

Pengaruh Pengaturan Daya Reaktif (Qc) Pada Filter Harmonik Terhadap Nilai THDi Transformator Distribusi

Rahul Mulianto Manurung^{1*}, Azmi Rizki Lubis², Sriadhi³

Adi Sutopo⁴, Agus Junaidi⁵

¹Mahasiswa Teknik Elektro

²⁻⁵Dosen Teknik Elektro

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan, Indonesia.

e-mail: rahulmanurung02@gmail.com¹, azmirizkilubis@unimed.ac.id²

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh pengaturan daya reaktif (Qc) pada filter harmonik terhadap nilai THDi transformator distribusi. Tujuan penelitian adalah (1) mengatur daya reaktif (Qc) pada filter aktif untuk mengetahui efektivitas filter dalam mengurangi harmonisa, serta (2) mensimulasikan pengaturan filter aktif menggunakan MATLAB Simulink. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan melakukan pengukuran pada transformator distribusi di ULP Johor. Hasil awal menunjukkan nilai THDi sebesar 13,7% pada fasa R, 13,39% pada fasa S, dan 11,63% pada fasa T, di mana dua di antaranya melampaui standar IEEE 519-2014 sebesar 12%. Perhitungan daya reaktif (Qc) sebesar 4101 VAR digunakan sebagai dasar perancangan filter aktif. Hasil simulasi menunjukkan penurunan THDi menjadi 1,05% pada fasa R, 1,48% pada fasa S, dan 0,94% pada fasa T. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengaturan Qc pada filter aktif efektif menurunkan THDi dan meningkatkan kualitas daya distribusi listrik.

Kata Kunci: *Daya Reaktif (Qc), Filter Aktif, THDi, Harmonik, MATLAB Simulink.*

ABSTRACT

This study investigates the effect of reactive power (Qc) adjustment in harmonic filters on the THDi values of distribution transformers. The objectives are: (1) to adjust reactive power (Qc) in active filters to evaluate their effectiveness in reducing harmonics, and (2) to simulate active filter adjustments using MATLAB Simulink. The experimental method was applied by measuring a distribution transformer at ULP Johor. Initial measurements showed THDi values of 13.7% in phase R, 13.39% in phase S, and 11.63% in phase T, with two phases exceeding the IEEE 519-2014 limit of 12%. A reactive power (Qc) of 4101 VAR was calculated as the design basis for the active filter. Simulation results indicated that THDi decreased to 1.05% in phase R, 1.48% in phase S, and 0.94% in phase T after filter installation. The findings conclude that reactive power (Qc) adjustment in active filters is effective in reducing THDi and improving power quality in distribution systems.

Keywords: *Reactive Power (Qc), Active Filter, THDi, Harmonics, MATLAB Simulink.*

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan penting dalam menjaga keandalan penyaluran energi kepada konsumen industri, komersial, maupun rumah tangga. Seiring perkembangan teknologi, penggunaan perangkat elektronik berbasis semikonduktor dan beban non-linier semakin meningkat. Perangkat semacam ini, seperti komputer, televisi, penyearah, sistem komunikasi, dan peralatan industri, menghasilkan arus dan tegangan yang tidak berbentuk sinusoidal murni, melainkan mengandung komponen harmonisa. Kehadiran harmonisa berdampak pada menurunnya kualitas daya listrik, meningkatnya rugi-rugi energi, timbulnya panas berlebih pada transformator, bahkan dapat menyebabkan kerusakan isolasi dan gangguan operasional.

Standar IEEE 519-2014 menetapkan bahwa nilai total harmonic distortion arus (THDi) untuk sistem distribusi tegangan rendah harus berada di bawah 12%. Namun, hasil pengukuran pada transformator distribusi ULP Johor menunjukkan nilai THDi sebesar 13,7% pada fasa R, 13,39% pada fasa S, dan 11,63% pada fasa T. Dua di antaranya telah melampaui batas standar, sehingga perlu dilakukan upaya perbaikan kualitas daya dengan mengurangi distorsi harmonik.

Salah satu metode yang banyak dikembangkan adalah penggunaan filter harmonik. Filter pasif memiliki keterbatasan dalam mengatasi variasi beban dan perubahan kondisi sistem, sehingga penerapan filter aktif menjadi solusi yang lebih fleksibel. Filter aktif bekerja dengan cara menginjeksi arus kompensasi yang berlawanan fasa terhadap arus harmonik, sehingga mampu menurunkan nilai THDi secara signifikan. Pengaturan daya reaktif (Q_c) dalam filter aktif sangat menentukan efektivitas kinerjanya.

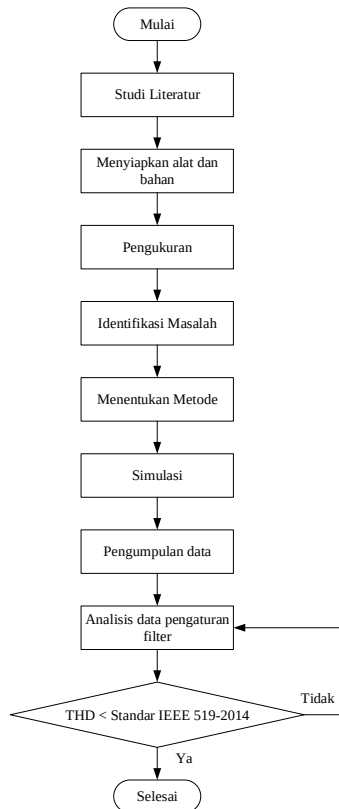
Penelitian ini berfokus pada pengaruh pengaturan daya reaktif (Q_c) pada filter harmonik terhadap nilai THDi transformator distribusi. Tujuannya adalah untuk mengetahui efektivitas filter aktif dalam mereduksi harmonisa melalui simulasi berbasis MATLAB Simulink. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas daya listrik pada sistem distribusi serta menjadi rujukan untuk penerapan teknologi filter aktif di lapangan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilaksanakan di PT. PLN (Persero) ULP Medan Johor pada transformator distribusi dengan nomor gardu JH315. Menggunakan alat dan bahan seperti alat ukur *power quality analyzer*, kabel penghubung, tespen, stop kontak, sarung tangan

safety, *helm*, *laptop*, *jurnal* dan *buku* sebagai refrensi yang berkaitan dengan topik *software* simulasi.

1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2. Tahapan dan Prosedur Pengumpulan Data

Ada berbagai tahapan yang akan dilalui penelitian ketika melaksanakannya, antara lain:

a. Tahapan studi literatur

Tahapan ini merupakan tahapan yang membantu dalam menemukan refrensi terkait dengan penelitian yang relevan, dimana refrensi tersebut akan dijadikan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian.

b. Tahapan Observasi

Tahapan ini merupakan kegiatan observasi untuk mencari data yang diperoleh dari ULP Medan Johor pada transformator distribusi dengan cara dilakukan pengukuran, dapat dilihat pada Tabel 1. dibawah untuk spesifikasi transformator yang dilakukan

pengukuran, kemudian data yang diperlukan untuk melakukan pada penelitian ini.

Tabel 1. Data Pengukuran Trafo

Parameter	Nilai Pada Setiap Fasa (rata-rata)		
	R	S	T
Tegangan	317,7 V	320,8 V	315,1 V
Arus	50,8 A	41,2 A	44,5 A
Daya aktif (kW)	10,17	8,26	9,08
Daya semu (kVA)	11,34	9,29	9,91
Daya Reaktif (kVAR)	4,6	4,15	3,92
Cos phi	0,85	0,85	0,85
Frekuensi (Hz)	50	50	50
THD	13,7	13,39	11,63
IHDi 3	11,66	11,41	9,83
IHDi 5	6,45	6,12	4,76
IHDi 7	1,57	2,63	2,2
IHDi 9	1,91	0,89	1,44
IHDi 11	1,56	1,32	1,58
IHDi 13	0,84	1,14	1,27
IHDi 15	0,26	0,36	0,28
IHDi 17	0,37	0,36	0,17
IHDi 19	0,33	0,54	0,31
IHDi 21	0,12	0,26	0,08
IHDi 23	0,21	0,05	0,18
IHDi 25	0,25	0,32	0,22
IHDi 27	0,06	0,21	0,1
IHDi 29	0,12	0,07	0,1
IHDi 31	0,12	0,09	0,09
IHDi 33	0,09	0,12	0,08
IHDi 35	0,1	0,1	0,08
IHDi 37	0,08	0,04	0,05
IHDi 39	0,09	0,09	0,07
IHDi 41	0,07	0,06	0,05
IHDi 43	0,04	0,02	0,05
IHDi 45	0,07	0,04	0,04
IHDi 47	0,05	0,02	0,02
IHDi 49	0,05	0,03	0,04

Dalam menentukan batasan dari distorsi arus harmonisa dilakukan perhitungan rasio I_{sc}/I_L akan disesuaikan dengan standar IEEE Standard 519-2014. Metode yang digunakan menentukan rasio hubung-pendek (*short circuit ratio*) I_{sc}/I_L sebagai berikut:

$$I_{sc} = \frac{100 \times \text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV} \times Z}$$

$$I_{sc} = \frac{100 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 4}$$

$$I_{sc} = \frac{10000}{2,77} = 3.610,10$$

untuk mencari I_L dan Sc ratio pada tiap fasa menggunakan rumus persamaan :

$$I_L = \frac{KW}{PF \times \sqrt{3} \times KV}$$

$$I_L = \frac{30,12}{0,84 \times \sqrt{3} \times 0,4}$$

$$I_L = \frac{30,12}{0,581} = 51,84 \text{ A}$$

$$Sc \text{ ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

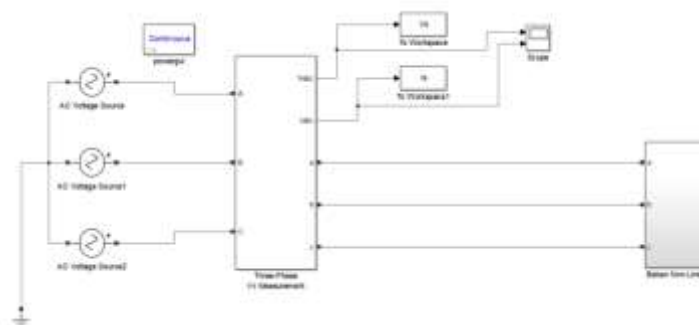
$$Sc \text{ ratio} = \frac{3.610,10}{51,84} = 69,63 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan rasio hubung singkat diatas dapat dilihat dari tabel standar IEEE 519 -2014 bahwa nilai I_{sc}/I_L termasuk kedalam golongan 50-100 maka nilai THD arus yang diperbolehkan sebesar 12 %.

3. Perancangan Sistem Tenaga Listrik

Berikut perencnaan model rangkaian MATLAB *Simulink*.

- Pembuatan sumber tegangan tiga fasa, model diawali dengan menyusun tiga buah sumber tegangan AC yang mewakili suplai sistem tenaga tiga fasa.
- Penyusunan blok kontrol dibagian awal model terdapat blok *discrete pulse* generator untuk menyediakan sinyal pemicu.
- Penggunaan transformator tiga fasa yang terhubung bintang.
- Desain beban non linear pada tiga fasa dihubungkan ke beban berupa resistor dan kapasitor serta injeksi arus.
- Analisis bentuk gelombang dan THD hasil dari pengukuran kemudian dianalisis menggunakan blok FFT (*Fast Fourier Transform*) .



Gambar 1. Pemodelan Rangkaian Tanpa Filter**4. Tahapan Simulasi SAPF**

Prosedur Simulasi menggunakan software MATLAB *Simulink*:

- a) Menentukan parameter sistem daya, seperti tegangan sumber, konfigurasi transformator serta jenis beban .
- b) Identifikasi frekuensi harmonik domain sebelum menyiapkan filter.
- c) Tambahkan komponen sistem sumber tegangan 3 fasa, gunakan blok *Three-Phase Transformer* untuk mensimulasikan transformator distribusi sebelum dan sesudah filter.
- d) Desain filter daya aktif dirancang untuk mengurangi arus harmonik .
- e) Tambahkan filter daya aktif pada fasa R,S, dan T pada titik PCC yang sudah dirancang . harmonisa salah satu urutan nol.
- f) Atur durasi simulasi hingga 0,4 detik
- g) Jalankan simulasi.
- h) Bandingkan nilai THDi sebelum dan sesudah pemasangan filter daya aktif.
- i) Simpan grafik bentuk gelombang tegangan dan arus sebelum dan sesudah filter. Lalu hasil analisis bandingkan dengan standar IEEE 519-2014.

5. Teknik Analisis Data

Adapun langkah analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah :

- a) Melakukan identifikasi terhadap data hasil pengukuran THDi pada transformator distribusi.
- b) Menentukan besarnya total daya aktif dan daya semu transformator distribusi.
- c) Pengaturan daya reaktif.
- d) Menentukan nilai R, L, dan C.
- e) Membangun model sistem menggunakan perangkat lunak MATLAB *Simulink*.
- f) Melakukan analisis hasil simulasi THDi sebelum dan sesudah pemasangan filter.
- g) Membuat kesimpulan berdasarkan data yang didapatkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengukuran kualitas daya menggunakan alat ukur power *quality analyzer* pada transformator distribusi. Data yang didapatkan merupakan tegangan listrik, arus listrik, frekuensi, $\cos \phi$, daya aktif, daya reaktif, daya semu, IHDi, dan THDi pada ketiga fasa R, S dan T. Sesuai dengan tujuan penelitian ini, data yang didapatkan THDi fasa R=13,7%, fasa S=13,39%, dan fasa T=11,63%. Untuk mereduksi nilai harmonik di ketiga titik fasa R, S, dan T perlu dipasang filter aktif yang dihubungkan paralel pada beban non-linier.

1. Simulasi Pemasangan Filter Aktif

a) Menentukan nilai Q_c

Nilai daya reaktif (Q_c) yang diperlukan dapat dihitung.

$$P = 9860 \text{ W}$$

$$\cos \phi_1 = \cos 0,84 \approx 32,77^\circ ; \tan 32,77^\circ \approx 0,642$$

$$\cos \phi_2 = \cos 0,98 \approx 11,46^\circ ; \tan 11,46^\circ \approx 0,203$$

$$Q_c = P (\tan (\cos^{-1}\phi_1) - \tan (\cos^{-1}\phi_2))$$

$$Q_c = 9860 (0,642 - 0,203)$$

$$Q_c = 9860 (0,416)$$

$$Q_c = 4.101 \text{ VAR}$$

2. Perhitungan nilai kapasitor (C)

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f \cdot V^2}$$

$$C = \frac{4101}{2 \times 3,14 \times 50 \times 223^2}$$

$$C = \frac{4101}{15.614.906}$$

$$C = 262 \mu\text{F} = 262 \cdot 10^{-6}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,000262}$$

$$X_c = \frac{1}{0,082} = 14,7 \Omega$$

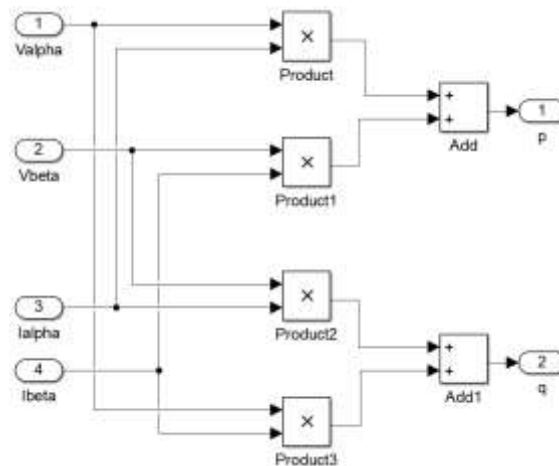
3. Perhitungan nilai resistor (R)

$$R = \frac{223^2}{10170} = 4,88 \Omega$$

4. Perhitungan nilai induktor (L)

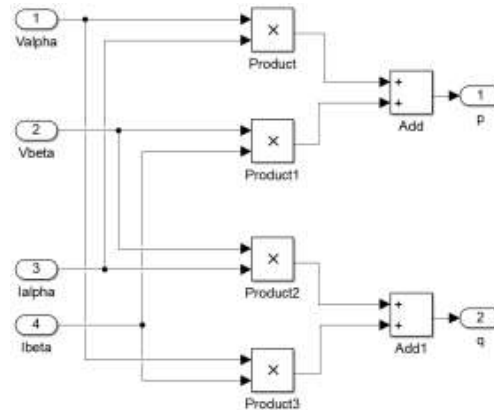
$$L = \frac{0,236 \times 4,88}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,000262} = 14,04 \text{ H}$$

5. Pemodelan Transformasi Clarke untuk variabel tegangan tiga fasa dan transformasi Clarke untuk variabel arus tiga fasa.



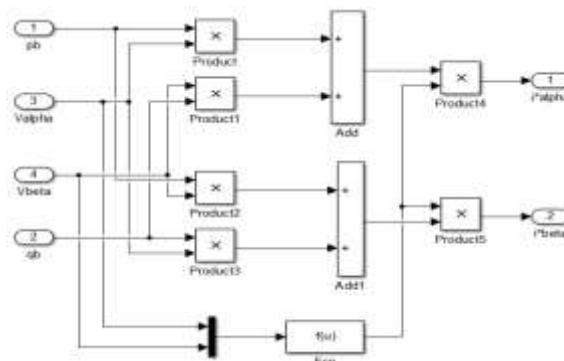
Gambar 2. Blok Transformasi Clarke Tegangan dan Arus

1. Pemodelan blok Perhitungan Daya Aktif-Reaktif Sesaat.



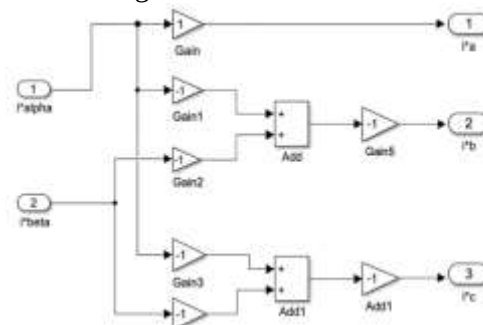
Gambar 3. Blok Perhitungan p-q Theory

2. Pemodelan blok perhitungan arus kompensasi yang ditransformasikan menjadi arus kompensasi.



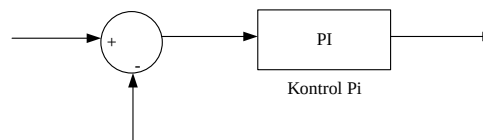
Gambar 4. Blok Perhitungan Arus Kompensasi

3. Pemodelan blok arus referensi menggunakan *inverse* transformasi Clarke.



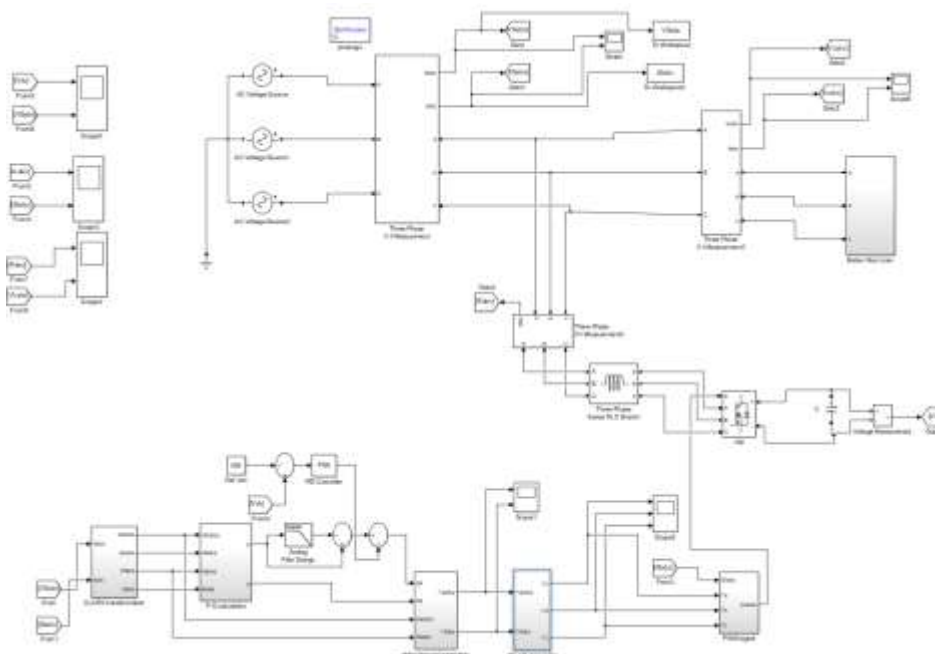
Gambar 5. Blok Arus Referensi

4. Pemodelan kontrol tegangan referensi DC.



Gambar 6. Blok Kontrol Tegangan Refrensi DC

5. Simulasi pemodelan filter daya aktif.



Setelah seluruh nilai telah dimasukkan ke dalam masing-masing blok parameter, tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi sistem menggunakan MATLAB *Simulink*. Setelah simulasi dilakukan dengan menambahkan filter aktif, terlihat adanya penurunan nilai IHDi yang signifikan di

setiap fasa.

Pada fasa R, penurunan paling mencolok terjadi pada harmonisa orde ke-3, dari 11,6% menjadi 0,65%, dan orde ke-5 dari 1,57% menjadi 0,41%. Nilai total THDi juga turun drastis dari 13,7% menjadi 1,05%. Sementara itu, pada fasa S, IHDi orde ke-3 menurun dari 11,41% menjadi 1,09% dan orde ke-5 dari 6,12% menjadi 0,33%, dengan THDi berkurang dari 13,39% menjadi 1,48%. Di sisi lain, fasa T menunjukkan penurunan IHDi orde ke-3 dari 9,83% menjadi 0,65% dan orde ke-5 dari 4,76% menjadi 0,37%, serta THDi yang menyusut dari 11,63% menjadi 0,94%.

Tabel 2. Data Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Filter

Parameter	Nilai Pada Setiap Fasa (rata-rata)			Standar IEEE 519-2014
	R	S	T	Keterangan
THDi	1,05	1,48	0,94	Memenuhi standar
IHDi 3	0,65	1,09	0,65	Memenuhi standar
IHDi 5	0,41	0,33	0,37	Memenuhi standar
IHDi 7	0,16	0,25	0,32	Memenuhi standar
IHDi 9	0,17	0,16	0,11	Memenuhi standar
IHDi 11	0,16	0,12	0,13	Memenuhi standar
IHDi 13	0,12	0,10	0,15	Memenuhi standar
IHDi 15	0,08	0,05	0,06	Memenuhi standar
IHDi 17	0,08	0,03	0,07	Memenuhi standar
IHDi 19	0,07	0,03	0,05	Memenuhi standar
IHDi 21	0,05	0,05	0,03	Memenuhi standar
IHDi 23	0,05	0,05	0,03	Memenuhi standar
IHDi 25	0,04	0,05	0,02	Memenuhi standar
IHDi 27	0,04	0,05	0,02	Memenuhi standar
IHDi 29	0,03	0,05	0,02	Memenuhi standar
IHDi 31	0,03	0,06	0,01	Memenuhi standar
IHDi 33	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar
IHDi 35	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar

IHDi 37	0,03	0,05	0,01	standar Memenuhi standar
IHDi 39	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar
IHDi 41	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar
IHDi 43	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar
IHDi 45	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar
IHDi 47	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar
IHDi 49	0,03	0,05	0,01	Memenuhi standar

Analisis data dalam penelitian ini difokuskan untuk menilai dampak pengaturan daya reaktif (Qc) pada filter harmonik terhadap penurunan nilai Total Harmonic Distortion arus (THDi) pada transformator distribusi. Data awal dikumpulkan melalui pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan perangkat *Power Quality Analyzer* pada transformator distribusi yang berada di wilayah kerja ULP Johor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai THDi pada fasa R sebesar 13,7%, fasa S sebesar 13,39%, dan fasa T sebesar 11,63%.

Untuk mengurangi distorsi harmonik yang terjadi, dilakukan perhitungan pengaturan daya reaktif (Qc) sebagai dasar dalam perancangan filter aktif. Berdasarkan data hasil pengukuran, nilai daya aktif total sebesar 9860 W, dengan faktor daya awal sebesar 0,85 dan target peningkatan faktor daya menjadi 0,98. Dari penggunaan rumus perhitungan Qc, diperoleh nilai kompensasi daya reaktif sebesar 4101 VAR. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitor yang dibutuhkan sebesar 262 μF , resistansi sebesar 4,88 Ω , dan induktansi sebesar 14,04 H.

Penerapan filter aktif dengan pengaturan daya reaktif (Qc) terbukti efektif dalam mereduksi nilai THDi. Melalui simulasi pada MATLAB *Simulink*, setelah diterapkannya filter aktif dengan nilai Qc sebesar 4101 VAR, terjadi penurunan drastis pada nilai THDi seluruh fasa. Fasa R yang sebelumnya sebesar 13,7% turun menjadi 1,05%, fasa S dari 13,39% menjadi 1,48%, dan fasa T dari 11,63% menjadi 0,94%. Penurunan ini menandakan bahwa filter aktif mampu mengatasi distorsi harmonik secara signifikan hingga berada di bawah batas ambang standar.

Selain penurunan THDi, penggunaan filter aktif juga berdampak pada peningkatan kualitas daya secara umum. Arus menjadi lebih mendekati bentuk sinusoidal, rugi-rugi daya akibat distorsi berkurang, serta mengurangi potensi terjadinya panas berlebih dan gangguan peralatan. Dengan pengaturan nilai Qc yang optimal, filter aktif tidak hanya efektif untuk kondisi beban tetap, tetapi juga cukup fleksibel untuk kondisi beban yang berubah-ubah, menjadikannya solusi yang adaptif

bagi sistem distribusi modern.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa pengaturan daya reaktif (Qc) pada filter aktif memiliki pengaruh signifikan terhadap reduksi THDi. Pemilihan nilai Qc yang tepat menjadi kunci keberhasilan dalam menekan harmonisa dan meningkatkan performa sistem distribusi listrik. Hal ini mendukung upaya peningkatan efisiensi energi dan keandalan sistem distribusi di lapangan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dengan simulasi, dapat diambil kesimpulan penelitian sebagai berikut :

- 1 Pengaturan daya reaktif (Qc) sebesar 4101 VAR yang dihitung berdasarkan nilai daya aktif sistem dan target faktor daya, digunakan untuk merancang filter aktif sebagai upaya reduksi harmonik. Dengan penentuan nilai kapasitor, induktor, dan resistor yang dibutuhkan dalam simulasi sistem untuk mengurangi nilai THDi pada fasa R, S, dan T yang masing-masing mencapai 13,7%, 13,39%, dan 11,63%. Nilai ini melebihi ambang batas maksimal yang ditentukan oleh standar IEEE 519-2014, yaitu sebesar 12%,
- 2 Hasil simulasi MATLAB *Simulink* menunjukkan bahwa penerapan filter aktif dengan pengaturan nilai Qc tersebut mampu menurunkan nilai THDi secara signifikan pada ketiga fasa menjadi 1,05% pada fasa R, 1,48% pada fasa S, dan 0,94% pada fasa T. Nilai THDi setelah simulasi berada di bawah batas maksimum 12%, yang berarti kualitas daya pada sistem telah meningkat dan memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi, M., & Lubis, A. R. (2019). Analisis Dan Reduksi Harmonisa Arus Pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan Menggunakan Singletuned Passive Filter.
- [2] Alfriana, M. S. A., I Made Wiwit Kastawan, & Wahyu Budi Mursanto. (2025). Filter harmonik aktif shunt untuk mereduksi harmonik akibat charger sistem DC di unit pembangkit tenaga listrik. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, 5(1), 19–34.
- [3] Ardiansyah, R. (2022). Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta 2022.
- [4] Dwi Ade Saputra, G. A. M., Rinas, I. W., & Suartika, I. M. (2019). Studi Analisis Pengaruh Filter Aktif Berbasis Fuzzy Logic Controller Untuk Mereduksi Harmonisa Akibat Beban Non Linier. *Jurnal Spektrum*, 6(2), 24.
- [5] Irwanto, R. (2022). Analisa Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa. *Jurnal Persegi Bulat*, 1(1), 7–12.

- [6] Jayalakshmi, V. (2014). A Method To Reduce Neutral Current In Three Phase Four Wire Electric Distribution *Sistems* By Using Active Power Filter.
- [7] Prabowo, D. N., Haddin, M., & Nugroho, D. (2015). Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis Matlab/Simulink. 8(2).
- [8] Rinas, I. W., Maharta Pemayun, A. A. G., & Suartika, I. M. (2020). Analisis Pengaruh Pengaturan Daya Reaktif Untuk Filter Harmonic Terhadap Perubahan Thdi Pada Sistem Tenaga Listrik. *Jurnal Spektrum*, 7(4), 181.
- [9] Satriya Dhinata, I., Maharta Pemayun, A., & Manuaba, I. G. (2022). Pengaruh Filter Aktif Dengan Pengaturan Daya Reaktif Terhadap Efisiensi Trafo Berbasis Simulink. *Jurnal Spektrum*, 8(4), 147.
- [10] Setiaji, N., Mm, I. S., Sugiharto, A., & Mt, S. (2022). Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik.
- [11] Sugiarto, H. (2015). Mereduksi Harmonisa Arus Dan Rugi Daya Akibat Beban Non Linier Dengan Memanage Penggunaan Beban Listrik Rumah Tangga. 1.
- [12] Suparmono, S., Gultom, F. H., Cholish, C., & Sitepu, T. (2022). Studi Gangguan Transformator Distribusi Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt Pln (Persero) Rayon Medan Baru. *Media Elektrika*, 15(1).
- [13] Sutopo, A., & Affandi, M. (2018). Analisis Gangguan Kualitas Daya Sistem Tenaga Listrik Di Universitas Negeri Medan. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 20(2).
- [14] Vasya, C. M. M., Lubis, R. S., & Gapy, M. (2019). Simulasi Filter Aktif Cascaded Multilevel *Inverter* Untuk Meminimalisir Harmonisa Pada Motor Induksi 3 Fasa.
- [15] Wiryawan, I. M. A., Suhantono, D., & Abasana, I. G. K. (2022). Upaya Peningkatan Kualitas Daya Dan Penurunan Harmonisa Peralatan Listrik Di Wokshop / Laboratorium. *Engineering And Science*, 8(1).
- [16] Yudha, H. M. (2017). Kualitas Daya Listrik Pengaruh Dan Penanganannya.