

Reduksi Harmonisa Pada Saluran Distribusi Tenaga Listrik Dengan Filter Daya Aktif

Fitriadi^{1*}, Muh. Imran Hamid², Herisajani³, Firmansyah⁴ dan Zulka Hendri⁵

^{1,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

² Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

*Corresponding Author, email: fitriadichng@gmail.com

Abstract– The large use of power converters in distribution lines causes poor power quality such as high produces harmonics in an electric power system that arises due to the operation of non-linear electrical equipment. The presence of harmonics in the power system distribution results in a very large loss in the system. In this paper had been done a simulation of power quality improvement through harmonic reduction using parallel active power filter. Active power filters work with control techniques based on the concept of instantaneous power to determine the amount of compensation currents that must be generated by the power compensator power circuit. The compensating current references generated by the control circuit are used by the hysteresis type controller to provide harmonic compensation arising. From the result of simulation using Simulink MATLAB, the harmonic value (THD) decrease caused by the 3 phase rectifier load on a distribution network which is used as case example. The harmonic value before compensated on the network is 27.85% at each phase, while after computing the harmonic value of the network decreases to 1,43% in R phase, 1,49% in S phase, and 1,34% in T phase.

Keyword : harmonics, power active filter, instantaneous power, compensation

Abstrak – Banyaknya penggunaan konverter daya pada saluran distribusi menyebabkan kualitas daya yang buruk seperti tingginya kandungan harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang timbul akibat pengoperasian peralatan listrik non linier. Kehadiran harmonisa pada saluran distribusi sistem tenaga menghasilkan kerugian yang sangat besar pada system tersebut. Pada paper ini dilakukan simulasi perbaikan kualitas daya melalui reduksi harmonisa menggunakan filter daya aktif paralel. Filter daya aktif bekerja dengan teknik pengontrolan yang berdasarkan konsep daya sesaat untuk menentukan besarnya arus kompensasi yang harus dibangkitkan oleh rangkaian daya kompensator daya. Referensi arus kompensasi yang dihasilkan oleh rangkaian pengendali digunakan oleh kontroler arus tipe histerisis untuk memberikan kompensasi harmonik yang timbul. Dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan Simulink MATLAB, diperoleh penurunan nilai harmonik yang diakibatkan oleh beban rektifier 3 fasa pada sebuah jaringan distribusi yang dijadikan sebagai contoh kasus. Kandungan harmonik sebelum dikompensasi pada jaringan adalah sebesar 27,85% pada setiap fasanya, sementara setelah dikompensasi nilai harmonik jaringan turun menjadi 1,43% pada fasa R, 1,49% pada fasa S dan 1,34% pada fasa T.

Kata kunci : harmonisa, filter daya aktif, daya sesaat, kompensasi

© 2023 Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Penggunaan *power converter* dan teknologi elektronika daya dalam sistem tenaga listrik saat ini berkembang sangat pesat. Aplikasinya terbentang dari sistem pembangkitan, penyaluran, hingga sistem penggunaan tenaga listrik. Di sisi penggunaan tenaga listrik, konverter daya yang bekerja berdasarkan prinsip pensaklaran (*switching*) frekuensi tinggi digunakan pada peralatan-peralatan penerangan, sistem konversi listrik-mekanik, dan penggunaan lainnya. Dalam beroperasi, konverter daya memperlihatkan fenomena *non linear* antara tegangan suplai dan arus yang ditariknya, sehingga pada umumnya peralatan yang tersusun dari konverter daya digolongkan sebagai beban-beban *non linear*. Beban *non linier* merupakan jenis beban yang menghasilkan arus yang tidak sebanding atau tidak *linier* dengan tegangan yang diterima beban tersebut. Arus beban *non linier* menghasilkan gelombang arus berbentuk tidak *sinusoidal* meskipun sumber tegangan yang dipakai pada beban itu berbentuk gelombang *sinusoidal*.

Peralatan *non linier* yang beroperasi pada suatu instalasi konsumen dapat mempengaruhi kualitas daya sistem tenaga listrik yang mensuplai konsumen tersebut. Selanjutnya, buruknya kualitas daya sistem tersebut mengakibatkan konsumen lain yang terhubung pada sistem yang sama akan mendapatkan dampak buruk dari kondisi tersebut [1]. Salah satu bentuk dari kualitas daya yang buruk adalah tingginya kandungan harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang timbul akibat pengoperasian peralatan listrik *non linier*, bentuknya berupa adanya gelombang-gelombang daya pada frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamental sistem tersebut [2]. Untuk sistem 50 Hz, maka frekuensi gelombang harmonisanya adalah 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz, dan seterusnya. Keberadaan gelombang-gelombang harmonisa akan mengganggu bentuk gelombang fundamental sistem kelistrikan, bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya berbentuk *sinusoidal* murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi [3].

Kehadiran harmonisa pada saluran distribusi sistem tenaga menghasilkan kerugian yang sangat besar pada

Received 12 Juni 2023; Revised 20 Juli 2023; Accepted 10 Agustus 2023

sistem tersebut. Sebagai contoh adalah: panas lebih (*overheating*) dan kerusakan/ kegagalan penghantar netral pada panel PHB-TR. distorsi saluran jala-jala, tegangan bermuara sama (*common mode*) yang lebih tinggi, gangguan *tripping* pada *circuit breaker*, panas lebih dan kegagalan prematur pada trafo distribusi, dan sebagainya [4].

Distorsi harmonisa dalam sistem distribusi listrik, dari aspek peralatan dapat ditekan dengan menggunakan 3 metode yakni penggunaan filter pasif, filter aktif dan filter *hybrid*. Filter pasif adalah solusi paling sederhana untuk mengurangi distorsi harmonisa. Filter ini dibangun dengan menggunakan konfigurasi komponen pasif R, L, dan C. Meskipun sederhana dan paling murah, filter pasif mempunyai beberapa kekurangan yakni hanya bekerja pada frekuensi yang telah ditentukan, impedansi sumber harus diketahui dengan teliti, dimensi komponen yang sangat besar, serta masalah resonansi yang disebabkan oleh interaksi antara filter pasif dan beban lain atau sumber [5].

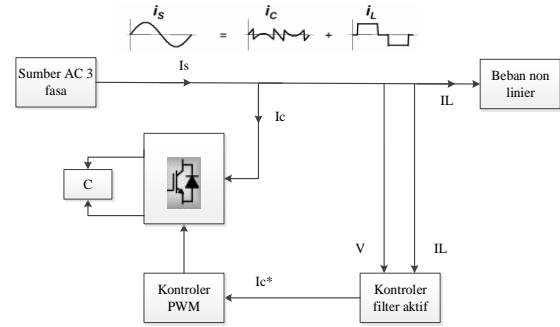
Filter aktif merupakan filter yang menggunakan komponen aktif seperti transistor daya, *mosfet* dan komponen *switching* daya lainnya. Penggunaan filter aktif mempunyai keuntungan dibandingkan filter pasif, yaitu penguatan dan frekuensinya mudah di atur selama perangkat elektronika transistor ataupun *op-amp* masih memberikan penguatan, dan sinyal *input* tidak kaku seperti pada filter pasif. Pada dasarnya filter aktif lebih mudah di atur, karena tidak ada masalah beban, sebab tahanan *input* tinggi dan tahanan *output* rendah, dan filter aktif tidak membebani sumber *input*. Umumnya filter aktif lebih ekonomis dari pada filter pasif, karena pemilihan variasi dari komponen *switching* yang murah dan tanpa menggunakan induktor yang harganya mahal. *Bandwidth* frekuensi yang dapat dikompensasi menggunakan filter aktif sangat luas, hal ini di satu sisi menguntungkan, namun di sisi lain menyebabkan filter aktif harus dirancang pada kapasitas yang besar, secara ekonomis hal ini tidak menguntungkan.

Dalam penelitian ini reduksi harmonisa dari aspek peralatan dapat ditekan dengan penggunaan filter aktif dengan penggunaan konsep daya sesaat pada sistem kontrolnya. Filter aktif yang di desain terdiri dari 2 komponen, yaitu komponen rangkaian daya dan kontroler. Rangkaian daya pada filter aktif terdiri dari perangkat *switching* berupa komponen-komponen elektronika daya. Komponen elektronika daya ini bekerja dengan mode *switching* yang diperoleh dari pengatur modulasi lebar pulsa tegangan atau arus yang disebut *Pulse Width Modulation*. Sedangkan teknik pengontrolan menggunakan teori daya sesaat (*Instantaneous Power Theory*) atau dikenal dengan teori P-Q.

Maka tujuan dari penelitian ini menunjukkan secara simulasi efektivitas penggunaan teori daya sesaat sebagai kompensator pada arus dan tegangan harmonisa yang dibangkitkan oleh beban *non linier* menggunakan filter aktif paralel dengan MATLAB *Simulink*.

II. METODE PENELITIAN

Untuk mengurangi harmonisa arus atau tegangan yang terjadi pada saluran distribusi sistem tenaga listrik menggunakan filter aktif dengan memanfaatkan teori daya sesaat. Dimana pemodelan rancangan *single line diagram power system* yang terdistorsi kemudian nantinya diparalelkan dengan filter aktif seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem konfigurasi dasar filter daya aktif paralel [3]

Teori daya sesaat atau *p-q theory* merupakan teori yang ditulis oleh Akagi pada tahun 1983 untuk mengontrol filter aktif. Metode teori p-q mengandung transformasi aljabar tegangan dan arus sistem tiga fasa dari koordinat a-b-c ke koordinat $\alpha\text{-}\beta\text{-}0$ yang diikuti oleh perhitungan komponen teori daya sesaat. Teori p-q didasarkan pada sekumpulan teori daya sesaat yang didefinisikan berdasarkan domain waktu [3], [8] yang dikenal dengan transformasi Clarke.

Pada sistem tiga fasa transformasi Clarke untuk algoritma kontrol tegangan dan arus ditampilkan dalam persamaan (1) dan (2).

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{2}$$

Dari persamaan (1) dan (2) diatas daya sesaat pL dan daya reaktif sesaat qL yang melalui beban diperoleh :

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p_L \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} \tag{3}$$

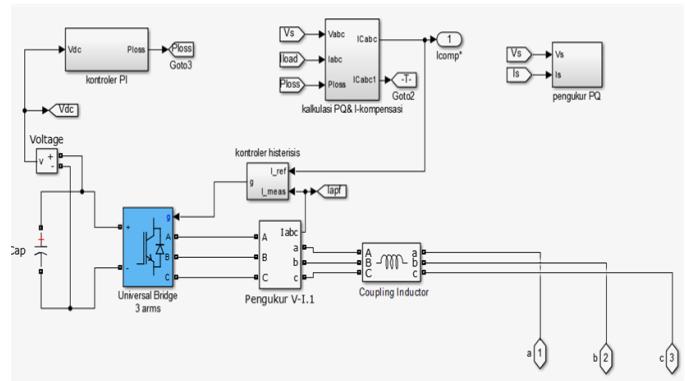
Tahapan rancangan simulasi

1. Perancangan power sistem tenaga listrik

Pada gambar 2 di ilustrasikan sebuah *power sistem* dengan tegangan sumber tiga fasa 40 Volt *sinusoidal* terhubung pada beban *non linier* berupa penyearah gelombang penuh tiga fasa yang terhubung dengan beban 60 ohm. Arus pada beban *non linier* (IL) mengandung komponen harmonik. Harmonik pada kawat saluran (Is) dihasilkan oleh *drop* tegangan *non linier* (ΔV) pada impedansi saluran yang menyimpang pada tegangan beban (VL). Selama tegangan beban menyimpang maka format dan bentuk arus beban (IL) akan menjadi *non sinusoidal*.

Konsep *power system* yang dilengkapi dengan unit perbaikan kualitas daya menggunakan rangkaian aktif filter paralel berdasarkan teori daya sesaat melalui beberapa tahapan transformasi yang dapat dilihat pada gambar 2 (a), dimana pada gambar dapat dilihat perhitungan referensi arus filter saat daya nyata sesaat p_L dan daya reaktif q_L yang mengalir ke beban dapat dihitung menggunakan blok konversi P-Q. Sebelum masuk ke blok konversi P-Q, tegangan dan arus beban sesaat dirubah dahulu dalam sistem koordinat α - β menggunakan transformasi Clarke pada persamaan (1) dan (2) yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

2. Pemodelan simulasi kompensator harmonisa menggunakan filter aktif dengan sistem kontrol berdasarkan teori daya sesaat



Gambar 3. Rangkaian filter daya aktif paralel
Tabel 1. Parameter Sistem

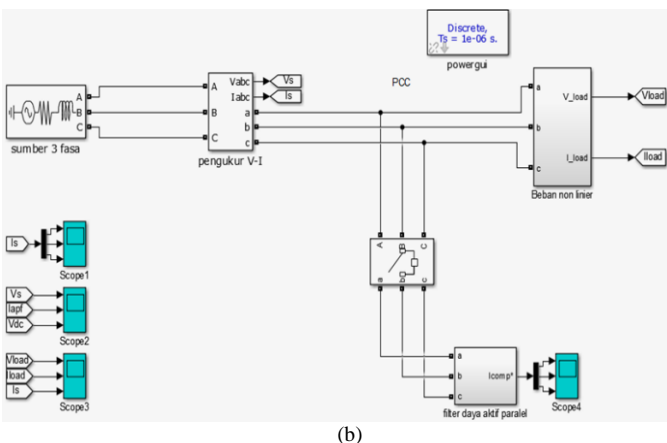
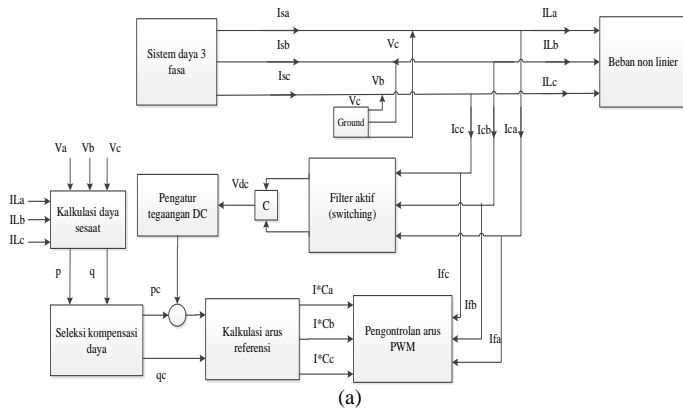
Parameter	Nilai
Tegangan sumber AC	40 V _{ph-ph}
Frekuensi	50 Hz
Resistansi beban <i>non linear</i>	60 Ω
Kapasitor DC	3,5 μF
Universal Bridge	R _s = 10000 Ω
Kopling Induktor	10 mH

Pada gambar 3. dapat dilihat rangkaian filter aktif paralel yang terdiri dari subsistem-subsistem kalkulasi PQ & arus kompensasi, pengukuran PQ, kontroler PI dan kontroler histerisis. Pada rangkaian juga terdapat komponen pengukur Tegangan-Arus, kopling induktor, kapasitor DC, dan *universal bridge*. Untuk Parameter simulasi beserta besaran nilainya di tampilkan pada tabel 1.

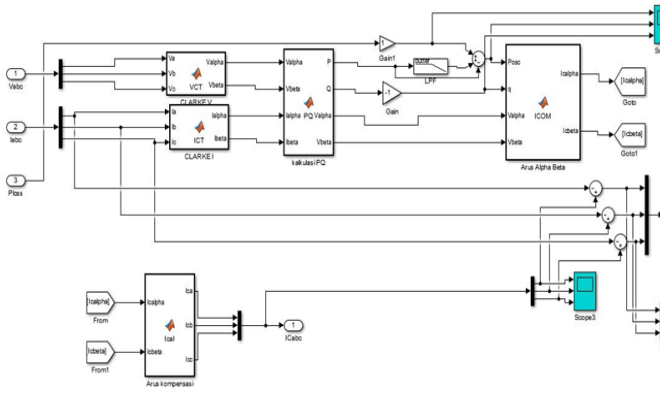
Filter daya aktif paralel memperoleh masukan dari sumber tegangan dan arus beban yang digunakan untuk memperoleh arus referensi harmonisa pada sistem kontrol. Teori daya aktif-reaktif (p-q) digunakan sebagai kontrol untuk mendapatkan arus referensi. Arus referensi tersebut akan digunakan untuk referensi pembangkit PWM yang akan dibandingkan dengan *sinyal carrier* yang akan menghasilkan pulsa. Pulsa tersebut digunakan untuk memunculkan gelombang arus filter untuk diinjeksikan ke dalam sistem.

Perhitungan strategi pengontrolan teori daya sesaat ini berdasarkan pada transformasi Clarke yang telah dijelaskan pada persamaan (1) dan (2). Selanjutnya untuk mengkalkulasi daya aktif-reaktif menggunakan persamaan (4), rangkaian simulasi kalkulasi p-q teori daya sesaat dengan menerapkan transformasi Clarke dapat dilihat pada gambar 4.

$$\begin{aligned}
 P &= v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta} \\
 q &= v_{\beta} \cdot i_{\alpha} + v_{\alpha} \cdot i_{\beta}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$



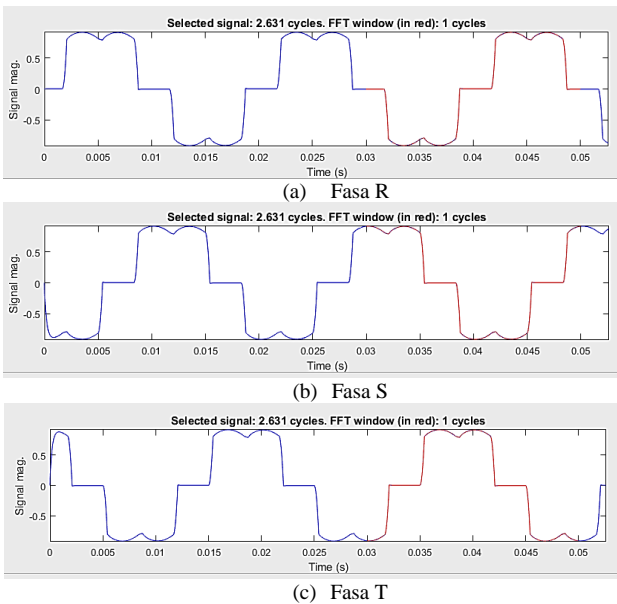
Gambar 2. Rangkaian sistem tiga kawat filter daya aktif paralel; (a) Blok diagram sistem tiga kawat filter daya aktif paralel, (b) Rangkaian simulasi pengujian harmonisa menggunakan beban *non linier* menggunakan filter daya aktif paralel dengan MATLAB Simulink



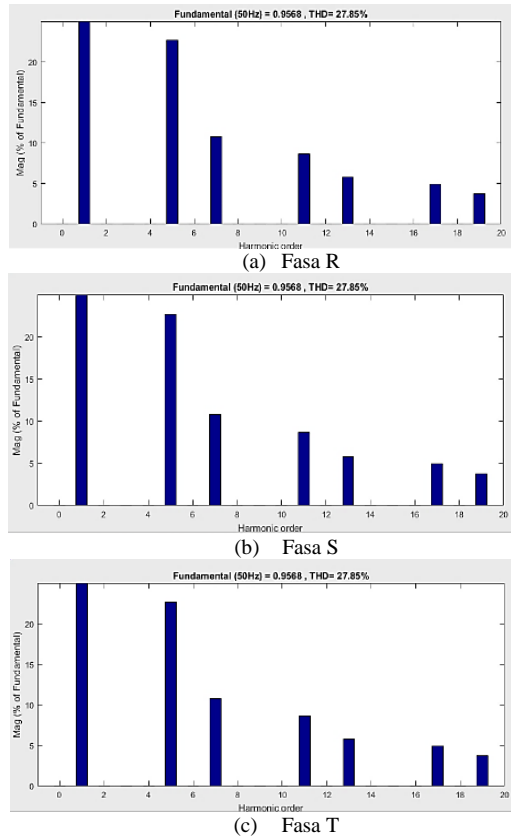
Gambar 4. Rangkaian simulasi kalkulasi p-q dan arus kompensasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian simulasi dilakukan untuk melihat bagaimana hasil harmonisa yang ditimbulkan oleh beban *non linear*, baik setelah menggunakan filter maupun tanpa filter. Dimana pemodelan rangkaian dengan tegangan sumber 3 fasa 40 Volt dengan beban *rectifier* gelombang penuh tanpa diparalelkan dengan filter daya aktif. Bentuk gelombang arus harmonisa dari simulasi ditunjukkan pada gambar 5. Pada gambar 5. terlihat pada setiap fasa mengalami distorsi sehingga merusak bentuk dari gelombang tersebut menjadi tidak sinusoidal murni. Untuk spektrum dan persentase harmonisa dapat dilihat pada gambar 6 berikut

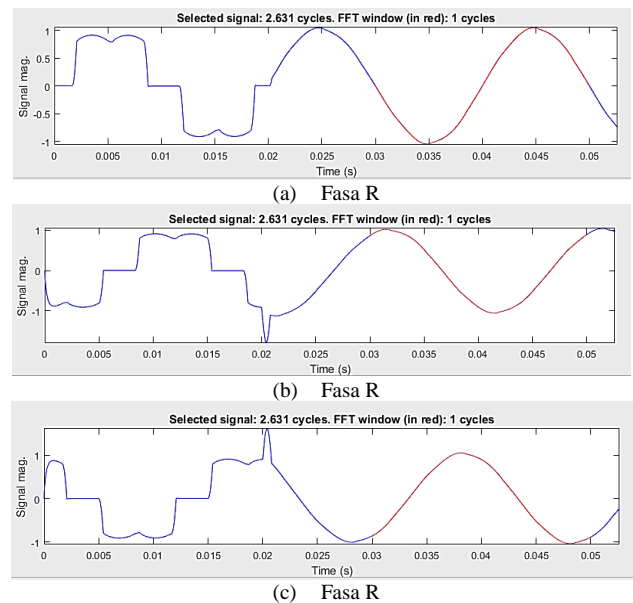


Gambar 5. Bentuk gelombang harmonisa arus (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T tampilan FFT window sebelum filter daya aktif.



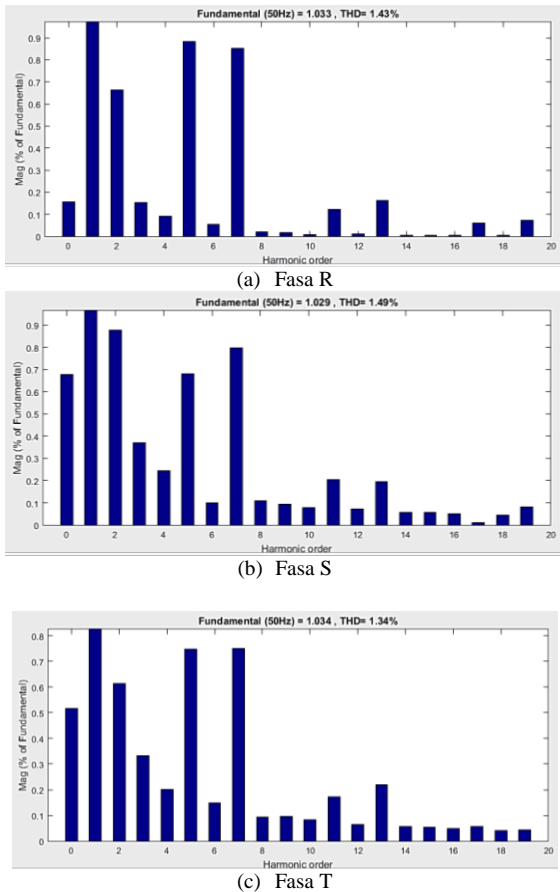
Gambar 6. Bentuk Spektrum harmonisa (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T sebelum filter daya aktif

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai yang didapatkan dari simulasi ini menunjukkan nilai THDi yang sangat tinggi yaitu sebesar 27,85% pada Fasa R, 27,85% pada Fasa S dan 27,85% pada Fasa T, dengan nilai THD tertinggi terdapat pada orde ke-5 di masing-masing fasanya. Pengujian simulasi selanjutnya beban *rectifier* gelombang penuh diparalelkan dengan filter aktif. Bentuk gelombang harmonisa yang didapatkan dari hasil simulasi setelah pemasangan filter daya aktif dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Bentuk gelombang harmonisa arus (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T tampilan FFT *window* setelah filter daya aktif paralel.

Pada gambar 7 dapat dilihat bentuk gelombang arus pada fasa R, S, T setelah pemasangan filter daya aktif. Bentuk gelombang yang terlihat perbaikan bentuk yang cukup signifikan mendekati sinusoida murni dibandingkan sebelum pemasangan filter daya aktif. Sedangkan penurunan IHD arus dan THD hasil simulasi pada spektrum orde harmonisa setiap fasa R, S, dan T ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Bentuk Spektrum harmonisa (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T setelah filter daya aktif

Setelah dilakukan simulasi dengan pemasangan filter, menunjukkan pada fasa R terlihat perbedaan persentase nilai IHD arus yang sangat signifikan pada orde ke 5 yaitu dari 22,68% menjadi 0,88% dan orde ke 7 yaitu dari 10,77% menjadi 0,85%, sedangkan THD arus pada fasa R dari 27,85% turun menjadi 1,43%. Pada fasa S terlihat penurunan IHD arus yang signifikan pada orde ke 5 yaitu dari 22,68% menjadi 0,68%, dan orde ke 7 dari 10,77% menjadi 0,80%, sedangkan THD arus pada fasa S turun dari 27,85% menjadi 1,49%. Dan untuk fasa T penurunan IHD arus pada orde ke 5 dari 22,68% turun menjadi 0,75% dan orde ke 7 dari 10,77% turun menjadi 0,75%, sedangkan THD arus pada fasa T mengalami penurunan dari 27,85% menjadi 1,34%. Perbandingan presentase hasil IHDi sebelum dan setelah pemasangan filter daya aktif paralel dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Perbandingan IHDi sebelum dan setelah pemasangan filter daya aktif paralel

Orde	IHDi(%)					
	R		S		T	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	0,00%	0,66%	0,00%	0,88%	0,00%	0,61%
3	0,00%	0,15%	0,00%	0,37%	0,00%	0,33%
4	0,00%	0,09%	0,00%	0,25%	0,00%	0,20%
5	22,68%	0,88%	22,68%	0,68%	22,68%	0,75%
6	0,00%	0,05%	0,00%	0,10%	0,00%	0,15%
7	10,77%	0,85%	10,77%	0,80%	10,77%	0,75%
8	0,00%	0,02%	0,00%	0,11%	0,00%	0,09%
9	0,00%	0,02%	0,00%	0,09%	0,00%	0,10%
10	0,00%	0,01%	0,00%	0,08%	0,00%	0,08%
THDi(%)	27,85%	1,43%	27,85%	1,49%	27,85%	1,34%

Berdasarkan tabel 2, menunjukkan persentase penurunan THDi sebelum dan sesudah pada setiap fasa yaitu, 27,85% untuk fasa R menjadi 1,43% , 27,85% untuk fasa S menjadi 1,49%, dan 27,85% untuk fasa T menjadi 1,34%. Sedangkan bentuk gelombang sudah mendekati sinusoidal murni pada setiap fasanya, ini menunjukkan bahwa pemasangan filter daya aktif paralel dengan memanfaatkan teori daya sesaat dapat memperbaiki gelombang pada arus listrik yang mengalami distorsi karena arus harmonisa. Sebagai perbandingan hasil reduksi harmonisa dengan pemasangan filter aktif dengan metode filter lainnya dapat dilihat pada tabel 3. Pada tabel 3 terlihat reduksi THDi pada penelitian ini relatif lebih baik.

Tabel 3. Perbandingan reduksi % THDi

Metode	% THDi	
	Sebelum	Sesudah
SAPF [9]	30,88	1,18
APF [10]	20,8	2,9
PF [11]	21,2	7,1
Penelitian ini	27,85	1,43

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisa mengenai reduksi harmonisa dengan menggunakan kompensator berupa filter daya aktif paralel maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Dari hasil pengukuran dalam simulasi filter daya aktif paralel diperoleh nilai THD arus sebelum dan sesudah pada setiap fasa yaitu, 27,85% untuk fasa R menjadi 1,43% , 27,85% untuk fasa S menjadi 1,49%, dan 27,85% untuk fasa T menjadi 1,34%. Tingkat penurunan persentase THD arus masing-masing fasa setelah pemasangan filter daya aktif paralel sebagai kompensator arus yaitu, 26,42% untuk fasa R, 26,36% untuk fasa S, dan 26,51% untuk fasa T. Dilihat dari perubahan nilai THDi yang diperoleh dapat dikatakan bahwa penggunaan teori daya sesaat merupakan cara yang efektif sebagai kompensasi arus dan tegangan harmonisa.

REFERENSI

- [1] Prasetijo, Hari et al. "Analisa Pemasangan Filter Pasif Sebagai Peredam Harmonisa Akibat Beban Non Linier". JRST, p. 109-114, mar. 2023. ISSN 2549-9750 : <http://10.30595/jrst.v7i1.16677>.
- [2] Arrillaga, J. and Watson, N., "Power Systems Harmonics", 2nd ed., Wiley, New York, 2003
- [3] H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes, "Instantaneous Power Theory And Applications To Power Conditioning", John Wiley & Sons. 2007
- [4] Pirog S., Shklyarskiy Ya.E., Skamyin A.N. "Non-linear Electrical Load Location Identification". Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 237, p. 317-321. DOI:10.31897/PMI.2019.3.317
- [5] Putra, A. W. "Analisis Penggunaan Filter Harmonic Untuk Mengurangi Efek Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan Kapal Isap Produksi". energi 2023, 14, 160-168: <https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589>
- [6] De La Rosa, FC. "Harmonics And Power Systems" Taylor & Francis Group, LLC, New York, 2006
- [7] Dao, T. and Phung, B.T, Effects of voltage harmonic on losses and temperature rise in distribution transformers. IET Gener. Transm. Distrib. 2018, 12: 347-354. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.0498>
- [8] E. H. Watanabe, M. Aredes, J. L. Afonso, J. G. Pinto, L. F. C. Monteiro and H. Akagi, "Instantaneous $p-q$ power theory for control of compensators in micro-grids," 2010 International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation, Lagow, Poland, 2010, pp. 17-26, doi: 10.1109/ISNCC.2010.5524475.
- [9] Imam, A. A.; Sreerama Kumar, R.; Al-Turki, Y.A. *Modeling and Simulation of a PI Controlled Shunt Active Power Filter for Power Quality Enhancement Based on P-Q Theory*. Electronics 2020, 9, 637. <https://doi.org/10.3390/electronics9040637>
- [10] M. Zagirnyak, M. Maliakova and A. Kalinov, "Analysis of operation of power components compensation systems at harmonic distortions of mains supply voltage," Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION), Side, Turkey, 2015, pp. 355-362, <https://doi.org/10.1109/OPTIM.2015.7426958>.
- [11] Cahyono, M. R. A. (2018). "Analisa Pemanfaatan Harmonisa Sebagai Sumber Energi Alternatif dengan Filter Pasif". JNTE 7(3), 161–168. <https://doi.org/10.25077/jnte.v7n3.595.2018>