Studi Perancangan Filter Pasif untuk Mereduksi Harmonisa Arus pada Sistem Kelistrikan Industri Pengolahan Air Bersih

Heri Budi Utomo[1], Sunarto[2], Faisal Kurniawan[3]

[1]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: hbu@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
[2]*E-mail: soen@polban.ac.id*
[3]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
[3]*E-mail: faisal.kurniawan.tlis23@polban.ac.id*

ABSTRAK

Kualitas daya listrik sangat krusial pada industri pengolahan air bersih yang banyak menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada motor pompa. Penggunaan VFD dapat menghasilkan harmonisa arus yang dapat menurunkan kualitas daya dan efisiensi sistem. Penelitian ini bertujuan menganalisis profil *Total Harmonic Distortion* (THD), mengidentifikasi orde dominan, serta merancang filter pasif *single-tuned* dan mengevaluasi efektivitasnya menggunakan MATLAB/Simulink. Metode penelitian yang digunakan berupa pengukuran langsung selama 24 jam pada panel MDP, SDP Distribusi, dan SDP *Intake*. Hasil pengukuran menunjukkan THD arus panel MDP mencapai 120,58% dengan *Total Demand Distortion* (TDD) mencapai 20 – 21% (melebihi standar IEEE 519 – 2014 sebesar 15%), dengan didominasi orde ke-5. Simulasi perancangan filter pasif berhasil menurunkan TDD arus menjadi 4 – 9% pada fasa R, S, dan T sehingga sistem memenuhi standar IEEE 519 – 2014.

Kata Kunci:

Harmonisa; THD; Filter Pasif; VFD; Kualitas Daya

Power quality is crucial in the water treatment industry, which extensively utilizes Variable Frequency Drives (VFDs) for pump motors. VFDs generate current harmonics that degrade power quality and system efficiency. This study aims to analyze Total Harmonic Distortion (THD) profiles, identify dominant harmonic orders, and design a single-tuned passive filter evaluated via MATLAB/Simulink. Direct 24-hour field measurements were conducted at the MDP, Distribution SDP, and Intake SDP panels. Results revealed that MDP current THD reached 120.58% with Total Demand Distortion (TDD) at 20–21% (exceeding the IEEE 519-2014 limit of 15%), dominated by the 5th order. Passive filter simulations successfully reduced current TDD to 4–9% across phases R, S, and T, bringing the system into compliance with IEEE 519-2014 standards.

Keywords:

Harmonics; THD; Passive Filter; VFD; Power Quality

1. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik merupakan aspek krusial untuk menjamin peralatan beroperasi andal dan efisien, terutama pada sektor industri dan utilitas yang operasionalnya sangat bergantung pada keandalan sistem kelistrikan (1). Motor induksi tiga fasa banyak digunakan sebagai penggerak pompa air karena konstruksinya sederhana, kuat, dan mudah dirawat serta beroperasi hampir 24 jam nonstop. Seiring meningkatnya pemakaian peralatan berbasis elektronika daya, harmonisa menjadi salah satu masalah kualitas daya utama yang ditonjolkan pada sistem kelistrikan tersebut (2). Keandalan operasi motor pompa yang bekerja hampir 24 jam nonstop sangat menentukan kontinuitas pemenuhan kebutuhan air bersih bagi masyarakat, sehingga gangguan kualitas daya yang memengaruhi kinerja motor pompa berpotensi mengganggu keandalan pasokan air pada layanan utilitas (3). Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk mengatur kecepatan motor mengubah beban induktif menjadi beban nonlinear yang menarik arus tidak sinusoidal (4). Harmonisa dari beban nonlinier dapat meningkatkan rugi-rugi daya, pemanasan berlebih, menurunkan faktor daya, serta memicu risiko resonansi yang merusak kapasitor *bank* dan peralatan sensitif (5)(6).

Kondisi kelistrikan umumnya dijelaskan melalui segitiga daya (daya aktif, reaktif, dan semu) serta faktor daya sebagai indikator efisiensi (7). Rasio antara daya aktif terhadap daya semu disebut faktor daya, yang menggambarkan efisiensi pemanfaatan energi listrik oleh beban (8). Pada beban VFD, gelombang arus terdistorsi oleh kelipatan frekuensi fundamental yang dapat diuraikan melalui deret Fourier

(9)(10). Perubahan impedansi beban nonlinier terhadap tegangan yang diberikan menyebabkan arus yang ditarik menjadi tidak sinusoidal meskipun disuplai tegangan AC sinusoidal murni, dengan sumber harmonisa umumnya dikelompokkan menjadi beban komersial seperti peralatan elektronik rumah tangga dan perkantoran, serta beban industri berkapasitas besar seperti VFD, UPS, dan penyearah daya (11)(12). Konverter *full-bridge* tiga fasa pada VFD menghasilkan harmonisa dominan 6k ± 1(orde ke-5, ke-7 dan seterusnya) (11).

Penelitian terdahulu pada *water treatment plant* merancang filter pasif untuk mereduksi harmonisa orde ke-5 dan ke-7 akibat beban nonlinier (13). Studi pada PLTS *rooftop* menggunakan ETAP belum membahas orde dominan secara spesifik (14). Sementara penelitian harmonisa VFD berbasis simulasi belum mengintegrasikan data lapangan secara detail (15). Dan penambahan kapasitor *bank* justru berpotensi meningkatkan harmonisa arus (16). Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini mengintegrasikan data pengukuran lapangan di tiga panel berbeda, mengidentifikasi orde dominan, serta merancang dan mensimulasikan filter pasif *single-tuned* berbasis MATLAB/Simulink untuk mereduksi THD arus.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengukur dan menganalisis profil THD pada panel MDP dan beberapa panel SDP dengan beban dominan, mengidentifikasi karakteristik harmonisa dominan, serta merancang dan mengevaluasi kinerja filter pasif dalam mereduksi THD arus melalui simulasi MATLAB/Simulink.

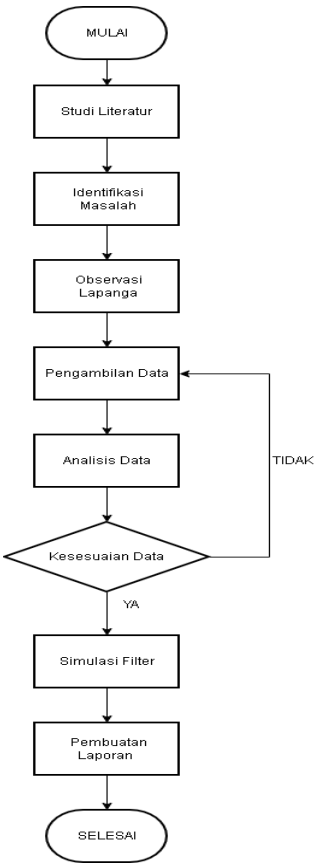
2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Alat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di industri pengolahan air bersih menggunakan metode pengukuran langsung dengan analisis deskriptif kuantitatif. Pengambilan data dilakukan secara non-invasif menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) HIOKI PQ3100 yang dilengkapi dengan *clamp current sensor* dan *probe* tegangan untuk merekam parameter kelistrikan, THD, serta IHD hingga orde ke-50 melalui perangkat lunak PQ ONE. Pengukuran menerapkan prosedur K3 dengan alat pelindung diri lengkap. Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis dan disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink untuk pemodelan sistem dan evaluasi filter pasif.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian diawali studi literatur mengenai kualitas daya, harmonisa, beban nonlinier, IEEE 519 – 2014, dan filter pasif. Selanjutnya dilakukan observasi lapangan untuk mengidentifikasi titik pengukuran yang mewakili beban. Data pengukuran dari PQA dianalisis dan dievaluasi sesuai standar IEEE 519 – 2014, diikuti perancangan dan simulasi filter pasif berbasis perangkat lunak.



Gambar 1. *Flowchart*

2.3 Pengambilan Data

Pengukuran dilakukan pada tiga panel, MDP sebagai *Point of Common Coupling* (PCC), SDP unit Distribusi, dan SDP unit *Intake*. Pengukuran MDP dan SDP *Intake* dilakukan selama 24 jam dengan interval 10 menit, sedangkan pada SDP Distribusi pengukuran dilakukan 3 hari dengan interval 30 menit akibat adanya operasi tiga motor secara bergantian. Parameter yang direkam meliputi tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, THDi, THDv, dan IHD per orde.

2.4 Analisis Harmonisa dan Evaluasi Standar

Data pengukuran dianalisis untuk menghitung THDi, THDv, IHD dominan, serta batas distorsi acuan. Evaluasi standar IEEE 519 – 2014 diawali dengan menghitung arus beban penuh (I_{fl}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan rasio I_{sc} / I_L pada titik PCC berbasis *nameplate* transformator dan arus beban maksimum yang terukur selama pengukuran.

2.5 Simulasi MATLAB/Simulink

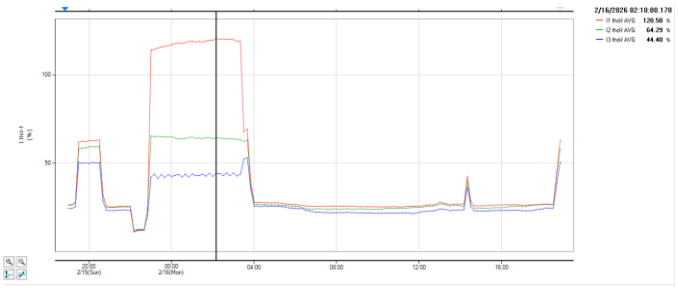
MATLAB/Simulink dipilih sebagai perangkat simulasi karena kemampuannya melakukan komputasi numerik, analisis data, dan pemodelan sistem secara komprehensif melalui integrasi perhitungan, visualisasi, dan pemrograman dalam satu lingkungan. Sistem dimodelkan sebagai tiga rangkaian satu

fasa yang dianalisis terpisah. Data arus harmonisa tiap orde (h1 hingga h15) hasil pengukuran dikonversi ke nilai puncak dengan mengalikan nilai RMS dengan √2, lalu dimasukkan sebagai sumber arus harmonisa pada model. Pendekatan ini membuat kondisi model identik dengan kondisi lapangan sebelum pemasangan filter, sehingga nilai THDi dan TDD sebelum filter dapat dihitung sebagai acuan. Setelah itu, filter pasif hasil perhitungan dipasang pada rangkaian untuk mengevaluasi efektivitas reduksi harmonisa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Profil THD Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran pada panel MDP menunjukkan THD tegangan yang relatif stabil (1,3-2,9%) dan masih memenuhi standar, sedangkan THD arus sangat tinggi dan tidak seimbang antar fasa dengan nilai maksimum 120,58% pada fasa R dan rata-rata sekitar 46%, seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai THDi fasa R paling tinggi justru karena arus fundamentalnya paling kecil (58,40 A), sehingga rasio arus harmonisa terhadap fundamental membesar.



Gambar 2. Grafik THDi tiga fasa panel MDP selama 24 jam

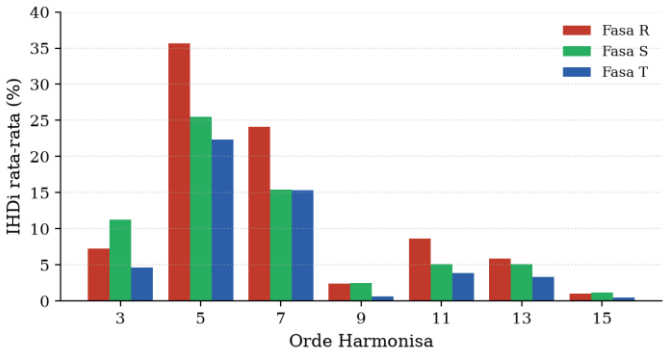
Tabel 1. Nilai THD pada masing-masing Panel

Panel	THDi maks (%)	THDv maks (%)
MDP	120,58	2,92
SDP Distribusi	110,41	7,51
SDP Intake	5,20	2,64

Perbandingan profil THD ketiga panel dirangkum pada Tabel 1. Panel SDP Distribusi yang menggunakan VFD memiliki THDi sangat tinggi (60-110%) dan melonjak pada beban rendah (malam hari) ketika VFD bekerja pada frekuensi rendah, sedangkan SDP Intake dengan starting star-delta memiliki THDi rendah (3-5%) karena tidak memuat komponen elektronika daya.

3.2 Analisis Orde Harmonisa Dominan

Analisis spektrum harmonisa arus pada panel MDP (Gambar 3) menunjukkan dominasi harmonisa orde ganjil. Orde ke-5 paling dominan dengan rata-rata 35,67% pada fasa R, 25,53% pada fasa S, dan 22,32% pada fasa T, diikuti orde ke-7 dan ke-11, sedangkan orde ke-13 dan ke-15 tidak signifikan. Pola ini merupakan karakteristik penyearah enam pulsa pada VFD yang menghasilkan harmonisa pada orde 6k ± 1, sehingga perancangan filter difokuskan (di-*tuning*) pada orde ke-5, ke-7, dan ke-11.



Gambar 3. Orde harmonisa arus dominan tiap fasa panel MDP

3.3 Evaluasi terhadap Standar

Evaluasi standar IEEE 519 – 2014 diawali dengan menghitung arus beban penuh (I_{fl}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan rasio I_{sc} / I_L pada titik PCC berbasis *nameplate* transformator dan arus beban maksimum yang terukur selama pengukuran.

$$I_{fl} = \frac{S}{\sqrt{3}\ x\ V}$$

$$I_{fl} = \frac{250.000}{\sqrt{3}\ x\ 400} = 360.84\ A$$

$$Isc = I_{fl}\ x\ \frac{100}{Z\%}$$

$$Isc = 360.84\ x\ \frac{100}{4} = 9021\ A$$

$$\frac{Isc}{IL} = \frac{9021}{74.04} = 121.83$$

Karena rasio Isc/IL berada pada rentang 100-1000, standar IEEE 519-2014 menetapkan batas TDD arus 15% dan IHD orde 2-11 sebesar 12%, sedangkan batas THD tegangan untuk sistem <1 kV adalah 8%. Nilai-nilai ini dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Standar

Parameter	Nilai
Arus beban penuh (Ifl)	360,84 A
Arus hubung singkat (Isc)	9.021 A
Arus beban maksimum (IL)	74,04 A
Rasio Isc/IL	121,83
Batas TDD arus	15%
Batas IHD orde 2-11	12%
Batas THDv (<1 kV)	8%

Untuk mengevaluasi kepatuhan terhadap IEEE 519-2014, dihitung nilai Total Demand Distortion (TDD) panel MDP

menggunakan IL = 74,04 A sebagai pembagi. Hasilnya, TDD ketiga fasa berada pada kisaran 20-21,56% (Tabel 3), seluruhnya melebihi batas 15%, sehingga sistem memerlukan mitigasi berupa pemasangan filter harmonisa

Tabel 3. Nilai TDD panel MDP sebelum filter

Fasa	TDD (%)	IEEE 519 (%)	Keterangan
R	20,00	15	Tidak memenuhi
S	21,56	15	Tidak memenuhi
T	21,42	15	Tidak memenuhi

3.4 Perancangan Filter Pasif (Fasa R)

Filter pasif bekerja berbasis prinsip resonansi LC, yaitu menghasilkan impedansi minimum pada frekuensi resonansi sehingga arus harmonisa dialirkan ke filter dan tidak mengalir ke sistem sumber. Filter yang dirancang berupa single-tuned tiga cabang per fasa yang di-tuning tepat pada orde harmonisa dominan ke-5, ke-7, dan ke-11. Perhitungan komponen menggunakan data acuan Fasa R (V = 227,05 *Volt*, I = 58,40 *Ampere*) untuk menaikkan faktor daya dari 0,86 menjadi 0,95.

$$P = V\ x\ I\ x\ cos\varphi$$
$$P = 227.05\ x\ 58.40\ x\ 0.86$$
$$P = 11403.35\ W$$
$$Qc = P\ ((tan\varphi\ awal) - (tan\varphi\ target))$$
$$Qc = 11403.35\ ((tan\ 30.68\,^\circ) - (tan\ 18.19^\circ))$$
$$Qc = 11403.35\ (0.2647)$$
$$Qc = 3018.40\ VAR$$
$$Xc = \frac{V^2}{Qc}$$
$$Xc = \frac{227.05^2}{3018.40} = 17.07\ \Omega$$
$$C = \frac{1}{2\pi f.Xc}$$
$$C = \frac{1}{2\ x\ 3.14\ x\ 50\ x\ 17.07}$$
$$C = 0.000186\ F$$
$$XL = \frac{Xc}{h^2}$$
$$XL_5 = \frac{17.07}{5^2} = 0.682\ \Omega$$
$$L = \frac{XL}{2\pi f}$$
$$L_5 = \frac{0.682}{2\ x\ 3.14\ x\ 50}$$
$$L_5 = 0.00217\ H$$
$$Xn = \sqrt{XL.Xc}$$
$$Xn_5 = \sqrt{0.682\ x\ 17.07}$$
$$Xn_5 = 3.41\ \Omega$$

Nilai resistor tiap cabang dihitung dari Xn = √(XL·Xc) dibagi faktor kualitas filter (Q = 90), menghasilkan R5 = 0,037 Ω. Prosedur yang sama diterapkan pada fasa S dan T dengan data arus dan faktor daya masing-masing.

3.5 Hasil Perancangan Filter

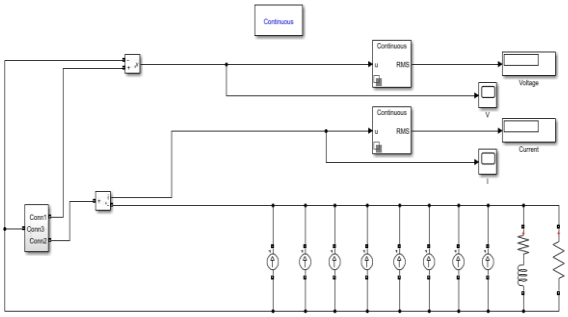
Hasil perhitungan komponen filter pasif *single-tuned* untuk ketiga fasa ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai komponen berbeda antar fasa karena mengikuti kondisi arus beban masing-masing fasa. Fasa R memiliki arus fundamental terkecil (58,40 A) sehingga daya reaktif kompensasi (Qc) yang dibutuhkan paling besar dan menghasilkan kapasitansi terbesar (186 µF), dibandingkan fasa S (124 µF) dan fasa T (153 µF).

Tabel 4. Hasil perhitungan komponen filter tiap fasa

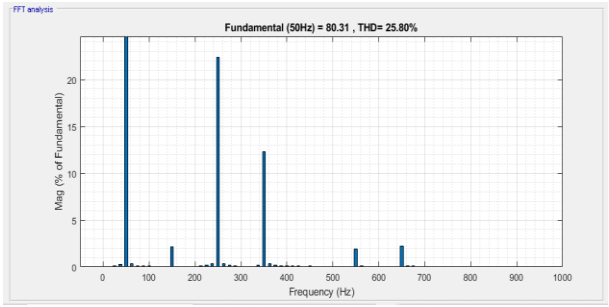
Fasa	Orde	C (µF)	L (mH)	R (Ω)
R	5	186	2,18	0,037
R	7	186	1,11	0,027
R	11	186	0,45	0,017
S	5	124	3,26	0,056
S	7	124	1,66	0,040
S	11	124	0,67	0,025
T	5	153	2,63	0,046
T	7	153	1,34	0,032
T	11	153	0,54	0,020

3.6 Simulasi Sebelum dan Sesudah Filter

Model sistem sebelum pemasangan filter (Gambar 4) menggunakan sumber arus harmonisa hasil pengukuran. Analisis FFT pada kondisi ini (Gambar 5) menghasilkan THD sekitar 25,8% dengan dominasi orde ke-5, konsisten dengan karakteristik penyearah enam pulsa VFD.

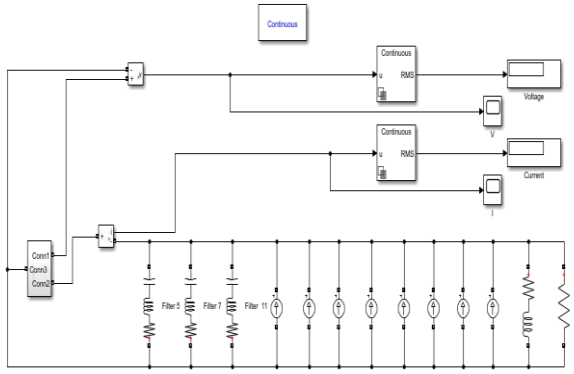


Gambar 4. Rangkaian simulasi sebelum pemasangan filter

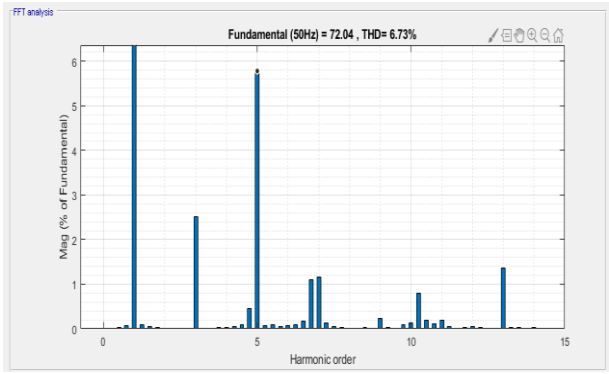


Gambar 5. Spektrum harmonisa arus sebelum filter (THD 25,8%)

Setelah tiga cabang filter (orde 5, 7, dan 11) dipasang pada rangkaian (Gambar 6), bentuk gelombang arus menjadi mendekati sinusoidal dan amplitudo orde harmonisa dominan menurun drastis. Spektrum fasa R (Gambar 7) menunjukkan THD turun menjadi 6,73%, membuktikan filter menyediakan jalur impedansi rendah pada frekuensi yang di-*tuning* sehingga arus harmonisa terserap oleh filter.



Gambar 6. Rangkaian simulasi sesudah pemasangan filter



Gambar 7. Spektrum harmonisa arus fasa R sesudah filter (THD 6,73%)

3.7 Evaluasi Efektivitas Filter

Pemasangan filter menurunkan THDi pada seluruh fasa (Tabel 5). Reduksi terbesar terjadi pada fasa R (74,51%) karena kapasitansinya paling besar sehingga impedansi filter pada frekuensi dominan paling rendah, diikuti fasa S (55,07%) dan fasa T (50,89%).

Tabel 5. THDi sebelum dan sesudah filter

Fasa	Sebelum (%)	Sesudah (%)	Reduksi (%)
R	26,40	6,73	74,51
S	26,13	11,74	55,07
T	24,25	11,91	50,89

Evaluasi juga dilakukan terhadap TDD sesuai IEEE 519-2014 (Tabel 6). Setelah filter, nilai TDD turun menjadi 4,62%, 8,79%, dan 9,45% untuk fasa R, S, dan T, seluruhnya di bawah batas 15% sehingga sistem telah memenuhi standar.

Tabel 6. Nilai TDD sesudah filter

Fasa	TDD (%)	IEEE 519 (%)	Keterangan
R	4,62	15	Memenuhi
S	8,79	15	Memenuhi
T	9,45	15	Memenuhi

Meskipun hasil simulasi membuktikan filter pasif efektif menurunkan harmonisa, filter ini memiliki kelemahan. Nilai komponennya bersifat tetap dan dirancang berdasarkan kondisi beban maksimum (*worst case*), sedangkan beban di industri bersifat fluktuatif terutama akibat variasi operasi motor pompa berbasis VFD. Akibatnya, pada kondisi beban rendah kemampuan filter pasif dalam mereduksi harmonisa menjadi kurang optimal, sehingga untuk hasil yang lebih adaptif disarankan penggunaan filter aktif (*Active Power Filter*).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sebelum mitigasi THDv masih memenuhi IEEE 519-2014 sementara THDi melampaui batas hingga 120,58% dengan TDD 20–21% akibat beban nonlinier VFD, distorsi didominasi oleh harmonisa orde ganjil ke-5, ke-7, dan ke-11 sesuai karakteristik penyearah enam pulsa, serta pemasangan filter pasif single-tuned terbukti efektif menurunkan THDi hingga 6,73% (R), 11,74% (S), 11,91% (T) dan TDD menjadi 4,62%–9,45% sehingga seluruh fasa memenuhi standar IEEE 519-2014.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak industri pengolahan air bersih yang telah memberikan izin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian, serta kepada teknisi Laboratorium Sistem Distribusi Tenaga Listrik (SDTL) Politeknik Negeri Bandung atas bantuan dan dukungan teknis selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Kualitas, D. Listrik, and P. Quality, “Studi kualitas daya listrik (power quality) di bangunan gedung xyz,” *J. Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 13, no. 2, 2025.

2. O. R. Nadeak, R. Sinambela, and M. Manik, "Analisis kualitas daya listrik akibat dampak beban nonlinear," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 05, no. 02, pp. 75–84, 2024.

3. H. B. Utomo, T. Tohir, and M. T. Winata, "Evaluasi Biaya Konsumsi Energi Listrik Pada Motor Listrik Pompa Air di Ground Water Tank," no. 2, pp. 183–187, 2025.

4. K. Daya and B. Residensial, "JTELS Analisis Kinerja Mitigasi Total Harmonic Distortion (THD) dan," *J. Telecomunication Electr. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 11–16, 2025, doi: 10.24010/jtels.v2i02.1266.

5. M. Al and E. Zondra, "ANALISIS HARMONISA MENGGUNAKAN FILTER PASIF PADA VSD DENGAN BEBAN MOTOR ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP DI PT . CPI," *J. Tek. (Jurnal Inst. Teknol. Riau)*, vol. 15, no. April, pp. 9–17, 2021.

6. U. D. Agung, I. Sains, and T. D. Pardede, "Analisa pengaruh harmonisa pada pengoperasian beban listrik," *J. Elektro dan Mesin*, vol. 9, no. September, pp. 88–97, 2020.

7. G. Samiaji *et al.*, "Berdasarkan Harmonisa Pada Motor Listrik," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, pp. 2735–2743, 2024.

8. Ahmad Hermawan, Jamik Apriliasari, and Chandra Wiharya, "Analisis Kualitas Daya dan Rekomendasi Perbaikan Sistem Kelistrikan di Gedung Perhotelan," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 101–106, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i2.1220.

9. N. F. Indah, H. S. T. Munnik, H. S. T. Munnik, U. Dirgantara, and M. Suryadarma, "Analisis Dampak Arus Harmonisa Terhadap Kerugian Dan Penuruan Daya Mampu (Derating) Pada Trafo 167 Mva Dengan Metode Matriks Spektrum Arus Harmonisa Di Gistet Cawang," *J. Ilm. Kedirgant.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2025.

10. Arlenny, A. Tanjung, Darmansyah, and T. D. Herlambang, "Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Motor Debarker WP-8 Di PT. Indah Kiat Pulp And Paper Tbk.Perawang," *SainETIn J. Sains, Energi, Teknol. dan Ind.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.31849/sainetin.v9i1.13436.

11. M. E. Hutagalung, I Made Wiwit Kastawan, and Apip Pudin, "Analisis Karakteristik Harmonisa Pada Sistem Elektrikal Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Tambak Lorok Blok 2," *J. Tek. Energi*, vol. 12, no. 2, pp. 40–50, 2024, doi: 10.35313/energi.v12i2.5250.

12. M. N. Hidayat, S. Meliala, and R. Putri, "ANALISA RUGI – RUGI DAYA AKIBAT HARMONISA PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DENGAN PENGGUNAAN SINGLE TUNED FILTER PENYULANG LG -02 PT PLN ULP LANCANG GARAM," *J. Energi Elektr.*, vol. 14, pp. 58–64, 2025.

13. P. Senakama *et al.*, "ANALISA HARMONISA PADA WATER TREATMENT PLANT DI PDAM," *Pros. Senakama*, vol. 1, no. September, pp. 493–500, 2022.

14. E. S. N. Heri Budi Utomo, Toto Tohir, "Evaluasi Kandungan Harmonisa Arus dan Tegangan Pada Plts Rooftop," *J. Tek. Elektro*, pp. 39–45, 2025.

15. F. R. Maulana, M. Daud, and S. Meliala, "Analisis Kemunculan Harmonisa pada Variable Frequency Drive dan Dampaknya terhadap Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase," *J. rekayasa dan Teknol. elektro*, vol. 18, no. 03, 2024.

16. S. Suratno, M. H. Ashabullah, and E. Yadie, "Analisis Kinerja dan Harmonik Motor Induksi 3 Fasa Dengan Variable Frequency Drive pada Boiler Feed Water Pump di PT. Cahaya Fajar Kaltim Menggunakan ETAP," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 9, no. 1, pp. 502–510, 2024, doi: 10.36277/jteuniba.v9i1.1099.