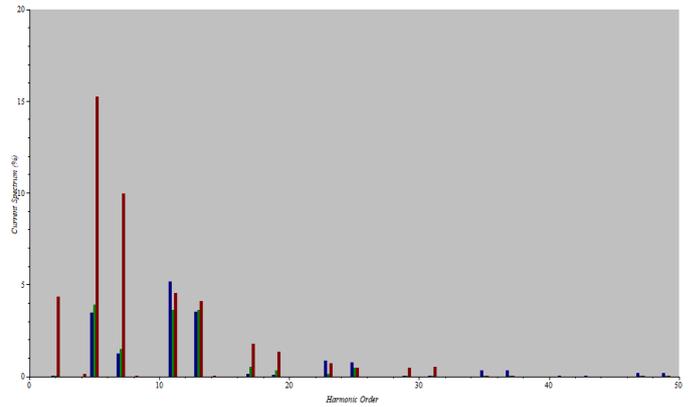
Gambar 5 Hasil aliran beban harmonik.

Pada saat menjalankan aliran beban harmonic terdapat beberapa frekuensi harmonik dengan magnitudo yang lebih besar melebihi batas THD dan IHD. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa harmonik pada beban khususnya pada beban fase T dengan nilai 19,87 % yang dimana nilai ini telah melewati batas standar THD dan IHD yang telah ditentukan.



Gambar 6 Bentuk gelombang aliran beban harmonic di ketiga beban.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan tidak lagi sinusoidal. Apabila dibiarkan maka akan mempengaruhi sistem dan beban yang terdapat pada sistem tersebut.

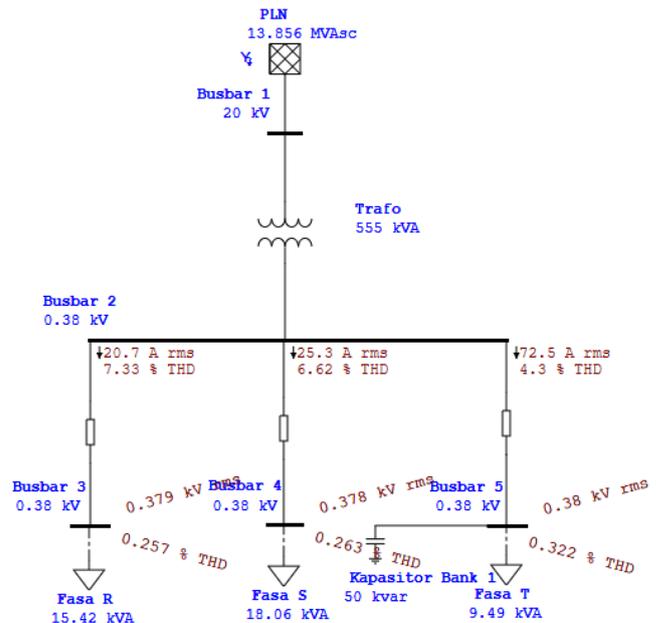


Gambar 7 Spektrum aliran beban harmonik di ketiga beban.

Pada Gambar 8 ditunjukkan bahwa nilai IHD (*Individual Harmonic Distortion*) terbesar terdapat pada orde ke- 5 sebesar 15,524 %. Nilai ini melebihi standar IEEE yang dibatasi sebesar 3 %.

D. Mereduksi Harmonik Menggunakan Capacitor Bank

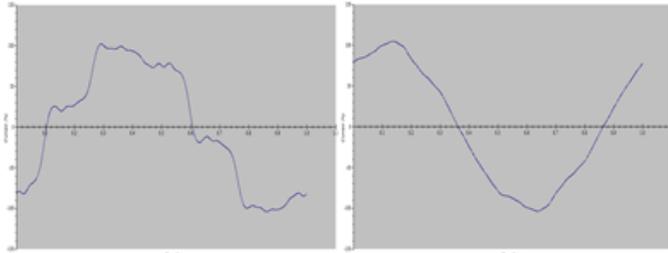
Untuk mereduksi harmonik dari jaringan listrik pada gedung, bank kapasitor 50 kvar digunakan untuk mereduksi harmonik. Dengan menggunakan mekanisme coba-coba dari halaman peringatan, nilai Mvar ini dipilih untuk memberikan daya reaktif yang diperlukan untuk mengontrol tegangan dan membawanya ke atas dari tegangan nominal bus. Pada saat menjalankan analisis aliran beban harmonik setelah menghubungkan bank kapasitor, dapat dilihat bahwa distorsi THD dan IHD telah sangat berkurang dan berada dalam batas harmonik.



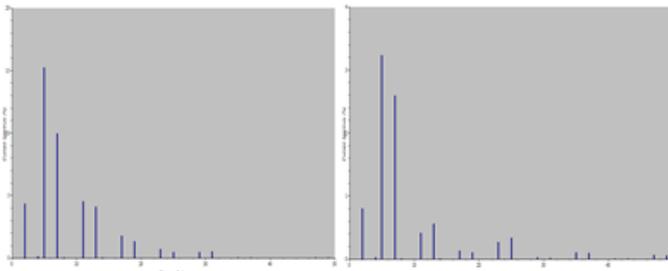
Gambar 8 Hasil mereduksi harmonisa menggunakan *capasitor bank*.

Setelah menghubungkan bank kapasitor, Gambar 9 dapat dilihat dalam satu diagram garis, bentuk gelombang atau spektrum tegangan bahwa *Total Harmonic Distortion* (THD) berkurang secara signifikan yang semula dari 19,87 % menjadi 4,3 %. Kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki distorsi

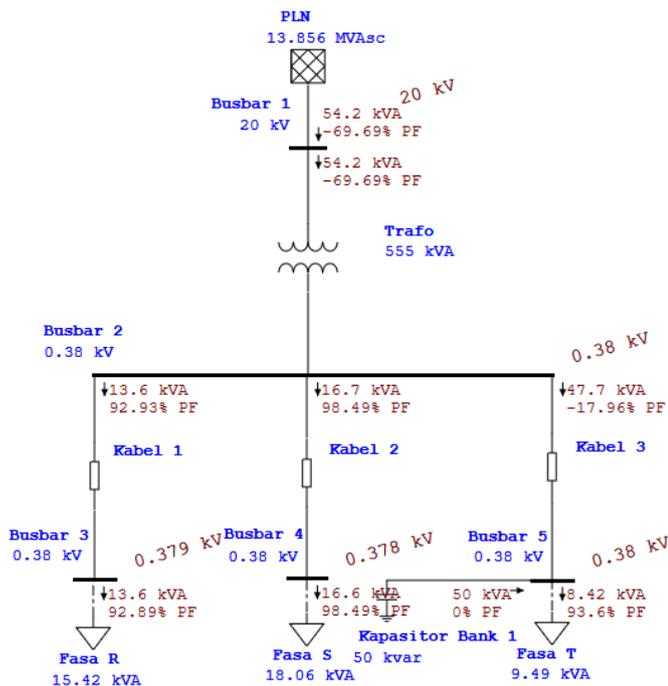
harmonik bisa dibilang sangat berpengaruh pada peredaman harmonik, tetapi nilai arus meningkat menjadi 72,5 A.



Gambar 2 Gambar gelombang sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) direduksi menggunakan *capacitor bank*.



Gambar 10 Spektrum harmonisa sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) direduksi menggunakan *capacitor bank*.



Gambar 11 Hasil analisis aliran beban setelah pemasangan *capacitor bank*.

Gambar gelombang setelah pemasangan *capacitor bank* dalam kondisi *leading*, dan juga terdapat perubahan pada nilai faktor daya yang menjadi -17,96 %, hal ini disebabkan oleh sifat kapasitif yang ada pada komponen kapasitor.

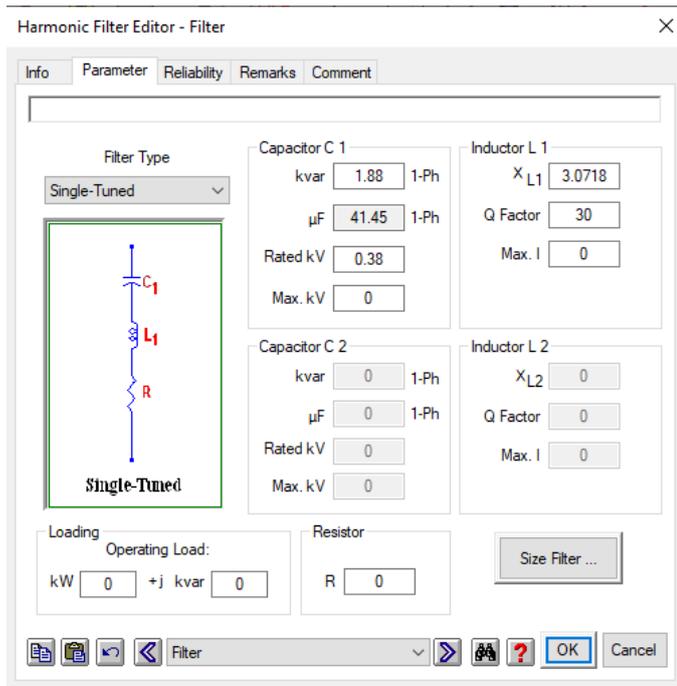
TABEL 4
PERBANDINGAN NILAI PARAMETER SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN *CAPASITOR BANK*

Parameter	Sebelum	Sesudah
THDi	19,87 %	4,52 %
THDv	0,314 %	0,322 %
Faktor Daya	93,62 %	-17,96%

E. *Mereduksi Harmonik Menggunakan Filter*

Filter single-tuned dipilih untuk menghilangkan distorsi harmonik untuk jaringan listrik ini. Dalam ETAP, filter ini dirancang untuk memberikan daya reaktif yang cukup ke jaringan pembangkit dan meminimalkan kerugian pada frekuensi dasar. Untuk mendesain filter *single tuned* yang disetel untuk orde 5, bergantung pada kebutuhan, pengguna harus memasukkan data untuk menentukan ukuran filter yang optimal. Jika pengguna ingin mendesain filter berdasarkan koreksi faktor daya sistem yang sudah ada, maka pada saat melakukan analisis aliran beban, faktor daya yang ada dan nilai kVA dapat ditemukan. Dari analisis aliran beban ini, dapat diketahui bahwa faktor daya yang ada 93,62 % dan nilai kVA 8,35. Selain nilai faktor daya dan daya semu, nilai pada orde harmonik yang ingin direduksi terdapat pada orde ganjil yaitu orde ke- 5. Untuk orde harmonik ke-5, arus harmonik 1,9 A.

Gambar 12 Halaman *harmonic filter sizing*



Gambar 13 Halaman *harmonic filter editor*

F. Mendesain Filter

Filter yang akan digunakan untuk meredam distorsi harmonisa adalah filter *single tune*. Perhitungan akan dilakukan pada fase T yang memiliki distorsi harmonisa arus yaitu sebesar 19,87 %. Terlebih dahulu harus menentukan orde harmonisa yang akan dieliminasi yaitu terletak pada orde ke-5 karena pada orde tersebut terdapat distorsi terbesar. Berikut adalah hasil perhitungan filter:

$$\begin{aligned}
 S &= 8,35 \text{ kVA} \\
 \theta_1 &= \text{Arc cos } 0,93 \\
 &= 21,565185^\circ \\
 \theta_2 &= \text{Arc cos } 0,99 \\
 &= 8,1096145^\circ \\
 Q_1 &= S \times \sin (\text{Arc cos } \theta_1) \\
 &= 8350 \times \sin (21,565185) \\
 &= 3069,1219815 \text{ Var} \\
 &= 3,0691219815 \text{ kVar} \\
 Q_2 &= S \times \sin (\text{Arc cos } \theta_2) \\
 &= 8350 \times \sin (8,1096145) \\
 &= 1177,91246065 \text{ Var} \\
 &= 1,17791246065 \text{ kVar} \\
 QC &= Q_1 - Q_2 \\
 &= 3,0691219815 - 1,17791246065 \\
 &= 1,89120952 \text{ kVar}
 \end{aligned}$$

Nilai kapasitor pada simulasi akan mengacu pada persamaan 3 dan 4 seperti di bawah ini:

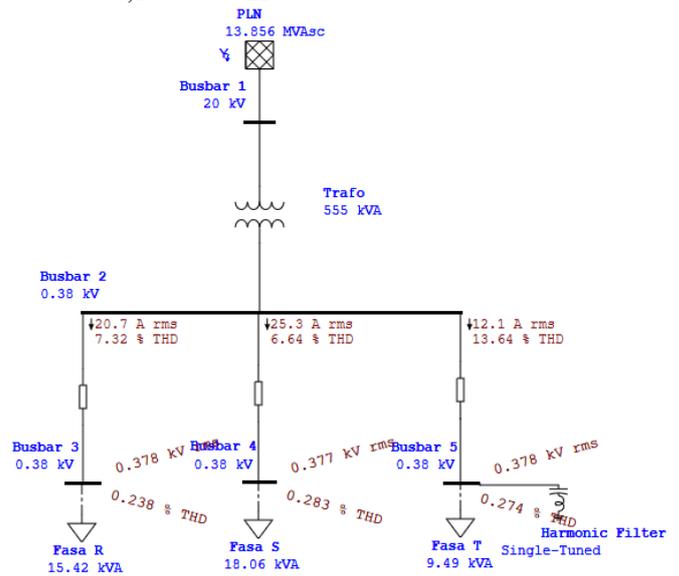
$$X_c = \frac{kV^2}{kVar}$$

Submitted: 19/07/2024; Revised: 21/08/2024;
 Accepted: 16/06/2025; Online first: 17/06/2024
<https://doi.org/10.46964/poligrd.v6i2.44>

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,38^2}{1,89120952} \\
 &= 0,07635325 \text{ k}\Omega \\
 &= 76,35325 \Omega \\
 C &= \frac{1}{2\pi f X_c} \\
 &= \frac{1}{(2)(3,14)(50)(76,35325)} \\
 &= 0,00004171 \text{ F} \\
 &= 41,71 \mu F \\
 &= 41,71 \times 10^{-6} \text{ F}
 \end{aligned}$$

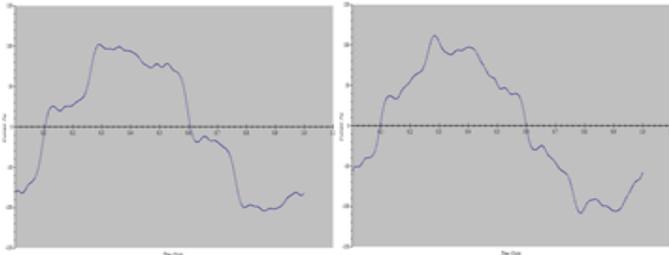
Nilai induktor dalam simulasi ini orde yang akan difilter adalah orde ke-5, sehingga penyetelan akan diturunkan sedikit dibawahnya yaitu 4,9. Hal ini dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah adanya resonansi yang bisa terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu, serta guna mendapatkn performa filter yang maksimal, karena kekurangan dari penggunaan filter ini dapat menyebabkan resonansi seri dan paralel dengan impedansi jaringan yang malah mengakibatkan penguatan harmonisa pada frekuensi tertentu. Nilai induktor akan mengacu pada persamaan 5 dan 6 seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{1}{(C)(2\pi f n)^2} \\
 &= \frac{1}{(41,47 \times 10^{-6})(2 \times 3,14 \times 50 \times 4,9)^2} \\
 &= 0,01012764 \text{ mH} \\
 X_L &= 2\pi f L \\
 &= (2)(3,14)(50)(0,01012764) \\
 &= 3,18007896 \Omega
 \end{aligned}$$

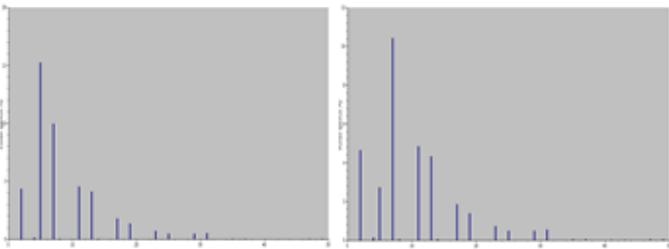


Gambar 14 Nilai THD setelah dipasang filter

Dengan membandingkan hasil analisis aliran beban harmonik tanpa filter pada Gambar 15, terlihat bahwa persentase THD arus berkurang yang semula 19,87 % menjadi 13,64 %, dimana filter ini sangat berpengaruh untuk mereduksi nilai THD. Bentuk gelombang dan spektrum tegangan untuk beban fase T diberikan di bawah ini.

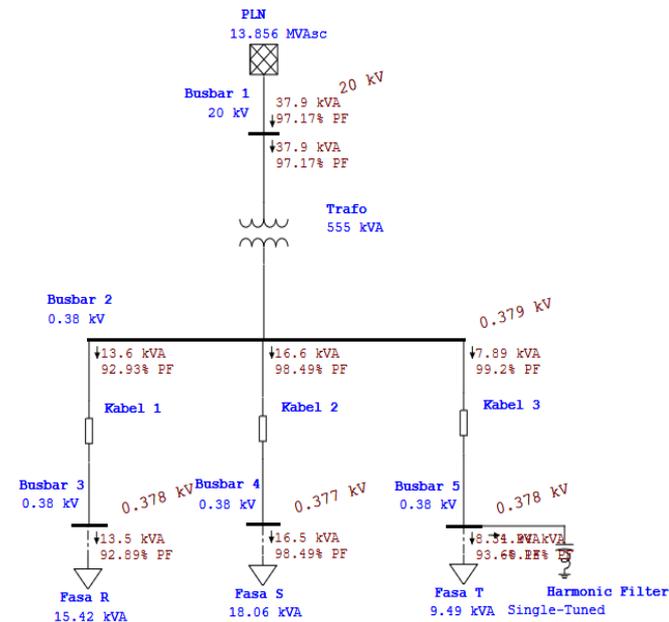


Gambar 15 Bentuk gelombang pada beban T sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dipasang filter.



Gambar 16 Spektrum pada fasa T sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dipasang filter.

Dapat dilihat dari bentuk gelombang dan spektrum tegangan Gambar 16 dan Gambar 17, bahwa distorsi harmonik berkurang dan bentuk gelombang menjadi hampir sinusoidal. Hal ini dapat dibuat lebih halus dengan merancang filter *single tuned* untuk orde harmonik lain yang memiliki IHD dan THD yang melebihi batas standar yang telah ditentukan.



Gambar 17 Hasil analisis *load flow* setelah pemasangan filter

Pada hasil analisis *load flow* Gambar 18 ternyata fungsi dari filter bisa memperbaiki nilai faktor daya, perbedaan sebelum dipasang filter nilai faktor daya sebesar 93,62 % dan setelah pemasangan filter nilai faktor daya menjadi lebih baik menjadi 99,2 %. Hal ini disebabkan oleh sifat beban kapasitif yang ada pada komponen kapasitor yang dapat mengurangi daya reaktif pada beban induktif. Maka penggunaan kapasitor

sebagai koompensator daya reaktif dapat memperbaiki faktor daya yang buruk pada beban. Sehingga penggunaan daya listrik terhadap kebutuhan beban lebih sesuai.

TABEL 5
PERBANDINGAN PARAMETER SEBLUM DAN SESUDAH PEMASANGAN FILTER

Parameter	Sebelum	Sesudah
THDi	19,87 %	13,58 %
THDv	0,314 %	0,274 %
Faktor Daya	93,62 %	99,2 %

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi dari penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi awal sistem menunjukkan nilai *Total Harmonic Distortion* arus (THDi) yang melebihi batas toleransi IEEE 519-2014 (maksimal 5%), yaitu mencapai 19,87%, terutama pada fasa T. Hal ini menandakan perlunya strategi mitigasi harmonisa yang tepat.
2. Mitigasi menggunakan bank kapasitor 50 kVar menunjukkan efektivitas tinggi dalam menurunkan THDi menjadi 4,3%, namun memunculkan dampak negatif berupa penurunan ekstrem faktor daya menjadi -17,96%, yang berpotensi membahayakan stabilitas sistem dalam jangka panjang.
3. Mitigasi menggunakan filter harmonik *single-tuned* orde ke-5 menurunkan THDi secara moderat menjadi 13,64%, tetapi menunjukkan performa lebih stabil dengan peningkatan faktor daya dari 93,62% menjadi 99,2%, dan penurunan THDv dari 0,314% menjadi 0,274%. Filter juga mengurangi arus pemakaian dari 13 A menjadi 12,1 A, yang menunjukkan potensi efisiensi energi..
4. Efektivitas filter harmonik terfokus pada fasa T, tempat pemasangannya, sehingga penurunan harmonisa paling dominan terjadi di fasa tersebut, sementara fasa lain tidak mengalami perubahan signifikan.
5. Berdasarkan evaluasi teknis dan kestabilan sistem, filter harmonik lebih direkomendasikan untuk digunakan di lingkungan pendidikan dengan beban elektronik sensitif, karena menawarkan keseimbangan antara reduksi harmonik, perbaikan faktor daya, dan kestabilan tegangan. Bank kapasitor tetap dapat digunakan, namun disarankan disertai sistem kontrol otomatis guna menghindari overkompensasi daya reaktif.

REFERENSI

[1] S. Younis dan O. M. Alyousif, "Electrical power system harmonics elimination using ETAP," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 27, no. 1, pp. 99-109, 2022, doi: 10.33899/rengj.2022.132721.1155.

[2] K. Karim, R. Rusda, dan M. Masing, "Analisis kualitas daya pada instalasi listrik Politeknik Negeri Samarinda," *Prosiding Seminar Nasional Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar*, Edisi 5, pp. 373-375, 2018.

[3] A. Aisha, "Power system harmonic analysis using ETAP," *EWeb.com*, <https://www.eeweb.com/power-system-harmonic-analysis-using-etap/>

- [4] M. Al, A. Atmam, dan E. Zondra, “Analisis Harmonisa menggunakan filter pasif pada VSD dengan beban motor electrical submersible pump di PT. CPI,” *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 1, pp. 9–17, 2021.
- [5] Z. Aini dan A. Mar'i, *Desain Singel Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi*, Pekan Baru: Al-Mujtahadah Press, 2021.
- [6] Z. Mulia Sari, A. Hermawan, dan S. Wibowo, “Analisis Power quality sistem kelistrikan pada Apartemen Malang City Point,” *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 39–44, 2020, doi: 10.33795/elposys.v7i3.18.
- [7] J. Aswal dan Y. Pal, “Passive and active filter for harmonic mitigation in a 3-phase, 3-wire system,” *Proc. 2nd Int. Conf. Inven. Syst. Control. ICISC 2018*, no. Icisc, pp. 668–672, 2018, doi: 10.1109/ICISC.2018.8398882.