

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FILTER PASIF DAN FILTER AKTIF UNTUK MENANGGULANGI THD PADA SISTEM KELISTRIKAN DI RUANG PUSKOM JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS UDAYANA

I Wayan Rinas

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361, Tlp (0361)703315
Email: rinas@ee.unud.ac.id

Abstrak

Beban-beban nonlinear yang terpasang pada sistem tenaga listrik akan menyebabkan terjadinya distorsi harmonisa. Distorsi harmonisa pada bentuk gelombang tegangan dan arus dapat mengakibatkan kondisi tidak normal pada sistem kelistrikannya, seperti beban-beban yang dioperasikan di Lab Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana memiliki kandungan harmonisa yang tidak sesuai dengan standar yang berlaku. Akibat yang dapat ditimbulkan dari kandungan THD (*Total Harmonics Distortion*) arus yang berlebih dapat mengganggu peralatan elektronik yang bersifat sensitif, pemanasan berlebih, mengurangi umur kerja peralatan dan meningkatkan rugi-rugi daya. Untuk mengatasi masalah harmonisa ini akan disimulasikan pengoperasian filter aktif shunt dan filter pasif shunt yang bertujuan untuk meredam harmonisa yang muncul. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi penggunaan filter aktif dan pasif dengan menggunakan software simulink MATLAB 7.0.4, pengelompokkan jenis beban nonlinear, perhitungan daya aktif (P) dan arus beban (IL), simulasi pada sistem sebelum dan sesudah penggunaan filter aktif dan pasif, analisa perbandingan antara filter aktif dan filter pasif, analisis daya distorsi (D), dan analisis THD hasil simulasi sesuai dengan IEEE 152-1992. Hasil analisis menunjukkan pemasangan filter aktif menyebabkan terjadi penurunan kandungan THD arus yang lebih signifikan dibandingkan dengan filter pasif. Kandungan THD arus setelah pemasangan filter telah sesuai dengan IEEE 152-1992. Distorsi daya yang disebabkan oleh harmonisa pada sistem akan mengalami penurunan dan terjadi peningkatan faktor daya yang mendekati *unity power factor* pada *feeder*

Kata kunci : Harmonisa, filter aktif, dan filter pasif

1. PENDAHULUAN

Penggunaan alat-alat elektronika daya yang banyak di Fakultas Teknik Universitas Udayana, khususnya di lingkungan Kampus Teknik Elektro, seperti penggunaan komputer, LCD, AC (air conditioner), peralatan-peralatan laboratorium dsb dapat menimbulkan distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan yang dioperasikan. Harmonisa ini merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linear. Penggunaan jenis beban ini secara langsung akan mempengaruhi kualitas daya listrik karena arus pada beban non linier tidak berbentuk gelombang sinusoidal murni.

2. TINJAUAN PUSTAKA

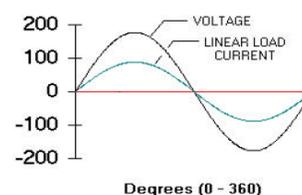
2.1 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronik dalam jumlah besar dalam selang waktu kira-kira duapuluh tahun terakhir telah menimbulkan masalah yang tidak dipikirkan sebelumnya. Berbeda dengan beban-beban listrik yang menarik arus sinusoidal (sebenutuk dengan tegangan yang menyuplainya), beban-beban elektronik menarik arus dengan bentuk nonsinusoidal, walaupun disuplai dari sumber tegangan sinusoidal. Beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban nonlinier.

Arus yang tidak berbentuk sinusoidal tersebut mengintrodukir komponen arus frekuensi tinggi yang terinjeksi ke jala-jala, yang dikenal dengan nama arus harmonisa. Arus harmonisa ini dapat menimbulkan banyak implikasi negatif, baik bagi pelanggan maupun *power provider*. Kerugian akibat harmonisa mencakup aspek teknis, biaya dan keandalan.

2.1.1 Beban linier

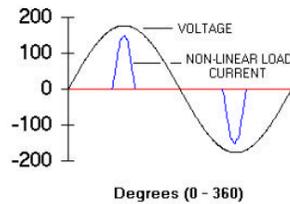
Beban linier adalah beban yang komponen arusnya proporsional terhadap tegangannya. Terdapat hubungan yang linier antara arus dan tegangan sehingga bentuk gelombang arus akan sama dengan bentuk gelombang tegangannya, seperti terlihat pada gambar 1. Beban linier menyerap arus sinusoidal bila disuplai oleh tegangan sinusoidal.



Gambar 1. Beban Linier

2.1.2 Beban nonlinier

Beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sama dengan bentuk gelombang tegangannya. Tidak terdapat hubungan yang linier antara arus dan tegangan. Beban nonlinier akan menyerap arus non-sinusoidal demikian juga arus harmonik, walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal. Seperti gambar di bawah ini



Gambar 2. Beban Non-linier

2.1.3 Deret Fourier

Gelombang periodik yang memiliki bentuk $f(t) = f(t + T)$ dapat dinyatakan sebagai deret Fourier bila memenuhi persyaratan :

1. Bila gelombang diskontinu, hanya terdapat jumlah diskontinuitas yang terbatas dalam periode T.
2. Gelombang memiliki nilai rata-rata yang terbatas dalam periode T.
3. Gelombang memiliki jumlah maksimum dan minimum yang terbatas dalam periode T.

Bila syarat-syarat tersebut dipenuhi, deret Fourier dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \dots (1)$$

Secara umum, tegangan dan arus dapat dinyatakan dalam deret Fourier sebagai :

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos(h\omega_o + \phi_h) \dots (2)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} b_h \cos(h\omega_o + \theta_h)$$

dengan :

$$a_o = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cosh \omega t dt \dots (3)$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sinh \omega t dt \dots (4)$$

dimana h adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 1, 2, 3, dan seterusnya.

Kasus pada sistem tenaga listrik, umumnya orde yang dominan adalah orde ganjil saja (1,3,5, dst.). Orde h=1 menyatakan komponen dasar atau fundamental dari gelombang. Suku a_0 menyatakan komponen dc atau nilai rata-rata dari gelombang, yang umumnya komponen ini tidak muncul dalam jaringan sistem arus bolak-balik. Bila gelombang arus atau tegangan berbentuk sinusoidal sempurna, maka orde h=1 saja yang ada. Gelombang yang cacat (terdistorsi) memiliki koefisien-koefisien dengan indeks h. Amplituda harmonisa biasa dinyatakan sebagai :

$$c_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \quad , \quad h \geq 1 \dots (5)$$

Nilai-nilai c sebagai fungsi h seringkali digambarkan dalam suatu *barchart* dan dikenal dengan ‘spektrum frekuensi’ gelombang. Tingkat kecacatan seringkali dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion* (THD), yang dinyatakan sebagai berikut (pada contoh ini misalkan untuk arus) :

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_1} \times 100 \dots (6)$$

dimana :

THD_i = Total Harmonic Distortion arus

I_{rms} = Arus rms

I = arus

Dengan I_{rms} dapat dinyatakan dengan identitas Parseval :

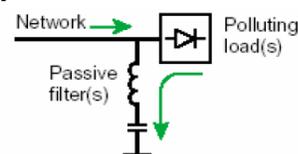
$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \dots (7)$$

I_{rms} = Arus rms

I_h = Arus pada harmonisa ke- k

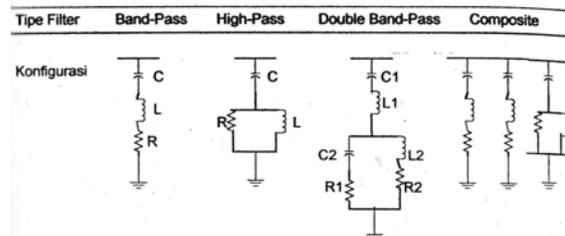
2.2 Filter pasif

Filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada sistem instalasi. beberapa jenis filter pasif yang umum beserta konfigurasi dan impedansinya



Gambar 3. Filter pasif

.Single-tuned filter atau bandpass filter adalah yang paling umum digunakan. Dua buah Single-tuned filter akan memiliki karakteristik yang mirip dengan double bandpass filter.



Gambar 4. Jenis-jenis filter pasif

Tipe filter pasif yang paling umum digunakan adalah single-tuned filter. Filter umum ini biasa digunakan pada tegangan rendah. Rangkaian filter ini mempunyai impedansi yang rendah. Sebelum merancang suatu filter pasif, maka perlu diketahui besarnya kebutuhan daya reaktif pada sistem. Daya reaktif sistem ini diperlukan untuk menghitung besarnya nilai kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki sistem tersebut. [1].

Untuk menghitung nilai kapasitor pada Filter Pasif :

$$C_n = \frac{Q_n}{V_{LN}^2 \cdot \omega} \dots\dots\dots(8)$$

Untuk menghitung nilai induktor pada Filter Pasif :

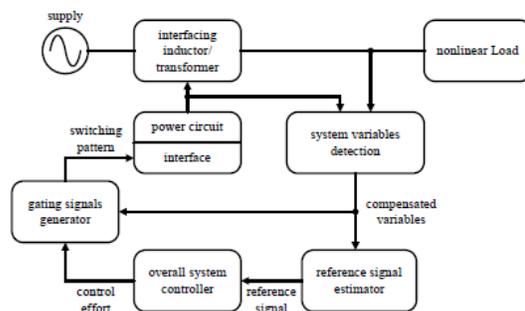
$$L_n = \frac{1}{(2 \times \pi \times f)^2 \times C_n} \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

- Q_n = Daya reaktif masing-masing filter
- C_n = Nilai kapasistansi masing-masing filter
- L_n = Nilai impedansi masing-masing filter
- F = Frekuensi

2.3 Filter Aktif

Prinsip dasar dari Filter Aktif menggunakan teknologi elektronika daya untuk menghasilkan komponen arus spesifik yang bertujuan untuk menggagalkan komponen arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban non-linear. [2]



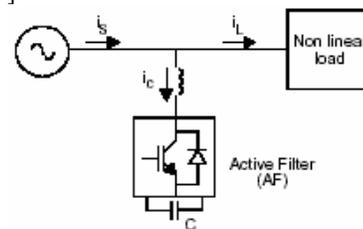
Gambar 5. Block diagram Filter Aktif secara umum [8]

Gambar di atas menunjukkan komponen dari sistem filter aktif dan hubungan antar komponennya. Informasi mengenai arus variabel harmonisa dari system menuju ke compensation reference signal estimator. Sinyal yang dihasilkan berupa sinyal referensi menuju ke overall system controller, yang akan menyediakan control untuk gating signal generator. Output dari gating signal generator mengontrol rangkaian daya, apakah rangkaian daya pada blok diagram diatas dihubungkan seri, parallel atau parallel/seri dalam penggunaan induktor atau transformator.

Filter aktif tidak menghasilkan resonansi yang berbahaya pada system distribusi, oleh karena itu filter aktif terlepas dari system distribusi atau dengan kata lain filter aktif bebas berdiri sendiri diluar system distribusi, namun pada sisi lain filter aktif masih mempunyai beberapa kekurangan mengingat filter aktif merupakan teknologi baru yang memerlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk menghasilkan teknologi yang handal.

Keadaan yang kurang menguntungkan namun tidak terlepas dari filter aktif dalam keperluan switching yang cepat arus besar dalam rangkaian daya dari filter aktif. Sehingga menghasilkan noise pada frekuensi tinggi yang menyebabkan induksi elektromagnetik pada sistem distribusi [2].

Filter aktif adalah rangkaian elektronika yang terdiri dari komponen R, L, dan C yang dirancang untuk meredam harmonisa pada beban non linier dalam sistem tenaga karena filter pasif selalu bermasalah apabila gangguan tersebut semakin besar dan kontinyu. Filter aktif menginjeksikan arus untuk membatalkan harmonisa yang terkandung pada arus beban.[3]



Gambar 6. Konfigurasi Filter aktif [3]

Persamaan untuk gambar tersebut adalah [3]:

$$iL = is + (- ic) \dots\dots\dots(10)$$

$$ih = - ic$$

$$iL = ih + is \dots\dots\dots(11)$$

dimana:

- iL : Arus yang mengalir ke beban
- ih : Arus yang diinjeksikan ke arus harmonisa.
- il : Arus fundamental.
- Is : Arus harmonisa.

Arus output iL menjadi sinusoidal dan mempunyai kualitas yang baik. Active filter terbagi dalam tipe yang berbeda sesuai dengan konfigurasi dari sistem. Dengan kelebihan proses mematikan diri sendiri (auto shutdown), perhatian dapat di fokuskan

pada daya aktif yang menggunakan sebuah sumber arus dan sumber tegangan *converter* PWM.

3.METODE PENELITIAN.

3.1 Sumber data

Data-data yang didapatkan dalam penelitian ini dilakukan secara observasi, dimana data bersumber dari data sistem kelistrikan Kampus Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana. Data

3.2 Jenis Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana dan data sekunder.

1. Data *single line diagram* sistem kelistrikan di Kampus Teknik Elektro Udayana.
2. Data jumlah dan kapasitas beban nonlinear yang terpasang pada Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana
3. Data trafo daya yang digunakan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana
4. Data pengukuran THD arus pada panel.

3.3 Teknik pengumpulan data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data-data yang diperoleh berdasarkan metode-metode seperti berikut ini, yaitu :

1. Metode observasi
2. Telaah kepustakaan

3.4 Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menghitung arus hubung singkat (I_{sc}).

$$I_{sc} = \frac{V_{oc}}{R_{th}} \dots\dots\dots (12)$$

2. Menghitung total kapasitas daya aktif (watt) beban nonlinear pada tiap-tiap panel.

$$P = I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (13)$$

3. Menghitung total daya semu (VA) dan arus beban nonlinear pada tiap-tiap panel.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (14)$$

4. Analisis THD berdasarkan IEEE standard 519-1992.

$$THD_{UTL} = \frac{\sum_{n=1} (P_n)(THD_n)}{\sum_{n=1} P_n} \dots\dots\dots (15)$$

5. Analisis THD arus dan THD tegangan dengan melakukan simulasi menggunakan program Simulink MATLAB 7.0.4

6. Analisis desain filter aktif shunt dan filter pasif shunt dengan menggunakan Simulink MATLAB 7.0.4.
7. Analisis hasil simulasi berdasarkan IEEE standard 519-1992.
8. Membandingkan hasil analisis THD arus dan THD tegangan dengan menggunakan filter pasif dan dengan yang menggunakan filter aktif.

4. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS.

4.1 Data Pengukuran

Dari data beban nonlinear yang terdapat pada ruang puskom diperoleh total beban sebesar 10,927 kW

Tabel 1. Beban nonlinier pada ruang puskomgedung DJ

Beban	Daya (Watt)	Total Daya (watt)	Pemakaian (hour)	Wh/day (Wh)
12 Komputer	350	4200	5	42000
2 server	350	700	24	16800
3 AC 2 PK	1492	4476	5	22380
1 AC 1,5 PK	1119	1119	24	5595
12 Lampu TL	36	432	5	2160

4.2 Analisis Total Harmonic Distortion (THD) dengan Simulasi MATLAB (Tanpa Filter)

4.2.1 Simulasi Tanpa Filter.

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh nilai rata-rata THD arus dan tegangan dan $\cos \phi$ pada sistem kelistrikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data rata-rata THD arus dan tegangan serta $\cos \phi$ phase R, S, T

	Phase R	Phase S	Phase T
Tegangan	1,614	1,75	2,47
Arus	19.138	16.16	31.68
$\cos \phi$	0.8978	0.928	0.882

Tabel 3. Nilai Daya Aktif, Daya Pasif, Beban Non Linear

Daya Aktif	10927 watt
Daya Pasif	12,141 kVA
Arus	31,87 A

Tegangan sekunder sebesar 400/231 daya 200 kVA dengan koneksi segitiga-bintang *grounding* dengan impedansi (Z) = 4 %, frekwensi 50 Hz, $R = 1,25$ % dan $X = 3,93$ %. Nilai R_s akan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut :

$$x \text{ Ztx (\%)} = 0,032$$

$$\text{Dimana } X/R = \frac{3.93}{1.25} = 3,144, \text{ maka}$$

$$Z^2 = X^2 + R^2$$

$$(0.032)^2 = (3.144R)^2 + R^2$$

$$R = 0,0097\Omega$$

karena $R = R_s$ sehingga $R_s = 0,0097 \Omega$ Ztx
 Sedangkan nilai L_s adalah sebagai berikut :

$$L_s = L = \frac{X}{2 \pi f} \text{ (Henry)}$$

$$L_s = \frac{X}{2 \pi f} = 9,7 e^{-5} \text{ Henry}$$

$$\text{Beban pada tiap Phasa} = \frac{\text{Beban } 3\phi}{3} \text{ Watt}$$

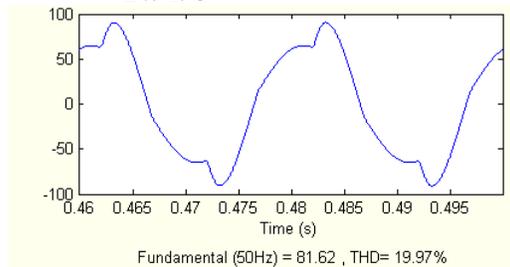
$$= 3.642,3 \text{ Watt}$$

$$R \text{ beban} = \frac{V^2}{P} = 13,288 \Omega$$

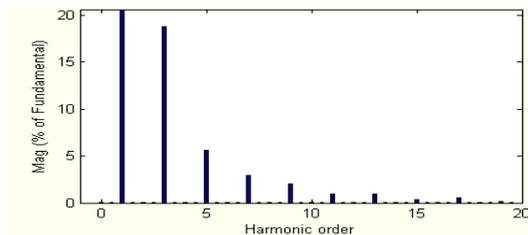
$$C = \frac{1}{4\sqrt{3} \cdot f \cdot R \cdot R} \text{ (farad)} = 0,00434 \text{ Farad}$$

dimana RF (*Ripple Factor*) sebesar 5% untuk V input penyearah 220 VAC. Setelah diperoleh nilai beban kapasitifnya, maka nilai induktifnya dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

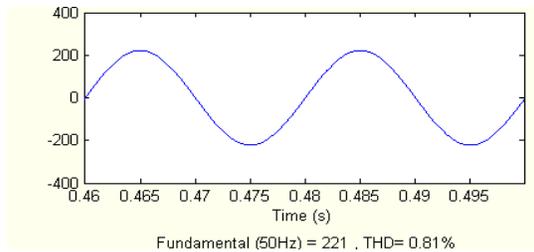
$$L = \frac{0.236 R}{2 \pi f \cdot C} \text{ (Henry)} = 2,29859 \text{ Henry}$$



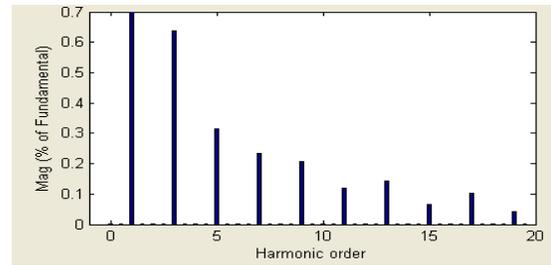
Gambar 7. Sinyal arus pada ruang puskom



Gambar 8. Spektrum THD arus pada ruang puskom



Gambar 9. Sinyal tegangan pada ruang puskom



Gambar 10. Spektrum THD tegangan pada ruang puskom

Parameter hasil simulasi tersebut antara lain

- $V_{\text{fundamental}} = 221 \text{ Volt}$
- $I_{\text{fundamental}} = 81,62 \text{ Ampere}$
- $\text{THD Arus} = 19,97\%$
- $\text{THD Tegangan} = 0,81\%$
- $V_{\text{rms}} = 156,3 \text{ Volt}$

4.1.2 Mengurangi THD (*Total Harmonic Distortion*) dengan memasang Filter Pasif

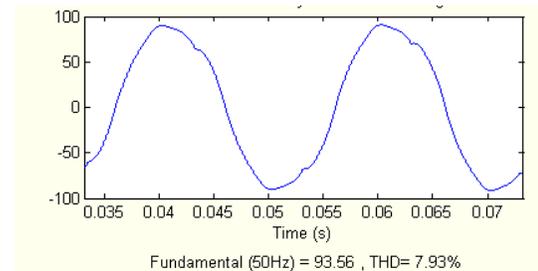
Kapasitas masing-masing filter pasif harmonisa, yaitu:

$$C_3 = 276 \mu F, L_3 = 4,08 \text{ mH}$$

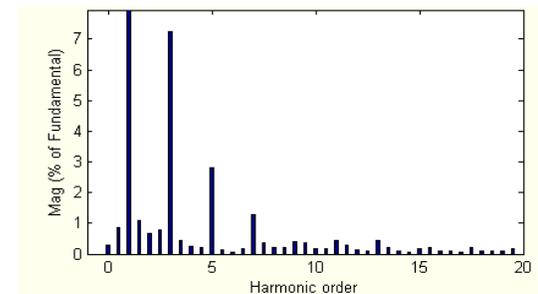
$$C_5 = 82,7 \mu F, L_5 = 4,9 \text{ mH}$$

$$C_7 = 43,775 \mu F, L_7 = 4,73 \text{ mH}$$

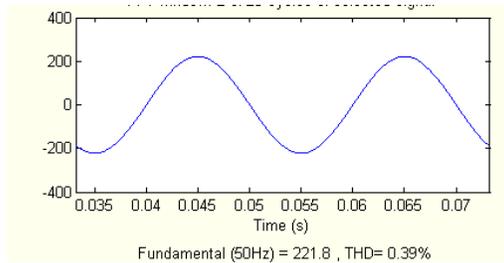
Gambar Hasil Perancangan filter pasif pada sistem ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro



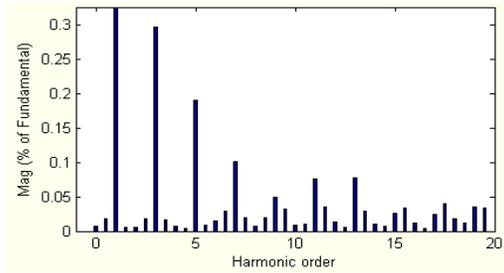
Gambar 11. Sinyal arus pada ruang Puskom dengan filter pasif



Gambar 12. Spektrum THD arus pada ruang Puskom dengan filter pasif



Gambar 13. Sinyal tegangan pada ruang Puskom dengan filter pasif



Gambar 14. Spektrum THD tegangan pada ruang Puskom dengan filter pasif

Parameter hasil simulasi tersebut antara lain

- THD Arus = 7,93%
- THD tegangan = 0,39%
- Harmonisa ke3 = 7,23%
- Harmonisa ke5 = 2,79%
- Harmonisa ke7 = 1,28%
- Vrms = 156,9Volt

Daya Distorsi di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro sebelum penambahan filter, dimana daya distorsi perphasenya sebesar:

$$D = 3.121,04 \text{ VA}$$

$$D_{3\text{phase}} = 9.363,12 \text{ VA}$$

4.1.3 Mengurangi THD (Total Harmonic Distortion) dengan memasang Filter Aktif

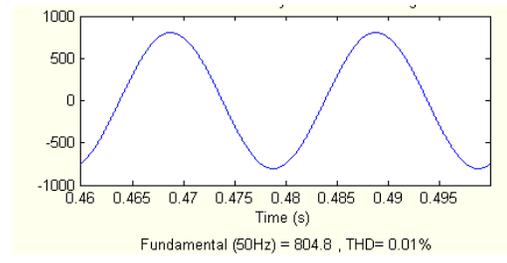
Daya Semu (Sn) yang terukur pada hasil simulasi di ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro sebesar 12.141 VA, dan tegangan antar phase (Vs) sebesar 400 V, frekwensi sistem 50 Hz. Bus kapasitor dc sebagai sumber tegangan pada filter aktif memiliki nilai kapasitansi (Cdc) dan rating tegangan bus kapasitor (Vn) dimana nilai tersebut diperoleh dari :

$$V_n \text{ rating tegangan kapasitor} = \frac{V_c}{1,83} \text{ Volt, dimana}$$

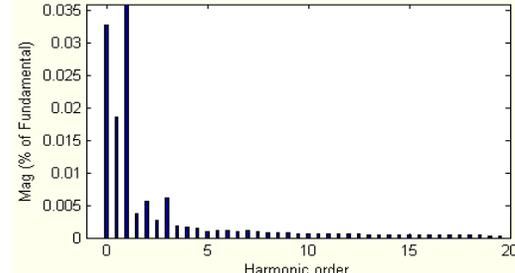
Vc merupakan nilai rms dari Vs

$$C_{dc} = \frac{0.0345 \times S_n}{V_n^2} \text{ Farad}$$

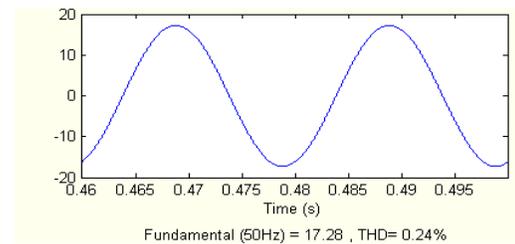
Sehingga, Vn = 154,5 Volt
Maka Cdc = 0,018 Farad



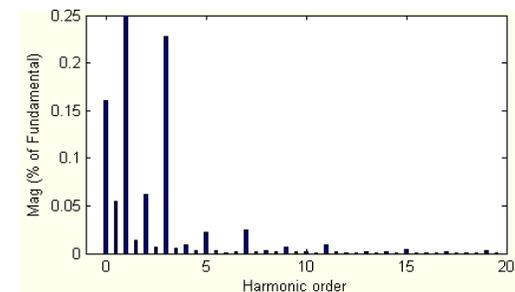
Gambar 15. Sinyal arus pada ruang Puskom dengan filter aktif



Gambar 16. Spektrum THD arus pada ruang Puskom dengan filter aktif



Gambar 17. Sinyal tegangan pada ruang Puskom dengan filter aktif



Gambar 18. Spektrum THD arus pada ruang Puskom dengan filter aktif

Parameter hasil simulasi :

- Vfundamental = 17,28 Volt
- Ifundamental = 804,8 Ampere
- Tegangan (V rms) = 12,22 Volt
- Arus (Arms) = 569,1 Ampere
- THD Arus = 6,05 %
- THD Tegangan = 0,24 %

Secara umum daya distorsi saluran (konduktor) didefinisikan dengan persamaan :

$$D = V_{rms} \times \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + I_{15}^2 + I_{17}^2 + I_{19}^2}$$

$$D_{3phase} = 3 \times D$$

$$D = 0,1222 \text{ VA}$$

$$D_{3phase} = 3 \times 0,1222 \text{ VA}$$

$$= 0,3666 \text{ VA}$$

Sesuai dengan data dan hasil dari simulasi diatas dapat kita lihat nilai serta dampak dari sebelum dan sesudah pemasangan filter (filter aktif dan pasif) terhadap THD arus maupun THD tegangan. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa penggunaan filter aktif lebih baik digunakan untuk menanggulangi THD arus di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro dibandingkan dengan penggunaan filter pasif. Dimana penggunaan filter aktif dapat menurunkan nilai THD arus sebesar 19,96%, sedangkan dengan menggunakan filter pasif THD arus hanya dapat diturunkan sebesar 12,04%. Maka dari data tersebut, kandungan THD arus maupun THD tegangan yang dihasilkan baik menggunakan filter aktif maupun filter pasif sesuai dan tidak melebihi nilai THD arus dan tegangan yang ditentukan.

5. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan, maka diperoleh simpulan-simpulan sebagai berikut, yaitu :

1. Kandungan atau besar nilai THD arus pada Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro sebelum penggunaan filter adalah sebesar 19,97% (melebihi standard menurut IEEE 512-1992).
2. Kandungan atau besar nilai THD arus pada Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro setelah penggunaan filter pasif adalah sebesar 7,93%
3. Kandungan atau besar nilai THD arus pada Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro setelah penggunaan filter aktif adalah sebesar 0,01%
4. Untuk menanggulangi THD arus pada sistem kelistrikan di ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro, penggunaan filter aktif lebih bagus dibandingkan dengan penggunaan filter pasif, karena filter aktif dapat lebih menekan atau memperkecil nilai THD arus maupun nilai THD tegangan yang timbul dibandingkan dengan penggunaan filter pasif.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vita, 2000. *Perbandingan Kondisi Sistem Tanpa Filter Dengan Kondisi Sistem Yang Menggunakan Filter*. Surabaya : Jurusan Teknik Elektro Universitas Teknologi Sepuluh November.

- [2] Salam Z,dkk. 2006. *Harmonics Mitigation Using Active Power Filter: A Technological Review*. Department of Energy Conversion, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, ELEKTRIKA, 8(2), 2006, 17-26
- [3] Tanoto, 2005. *Simulasi Active Filter dan Sistem Kerja Rangkaian Dalam Meredam Harmonisa pada Vacuum Casting Induction Furnace Dengan Daya 9 kW, 13.8 kVA, 200 V, 3 Fasa, 50/60 Hz*. Surabaya : Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra.
- [4] Arrillaga, Jos. 2000. *Power System Harmonic Analysis*. New Zealand : University of Canterbury.
- [5] Buhron, H ; Sutanto, J. 2001. *Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya*. Dept. Teknik Energi Politeknik Negeri Bandung, Dept. Teknik Elektro Universitas Siliwangi Tasikmalaya dan Staf Operasi Distribusi PLN Distribusi Jawa Barat dan Banten
- [6] Duffey, C. K, 1989. *Update of Harmonic Standard IEEE-51*. IEEE Transaction on Industry Application, Vol.25. No.6, November 1989
- [7] Dugan ; McGranaghan ; Santoso ; Beaty . 2003. *Electrical Power System Quality - Second Edition*. USA : McGraw-Hill.
- [8] Dugan ; Rizey. 2001. *Harmonic Considerations for Electrical Distribution Feeders*, National Technical Information Service, Report No. ORNL/Sub/81-95011/4 (Cooper Power Systems as Bulletin 87011, "Electrical Power System Harmonics, Design Guide").
- [9] Grady, M. 2006. *Understanding Power System Harmonics*. USA : Departement Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austin.
- [10] Ryder, 1970. *Electronic Fundamentals & Applications*. Pitman Publishing:
- [11] Sekaran dkk. 2007. *Analysis And Simulation Of A New Shunt Active Power Filter Using Cascaded Multilevel Inverter*. Department of Electrical and Electronics Engineering, Coimbatore Institute of Technology, Coimbatore, Tamil Nadu, INDIA