

PENEMPATAN FILTER PASIF PARALEL UNTUK MEREDUKSI HARMONISA TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIKA

Pramudya Nur Perdana^{*)}, Mochammad Facta, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : pramudya.np@gmail.com

Abstrak

Harmonisa merupakan salah satu fenomena kelistrikan yang dapat diketahui ketika gelombang tegangan dan arus tidak berbentuk sinusoidal murni. Salah satu cara untuk mengurangi kandungan harmonisa adalah dengan menggunakan filter pasif paralel. Namun penggunaan filter ini terkendala pada penentuan lokasinya yang tepat pada jaringan listrik agar kandungan harmonisa dapat ditekan seminimal mungkin. Tugas akhir ini mengusulkan penentuan lokasi filter pasif paralel secara optimal dengan menggunakan algoritma genetika. Pada penelitian ini, metode algoritma genetika diprogram dengan Software MATLAB 7.6.0 (R2008a). Jaringan yang akan diuji adalah jaringan distribusi IEEE 18 bus, 33 bus dan jaringan PT Chandra Asri Petrochemical, tbk. Dari hasil percobaan diperoleh bahwa peletakan filter paling optimum pada jaringan distribusi IEEE 18 bus adalah pada bus 5 dan bus 6, sehingga diperoleh nilai THD tegangan terbesar sebesar 0,8149 %. Pada jaringan distribusi IEEE 33 bus, lokasi filter 1 adalah pada bus 7 dan lokasi filter 2 adalah pada bus 13 dengan nilai THD tegangan terbesar sebesar 4,2756 %. Pada jaringan PT Chandra Asri Petrochemical, tbk, lokasi filter 1 adalah pada bus 4 dan lokasi filter 2 adalah pada bus 7 dengan nilai THD tegangan terbesar sebesar 16,2697 %.

Kata kunci : Hamonisa, Filter Pasif Paralel, Algoritma Genetika.

Abstract

Harmonics is an electrical phenomena which is known when voltage and current waveform aren't pure sinusoidal. One way to reduce the absence of harmonics in power systems is the use of shunt passive filter. However, the use of typical filter faces difficulties to final the best location in power system lines to reduce harmonics up to minimum level. This final assignment proposes the optimal determination of shunt passive filter location based on genetic algorithm. In this work, genetic algorithm method is programmed by using MATLAB 7.6.0 (R2008a) software. The tested network are IEEE 18, 33 bus distribution system and PT Chandra Asri Petrochemical electrical system. From the experimental results, it's found that the optimum filter location on 18 bus IEEE distribution system is on bus 5 and bus 6 with the biggest voltage THD among busses is 0,8149 %. On 33 bus IEEE distribution system, the first filter location is on bus 7 and the second one is on bus 13 with the biggest voltage THD among busses is 4,2756 %. On PT Chandra Asri Petrochemical, the first filter location is on bus 4 and the second one is on bus 7 with the biggest voltage THD is 16,2697 %.

Keyword : Harmonics, Shunt Passive Filter, Genetic Algorithm.

1. Pendahuluan

Di era saat ini, penggunaan peralatan elektronika daya oleh masyarakat semakin lama semakin meningkat. Meningkatnya peralatan elektronika daya ternyata menimbulkan permasalahan baru pada kualitas energi listrik, yaitu terjadinya distorsi bentuk gelombang tegangan atau arus karena munculnya harmonisa. Harmonisa adalah tegangan atau arus yang berbentuk

sinusoida dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamentalnya.^[1]

Untuk mencegah efek yang tidak diinginkan akibat adanya harmonisa, maka dapat diatasi dengan menggunakan filter harmonisa. Filter yang digunakan untuk mengkompensasi harmonisa ada berbagai jenis. Salah satunya adalah filter pasif paralel. Jika dibandingkan dengan jenis filter pasif lain, seperti filter pasif seri atau campuran, filter pasif paralel bekerja pada

arus yang rendah, sehingga dimensi lebih kecil dan harga lebih murah.

Penempatan filter pasif paralel pada suatu sistem tenaga listrik, tidak selalu lebih baik diletakkan di bus yang terdapat beban non-linier. Penempatan filter harmonisa dapat dicari lokasi optimalnya sehingga dapat menurunkan kandungan harmonisa seminimal mungkin. Untuk menentukan lokasi yang optimal untuk peletakan filter harmonisa dapat digunakan metode optimasi algoritma genetika.

Pada penelitian ini, disimulasikan jaringan distribusi IEEE 18 bus, 33 bus dan jaringan PT Chandra Asri Petrochemical, tbk dengan menggunakan software Simulink MATLAB 7.6.0 (R2008a). Pada ketiga jaringan tersebut terdapat penyearah tiga fasa yang merupakan sumber harmonisa orde 5 dan 7.

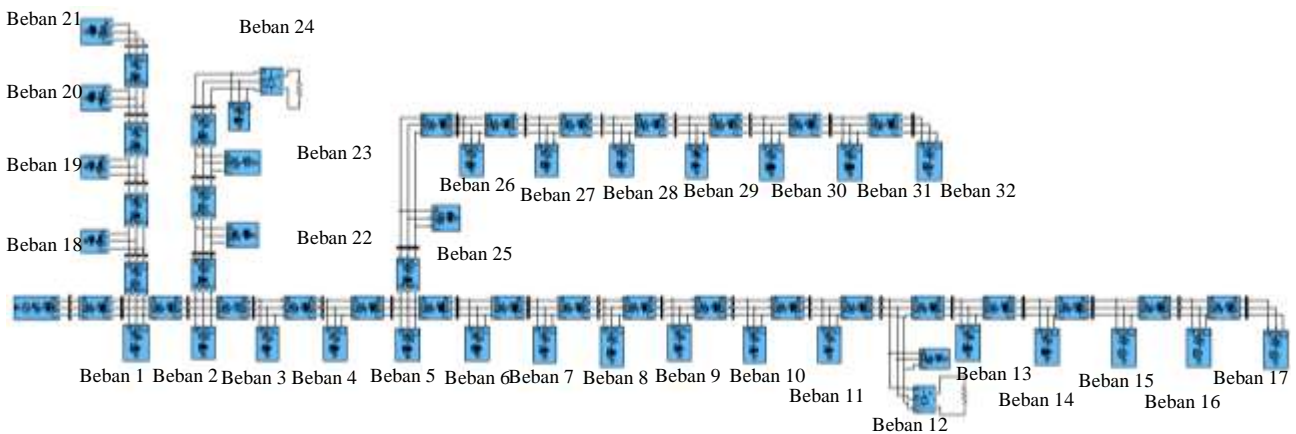
2. Metode

2.1 Pembuatan Program Simulasi

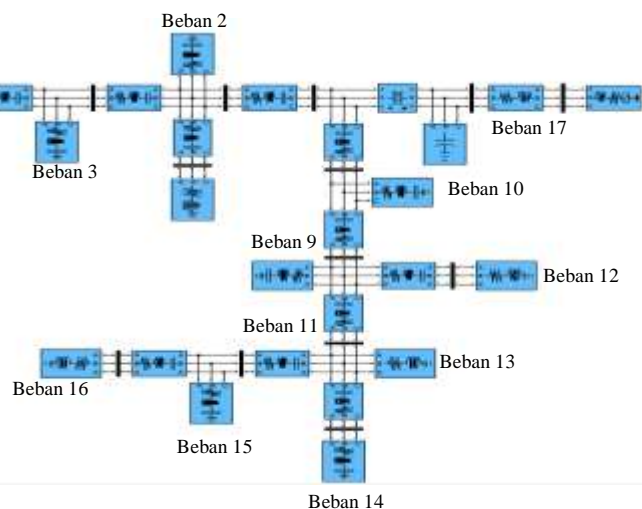
Perancangan program simulasi pada tugas akhir ini menggunakan software MATLAB 7.6.0 (R2008a) dengan metode algoritma genetika. Program simulasi ini dirancang dalam 3 tahap yaitu perancangan jaringan simulink untuk 3 studi kasus, perancangan senarai program algoritma genetika dan perancangan grafis antarmuka atau *Graphic User Interface* (GUI).

2.1.1 Perancangan Jaringan Simulink

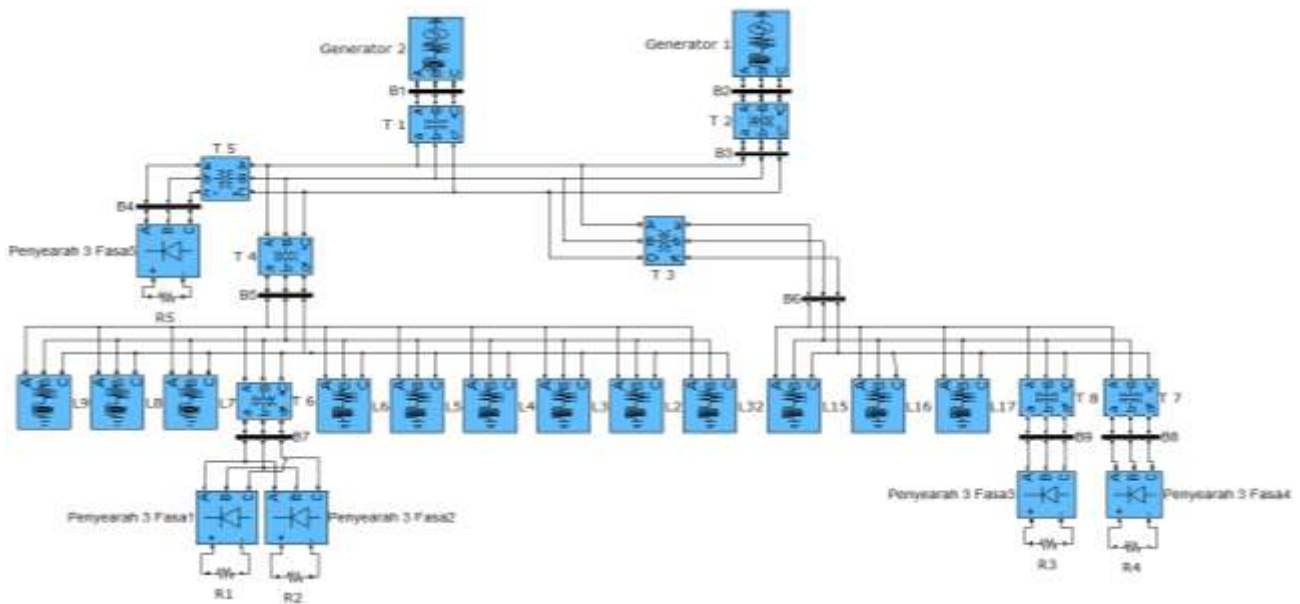
Pada tahap ini dilakukan pembuatan jaringan pada simulink. Terdapat 3 jaringan studi kasus yang dirancang, yaitu jaringan distribusi IEEE 33 bus^{[2], [3]} (studi kasus 1), jaringan distribusi IEEE 18 bus^{[2], [4]} (studi kasus 2) dan jaringan PT Chandra Asri Petrochemical, tbk^[5] (studi kasus 3). Gambar 1. hingga 3. adalah hasil perancangan simulink untuk ketiga jaringan studi kasus.



Gambar 1. Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus



Gambar 2. Jaringan Distribusi IEEE 18 Bus



Gambar 3. Jaringan PT Chandra Asri Petrochemical, tbk

Pada penelitian ini, variabel yang dicari adalah lokasi filter saja. Untuk jenis filter, orde harmonisa yang ditapis dan kapasitas filter tetap. Jenis filter yang digunakan adalah filter pasif paralel, harmonisa yang ditapis adalah orde 5 dan 7, kapasitas filter dicari dengan menggunakan Persamaan 1.

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF_0}\right]^2 - P_1^2} - \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF_1}\right]^2 - P_1^2} \quad (1)$$

2.1.2 Perancangan Senarai Algoritma Genetika

Pada tahap ini dilakukan pembuatan senarai algoritma genetika pada m-file MATLAB. Parameter-parameter yang digunakan dalam algoritma genetika dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Algoritma Genetika

Parameter GA	Nilai
Jumlah Generasi	10
Jumlah Individu	20
Jumlah Variabel	2
Gen Tiap Variabel	8
Probabilitas Pindah Silang	0,9
Probabilitas Mutasi	0,0625

Parameter-parameter yang terdapat pada Tabel 1, didapatkan dari percobaan mengubah-ubah (*trial error*) variasi parameter tersebut.

Tahapan kerja dari senarai algoritma genetika adalah sebagai berikut.

1. Inisialisasi populasi. Membangkitkan matriks bilangan biner. Baris merupakan jumlah individu dan kolom merupakan jumlah gen.

2. Dekodekan kromosom. Mengubah bilangan biner hasil inisialisasi populasi menjadi lokasi filter pertama dan kedua.
3. Evaluasi individu. Menghitung nilai *fitness* dari lokasi filter yang telah ditentukan oleh dekodekan kromosom. Fungsi objektif untuk menghitung nilai *fitness* adalah

$$F = \frac{1}{\max_{i \in N_b} \left(\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} |v_i^{(h)}|^2}}{|v_i^{(1)}|} \right)} \times 100 \quad (2)$$

4. *Linier fitness ranking*. Mengurutkan individu-individu dari yang nilai *fitness*-nya terkecil hingga terbesar.
5. *Roulette wheel*. Memilih 2 individu untuk dijadikan individu ayah dan ibu.
6. Pindah silang. Menghasilkan individu anak dari individu ayah dan ibu.
7. Mutasi. Menghasilkan individu baru setelah terjadi pergantian gen.

2.1.3 Perancangan Grafis Antarmuka (GUI)

Pada tahap ini dilakukan pembuatan GUI dengan GUIDE MATLAB. Gambar 4. hingga 8. merupakan hasil perancangan GUI.



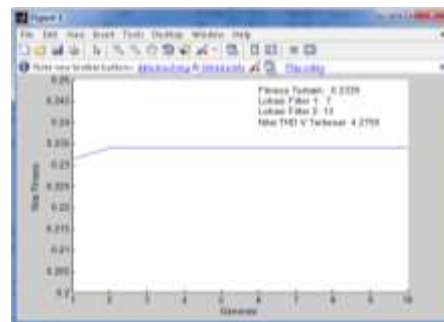
Gambar 4. Halaman Awal GUI



Gambar 7. Halaman Hasil Pengukuran



Gambar 5. Halaman Dua GUI



Gambar 8. Kurva Hasil Algoritma Genetika

3. Hasil dan Analisis

Pada jaringan studi kasus 1, dianalisis 3 kondisi jaringan, yaitu jaringan sebelum dipasang filter (kondisi 1), jaringan dipasang filter pada bus yang terdapat beban non-linier (kondisi 2) dan jaringan dipasang filter pada bus yang ditentukan oleh algoritma genetika (kondisi 3). Pada jaringan studi kasus 2 dan 3, dianalisis 2 kondisi jaringan, yaitu jaringan sebelum dipasang filter (kondisi 1) dan jaringan dipasang filter pada bus yang ditentukan oleh algoritma genetika (kondisi 2).

3.1 Hasil Algoritma Genetika

Setelah melakukan *running* program yaitu dengan menekan tombol "Run GA", maka didapatkan bahwa lokasi penempatan optimal untuk filter 1 dan filter 2 untuk seluruh jaringan studi kasus. Tabel 2. Akan menampilkan lokasi filter yang telah ditentukan oleh algoritma genetika.

Tabel 2. Hasil Algoritma Genetika

No.	Jaringan	Lokasi Filter 1	Lokasi Filter 2
1.	Studi Kasus 1	7	13
2.	Studi Kasus 2	5	6
3.	Studi Kasus 3	4	7

3.2 Studi Kasus 1 (Jaringan IEEE 33 bus)

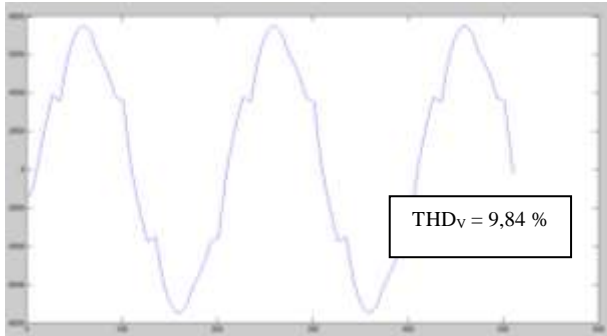
Pada subbab ini akan ditampilkan perbandingan bentuk gelombang, THD tegangan dan kinerja filter serta analisis dari masing-masing perbandingan.



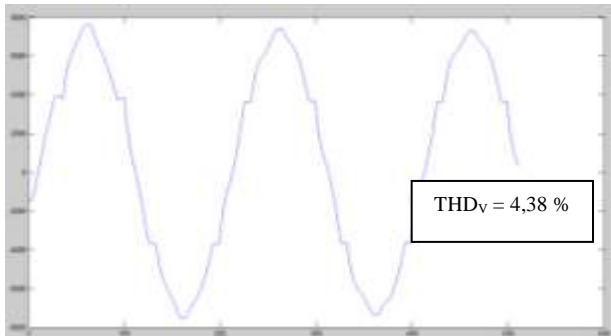
Gambar 6. Halaman Data Jaringan

3.2.1 Perbandingan Bentuk Gelombang di bus 12

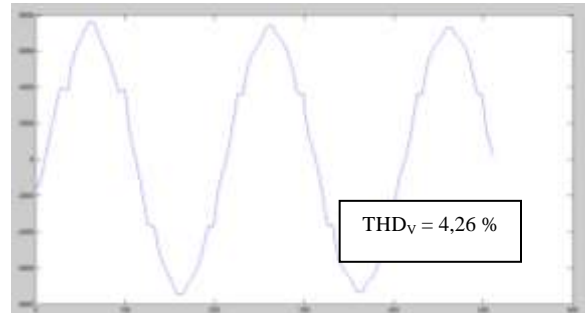
Pada subbab ini akan dibahas perbedaan antara gelombang tegangan pada bus 12 fasa A untuk kondisi 1, 2 dan 3.



Gambar 8. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 1



Gambar 9. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 2



Gambar 10. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 3

Berdasarkan Gambar 8. hingga 10. dapat diketahui bahwa bentuk gelombang pada kondisi 2 dan 3 lebih baik daripada kondisi 1. Hal ini dikarenakan pada kondisi 2 dan 3, jaringan telah dipasang filter sehingga bentuk gelombang lebih mendekati sinus.

3.2.2 Perbandingan THD Tegangan

Pada subbab ini akan dibahas perbedaan antara gelombang tegangan pada bus 12 fasa A untuk kondisi 1, 2 dan 3.

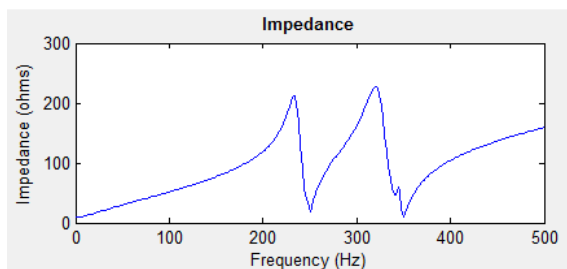
Tabel 3. Perbandingan THD Tegangan Kondisi 1, 2 dan 3 Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus

Bus	Rata-Rata THD V (%)			Bus	Rata-Rata THD V (%)		
	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3
1	7,20	3,16	3,37	17	9,78	4,34	4,18
2	7,44	3,26	3,48	18	7,20	3,16	3,37
3	7,53	3,30	3,50	19	7,18	3,15	3,36
4	7,63	3,35	3,51	20	7,18	3,15	3,36
5	7,93	3,48	3,56	21	7,18	3,15	3,36
6	8,18	3,60	3,61	22	7,58	3,32	3,60
7	8,32	3,66	3,65	23	7,89	3,46	3,86
8	8,70	3,84	3,80	24	8,22	3,61	4,14
9	9,09	4,02	3,96	25	7,93	3,48	3,56
10	9,13	4,04	3,98	26	7,93	3,48	3,56
11	9,21	4,08	4,01	27	7,92	3,48	3,55
12	9,84	4,38	4,26	28	7,91	3,47	3,55
13	9,82	4,37	4,20	29	7,92	3,47	3,55
14	9,81	4,36	4,19	30	7,90	3,47	3,54
15	9,80	4,36	4,19	31	7,89	3,46	3,54
16	9,78	4,34	4,18	32	7,89	3,46	3,54

Berdasarkan Tabel 3., dapat diketahui bahwa telah terjadi penurunan THD tegangan setelah dilakukan pemasangan filter pasif paralel pada jaringan. Sebelum dipasang filter pasif paralel, THD tegangan diatas standar IEEE 519-1992, yaitu 5 % [6], sedangkan setelah dipasang filter pasif paralel (kondisi 2 dan 3), THD tegangan dibawah 5 %. Sehingga dapat dikatakan aman.

Jika dibandingkan antara kondisi 2 dan kondisi 3, maka dapat diketahui bahwa dengan mengacu pada fungsi objektif pada persamaan 1, kondisi 3 memiliki nilai *fitness* yang lebih tinggi karena maksimal THD tegangan yang terukur lebih kecil daripada kondisi 2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi 3 merupakan lokasi optimal untuk dipasang filter pasif paralel pada jaringan.

3.2.3 Kurva Hubungan Impedansi dan Frekuensi



Gambar 11. Kurva Hubungan Impedansi dan Frekuensi

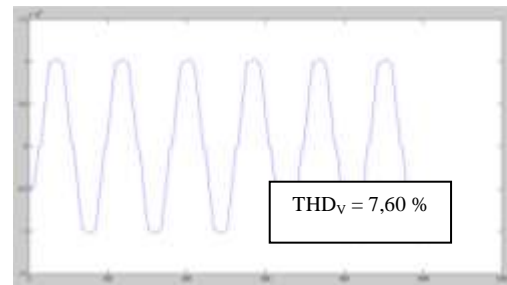
Kurva hubungan impedansi dan frekuensi digunakan untuk mengetahui karakteristik kinerja dari filter dalam mentapis harmonisa. Berdasarkan Gambar 11., dapat diketahui bahwa ketika filter menerima harmonisa dengan frekuensi mendekati frekuensi tapis, dalam penelitian ini 250 Hz dan 350 Hz, maka impedansi filter semakin kecil sehingga harmonisa tersebut mudah mengalir menuju pembumian.

3.3 Studi Kasus 2 (Jaringan IEEE 18 bus)

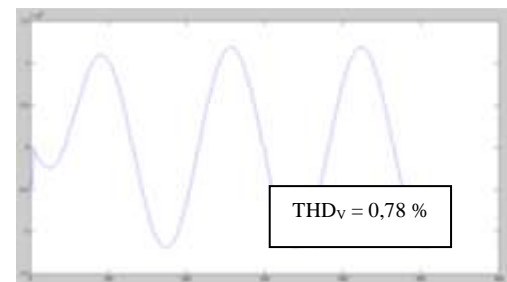
Pada subbab ini akan ditampilkan perbandingan bentuk gelombang dan THD tegangan serta analisis dari masing-masing perbandingan.

3.3.1 Perbandingan Bentuk Gelombang di bus 12

Pada subbab ini akan dibahas perbedaan antara gelombang tegangan pada bus 5 fasa A untuk kondisi 1 dan 2.



Gambar 12. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 1



Gambar 13. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 2

Berdasarkan Gambar 12. dan 13. dapat diketahui bahwa bentuk gelombang pada kondisi 2 lebih baik daripada kondisi 1. Hal ini dikarenakan pada kondisi 2, jaringan telah dipasang filter pasif paralel, sehingga bentuk gelombang mendekati sinus murni.

3.3.2 Perbandingan THD Tegangan

Pada subbab ini akan dibahas perbedaan antara gelombang tegangan pada bus 5 fasa A untuk kondisi 1, 2 dan 3.

Tabel 4. Perbandingan THD Tegangan Kondisi 1 dan 2 Jaringan Distribusi IEEE 18 Bus

Bus	THD _v Rata-Rata (%)	
	Kondisi 1	Kondisi 2
1	3,954	0,288
2	4,184	0,323
3	5,013	0,450
4	5,268	0,489
5	7,595	0,789
6	7,534	0,576
7	7,288	0,559
8	7,258	0,556
9	4,169	0,322
13	1,881	0,228
14	1,566	0,192
15	1,778	0,191
16	1,774	0,140
17	3,739	0,118
18	3,734	0,133

Berdasarkan Tabel 4., dapat diketahui bahwa telah terjadi penurunan THD tegangan setelah dilakukan pemasangan filter pasif paralel pada jaringan. Sebelum dipasang filter pasif paralel, THD tegangan pada beberapa bus diatas 5

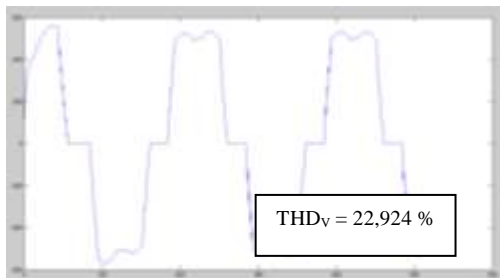
%, bus tersebut adalah bus 3 hingga bus 8. Setelah dipasang filter pasif paralel (kondisi 2), THD tegangan seluruh bus dibawah 5 %. Sehingga dapat dikatakan aman.

3.4 Studi Kasus 3 (Jaringan PT Chandra Asri P.)

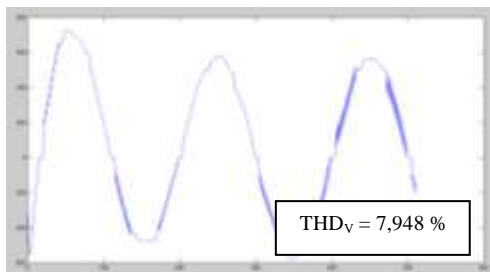
Pada subbab ini akan ditampilkan perbandingan bentuk gelombang dan THD tegangan serta analisis dari masing-masing perbandingan.

3.4.1 Perbandingan Bentuk Gelombang di Bus 12

Pada subbab ini akan dibahas perbedaan antara gelombang tegangan pada bus 7 fasa A untuk kondisi 1 dan 2.



Gambar 14. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 1



Gambar 15. Gelombang Tegangan untuk Kondisi 2

Berdasarkan Gambar 14. dan 15. dapat diketahui bahwa bentuk gelombang pada kondisi 2 lebih baik daripada kondisi 1. Hal ini dikarenakan pada kondisi 2, jaringan telah dipasang filter pasif paralel, sehingga bentuk gelombang mendekati sinus murni.

3.4.2 Perbandingan THD Tegangan

Pada subbab ini akan dibahas perbedaan antara gelombang tegangan pada bus 7 fasa A untuk kondisi 1, 2 dan 3.

Tabel 5. Perbandingan THD Tegangan Kondisi 1 dan 2 Jaringan PT Chandra Asri Petrochemical, tbk

Bus	THD _v Rata-Rata (%)	
	Kondisi 1	Kondisi 2
1	0,010	0,003
2	0,001	0,001

Bus	THD _v Rata-Rata (%)	
	Kondisi 1	Kondisi 2
3	0,008	0,002
4	17,260	8,185
5	0,142	0,020
6	0,104	0,094
7	22,924	7,948
8	13,611	13,613
9	16,145	16,143

Berdasarkan Tabel 5. dapat diketahui bahwa telah terjadi penurunan THD tegangan setelah dilakukan pemasangan filter pasif paralel pada jaringan. Namun penurunan yang signifikan hanya terjadi pada bus 4 dan 7. Bus tersebut merupakan bus dipasangnya filter pasif paralel. Selain itu, pada bus lain terjadi sedikit penurunan THD tegangan, karena pada jaringan tersebut terdapat transformator yang memiliki kopling magnetik, sehingga ketika terdapat filter harmonisa pada sisi sekunder, maka hanya harmonisa pada sisi sekunder saja yang akan ditapis. Sedangkan harmonisa pada sisi primer tidak terlalu besar ditapis, sehingga penempatan filter harmonisa pada jaringan yang terdapat transformator tidak terlalu mempengaruhi penurunan harmonisa pada sistem secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada analisis yang dilakukan, dapat diketahui bahwa lokasi filter 1 yang optimum untuk jaringan studi kasus 1 adalah bus 7 dan lokasi filter 2 adalah bus 13. Untuk jaringan studi kasus 2, lokasi filter 1 yang dipilih adalah pada bus 5 dan lokasi filter 2 adalah pada bus 6. Untuk jaringan studi kasus 3, lokasi filter 1 berada di bus 4 dan lokasi filter 2 adalah bus 7.

Pada kondisi 2 dan 3 studi kasus 1, mengalami penurunan hingga dibawah standar IEEE 519-1992, yaitu 5 % dengan nilai THD_v terbesar dari 9,84 % pada kondisi 1 menjadi 4,38 % pada kondisi 2 dan 4,26 % pada kondisi 3. Jika dibandingkan antara kondisi 2 dan kondisi 3, dapat disimpulkan bahwa kondisi 3 merupakan kondisi yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi 2, karena kondisi ini memiliki nilai *fitness* yang lebih tinggi, yaitu 0,2347.

Pada studi kasus 2 kondisi 2, setelah dilakukan pemasangan filter pasif paralel, THD_v pada seluruh bus mengalami penurunan hingga dibawah standar IEEE 519-1992, yaitu 5 % dengan THD_v terbesar dari 7,595 % pada kondisi 1 menjadi 0,789 %

Pada studi kasus 3 kondisi 2, setelah dilakukan pemasangan filter pasif paralel (kondisi 2), beberapa bus masih memiliki nilai THD_v diatas standar IEEE 519-1992, yaitu 5 % dengan THD_v terbesar dari 22,924 % pada kondisi 1 menjadi 7,948 % pada kondisi 2. Hal ini dikarenakan filter hanya bekerja pada satu sisi transformator saja. Keberadaan kopling magnetik pada transformator mempengaruhi kerja filter dalam menghilangkan harmonisa di sisi lain transformator

tersebut. Jika pada sisi lain transformator terdapat harmonisa, maka filter tidak akan bekerja menghilangkan harmonisa.

Referensi

- [1] Agung Nugroho. Harmonisa Arus Mesin Induksi. *Jurnal Transmisi*. 2004; 8(2) : 7-10.
- [2] Pandi, V. Ravikurnar, H. H. Zeineldin, Weidong Xiao. Passive Harmonic Filter Planning to Overcome Power Quality Issues in Radial Distribution Systems. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*. 2012; - : 1-6.
- [3] Baran, Mesut E., Felix F. Wu. Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1989; 4(2) : 1401-1407.
- [4] Grady, W. M., dkk. Application of Network Objective Functions for Actively Minimizing the Impact of Voltage Harmonics in Power Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1992; 7(3): 1379 – 1386.
- [5] Abdurrahman Ghifari. Studi Harmonisa Pengaruh Pemasangan Kapasitor Bank pada Sistem Kelistrikan PT. Chandra Asri Petrochemical, tbk. Skripsi. Semarang : Sarjana Universitas Diponegoro; 2013.
- [6] IEEE Industry Application Society. 519-1992. *IEEE Recommended Pactive and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. New York : IEEE; 1993.