

## STUDI PERANCANGAN FILTER PASIF UNTUK MENGURANGI KANDUNGAN HARMONISA MENGGUNAKAN MATLAB 2013b

Mohammad Sholikhoddin<sup>1)</sup>, M. Jasa Afroni<sup>2)</sup>, Sugiono<sup>3)</sup>

<sup>1),2),3)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang

Jl. MT Haryono 193-Dinoyo-Lowokwaru-Malang

[mohammadsholikhoddin@gmail.com](mailto:mohammadsholikhoddin@gmail.com)

### ABSTRAK

Harmonisa merupakan gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Munculnya harmonisa disebabkan oleh adanya beban-beban *non-linier*. Untuk mengurangi kandungan harmonisa tersebut diperlukan sebuah filter pasif yang akan dirancang dalam penelitian ini. Perancangan dilakukan dengan cara menganalisis terlebih dahulu gelombang yang terdistorsi untuk mengetahui pada orde berapa harmonisa yang akan difilter. Analisis menggunakan *fast fourier transform*.

Penelitian ini menggunakan matlab 2013b untuk simulasi perancangan filter pasif. Gelombang yang telah dianalisis dari pengukuran melalui *power quality analyzer*, menunjukkan bahwa terdapat kandungan harmonisa yang melebihi standar IEC 61000-3-2. Kandungan harmonisa tersebut terdapat pada orde ke 7 sebesar 8,25 % dan nilai THD Arus Sebesar 9,11%. Kemudian dirancang filter pasif untuk mereduksi kandungan harmonisa pada orde ke-7. Setelah dilakukan perancangan dan pemasangan filter pasif dengan melalui analisis *fast fourier transform* terdapat penurunan kandungan harmonisa. Harmonisa turun sebesar 7,18% menjadi 1,07% sedangkan THD Arus turun sebesar 5,88% menjadi 3,32%.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa filter yang telah dirancang dapat mereduksi kandungan harmonisa.

**Kata Kunci:** Harmonisa, THD Arus, Matlab 2013b, Filter Pasif

### PENDAHULUAN

Saat ini listrik merupakan bagian terpenting bagi kehidupan manusia. Mulai dari skala rendah hingga skala tinggi. Semua pengguna listrik mengandalkan pasokan dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dengan begitu PLN dituntut untuk memberikan kualitas daya listrik yang baik.

“Istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan”[1]. Maka dari itu standar kualitas daya listrik harus dipenuhi oleh PLN. Salah satu penyebab buruknya kualitas daya listrik adalah Harmonisa.

“Harmonisa pada dasarnya adalah sebuah komponen sinusoidal dari sebuah bentuk gelombang periodik yang frekuensinya merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Frekuensi dari gelombang periodik tersebut disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya, sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar adalah angka urutan dari harmonisa tersebut”[2]. Penyebab utama timbulnya harmonisa adalah beban-beban

non-linear seperti VSD, motor-motor industri dan lain sebagainya. Akibat dari pengaruh harmonisa tersebut adalah adanya pemanasan-pemanasan berlebih pada transformator, mesin-mesin listrik dan peralatan kelistrikan lainnya yang mengakibatkan menurunnya masa pakai peralatan tersebut.

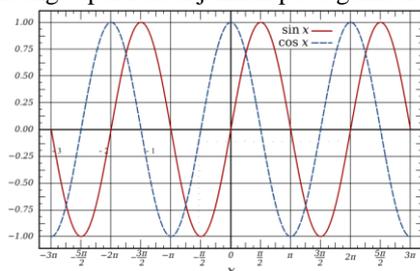
Untuk mereduksi kandungan harmonisa tersebut dapat menggunakan filter pasif yang terdiri dari komponen listrik pasif seperti kapasitor dan induktor.

### Gelombang Sinusoidal

Gelombang sinus atau sinusoid adalah sebuah fungsi periodik yang harganya berubah-ubah secara sinusoidal. Perubahan tersebut terjadi pada *amplitudo* (A) gelombang terhadap fungsi waktu (t). Persamaan gelombang sinus di definisikan dengan persamaan 1. *frekuensi* radian atau frekuensi sudutnya adalah  $\omega$ . Sifat periodik gelombang sinusoidal dapat terlihat dengan jelas pada gambar 1. fungsi tersebut terulang setiap  $2\pi$  radian[3].

$$V_t = A \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Dari persamaan 1 dapat terlihat bentuk gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1: Gelombang sinus

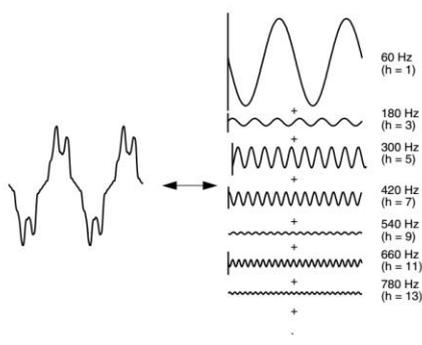
### Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik merupakan konsep yang menggambarkan baik atau buruknya mutu daya listrik. Tingkat kualitas daya listrik dipengaruhi oleh beberapa hal. Di antaranya adalah : perubahan tegangan, ketidakseimbangan tegangan, distorsi bentuk gelombang, perubahan frekuensi fluktuasi tegangan, deviasi faktor daya dan lain sebagainya. Untuk mendapatkan kualitas daya listrik yang baik maka perlu adanya perbaikan-perbaikan dan perawatan secara berkala.

### Harmonisa

“Harmonisa adalah gelombang tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi yang merupakan hasil kali *integer* dari frekuensi dasar dimana suplai sistem dirancang untuk beroperasi (biasanya 50 atau 60 Hz)”[1]. Pada dasarnya harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa.

Gelombang yang terdistorsi tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2: Gelombang yang terdistorsi

### Fast Fourier Transform

“*Fourier Transformation* (FT) adalah sebuah metode untuk mentransformasikan suatu bentuk gelombang (Sebuah fungsi atau sinyal) ke dalam sebuah representasi alternatif, atau lebih mudah disebut sebagai sebuah alat untuk melihat sinyal tapi dengan cara yang berbeda”[4]. Selama ini kita hanya melihat sinyal melalui *osiloskop* atau alat sejenis lainnya, itu adalah *visualisasi* sinyal dalam bentuk ranah waktu (*time domain*), sumbu horizontal-nya waktu (t) dan sumbu vertikalnya adalah amplitudo (A).” [4] Dengan menggunakan FT, sebuah sinyal dapat disajikan dalam bentuk spektrum (frekuensi dengan amplitudo).

Transformasi fourier dapat dilakukan menggunakan rumus 2[5, 6].

$$F(k) = \sum_{n=1}^N f(n) \cdot e^{-j2\pi knT / N} \quad (2)$$

$$F(k) =$$

$$\sum_{n=1}^N f(n) \cos(2\pi knT / N) - j \sum_{n=1}^N f(n) \sin(2\pi knT / N)$$

*Fast Fourier Transform* akan merubah gelombang menjadi spektrum sinyal dengan amplitudo terhadap frekuensi atau orde harmonisanya. Sehingga dengan begitu akan terlihat pada orde berapa suatu distorsi gelombang dan berapa nilai amplitudo yang timbul pada setiap frekuensinya. Penggunaan fast fourier transform dapat dilakukan dalam analisis menggunakan software pembantu matlab 2013b.

### Index Harmonisa

Dalam pengukuran besar distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik, ada beberapa indeks yang digunakan. Yaitu Total Harmonic Distortion (THD), Total Demand Distortion (TDD). Kedua indeks tersebut adalah nilai efektif tegangan dan arus harmonisa.

#### a. THD

cara yang paling umum untuk menyatakan besarnya distorsi harmonisa yang terjadi dalam suatu sistem adalah THD (Total Harmonic Distortion). Untuk menentukan besarnya THD digunakan persamaan 3[7].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

#### b. TDD

Total Demand Distortion (TDD) adalah perbandingan antara komponen arus harmonisa dengan arus beban kebutuhan maksimum.

Perhitungan TDD dapat dilihat pada persamaan 4[8].

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad (4)$$

$I_L$  adalah arus kebutuhan/*demand* maksimum (15 atau 30 menit kebutuhan) pada frekuensi dasar di PCC (Point Of Common Coupling), di hitung sebagai arus rata-rata dari beban maksimum untuk 12 bulan sebelum pengukuran.

### Filter Pasif

Filter pasif terdiri dari beberapa komponen pasif elektronika. Komponen tersebut adalah kapasitor dan induktor. Pemasangan komponen tersebut adalah dengan menghubungkannya secara seri kemudian diletakan secara paralel terhadap beban. Gambar rangkaian filter pasif seperti ditunjukkan pada gambar 3[9].



Gambar 3: Rangkaian Filter

Pada rangkaian diatas, impedansi total adalah :

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

Karena saat terjadi frekuensi resonansi besar  $X_L = X_C$  maka jika kita memasukkan nilai pada saat resonansi akan didapat :

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

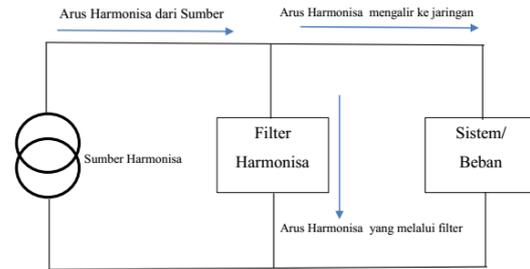
$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Dari beberapa turunan di atas maka akan didapat rumus untuk merancang sebuah filter sebagai berikut[2]:

$$f_{res} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Untuk merancang filter harus diketahui pada orde beberapa harmonisa yang akan direduksi kemudian ditentukan nilai L sehingga dapat dihitung nilai C yang akan dipasang. Pemasangan filter pada beban dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4: Rangkaian pemasangan filter pada beban

### Matlab 2013b

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah sebuah program komputer untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan matlab juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika tingkat lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

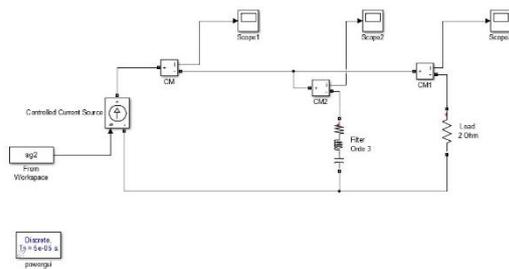
Software ini digunakan untuk melakukan simulasi terhadap filter yang telah dirancang. Matlab juga digunakan untuk menganalisis gelombang menggunakan *fast Fourier Transform*.

*Simulink* merupakan sebuah fasilitas yang terdapat pada MATLAB yang digunakan sebagai simulasi berbagai model, dimulai dari *signal processing*, *power system modelling* sampai dengan *image processing*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui sejauh mana kinerja filter, dalam penelitian ini dilakukan dua kali percobaan. Percobaan pertama menggunakan sinyal simulasi dengan membuat dua sinyal simulasi yang berbeda. Sedangkan percobaan kedua menggunakan sinyal hasil pengukuran dari *Power Quality Analyzer*.

Rangkaian pemodelan sistem yang di gunakan untuk mempelajari sebuah filter dan untuk melihat kinerja filter dalam mereduksi harmonisa dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5: rangkaian pemodelan sistem

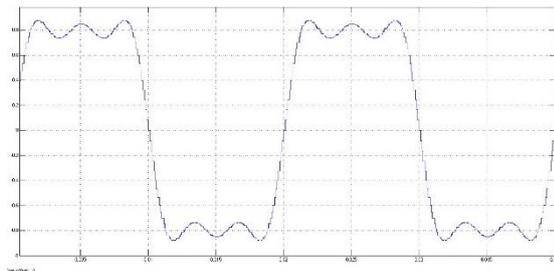
Untuk menganalisis harmonisa dan melihat sejauhmana kinerja filter dapat di gunakan *Controlled Current Source* atau sumber arus yang terkontrol. Dalam penelitian ini arus masukan sistem pada rangkaian gambar 5 menggunakan sinyal simulasi dan sinyal hasil pengukuran melalui pengamatan *Power Quality Analyzer*. Sinyal simulasi dibentuk dengan menggunakan kode matlab (mfile), sinyal hasil pengukuran berupa data berbentuk XLS yang dapat dibaca oleh matlab. Setelah itu hasil gelombang dapat dianalisis menggunakan *Tools FFT* pada matlab.

**a. Percobaan menggunakan sinyal simulasi**

Percobaan pertama menggunakan dua macam percobaan sinyal simulasi. Percobaan pertama menggunakan perintah

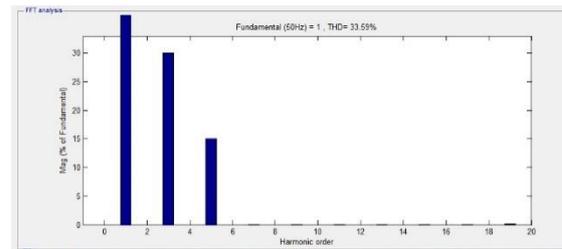
$$x = \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t) + 0,30 \sin(2\pi \cdot 150 \cdot t) + 0,15 \sin(2\pi \cdot 250 \cdot t);$$

sehingga akan didapat nilai 0,30 dan 0,15 merupakan jumlah presentase *magnitude* yang ditetapkan untuk frekuensi 150 dan 250 pada orde ke 3 dan 5. Hasil gelombang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6: Bentuk gelombang sebelum pemasangan filter

Hasil analisis FFT dapat di lihat seperti pada gambar 7.



Gambar 7: Hasil analisis FFT Sebelum pemasangan filter

Harmonisa yang paling tinggi terdapat pada orde ke 3 frekuensi 150, sehingga perlu dirancang filter yang dapat mereduksi harmonisa pada orde ke 3 dengan mengasumsikan nilai  $L = 1 \text{ mH}$ . Perancangan filter tersebut dapat dilihat seperti perhitungan berikut :

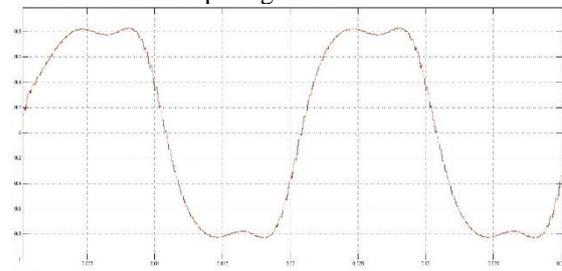
$$F = 150 \text{ Hz}$$

$$150 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Dengan memakai rumus di atas maka dapat di peroleh C sebesar:

$$C = 0,001125791$$

Setelah pemasangan filter hasil gelombang akan berbentuk seperti gambar 8.



Gambar 8: Bentuk gelombang setelah pemasangan filter

Kemudian dilakukan analisis FFT. Hasil dari analisis FFT setelah pemasangan filter dapat dilihat pada tabel 1.

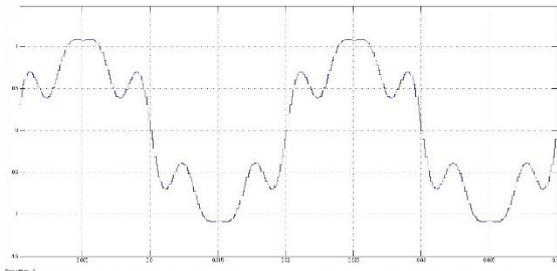
Tabel 1: Perbandingan hasil FFT

Sampling time	7,8125e-05 s		
Sampling per cycle	256		
DC Component	0,06027		
Fundamental	53,79 Peak (38,03 rms)		
<b>Orde</b>	<b>Frek</b>	<b>Sebelum filter</b>	<b>Setelah filter</b>
Fundamental	50 Hz	100 %	100 %
Orde – 2	100 Hz	0,00 %	5,40%
<b>Orde – 3</b>	<b>150 Hz</b>	<b>30,02 %</b>	<b>15,92%</b>

Orde – 4	200 Hz	0,00 %	4,43%
Orde – 5	250 Hz	15,02 %	6,76%
<b>Total Harmonic Distortion</b>		<b>33,59%</b>	<b>22,30 %</b>

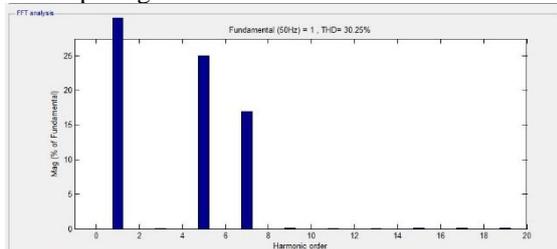
Percobaan menggunakan sinyal simulasi yang kedua menggunakan perintah  
 $x = \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t) + 0,25 \sin(2 \cdot \pi \cdot 250 \cdot t) + 0,17 \sin(2 \cdot \pi \cdot 350 \cdot t);$

Melalui fungsi di atas akan muncul gelombang terdistorsi dengan pada orde ke 5 dan 7 atau pada frekuensi ke 250 dan 350 dengan masing-masing nilai persentase masing-masing orde adalah 25% dan 17%. Hasil gelombang pada sinyal simulasi dapat dilihat pada gambar 9



Gambar 9: Bentuk gelombang sebelum pemasangan filter

Dan hasil analisis FFT yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10: Hasil analisis FFT sebelum pemasangan filter

Harmonisa yang paling tinggi terdapat pada orde ke 5 frekuensi 250, sehingga perlu dirancang filter yang dapat mereduksi harmonisa pada orde ke 5 dengan mengasumsikan nilai  $L = 1 \text{ mH}$ . Perancangan filter tersebut dapat dilihat seperti perhitungan berikut:

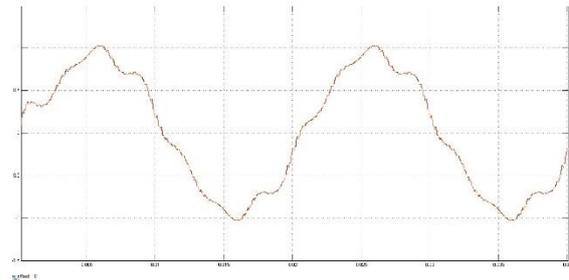
$$F = 250 \text{ Hz}$$

$$250 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Melalui perhitungan diatas akan di dapat nilai C sebesar:

$$C = 0,0004057$$

Dengan pemasangan filter tersebut maka akan didapat hasil gelombang seperti di tunjukan pada gambar 11.



Gambar 11 : Bentuk gelombang setelah pemasangan filter

Perbandingan hasil dari analisis FFT sebelum dan setelah pemasangan filter dapat ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2: perbandingan hasil FFT pada percobaan kedua

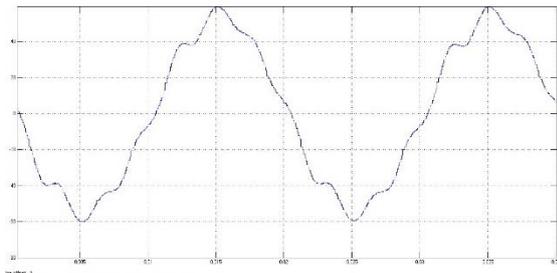
Sampling time	7,8125e-05 s		
Sampling per cycle	256		
DC Component	0,06027		
Fundamental	53,79 Peak (38,03 rms)		
Orde	Frek	Sebelum filter	Setelah filter
Fundamental	50 Hz	100 %	100%
Orde – 2	100 Hz	0,00 %	4,47%
Orde – 3	150 Hz	0,08 %	3,58%
Orde – 4	200 Hz	0,00 %	8,14%
<b>Orde – 5</b>	<b>250 Hz</b>	<b>24,97 %</b>	<b>8,14%</b>
Orde – 6	300 Hz	0,00%	2,46%
Orde – 7	350 Hz	19,99 %	9,49%
<b>Total Harmonic Distortion</b>		<b>30,25 %</b>	<b>15,05 %</b>

Dari kedua percobaan diatas terlihat bahwa ada penurunan pada orde yang di reduksi dan juga nilai THD arusnya.

#### b. Percobaan menggunakan sinyal Pengukuran

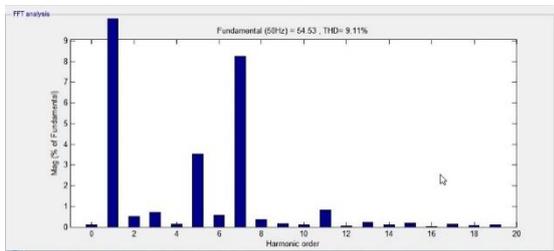
Percobaan berikutnya menggunakan sinyal pengukuran yang diambil melalui pengamatan pada lokasi Industri (dengan nilai puncak adalah 57,22 A). Data berasal dari bus 66 kV PCC (Point Of Couple) Umum ke fasilitas pabrik plastik, menggunakan instrumen Pengukuran Dranetz PQ, pada tanggal 9 Agustus 2012.

Arus sebelum filter terpasang dapat terlihat pada gambar 12.



Gambar 12: Arus pada percobaan menggunakan sinyal pengukuran sebelum filter

Dari gelombang arus yang di tunjukan pada gambar 8 terlihat kurang sinusoidal, jika diamati menggunakan analisis FFT akan terlihat seperti gambar 13.



Gambar 13: Hasil FFT sebelum pemasangan filter

Harmonisa yang paling tinggi terdapat pada orde ke 7, sehingga perlu dirancang filter yang dapat mereduksi harmonisa pada orde ke 7 dengan mengasumsikan nilai  $L = 1$  mH. Perancangan filter tersebut dapat dilihat seperti perhitungan berikut:

$$F = 350 \text{ Hz}$$

$$350 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Melalui Perhitungan diatas dapat di peroleh nilai C sebesar :

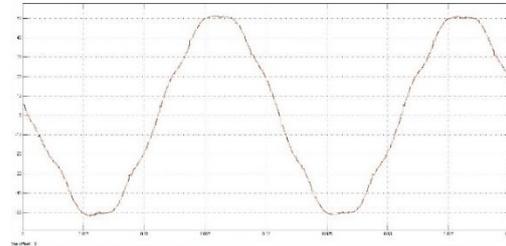
$$C = 0,00020699$$

Sehingga nilai dari rancangan filter dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3: Parameter Filter

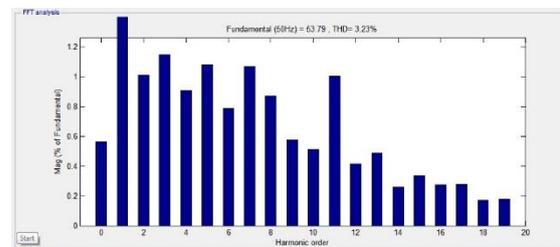
Nam a	Type	Ord e	V	C ( $\mu$ F)	L (H)	R ( $\Omega$ )
Filter Orde 7	Single Tuned	7	220	0,0002 0699	0,00 1	0,5

Dari perancangan filter yang telah dilakukan maka dilakukan pemasangan secara paralel dengan beban. Sehingga setelah dilakukan simulasi akan terlihat bentuk gelombang seperti pada gambar 14.



Gambar 14: Bentuk Gelombang setelah pemasangan filter

Hasil analisis FFT dari gelombang yang terdapat pada gambar 15:



Gambar 15: Hasil analisis FFT setelah pemasangan filter

Sehingga perbandingan nilai harmonisa dan nilai THD sebelum pemasangan Filter dan Setelah pemasangan filter dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Perbandingan hasil FFT sebelum dan setelah pemasangan filter

Sampling time	7,8125e-05 s		
Sampling per cycle	256		
DC Component	0,06027		
Fundamental	53,79 Peak (38,03 rms)		
Orde	Frek	Sebelum filter	Setelah filter
Fundamental	50 Hz	100 %	100 %
Orde – 2	100 Hz	0,50 %	1,01 %
Orde – 3	150 Hz	0,70 %	1,15 %
Orde – 4	200 Hz	0,12 %	0,91 %
Orde – 5	250 Hz	3,53 %	1,08 %
Orde – 6	300 Hz	0,56 %	0,79 %
<b>Orde – 7</b>	<b>350 Hz</b>	<b>8,25 %</b>	<b>1,07 %</b>
Orde – 8	400 Hz	0,37 %	0,87 %
Orde – 9	450 Hz	0,16 %	0,57 %
<b>Total Harmonic</b>		<b>9,11 %</b>	<b>3,23 %</b>

<i>Distortion</i>		
-------------------	--	--

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Percobaan dengan sinyal simulasi pertama menggunakan sinyal simulasi dengan amplitudo sebesar 30% pada frekuensi 150 Hz dan 15% pada frekuensi 250 Hz dan menghasilkan THD sebesar 33,59%. Setelah pemasangan filter maka akan terlihat penurunan nilai harmonisa pada orde 3 menjadi 15,92% dan pada orde ke 5 menjadi 6,76% sedangkan nilai THD menjadi 22,30%. Pada percobaan kedua diberikan sinyal simulasi dengan amplitudo sebesar 25% pada orde ke 5 dan 17% pada orde ke 7 dengan nilai THD sebesar 30,25%. Setelah pemasangan filter maka akan terlihat penurunan nilai harmonisa pada orde 5 menjadi 8,14% dan pada orde ke 7 menjadi 9,49% sedangkan nilai THD menjadi 15,05%.
2. Pada percobaan menggunakan sinyal/gelombang hasil pengukuran menggunakan Dranetz PQ, dimana hasil dari pengukuran menunjukkan tingkat harmonisa yang cukup besar terdapat pada orde ke-7, yaitu sebesar 8,25 %. Total Harmonic Distortion (THD) yang muncul sebesar 9,11%. Besar harmonisa pada orde ke-7 sudah melebihi batas standar yang ditetapkan IEC[10]. Sehingga perlu direduksi kandungan harmonisanya. Setelah dipasang filter, maka dilakukan simulasi kembali, dan hasilnya adalah harmonisa pada orde-7 mengalami penurunan sebesar 7,18% dari sebelum pemasangan filter adalah 8,25% dan setelah pemasangan filter nilai harmonisa menjadi 1,07% (mengalami penurunan), THD awal sebesar 9,11% dan setelah pemasangan filter menjadi 3,23% atau turun sebesar 5,88%. Perbandingan besar nilai harmonisa sebelum dan setelah pemasangan filter dapat dilihat dalam tabel 4.10.
3. Dari beberapa percobaan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa filter pasif yang telah dirancang menggunakan persamaan 2.10 dapat mereduksi kandungan harmonisa dengan baik. Sehingga, filter pasif tersebut dapat di gunakan untuk mereduksi harmonisa lain dan dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas daya listrik lainnya.

## SARAN

Saat ini harmonisa menjadi isu internasional, sehingga banyak dari negara-negara di belahan bumi ini melakukan upaya untuk menekan adanya harmonisa. Karena harmonisa yang melebihi standar yang ditetapkan dapat

menyebabkan menurunnya umur pakai suatu peralatan listrik.

Dari permasalahan tersebut, setiap pengguna listrik dituntut untuk mendapatkan nilai harmonisa sekecil mungkin. Hal itu semata-mata untuk menjaga peralatan-peralatan listrik agar memiliki masa pakai yang lebih lama lagi.

Di sisi lain, selain menggunakan cara diatas, dalam mengurangi kandungan harmonisa masih banyak metode yang bisa dilakukan. Sehingga hal ini masih membuka banyak peluang untuk peneliti lain dalam mendesain peralatan-peralatan untuk mengurangi kandungan harmonisa.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, H. W. Beaty, and S. Santoso, *Electrical power systems quality* vol. 2: mcgraw-Hill New York, 1996.
- [2] F. De La Rosa, *Harmonics and power systems*: CRC press Boca Raton, 2006.
- [3] Sutrisno, *Elektronika teori dan penerapannya edisi pertama*. Bandung: Institut Teknologi Bandung press, 1986.
- [4] J. W. Cooley and J. W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series," *Mathematics of computation*, vol. 19, pp. 297-301, 1965.
- [5] M. J. Afroni, D. Sutanto, and D. Stirling, "Analysis of nonstationary power-quality waveforms using iterative Hilbert Huang transform and SAX algorithm," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, pp. 2134-2144, 2013.
- [6] R. G. Lyons, *Understanding Digital Signal Processing, 3/E*: Pearson Education India, 2011.
- [7] S. Saleh, "Analisis Dan Perancangan Filter Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik Di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset Iv Field Cepu," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.
- [8] D. A. Paice, I. A. Society, I. o. Electrical, and E. Engineers, *Power electronic converter harmonics: multipulse methods for clean power*: IEEE press New York, 1996.
- [9] H. Prasetyo, "ANALISA PERANCANGAN FILTER PASIF UNTUK MEREDAM HARMONIK PADA INSTALASI BEBAN NONLINEAR," *TECHNO (Jurnal Fakultas Teknik)*, vol. 13, pp. 57-67, 2012.
- [10] A. Prudenzi, U. Grasselli, and R. Lamedica, "IEC Std. 61000-3-2 harmonic current emission limits in practical

systems: need of considering loading level and attenuation effects," in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2001*, 2001, pp. 277-282.