

Passive Filter Design To Reduce Electrical Disturbances In The Manufacturing Industry

Muhammad Dani Solihin^{1*}, Erita Astrid¹, Muchsin Harahap¹, Marwan Affandi¹, Muhammad Isnaini¹

¹ Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

*Corresponding Author email : mdnsolihin@unimed.ac.id

Abstract

Industry is one of the economic sectors that plays a role in processing environmental resources into products with higher utility values. This process includes design activities, industrial engineering, and service provision. Matra Abadi Workshop, a manufacturing industry that in its operations produces harmonic currents in the electric power system network, especially in low-order harmonics such as 3rd, 5th, 7th, 9th, and 11th. To reduce the negative impact of harmonics on the power system, the use of passive harmonic filters is required. Among the types of filters used, single tuned filters are a common choice because of their simple construction and effectiveness in reducing certain order harmonics that exceed the IEEE 512-2014 standard limits. This study discusses the implementation of both types of filters in a manufacturing industry environment. The harmonic reduction process is carried out through filter design and testing using Matlab/Simulink software-based simulations. The simulation results show that after the application of passive filters, the harmonic current levels in all load configurations were successfully suppressed to within the IEEE 512-2014 standard limits. The reduction in Total Harmonic Distortion (THDi) after the application of the single tuned filter was recorded in the range of 17.86% to 11.06%. In addition, there was an increase in the power factor from 0.68 before the filter was installed to 0.91 after the installation, which indicates an improvement in the overall power system performance.

Keywords: Manufacturing industry; passive filter; harmonics.

1. Introduction

Perangkat listrik yaitu motor listrik, transformator, generator, komputer, printer, peralatan komunikasi, atau peralatan rumah tangga. Semua perangkat ini memberikan gangguan yang bersifat negatif dan berbeda beda terhadap permasalahan kualitas listrik tergantung dari masing masing gangguan yang diberikannya [1]. Beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya [2]. Sumber utama harmonisa dalam sistem tenaga listrik adalah beban non linear seperti static power converters, arc discharge devices, saturated magnetic devices, dan rotating machines. Beban nonlinier mengubah sifat sinusoidal arus listrik bolak balik (AC) sehingga mengakibatkan aliran arus harmonisa pada sistem tenaga AC menimbulkan gangguan dengan jaringan komunikasi dan juga peralatan lainnya. Arus harmonisa juga menyebabkan meningkatnya kerugian dan menimbulkan panas di berbagai perangkat elektromagnetik (motor, transformer dan generator) [3].

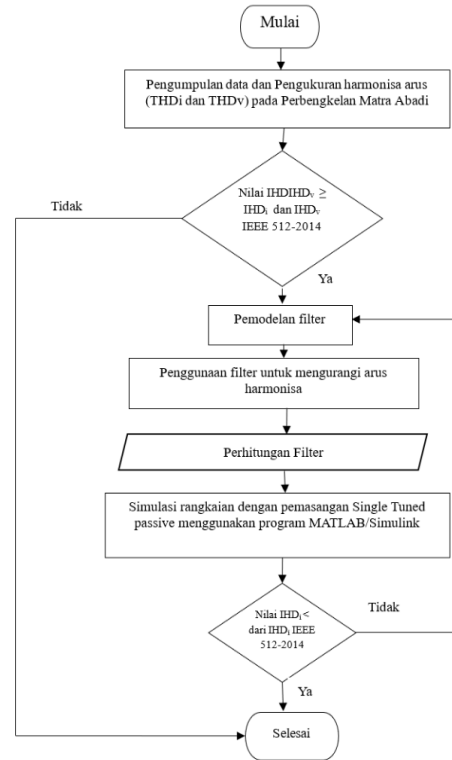
Beban nonlinier mempengaruhi sistem dengan menghasilkan harmonik arus dan tegangan. Kemampuan komponen elektronik, transformator, uninterruptible power

supplies (UPS), konverter dan motor induksi yang berdaya tinggi [4]. Penggunaan beban non linier dapat menghasilkan harmonisa yang tinggi dan faktor daya yang rendah, sehingga dapat menambah pembebanan pada transformator distribusi, bahkan dapat mempengaruhi kinerja peralatan lain dengan sumber listrik tersebut. Pengaruh harmonisa pada kualitas daya sudah ditetapkan batas yang diijinkan sesuai Standar Internasional yaitu Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE 512-2014)[3]. Perbengkelan Matra Abadi terletak di jalan Abadi No.4 Pulau Berayan Bengkel. Suplai energi listrik untuk operasional bengkel tersebut digunakan energi listrik kapasitas 200 A. Untuk mengetahui seberapa besar gangguan harmonik yang ada pada perbengkelan tersebut. Pengukuran tersebut untuk mendapatkan data seberapa besar harmonisa yang dibangkitkan lalu dibandingkan dengan standar IEEE 512-2014. Beban yang terdapat di Perbengkelan Matra Abadi di jalan Abadi No.4 Pulau Berayan Bengkel banyak terdapat peralatan listrik yang menimbulkan harmonisa yakni Mesin Shaping, Mesin milling vertical, Mesin milling horizontal, Pross Lathe dengan berbagai diameter, Mesin Bor, Mesin Las dan Mesin Gerinda duduk. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran seberapa besar gangguan yang ada pada perusahaan tersebut. Perangkat elektronik yang menimbulkan harmonisa terdapat di semua industri, instalasi komersial dan juga perumahan. Harmonisa disebabkan oleh beban non-linear. Suatu beban dikatakan non-linear ketika gelombang outputnya tidak sama dengan tegangan suplainya [5].

Harmonisa adalah komponen-komponen dari suatu bentuk gelombang sinusoidal yang mana frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya [6]. Harmonisa juga merupakan gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Sebagai contoh bila frekuensi dasar $f = 50 \text{ Hz}$, maka harmonisa ke-2 frekuensinya adalah $2 \times 50 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$, harmonisa ke-3 frekuensinya $3 \times 50 \text{ Hz} = 150 \text{ Hz}$. Harmonisa merupakan beberapa gelombang sinus yang berbeda frekuensi dasarnya. Idealnya bentuk gelombang tegangan dan arus diasumsikan sama, tetapi bentuk gelombangnya menjadi terdistorsi ketika sistem terhubung dengan beban non-linear sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sebanding dengan bentuk tegangan [7]. Penambahan jaringan kelistrikan dalam sistem tenaga menyebabkan berkembangnya masalah kualitas daya. Penambahan beban berupa semikonduktor berkontribusi secara menyeluruh dalam penambahan harmonisa arus dan tegangan [8]. Akibat yang ditimbulkan oleh arus urutan nol dari komponen harmonisa antara lain tingginya arus netral pada sistem tiga fasa empat kawat (sisi sekunder transformator) karena arus urutan nol (zero sequence) kawat netral 3 kali arus urutan nol masing-masing fasa [9].

2. Material and methods

Pengukuran dan pengambilan data dilakukan pada Perbengkelan Matra Abadi. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan pada Perbengkelan Matra Abadi dengan objek penelitian berupa tingkat IHDi terbanyak yang melebihi standar IEEE 512-2014. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, kemudian parameter pengukuran adalah komponen harmonisa tegangan, komponen harmonisa arus, faktor daya, daya aktif, daya reaktif dan daya semu.



Gambar 1. Diagram alir Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Dari hasil pengukuran tersebut akan terlihat nilai setiap orde arus harmonisa dan daya yang terukur, terutama daya reaktif yang nantinya digunakan untuk data simulasi, serta digunakan menghitung besar komponen yang harus digunakan sebagai kompensasi faktor daya sistem. Data impedansi kabel dari sumber ke pengukuran perbengkelan matra abadi digunakan kabel jenis NYM 4×35 mm² sepanjang 90 meter dengan Resistansi (r) sebesar 0.627 Ω dan Reaktansi (x) sebesar 0.244. Kemudian data tersebut dapat ditampilkan pada Tabel 1 dengan parameter – parameter yang sesuai dengan data yang didapat dari hasil pengukuran.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Perbengkelan Matra Abadi Fasa S

Parameter	L2	Satuan
VL	210	V
THD _v	2.79	%
IL	21	A
THD _i	17.90	%
Freq	50	Hz
P	2.81	KW
Q	3.2	kVAr
S	4.26	kVA
PF	0.66	

Tabel 2. Hasil Pengukuran IHDi

Ordo Harmonisa	IHD _i (%)
h1	100
h3	14.53
h5	4.79
h7	3.84
h9	1.86
h11	6.46
h13	1.62
h15	1.12
h17	3.69
h19	1.8
h21	0.68
h23	0.75
h25	1.56
h27	0.95
h29	0.16

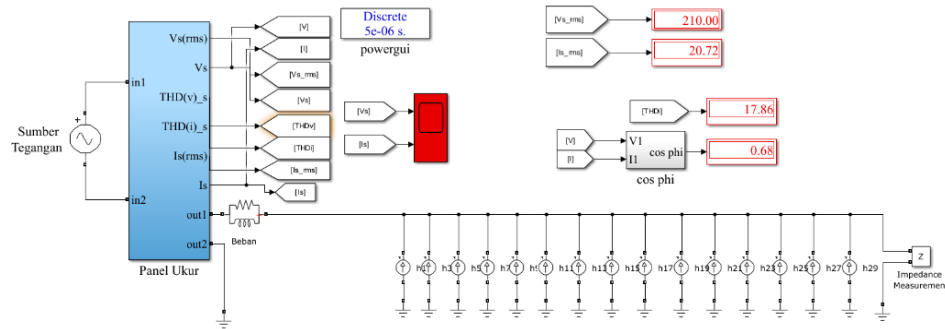
2.2 Peralatan Pendukung

Dalam Penelitian ini menggunakan peralatan pendukung berupa alat ukur *Fluke 437 Power Quality and Energy Analyzer* dan juga simulasi software Matlab/Simulink. Gambar 1 menunjukkan alat ukur *Fluke 437 Power Quality and Energy Analyzer*.



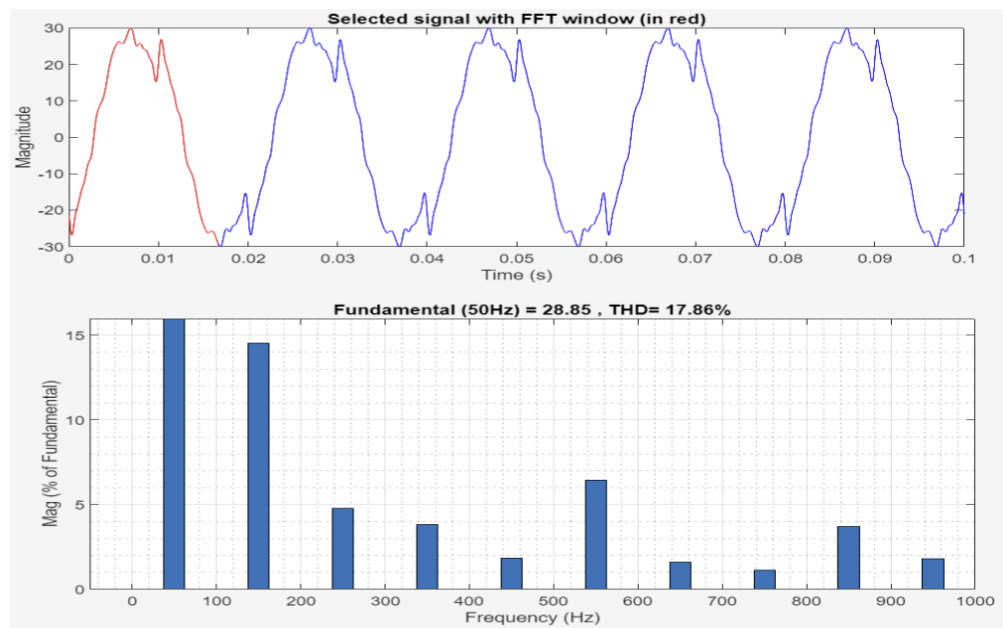
Gambar 1. *Fluke 437 Power Quality and Energy Analyzer*

Pada tahun 2004, MathWorks mengklaim bahwa MATLAB telah dimanfaatkan oleh lebih dari satu juta pengguna di dunia pendidikan dan industri. MATLAB pertama kali diadopsi oleh insinyur kontrol, tapi lalu menyebar secara cepat ke berbagai bidang lain. Kini juga digunakan di bidang pendidikan, khususnya dalam pengajaran aljabar linear dan analisis numerik, serta populer di kalangan ilmuwan yang menekuni bidang pemrosesan citra [10]. Penggunaan Software MATLAB/Simulink digunakan untuk pemodelan dan menganalisis pada sistem kelistrikan. Pada gambar 2 dapat dilihat bentuk dari simulasi berupa sumber tegangan, panel ukur, beban industri dan masing masing orde harmonisa yang dijadikan objek penelitian.



Gambar 2. Rangkaian Simulasi Sebelum Menggunakan Filter

Dari hasil simulasi sebelum pemasangan filter didapat hasil data arus harmonisa THDI adalah sebesar 17,86% dan sudah mendekati dari hasil pengukuran 17,90% dan IHD terlihat pada Tabel 2 Pada bagian gelombang arus yang diperoleh dari Block Power GUI bagian Fast Fourier Transform (FFT) Analisis. Hasil simulasi dari rangkaian Gambar 2 diperoleh grafik keluaran arus dan spektrum arus sebelum di filter seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Simulasi gelombang arus dan spektrum arus sebelum pemasangan filter

2.3 Perhitungan Harmonisa

Individual Harmonisa Distortion (IHD) adalah perbandingan nilai rms pada orde harmonisa terdistorsi terhadap nilai rms pada frekuensi fundamental dengan persamaan

$$IHD_i = \frac{I_h}{I_1} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk mengetahui batasan standar harmonisa IEEE 512-2014 pertama yang harus diketahui yaitu SCR (*Short Circuit Ratio*). Dalam melakukan perhitungan I_{SC} diperlukan data impedansi dari sistem yang terdiri dari impedansi saluran dan impedansi transformator distribusi itu sendiri Pada persamaan 2 menghitung arus hubung singkat.

$$I_{SC} = \frac{V}{Z_{Th}} \dots\dots\dots (2)$$

Setelah diperoleh perbandingan arus hubung singkat I_{SC} dan juga arus beban maka seperti pada persamaan 3.

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk mengurangi distorsi harmonik penggunaan filter pasif merupakan solusi yang tepat untuk digunakan [11]. Filter pasif merupakan filter yang sering digunakan sebagai solusi yang efektif untuk memperbaiki kualitas daya [12]. Besarnya tahanan R dari induktor dapat ditentukan oleh faktor kualitas dari induktor. Faktor kualitas (Q) adalah kualitas listrik suatu induktor, secara matematis Q adalah perbandingan nilai reaktansi induktif atau reaktansi kapasitif pada frekuensi resonansi dengan tahanan R . Semakin besar nilai Q yang dipilih maka semakin kecil nilai R dan semakin bagus kualitas dari filter dimana energi yang dikonsumsi oleh filter akan semakin kecil, artinya rugi-rugi panas filter adalah kecil [13]. Merancang *Single Tuned Passive Filter* yang terdiri dari hubungan seri Komponen-komponen pasif induktor, kapasitor dan tahanan adalah bagaimana menentukan nilai parameter komponen-komponen dari *passive single tuned filter* [14] [15] [16].

1. Menentukan ukuran kapasitas kapasitor Q_C (kVAR_C) berdasarkan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya

$$Q_C = P\{\tan(\cos^{-1}pf_1) - \tan(\cos^{-1}pf_2)\} \dots\dots\dots (4)$$

2. Menentukan Reaktansi Kapasitor X_C :

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \dots\dots\dots (5)$$

3. Menentukan Kapasitansi dari kapasitor (C):

$$C = \frac{1}{2\pi f_1 X_C} \dots\dots\dots (6)$$

4. Menentukan Reaktansi Induktif dari Induktor X_L :

$$X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \dots\dots\dots (7)$$

5. Menentukan Induktansi dari Induktor :

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_1} \dots\dots\dots (8)$$

6. Menentukan reaktansi karakteristik dari filter pada *orde tuning* :

$$X_n = h_n X_L = \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots (9)$$

7. Menentukan Tahanan (R) dari Induktor :

$$R = \frac{X_n}{Q} \dots\dots\dots (10)$$

3. Results and discussion

Perbandingan hasil pengukuran arus individual harmonisa pada Perbengkelan Matra Abadi dibandingkan dengan standar IEEE 512-2014 ditunjukkan pada Tabel 3..

Tabel 3. Perbandingan arus harmonisa hasil pengukuran di perbengkelan matra abadi dengan standar IEEE 512-2014

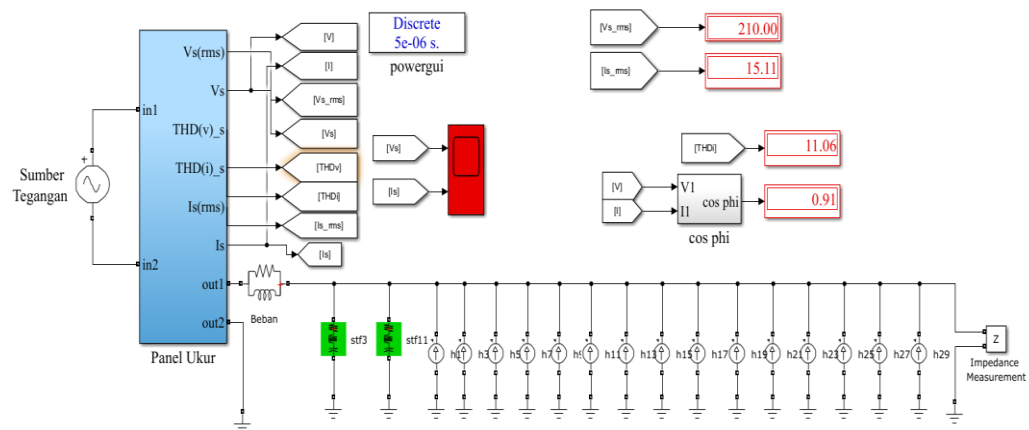
Ordo Harmonisa	IHD _i - S ₁ (%)	Batas IEEE 519-2014 (%)	Keterangan
h1	100	-	-
h3	14.53	12	Tidak Sesuai
h5	4.79	12	Sesuai
h7	3.84	12	Sesuai
h9	1.86	12	Sesuai
h11	6.46	5.5	Tidak Sesuai
h13	1.62	5.5	Sesuai
h15	1.12	5.5	Sesuai
h17	3.69	5	Sesuai
h19	1.8	5	Sesuai
h21	0.68	5	Sesuai
h23	0.75	2	Sesuai
h25	1.56	2	Sesuai
h27	0.95	2	Sesuai
h29	0.16	2	Sesuai

Besar Harmonisa yang dibangkitkan di Perbengkelan Matra Abadi berdasarkan hasil pengukuran THD_i sebesar 17,90% sehingga IHD_i di Perbengkelan Matra Abadi jauh lebih besar dari standar IHD_i standar IEEE 512-2014. Untuk mengetahui batasan standar harmonisa IEEE 519-2014, pertama yang harus diketahui adalah besaran nilai arus hubung singkat (I_{sc}). Dalam melakukan perhitungan I_{sc} diperlukan data impedansi saluran dari sistem. Impedansi saluran kabel terbuat dari kabel NYM 4x35 mm², sepanjang 90 m dari katalog $R = 0,627 \Omega/\text{km}$, maka tahanan kabel $R = 0,03135 \Omega$, $L = 0.244 \text{ mH}/\text{km}$, maka reaktansi kabel $X_L = 0,003832 \Omega$ dan $Z_{saluran} = 0,056850156$. Dengan didapatnya impedansi saluran pada sistem maka didapatkan arus hubung singkat sebesar 3693,921262 A. Dengan menentukan arus I_{sc} kita akan mendapatkan *Short Circuit Ratio* (SCR) yang nantinya akan menentukan batas harmonisa arus sesuai dengan standar IEEE 519-2014. Pada hasil pengukuran diperoleh arus beban (I_s) sebesar 21 A, sehingga besaran SCR yang merupakan hasil dari perbandingan dari arus hubung singkat I_{sc} dengan arus beban I_s sebesar 175,9010125, limit arus harmonisa standar IEEE 519-2014, SCR sebesar 175,901 berada diantara 100 dan 1000, dengan tegangan pada PCC $\leq 69 \text{ kV}$, maka THD_i yang diizinkan adalah 15%.

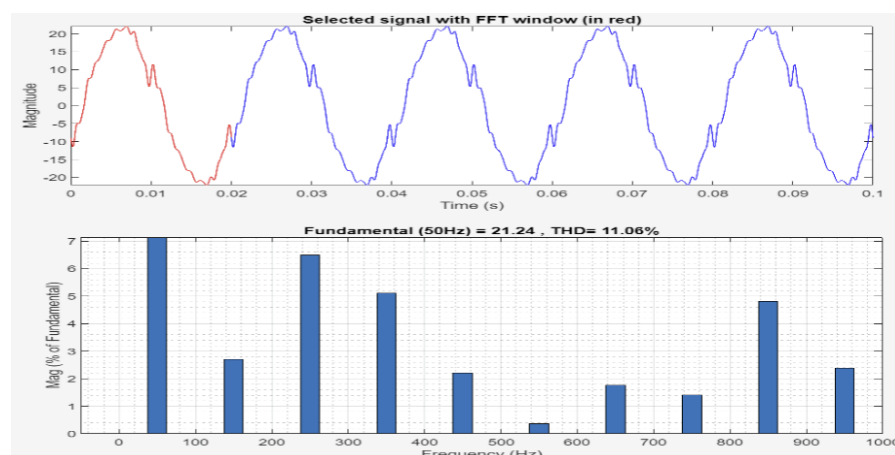
Perhitungan besaran komponen filter dilakukan berdasarkan harmonisa individu yang stabil pada sistem yang didapat dari hasil pengukuran dan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya sistem. Dalam hal ini perbaikan faktor daya yang diinginkan adalah dari 0,65 lagging menjadi 0,90 lagging. Pengukuran dilakukan pada fasa S karena mempunyai harmonisa yang stabil pada sistem. Adapun data hasil pengukuran fasa S dengan $S = 4,26 \text{ kVA}$, $P = 2.81 \text{ kW}$, $Q = 3,2 \text{ kVAR}$ dan $\cos \phi_{awal} = \text{pf} = 0.68 \text{ lagging}$. Menentukan $\cos \phi$ yang diinginkan yaitu sebesar 0,90 *lagging*, maka besar Q_c sebesar 1,840 kVAR. Dengan demikian kapasitor yang dipilih adalah 1840 VAR. Nilai reaktansi kapasitif dari kapasitor sebesar 23,742 Ω . Penghilangan harmonisa menggunakan 2 filter single tuned maka reaktansi kapasitif tiap filter adalah : nilai X_c nya dikalikan dua menjadi 47,473 Ω . Dengan nilai C pada harmonisa ke-3 pada frekuensi fundamental sebesar 6,705

F. Dari hasil pengukuran bahwa nilai IHD arus yang dominan adalah pada harmonisa ke-3 dan ke-11, maka untuk menghitung nilai C pada harmonisa ke-3 pada frekuensi fundamental maka nilai Reaktansi induktif dari filter pada harmonisa ke 3 sebesar 5,2748 Ω dan nilai induktansi sebesar 0,0168 H. Sedangkan nilai X_n sebesar 15,82451 Ω dan nilai R sebesar 0,1582451 Ω . Dengan demikian didapat perhitungan *filter pasif single tuned* ke-3 untuk nilai Resistansi (R) sebesar 0,158 Ω , Induktansi (L) sebesar 0,0168 H, Kapasitansi (C) Sebesar 0,00006705 μ F.

Rangkaian simulasi *filter pasif single tuned* disimulasikan menggunakan program MATLAB/Simulink. Rangkaian simulasi tersebut terdiri dari dua buah *filter pasif single tuned*, sebuah resistor, induktor dan individual distorsi harmonik arus (IHDi) ordo ke-3 sampai dengan ordo ke 29. *Filter pasif single tuned* terdiri dari sebuah kapasitor, induktor, dan resistor yang terhubung secara seri dan nilainya telah diperhitungkan sebelumnya. *Filter pasif single tuned* dihubungkan secara parallel terhadap sistem. Bentuk gelombang arus dan spektrum harmonik arus diperoleh dari *Block Power GUI* bagian *Fast Fourier Transform (FFT)* Analysis.



Gambar 4. Rangkaian Simulasi Sesudah Menggunakan Filter



Gambar 5. Simulasi gelombang arus dan spektrum arus sesudah pemasangan filter

Dari hasil simulasi sesudah pemasangan filter didapat hasil data arus harmonisa THDi adalah sebesar 11,06% dan IHDi terlihat pada Tabel 4. Pada bagian gelombang arus yang diperoleh dari *Block Power GUI* bagian *Fast Fourier Transform (FFT)* Analysis.

Tabel 4. Data simulasi perbandingan batas harmonisa arus individual IHD_i (%) setelah pemasangan *filter pasif single tuned*.

Ordo Harmonisa	IHD _i - L ₁ (%)	Batas IEEE 519-2014 (%)	Keterangan
h1	100	-	-
h3	2.70	12	Sesuai
h5	6.49	12	Sesuai
h7	5.10	12	Sesuai
h9	2.20	12	Sesuai
h11	0.36	5.5	Sesuai
h13	1.77	5.5	Sesuai
h15	1.41	5.5	Sesuai
h17	4.82	5	Sesuai
h19	2.38	5	Sesuai
h21	0.91	5	Sesuai
h23	1.01	2	Sesuai
h25	2.10	2	Sesuai
h27	1.28	2	Sesuai
h29	0.22	2	Sesuai

Hasil penelitian Pemasangan *filter pasif single tuned* telah mereduksi harmonisa arus yang dihasilkan oleh beban-beban pada Perbengkelan Matra Abadi Medan dengan menggunakan software MATLAB/Simulink, Hasil THDi sebelum pemasangan filter adalah 17.86 % dan setelah pemasangan filter diperoleh hasil THDi turun menjadi 11.06%. Simulasi sebelum pemasangan *filter pasif single tuned* pada faktor daya adalah 0,68 dan setelah simulasi pemasangan *filter pasif single tuned* diperoleh hasil perbaikan faktor daya menjadi 0,91.

4. Conclusion

Pemasangan filter pasif single tuned telah mereduksi harmonisa arus yang dihasilkan oleh beban-beban pada Perbengkelan Matra Abadi Medan dengan menggunakan software MATLAB/Simulink, Hasil THDi sebelum pemasangan filter adalah 17.86 % dan setelah pemasangan filter diperoleh hasil THDi turun menjadi 11.06%. Simulasi sebelum pemasangan filter pasif single tuned pada faktor daya adalah 0,68 dan setelah simulasi pemasangan filter pasif single tuned diperoleh hasil perbaikan faktor daya menjadi 0,91.

References

- [1] C. Sankaran, *Power Quality*. London, New York, Washington DC: CRC Press LLC, 2001.
- [2] B. Kennedy, *Power Quality Primer*. McGraw-Hill, 2000.
- [3] D. Committee, I. Power, and E. Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society," vol. 2014, 2014.
- [4] S. B. Efe, "Harmonic filter application for an industrial installation," *2015 13th Int. Conf. Eng. Mod. Electr. Syst. EMES 2015*, pp. 31-34, 2015.
- [5] C. Banks, M. Awadalla, M. Orner, and A. Mohamed, "Single-tuned Filter Design for Harmonic Mitigation," no. 3, 2015.
- [6] S. Masykur, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Medan: USU Press, 2016.
- [7] R. Sachan and R. Srivastava, "Performance analysis of fixed shunt passive filters for harmonic mitigation," *Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Electron. Sustain. Energy Syst. ICETEESES 2016*, pp. 87-90, 2016.
- [8] M. F. Arman, "Self-tuning Output Passive-Filter For Low L Power DC / AC

- Inverters.”
- [9] S. Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Beaty, H. Wayne, Santoso, *Electrical Power Systems Quality, Second Edition*. 2004.
 - [10] M. Ariyanto, U. Diponegoro, and W. Caesarendra, “Panduan Belajar Mandiri MATLAB,” no. December, 2016.
 - [11] B. P. De Campos, L. A. R. de Sousa, and P. F. Ribeiro, “Mitigation of Harmonic Distortion with Passive Filters,” *2016 17th ternational Conf. Harmon. Qual. Power*, pp. 646–651, 2016.
 - [12] M. T. Elmathana, A. F. Zobaa, and S. H. E. Abdel Aleem, “Economical design of multiple-arm passive harmonic filters for an industrial firm - Case study,” *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, pp. 438–444, 2012.
 - [13] G. J. Wakileh, *Power System Harmonics-Wakileh.pdf*. New York: Springer, 2001.
 - [14] Y. Cho and H. Cha, “Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor,” *Int. Counc. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2011.
 - [15] F. C. D. La Rosa, *Harmonics and Power Systems*. Distribution Control Systems, Inc., 2006.
 - [16] L. I. Kovernikova, “Centralized normalization of voltage harmonics in the network with distributed nonlinear load by the third-order filters,” *Int. Sch. NONSINUSOIDAL Curr. Compens.*, pp. 148–151, 2010.