

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

Mohammad Sholikhoddin¹⁾, M. Jasa Afroni²⁾, Sugiono³⁾

21401053043

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang

Jl. MT Haryono 193-Dinoyo-Lowokwaru-Malang

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 keberapa 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 THDok 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, *Fast Fourier Transform*, Filter Pasif

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

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.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perhitungan harmonisa di dalam sebuah simulasi?
2. Bagaimana perancangan filter pasif untuk mengurangi kandungan harmonisa?
3. Sejauhmana pengaruh filter pasif terhadap kandungan nilai harmonisa?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian di lakukan dengan menggunakan software simulasi Matlab 2013b.
2. Analisis sinyal periodik menggunakan simulasi Matlab 2013b.
3. Filter yang di gunakan adalah filter pasif.
4. Analisis untuk mengetahui nilai kandungan harmonisa dan merencanakan filter untuk mengurangi harmonisa dengan simulasi Matlab 2013b.
5. Studi perancangan filter dilakukan pada harmonisa pada pengamatan gelombang arus.
6. Data gelombang dari hasil pengukuran pada industri pabrik plastik dengan menggunakan alat ukur Drannetz PQ Analyzer.

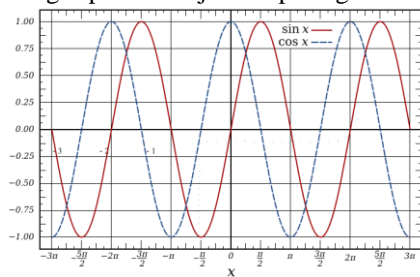
II. DASAR TEORI

1.1 Gelombang Sinusoidal

Gelombang sinus atau sinusoidal 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 ω . Sifat periodik gelombang sinusoidal dapat terlihat dengan jelas pada gambar 1. fungsi tersebut terulang setiap 2π radian[3].

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

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



Gambar 1: Gelombang Sinus
Sumber : wikipedia

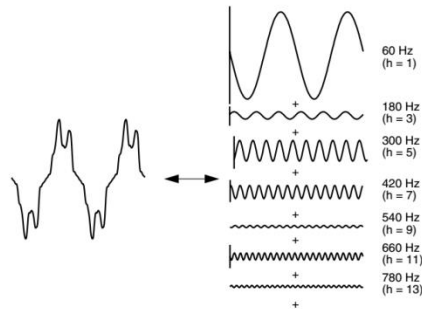
1.2 Kualitas Daya Listrik

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.

1.3 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
Sumber : Dugan C Roger

1.4 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.

1.5 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.

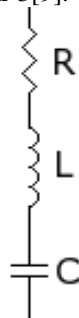
Perhitungan TDD dapat dilihat pada persamaan 4[8].

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

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.

1.6 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

Sumber : Buku elektronika Teori dan Penerapan

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 :

$$X_L = X_C$$

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

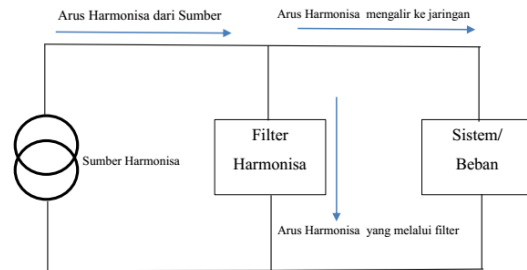
$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

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

Dari beberapa turunan diatas 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
Sumber : wikipedia

1.7 Matlab 2013b

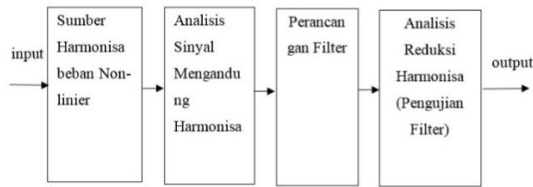
MATLAB (Matrix Laboratory) adalah sebuah program komputer untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan matlab juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika tingkat lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

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 modellings* sampai dengan *image processing*.

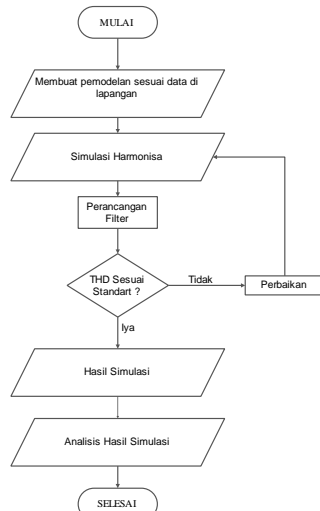
III. METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Blok Diagram



Gambar 5 : Blok Diagram
Sumber: Edraw

1.2 Diagram Alir Penyelesaian

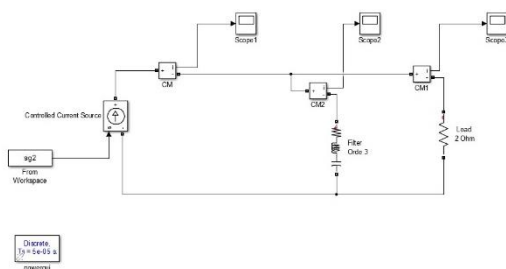


Gambar 6 : Diagra alir
Sumber: Edraw

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui sejauhmana 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 7.



Gambar 7: rangkaian pemodelan sistem
Sumber: Simulink

Untuk menganalisis harmonisa dan melihat sejauhmana kinerja filter dapat di gunakan *Controlled Current Source* atau sumber arus yang

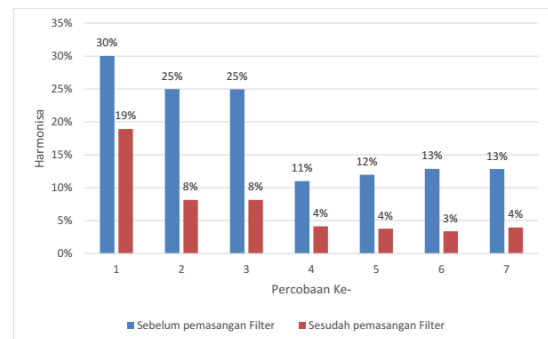
terkontrol. Dalam penelitian ini arus masukan sistem pada rangkaian gambar 5 menggunakan sinyal simulasi dan sinyal hasil pengukuran melalui pengamatan *Power Quality Analyzer*. Sinyal simulasi dibentuk dengan menggunakan kode matlab (mfile), sinyal hasil pengukuran berupa data berbentuk XLS yang dapat dibaca oleh matlab. Setelah itu hasil gelombang dapat dianalisis menggunakan *Tools FFT* pada matlab.

a. Percobaan menggunakan sinyal simulasi

Pada percobaan pertama menggunakan tujuh kali percobaan dengan memakai sinyal simulasi. Percobaan pertama tersebut perintah

$$x = \sin(2\pi f_1 t) + m_1 \sin(2\pi f_2 t) + m_2 \sin(2\pi f_3 t) + n \dots ;$$

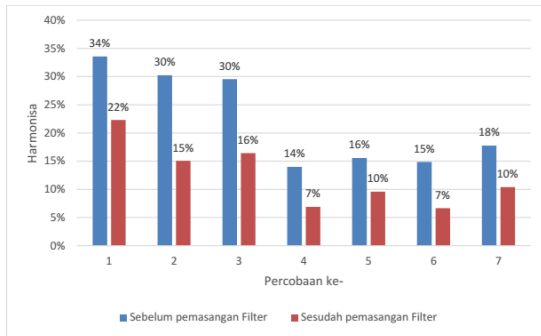
sehingga akan didapat sinyal-sinyal yang terkandung harmonisa pada frekuensi tertentu. Kandungan harmonisa pada frekuensi tersebut dapat dikurangi kandungan harmonisanya dengan perancangan filter menggunakan persamaan 5. Dari pemasangan filter tersebut maka akan didapatkan hasil penurunan seperti yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 8: Perbandingan penurunan IHD pada sinyal simulasi

Gambar 8 tersebut adalah perbandingan penurunan Individual Harmonic Distortion (IHD) pada frekuensi tertentu. Dapat dilihat dari percobaan pertama hingga ke tujuh filter dapat mereduksi IHD.

Gambar adalah perbandingan penurunan Total Harmonic Distortion (THD). Dimana THD adalah jumlah total dari seluruh frekuensi yang terkandung harmonisa. Pada Gambar terlihat dari percobaan pertama hingga percobaan ketujuh dapat mereduksi harmonisa pada sinyal simulasi yang telah dibuat.



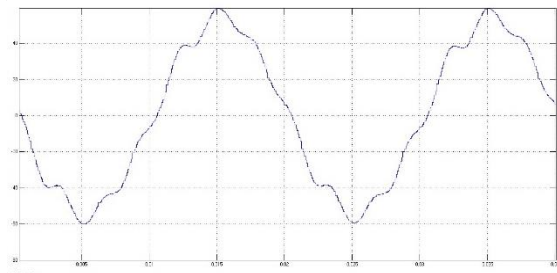
Gambar 9: Grafik Penurunan THD pada sinyal simulasi

Pada analisis dan perancangan filter untuk mengurangi kandungan harmonisa, dapat diketahui bahwa filter yang telah dibuat menggunakan persamaan 5 dapat mereduksi kandungan harmonisa terhadap sinyal simulasi yang telah dibuat. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan nilai IHD dan THD pada grafik yang terdapat pada Gambar 8 dan Gambar 9

b. Percobaan menggunakan sinyal Pengukuran

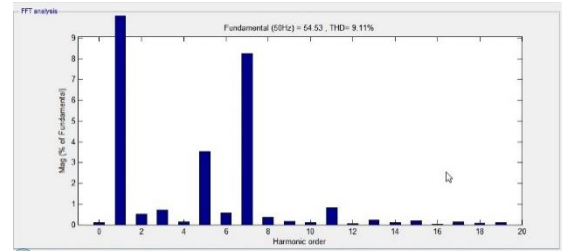
Percobaan berikutnya menggunakan sinyal pengukuran yang diambil melalui pengamatan pada lokasi Industri (dengan nilai puncak adalah 57,22 A). Data berasal dari bus 66 kV PCC (Point Of Couple) Umum ke fasilitas pabrik plastik, menggunakan instrumen Pengukuran Dranetz PQ, pada tanggal 9 Agustus 2012.

Arus sebelum filter terpasang dapat terlihat pada gambar 10.



Gambar 10: Arus pada percobaan menggunakan sinyal pengukuran sebelum filter
Sumber: Simulink

Dari gelombang arus yang di tunjukan pada gambar 10 terlihat kurang sinusoidal, jika diamati menggunakan analisis FFT akan terlihat seperti gambar 11.



Gambar 11: Hasil FFT sebelum pemasangan filter
Sumber: Simulink

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 :

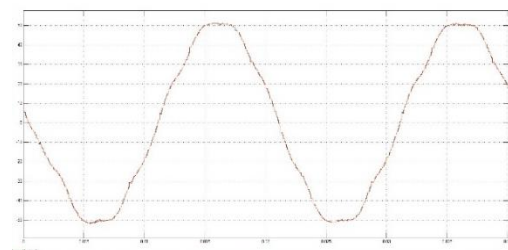
$$C = 0,00020699 \text{ F}$$

Sehingga nilai dari rancangan filter dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 1: Parameter Filter

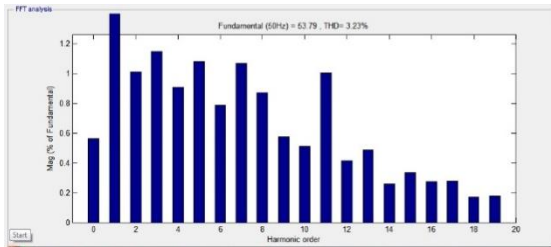
Nama	Tipe	Orde	V	C (µF)	L (H)	R (Ω)
Filter -Orde 7	Single -Tuned	7	220	0,00020699	0,001	0,5

Dari perancangan filter yang telah dilakukan maka dilakukan pemasangan secara paralel dengan beban. Sehingga setelah dilakukan simulasi akan terlihat bentuk gelombang seperti pada gambar 12.



Gambar 12: Bentuk Gelombang setelah pemasangan filter
Sumber: Simulink

Hasil analisis FFT dari gelombang yang terdapat pada gambar 13:



Gambar 13: Hasil analisis FFT setelah pemasangan Sumber: Simulink

Sehingga perbandingan nilai harmonisa dan nilai THD sebelum pemasangan Filter dan Setelah pemasangan filter dapat dilihat pada tabel 4. Dari percobaan yang telah di buat dapat diketahui bahwa filter yang dirancang menggunakan persamaan 5 dapat mengurangi kandungan harmonisa, baik itu nilai Individual Harmonic Distortion (IHD) maupun Total Harmonic Distortion (THD).

Tabel 2: 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 %
Orde – 7	350 Hz	8,25 %	1,07 %
Orde – 8	400 Hz	0,37 %	0,87 %
Orde – 9	450 Hz	0,16 %	0,57 %
Total Harmonic Distortion		9,11 %	3,23 %

V. KESIMPULAN

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

1. Pada percobaan menggunakan sinyal simulasi, dilakukan tujuh kali percobaan. Dari ketujuh percobaan tersebut dapat diketahui filter dapat

mereduksi kandungan harmonisa pada sinyal simulasi. Percobaan pertama terdapat penurunan nilai IHD sebesar 11,28% dan THD sebesar 11,29%, Percobaan kedua terdapat penurunan IHD sebesar 16,83% dan THD sebesar 15,2%, Percobaan ketiga terdapat penurunan IHD sebesar 16,81 % dan THD sebesar 13,14%, Percobaan keempat terdapat penurunan IHD sebesar 6,87% dan THD sebesar 7,1%, Percobaan kelima terdapat penurunan IHD sebesar 8,19% dan THD sebesar 5,96%, Percobaan keenam terdapat penurunan IHD sebesar 9,48% dan THD sebesar 8,21%, pada percobaan terakhir terdapat penurunan IHD sebesar 9,43% dan THD sebesar 7,38%. Hasil perbandingan penurunan IHD dan THD sebelum dan setelah pemasangan filter dapat dilihat pada grafik

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 dibelahan 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.

Disisi 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

- 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.
- 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.
- F. De La Rosa, *Harmonics and power systems*: CRC press Boca Raton, 2006.
- H. Prasetijo, "ANALISA PERANCANGAN FILTER PASIF UNTUK MEREDAM HARMONIK PADA INSTALASI BEBAN NONLINEAR," *TECHNO (Jurnal Fakultas Teknik)*, vol. 13, pp. 57-67, 2012.
- 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.
- 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.
- R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, H. W. Beaty, and S. Santoso, *Electrical power systems quality* vol. 2: mcgraw-Hill New York, 1996.
- R. G. Lyons, *Understanding Digital Signal Processing, 3/E*: Pearson Education India, 2011.
- 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.
- Sutrisno, *Elektronika teori dan penerapannya edisi pertama*. Bandung: Institut Tekhnologi Bandung press, 1986.