

Peningkatan Kualitas Kelistrikan Workshop Teknik Elektro Unimed Menggunakan *Double Tuned Filter*

Azmi Rizki Lubis^{1*}, Marwan Affandi², dan Adi Sutopo³

^{1,2,3}Universitas Negeri Medan

*Corresponding author, e-mail: azmirizkilubis@unimed.ac.id

Abstrak

Workshop Teknik Elektro Universitas Negeri Medan (UNIMED) merupakan fasilitas digunakan untuk kegiatan praktikum, proses belajar mengajar dan lain sebagainya. Dari hasil observasi melalui pengukuran pada panel utama menggunakan alat ukur power quality analyzer diperoleh arus harmonik pada orde ke – 3 dan ke – 5 pada fasa S dan fasa T melebihi standar yang ditetapkan oleh IEEE 519 – 2014. Untuk menurunkan arus harmonik diusulkan penggunaan Double Tuned Filter. Dari hasil simulasi diperoleh hasil penurunan arus harmonik pada masing – masing fasa, dimana fasa R orde ke – 3 yang semula sebesar 9,06 % turun menjadi 2,25 % dan orde ke – 5 semula 2,73 % turun menjadi 0,20 % . fasa S orde ke – 3 yang semula sebesar 14,97 % turun menjadi 2,41 % dan orde ke – 5 semula 5,22 % turun menjadi 0,24 % . fasa T orde ke – 3 yang semula sebesar 12,01 % turun menjadi 2,32 % .

Keyword: kualitas daya, filter, harmonik, tegangan, arus

Abstract

Electrical Engineering Workshop at the State University of Medan (UNIMED) is a facility used for practicum activities, teaching and learning processes and so on. From the results of observations through measurements on the main panel using a measuring power quality analyzer instrument, it is obtained that the harmonic currents in the 3rd order in the S phase and T phase exceed the standards set by IEEE 519 - 2014. To reduce the harmonic current it is recommended to use Double Tuned Filters. From the simulation results, the results of decreasing harmonic currents in each phase are obtained, where the 3rd order R phase which was originally 9.06% decreased to 2.25%. The 3rd order S phase which was originally 14.97% decreased to 2.41%. the 3rd order T phase which was originally 12.01% decreased to 2.32%.

Keywords: power quality, filter, harmonic, voltage, current

PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik yang besar pada saat sekarang ini tidak dapat kita pungkiri lagi. Dengan begitu penggunaan beban non linier juga semakin tidak terbandung sehingga mengakibatkan munculnya arus harmonik pada sistem. Untuk mengatasi hal tersebut penggunaan filter pasif merupakan metode yang banyak digunakan pada sistem tenaga listrik [1][2][3]. Hal ini disebabkan karena semakin berkembangnya teknologi sehingga para pengguna teknologi tersebut juga semakin banyak, misalnya penggunaan telepon genggam, komputer jinjing dan lain sebagainya. Hal ini akan mempengaruhi kualitas daya sehingga pada akhirnya akan berdampak pada peralatan pada sistem tenaga listrik [4][5], seperti memicu munculnya distorsi harmonik pada transformator sehingga kerja dari transformator juga semakin berat dalam memikul beban yang pada akhirnya akan menimbulkan rugi – rugi daya pada transformator [6]. Harmonik juga merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kualitas daya pada sistem tenaga listrik [7].

Dengan adanya rugi – rugi daya pada transformator ini maka akan terjadi pemanasan yang berlebihan, kesalahan rasio transformator, dan kesalahan sudut fasa transformator [8]. Tidak hanya itu saja, harmonik juga dapat mengakibatkan tidak bekerjanya peralatan listrik juga sampai terjadi putusnya jaringan listrik [9]. Peralatan proteksi pada transformator juga tidak akan bekerja dengan normal jika terdapat kandungan harmonik yang tinggi pada transformator dan perubahan arus yang besar akan terjadi pada kumparan primer transformator [10].

Workshop teknik elektro Universitas Negeri Medan merupakan suatu wadah bagi mahasiswa untuk melakukan praktek. Satu diantara beberapa praktek yang dilakukan adalah praktek mesin – mesin listrik dimana pada prakteknya banyak menggunakan peralatan – peralatan beban nonlinier yang merupakan penghasil harmonik. Berdasarkan permasalahan yang ada maka dilakukan penelitian di *workshop* teknik elektro Universitas Negeri Medan yang memungkinkan untuk mewakili fenomena harmonik yang terjadi pada jaringan industri [11]. Untuk mengatasi harmonik yang muncul di sistem dapat menggunakan *double tuned filter*, karena filter jenis ini dapat bekerja mengurangi harmonik pada dua frekuensi yang berbeda secara sekaligus [12].

Studi Pustaka

Kualitas Daya Sistem Tenaga Listrik

Karakteristik dari pasokan listrik yang disediakan pada kondisi normal tanpa ada gangguan pada sisi pelanggan merupakan definisi dari kualitas daya menurut standar internasional [13]. Jika tegangan, arus, frekuensi yang menyimpang dan mengakibatkan kegagalan ataupun operasi peralatan yang buruk pada pelanggan ini yang termasuk kedalam masalah dari kualitas daya listrik [14]. Suatu sistem tenaga listrik dikatakan handal atau berkualitas jika mampu memikul beban dan mampu mengantisipasi gangguan yang muncul dalam keadaan beroperasi normal [15].

Pentingnya Kualitas Daya Listrik

Parameter – parameter yang menentukan dalam kualitas daya listrik adalah daya reaktif, distorsi harmonik dan ketidakseimbangan beban. Suatu sistem tenaga listrik diharapkan memiliki frekuensi dengan bentuk gelombang yang sinusoidal akan tetapi pada kenyataannya sulit untuk memperoleh keadaan tersebut dikarenakan impedansi nol dari sumber listrik, bervariasinya besar beban dan sering dijumpai fenomena lain seperti transien dan pemadaman. Jika kualitas daya listrik baik maka beban yang terhubung ke sistem tenaga listrik tersebut akan bekerja efisien, sebaliknya jika kualitas daya tidak baik maka akan mengurangi masa pakai dari peralatan yang terhubung ke sistem dan juga akan mengurangi efisiensi instalasi listriknya. Biaya instalasi juga akan tinggi dan juga akan memungkinkan tidak beroperasinya sistem tenaga listrik [16].

Harmonik

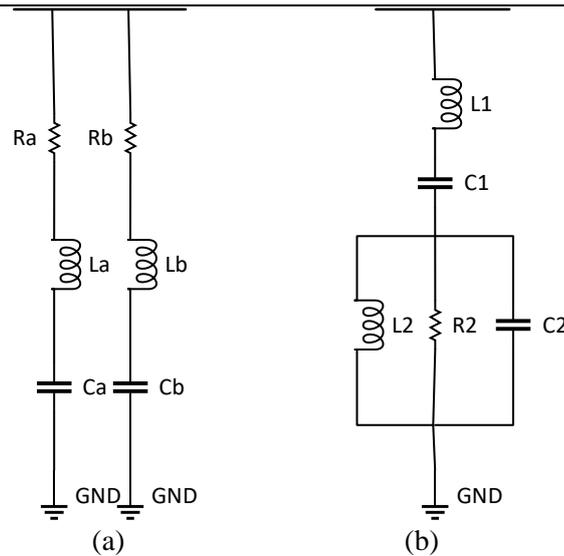
Gelombang yang terbentuk dari hasil kali bilangan bulat frekuensi – frekuensi yang berbeda terhadap frekuensi fundamentalnya disebut juga dengan harmonik. Jika kita misalkan frekuensi fundamentalnya adalah 50 Hz maka harmonik orde keduanya sebesar 100 Hz dan harmonik orde ketiganya sebesar 150 Hz begitu seterusnya. Jika sistem tenaga listrik terhubung dengan beban nonlinier maka gelombang harmonik arus dan tegangan akan menjadi satu dengan arus dan tegangan pada frekuensi fundamental dan menghasilkan distorsi harmonik [17].

Filter Harmonik

Filter harmonik berfungsi untuk mengatasi tegangan maupun arus harmonik yang muncul pada sistem tenaga listrik agar tidak menyebar dan mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik. Selain dari pada itu filter juga berfungsi untuk mengkompensasi daya reaktif untuk meningkatkan faktor daya pada sistem tenaga listrik [18].

Double Tuned Filter

Penggabungan dari dua buah single tuned filter akan menghasilkan double tuned filter. Bedanya dengan single tuned filter adalah bentuk rangkaian dan juga jumlah dari frekuensi harmonik yang hendak dihilangkan. Double tuned filter dapat menghilangkan dua orde harmonik secara sekaligus. Akan tetapi filter ini juga memiliki kekurangan yaitu lebih banyak menghasilkan rugi – rugi pada frekuensi fundamental [17]. Double tuned filter dapat dilihat pada Gambar 1 dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa double tuned filter merupakan dua buah single tuned filter (a) dan (b), untuk merancang langkah – langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Konfigurasi *double tuned filter*

Pertama kita akan mencari besar nilai kapasitor dari single tuned filter (a) yaitu dengan menentukan besar nilai faktor daya awal (PF1) yang kita peroleh dari hasil pengukuran dan faktor daya yang ingin kita capai (PF2). Kemudian kita tentukan nilai kapasitas kapasitor sesuai dengan kebutuhan kompensasi daya reaktif yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1) berikut.

$$Q_C = P\{\tan(\cos^{-1} pf1) - \tan(\cos^{-1} pf2)\} \quad (1)$$

Dimana:

- P : daya aktif (kW).
- pf1 : faktor daya mula-mula sebelum diperbaiki.
- PF2 : faktor daya setelah diperbaiki.

Selanjutnya menentukan nilai reaktansi dari kapasitor adapun parameter yang ingin dicari adalah sebagai berikut.

$$X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \quad (2)$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C}$$

Dimana:

- X_C : Reaktansi kapasitif (Ω).
- V : Tegangan RMS (Volt).
- Q_C : Daya reaktif kapasitor (VAR).

Setelah diperoleh besar nilai reaktansi kapasitor maka langkah selanjutnya adalah menentukan besar nilai kapasitornya dengan menggunakan persamaan (3) berikut.

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_C} \quad (3)$$

Dimana

- C : Kapasitansi kapasitor (Farad)
- f_0 : Frekuensi fundamental (Hz).

Kedua adalah mencari besar nilai induktor pada single tuned filter (a). langkah-langkah nya adalah menentukan besar nilai reaktansi dari induktor dengan menggunakan persamaan (4) berikut.

$$X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \quad (4)$$

Ketiga menentukan besar nilai resistor pada single tuned filter (a). langkah – langkahnya adalah tentukan orde tuning menggunakan persamaan (5) berikut.

$$X_n = h_n X_L \quad (5)$$

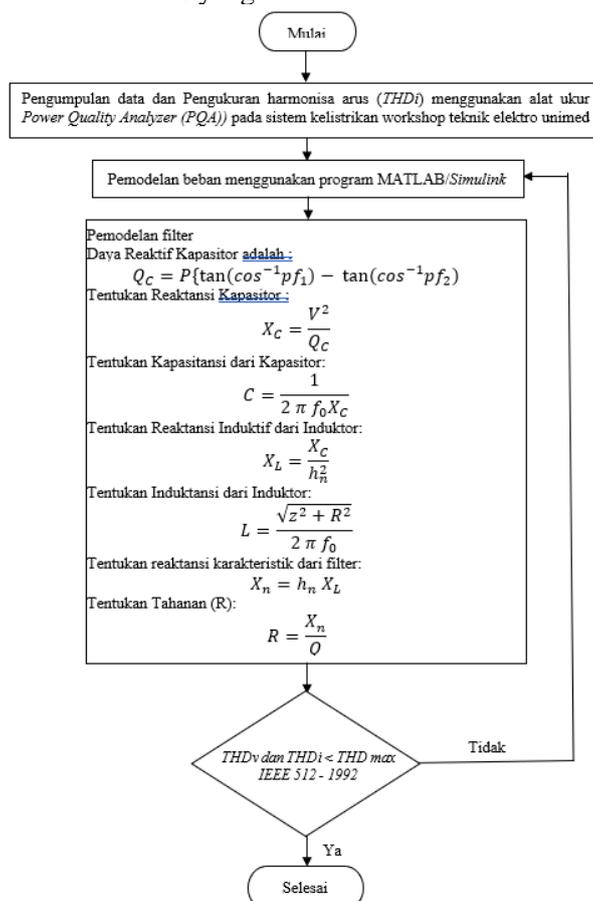
Setelah itu tentukan besar nilai resistornya dengan menggunakan persamaan (6) berikut.

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (6)$$

METODE

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode simulasi dengan *MATLAB/Simulink* untuk menganalisa penggunaan *double tuned filter* terhadap penurunan arus harmonik pada sistem kelistrikan *workshop* teknik elektro UNIMED. Adapun proses penelitian diawali dengan melakukan pengukuran besaran listrik dengan menggunakan alat ukur *power quality analyzer*. Setelah diperoleh besar komponen listrik dari hasil pengukuran maka selanjutnya melakukan pemodelan simulasi dengan *MATLAB/Simulink* sebelum dan sesudah pemasangan *double tuned filter*. *Double tuned filter* yang dimodelkan pada sistem distribusi pada *MATLAB/Simulink* berdasarkan perhitungan parameter untuk menurunkan arus harmonik yang dihasilkan oleh beban nonlinier yang terdapat pada *workshop* teknik elektro unimed. *Double tuned filter* dirancang untuk menurunkan arus harmonik pada orde ketiga dan orde kelima karena dalam pengukuran diperoleh kandungan arus harmonik yang besar dan melebihi batas yang telah ditentukan oleh standar IEEE 519 – 2014 [19].



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Teknik Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk melihat besar maupun bentuk gelombang parameter-parameter yang terdapat pada sistem tenaga listrik meliputi tegangan fasa ke netral pada sisi sumber tegangan, arus fasa dan arus netral, arus beban dan harmonisa tegangan maupun arus. Titik pengukuran pada panel utama gedung *workshop* teknik elektro UNIMED.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengukuran

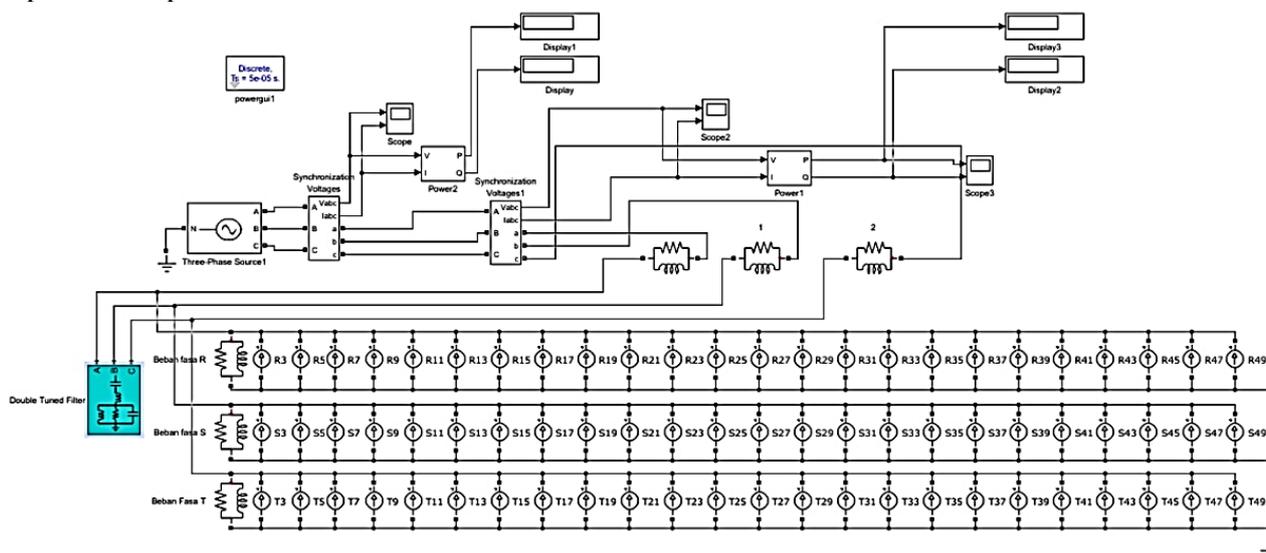
Setelah dilakukan pengukuran selama satu minggu pada panel listrik utama yang terdapat di gedung *workshop* teknik elektro dengan menggunakan alat ukur *power quality analyzer* maka diperoleh data seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran alat ukur *power quality analyzer*

Parameter	Satuan	Fasa R	Fasa S	Fasa T
V	Volt	226,86	237,34	225,5
I	Ampere	12,7	11,4	30,8
S	KVA	2,87	2,66	6,85
P	KW	2,05	2,57	6,32
Q	KVAR	2,02	0,72	2,73
pf	-	0,72	0,95	0,92
cos ϕ	-	0,72	0,97	0,93
THDv	%	2,06	1,97	2,3
THDi	%	10,09	16,48	12,5
Frekuensi	Hz	50,161	50,161	50,161

Model Rangkaian Simulasi

Model rangkaian simulasi sistem kelistrikan *workshop* teknik elektro UNIMED setelah dipasang filter diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model rangkaian simulai setelah pemasangan filter

Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Pemasangan Double Tuned Filter

Dari simulasi sebelum pemasangan double tuned filter dan sesudah pemasangan double tuned filter seperti yang ditunjukkan, maka diperoleh arus harmonik (IHDi) yang ditunjukkan pada

Tabel 2 berikut:

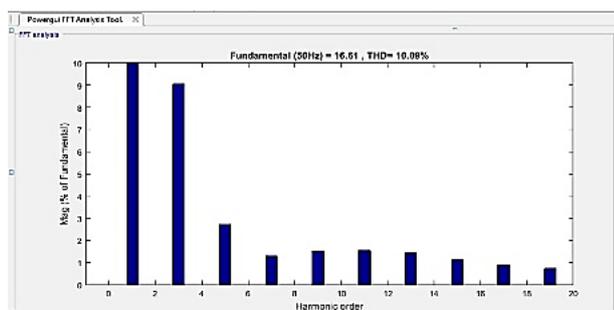
Tabel 2. Data Perbandingan IHDi Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Double Tuned Filter*

h / Fasa	IHDi Sebelum Filter (%)			IHDi Setelah Filter (%)			Standar IEEE 519-2014 SCR=247,4 (20<ISC/IL<50) (%)	Keterangan	
	R	S	T	R	S	T		Sebelum filter	Setelah filter
1	100	100	100	100	100	100	-		
3	9.06	14.97	12.01	2.25	2.41	2.32	12.0	Tidak Sesuai	Sesuai
5	2.73	5.22	2.51	0.20	0.24	0.14	12.0	Sesuai	Sesuai
7	1.29	3.45	1.77	1.73	3.01	1.80	12.0	Sesuai	Sesuai
9	1.53	1.70	0.43	2.11	1.53	0.45	12.0	Sesuai	Sesuai
11	1.55	0.43	0.24	2.16	0.39	0.25	5.5	Sesuai	Sesuai
13	1.45	0.42	0.11	2.04	0.38	0.12	5.5	Sesuai	Sesuai
15	1.16	0.69	0.44	1.64	0.63	0.47	5.5	Sesuai	Sesuai
17	0.91	0.78	0.35	1.28	0.72	0.37	5.0	Sesuai	Sesuai
19	0.73	0.76	0.78	1.03	0.70	0.83	5.0	Sesuai	Sesuai
THD	10.09	16.48	12.50	5.38	4.67	3.40			

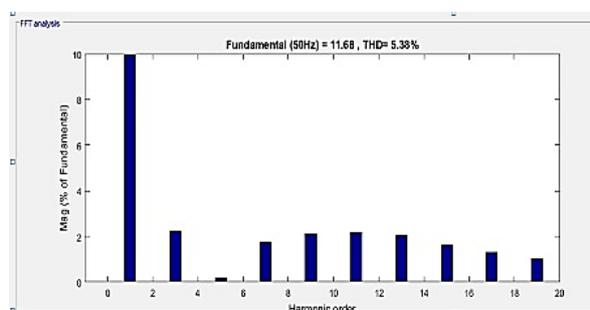
Pada

Tabel 2 menunjukkan perbandingan IHDi sebelum dan setelah pemasangan *double tuned filter*, pada fasa R sebelum pemasangan *double tuned filter* diperoleh IHDi orde ke – 3 sebesar 9,06 % berkurang menjadi 2,25 %, IHDi orde ke – 5 sebesar 2,73 % berkurang menjadi 0,20 %, dan IHDi orde ke – 7 sebesar 1,29 % bertambah menjadi 1,73 %. Pada fasa S sebelum pemasangan *double tuned filter* diperoleh IHDi orde ke – 3 sebesar 14,97 % berkurang menjadi 2,41 %, IHDi orde ke – 5 sebesar 5,22 % berkurang menjadi 0,24 %, dan IHDi orde ke – 7 sebesar 3,45 % berkurang menjadi 3,01 %. Pada fasa T sebelum pemasangan *double tuned filter* diperoleh IHDi orde ke – 3 sebesar 12,01 % berkurang menjadi 2,32 %, IHDi orde ke – 5 sebesar 2,51 % berkurang menjadi 0,14 %, dan IHDi orde ke – 7 sebesar 1,77 % bertambah menjadi 1,80 %.

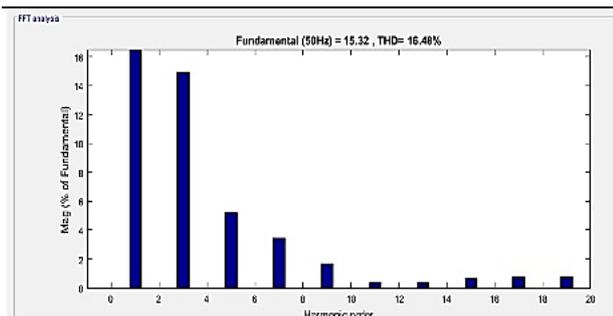
Dari dapat dilihat bahwa pemasangan *double tuned filter* dapat menurunkan IHDi pada orde ke – 3 dan ke – 5 di fasa R, untuk orde ke – 7 sampai orde ke – 19 mengalami kenaikan di fasa R. Untuk fasa S dapat dilihat pada orde ke – 3 sampai orde ke – 19 mengalami penurunan IHDi. Sedangkan pada fasa T dapat dilihat pada orde ke – 3 dan ke – 5 mengalami penurunan IHDi dan pada orde ke – 7 sampai orde ke – 19 mengalami kenaikan IHDi. Meskipun terjadi kenaikan IHDi pada fasa R dan T di orde ke – 7 sampai orde ke – 19, akan tetapi hal ini masih dapat ditolerir karena masih dibawah batas yang telah ditetapkan oleh standar IEEE 519 – 2014. Pemasangan *double tuned filter* sudah bekerja sesuai fungsinya yaitu untuk mengurangi arus harmonik pada orde ke – 3 dan orde ke – 5. Spektrum arus harmonik sebelum pemasangan *double tuned filter* dapat dilihat pada Gambar 4 dan spektum arus harmonik setelah pemasangan *double tuned filter* dapat dilihat pada Gambar 5.



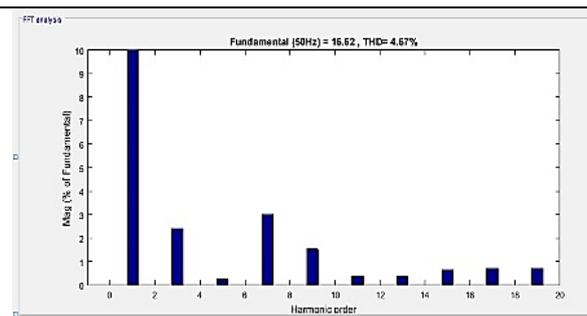
Fasa R



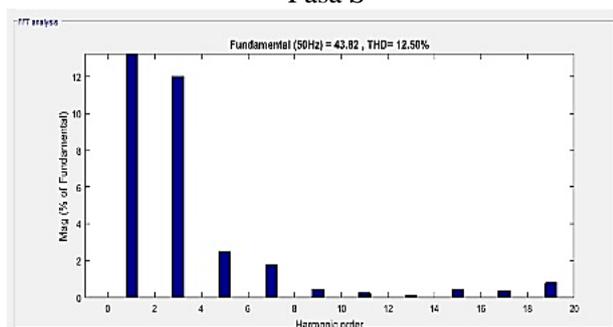
Fasa R



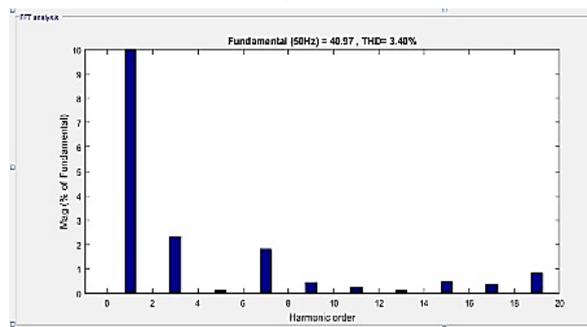
Fasa S



Fasa S



Fasa T



Fasa T

Gambar 4. Spektrum harmonik sebelum pemasangan filter

Gambar 5. Spektrum harmonik setelah pemasangan filter

PENUTUP

Dari simulasi dengan memodelkan *double tuned filter* di perangkat lunak *MATLAB/Simulink* untuk mengurangi arus harmonik yang muncul di sistem kelistrikan gedung *workshop* teknik elektro Unimed menunjukkan hasil yang signifikan. Arus harmonik turun sesuai dengan pengaturan pada *double tuned filter* yaitu untuk mengurangi arus harmonik pada orde ke - 3 dan ke - 5. Dimana besar arus harmonik pada orde ke - 3 sebelumnya 9,06 % turun menjadi 2,25 % dan pada orde ke - 5 sebelumnya 2,73 % turun menjadi 0,20 % pada fasa R. Arus harmonik pada orde ke - 3 sebelumnya 14,97 % turun menjadi 2,41 % dan pada orde ke - 5 sebelumnya 5,22 % turun menjadi 0,24 % pada fasa S. Arus harmonik pada orde ke - 3 sebelumnya 12,01 % turun menjadi 2,32 % dan pada orde ke - 5 sebelumnya 2,51 % turun menjadi 0,14 % pada fasa T. Sebagai masukan perlu dilakukan pembenahan pada pembagian beban di *workshop* teknik elektro Unimed, karena pada kondisi saat ini terjadi ketidakseimbangan beban pada fasa R, fasa S dan fasa T dari sistem kelistrikannya. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba menggunakan jenis filter yang lain agar dapat mengurangi arus harmonik pada orde ke - 7 sampai orde ke - 19 pada fasa R dan fasa T.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Zamani and M. Mohseni, "Damped-type double tuned filters design for HVDC systems," in *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, 2007, pp. 1–6.
- [2] K. Ming-cai and Z. Jia-hua, "Compensates the double tuned filter element parameter change based on the controllable reactor," in *2008 China International Conference on Electricity Distribution*, 2008, pp. 1–4.
- [3] L. Carlsson and G. Flisberg, "Recent classic HVDC development," in *Latin American Conference*, 2002, pp. 18–22.
- [4] A. Baitha, "A Comparative Analysis of Passive Filters for Power Quality Improvement," pp. 327–332, 2015.
- [5] A. Lubis, M. Affandi, and M. Mustamam, "Combination of Single Tuned Filter and Double Tuned Filter to Reducing Current Harmonics," 2020, doi: 10.4108/eai.16-11-2019.2293269.
- [6] A. R. Lubis, A. Antoni, B. Harahap, G. Tarigan, and J. Sarifah, "Harmonic Meter Design Using Arduino," *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, vol. 7, no. 2.13, pp. 381–384, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i2.13.16925.

-
- [7] J. Isokorpi and L. Korpinen, "A laboratory for investigating extremely low frequency EMC and harmonics," in *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No.98EX227)*, 1998, vol. 1, pp. 255–260 vol.1.
 - [8] R. D. Henderson and P. J. Rose, "Harmonics: the effects on power quality and transformers," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 30, no. 3, pp. 528–532, 1994, doi: 10.1109/28.293695.
 - [9] A. Baggini and Z. Hanzelka, "Voltage and Current Harmonics," *Handbook of Power Quality*. pp. 187–261, Apr. 18, 2008. doi: doi:10.1002/9780470754245.ch7.
 - [10] A. Wiszniewski, W. Rebizant, and L. Schiel, "Correction of Current Transformer Transient Performance," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 2, pp. 624–632, 2008.
 - [11] A. Pulakka *et al.*, "Simulation of resonance in a small-scale network laboratory," in *PowerCon 2000. 2000 International Conference on Power System Technology. Proceedings (Cat. No.00EX409)*, 2000, vol. 3, pp. 1635–1639 vol.3.
 - [12] Y. Mingtao, C. Jianye, W. Weian, and W. Zanji, "A double tuned filter based on controllable reactor," in *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006.*, 2006, pp. 1232–1235.
 - [13] A. Shitsukane and M. Ondiek, *Power Quality Improvement using Hybrid Filters*. 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.33840.76807.
 - [14] M. Bollen, *Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions*. 2000. doi: 10.1109/9780470546840.
 - [15] W. M. Grady and S. Santoso, "Understanding Power System Harmonics," *IEEE Power Engineering Review*, vol. 21, no. 11, pp. 8–11, 2001.
 - [16] K. N. Sakthivel, S. K. Das, and K. R. Kini, "Importance of quality AC power distribution and understanding of EMC standards IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3 and IEC 61000-3-11," in *8th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility*, 2003, pp. 423–430.
 - [17] J. Arrillaga and N. R. Watson, *Power System Harmonics*. Wiley, 2004.
 - [18] G. J. Wakileh, *Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design*. Springer, 2001.
 - [19] "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992)*. pp. 1–29, 2014.

Biodata Penulis

Azmi Rizki Lubis, lahir di Medan, 07 Juli 1987. Sarjana Pendidikan di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT UNIMED 2010. Tahun 2014 memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro USU dengan bidang konsentrasi kualitas daya. Staf pengajar di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT UNIMED sejak tahun 2019- sekarang.

Marwan Affandi, lahir di Medan, 13 September 1978. Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro FT USU 2003. Tahun 2014 memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro USU dengan bidang konsentrasi kualitas daya. Staf pengajar di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT UNIMED sejak tahun 2003- sekarang.

Adi Sutopo, dilahirkan di Nganjuk, 20 Februari 1964. Sarjana Pendidikan di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT IKIP Yogyakarta 1989. Tahun 1997 memperoleh gelar Magister Pendidikan di jurusan PTK IKIP Yogyakarta. Tahun 2002 memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro UGM dengan bidang konsentrasi sistem tenaga listrik. Tahun 2012 memperoleh gelar Doktor Pendidikan di UNY dengan konsentrasi Pendidikan dan Evaluasi Pendidikan. Staf pengajar di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT UNIMED sejak tahun 1991 - sekarang.