

Studi Analisis Pengaruh Filter Aktif Berbasis *Fuzzy Logic Controller* Untuk Mereduksi Harmonisa Akibat Beban *Non Linier*

G. A. M. Dwi Ade Saputra*, I Wayan Rinas, I Made Suartika
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email: dwiadesaputra34@gmail.com

Abstrak

Peralatan listrik yang dikategorikan beban nonlinier akan menimbulkan harmonisa. Harmonisa merupakan distorsi periodik pada gelombang sinus yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap komponen peralatan elektronika. Salah satu cara meningkatkan kualitas daya adalah dengan mereduksi harmonisa menggunakan filter harmonisa. Pada penelitian ini dilakukan analisis pada sistem sebelum ditambah filter dan setelah ditambah filter aktif berbasis *fuzzy logic controller*. Penerapan metode *fuzzy logic* pada filter berfungsi untuk mengurangi *overswitching* pada inverter sehingga dapat mencapai nilai THDi terendah. Hasil simulasi THDi saat kondisi eksisting pada fasa R, S, T; adalah sebesar 14%, 17%, 14%. Saat kondisi filter aktif tanpa kontrol, presentase THDi pada fasa R sebesar 6%, fasa S sebesar 6%, fasa T sebesar 4%. Pada kondisi filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* persentase THDi pada fasa R, S, T; adalah 0,9%, 0,9, 1%. Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* mampu mereduksi distorsi harmonisa hingga nilai terendah, sehingga penggunaan *fuzzy logic* pada filter aktif dapat digunakan dalam proses filterisasi harmonisa pada sistem kelistrikan.

Kata kunci: Harmonisa, THDi, *Fuzzy Logic Controller*

Abstract

Electrical equipment categorized as the nonlinear load will cause harmonics. Harmonic is a periodic distortion of the sine wave that can cause a negative impact on electronic equipment components. One way to improve power quality is to reduce harmonics using harmonic filters. In this study, an analysis of the system was carried out before adding a filter and after adding an active filter based on a fuzzy logic controller. The application of the fuzzy logic method on filters functions to reduce over switching in the inverter so that it can reach the lowest THDi value. THDi simulation results when the existing conditions are in phase R, S, T; at 14%, 17%, 14%. When the active filter condition is without control, the THDi percentage at the R phase is 6%, the S phase is 6%, the T phase is 4%. In the active filter conditions based on the fuzzy logic controller the percentage of THDi in phase R, S, T; is 0.9%, 0.9, 1%. Based on the simulation results introduced in the active filter based fuzzy logic controller is able to reduce harmonic distortion to the lowest value, so the use of fuzzy logic in active filters can be used in the harmonic filtering process in the electrical system.

Keywords : Harmonic, THDi, *Fuzzy Logic Controller*

1. PENDAHULUAN

Kampus Fakultas Teknik Universitas Udayana Jalan P.B. Sudirman Denpasar merupakan tempat publik yang memiliki banyak peralatan elektronik. Sebagian

besar peralatan elektronik dikategorikan sebagai beban nonlinier sehingga mengakibatkan munculnya permasalahan harmonisa pada sistem kelistrikannya.

Meningkatnya penggunaan peralatan elektronika yang bersifat beban nonlinier dapat memicu timbulnya distorsi gelombang sinus yang disebabkan oleh penumpangan frekuensi kelipatan bilangan integer dari frekuensi fundamentalnya atau dikenal dengan istilah harmonisa. Harmonisa yang timbul memiliki dampak buruk bagi sistem kelistrikan [1].

Sistem ketenagalistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana Jalan P. B Sudirman disuplai oleh dua buah transformator distribusi 20 kV/380 V yang salah satunya memiliki kapasitas daya 100 kVA yang mengalirkan daya listrik ke sebuah MDP Fakultas Teknik yang mensuplai kebutuhan beban di gedung B, C, D dan E pada sistem ketenagalistrikannya.

Berdasarkan data hasil pengukuran *Total Harmonic Current Distortion* (THDi) dan dengan membandingkan pada standar IEEE 519-2014 maka nilai THDi pada MDP yang menyuplai beban gedung B, C, D dan E yaitu pada fasa R = 9,8 % fasa S = 11,0 % fasa T = 7,5 %. Data hasil pengukuran THDi yang diperoleh di MDP Fakultas Teknik Universitas Udayana Jalan P. B Sudirman masih belum sesuai dengan batas standar IEEE 519-2014 yang telah ditentukan yaitu sebesar 8% yang sebelumnya didapat melalui perhitungan SC_{Ratio} [2].

Usaha dalam meredam harmonisa yang berlebih dapat dilakukan dengan cara mengoperasikan filter aktif pada sistem kelistrikannya. Filter aktif bekerja dengan cara membentuk arus kompensasi yang berlawanan arah dengan arus harmonisa yang ditimbulkan akibat beban nonlinier. Pengembangan teknik filtering pada harmonisa sudah sangat maju salah satunya menggunakan metode PID namun metode ini masih terlalu sederhana pada sistem kontrolnya [3].

Sehingga pada penelitian ini dirancang filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* untuk mereduksi harmonisa akibat beban *nonlinier* yang terdapat pada sistem

kelistrikannya, dimana *fuzzy logic* memiliki banyak variabel yang dapat diatur sehingga dapat berpengaruh pada arus kompensasi yang akan dihasilkan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Harmonisa

Harmonisa adalah deretan gelombang arus ataupun tegangan yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Pada dasarnya gelombang arus ataupun tegangan yang berasal dari sumber tiga fasa merupakan gelombang sinusoidal murni. Namun pengoperasian dari beban listrik nonlinier yang menghasilkan gelombang integer dari frekuensi fundamentalnya menyebabkan gelombang dasar akan tertumpang dan mengalami bentuk gelombang non sinusoidal akibat distorsi gelombang pada arus maupun tegangan [1] [4].

2.2. Sumber Harmonisa

Terjadinya gangguan harmonisa pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh banyaknya pemakaian peralatan – peralatan yang merupakan beban berjenis nonlinier, seperti : inverter, converter, penerangan, dan lain sebagainya [5-6].

2.3. Standar Harmonisa

Standar harmonisa dibuat untuk menentukan batasan kandungan harmonisa yang diperbolehkan dalam sistem kelistrikan yang telah diatur dalam standar IEEE 519-2014.

a. Standar THD tegangan

Standar THD tegangan berdasarkan IEEE 519-2014 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar THD tegangan [7]

Bus Voltage (V) at PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion (%)
$V \leq 1 \text{ Kv}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V < 69 \text{ Kv}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

b. Standar THD arus

Standar THD arus berdasarkan IEEE 519-2014 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar THD arus [7]

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (odd harmonic) ^{a,b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD (%)
< 20%	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Untuk menentukan batas THDi pada suatu sistem kelistrikan dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Short Circuit Ratio* (SC_{ratio}) seperti pada Persamaan 1.

$$SC_{Ratio} = \frac{I_{SC}}{I_L} \dots\dots\dots (1)$$

Nilai arus hubung singkat (I_{SC}) tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$I_{SC} = \frac{S \times 100}{\%Z \times \sqrt{3} \times V_s} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- I_{SC} adalah nilai arus hubung singkat
- I_L adalah arus beban
- S adalah daya semu transformator (kVA)
- V_s adalah tegangan sisi sekunder transformator (kV)
- Z(%) adalah persentase impedansi

Sedangkan nilai arus beban penuh (I_L) tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

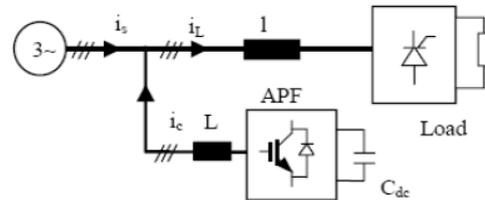
$$I_L = \frac{P}{PF \cdot \sqrt{3} \times V_p} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- P adalah Daya aktif (kW)
- PF adalah *Power Factor* ($\cos \phi$)
- V_p adalah tegangan hasil pengukuran

2.4. Filter Aktif

Filter aktif merupakan filter yang banyak digunakan dalam mereduksi harmonisa pada sistem ketenagalistrikan. Filter aktif sering digunakan karena memiliki topologi yang tidak sulit dan fleksibel [3].



Gambar 1. Konfigurasi Filter Aktif [8]

Filter aktif menggunakan komponen elektronika daya seperti R, C dan Op-Amp untuk menghasilkan komponen arus spesifik yang berguna untuk mereduksi komponen arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban nonlinier [8-9].

2.5. Fuzzy Logic Controller

Sistem *fuzzy* adalah sistem yang dibangun berdasarkan aturan linguistik sederhana untuk menentukan perintah pada sistem kontrol. Perintah yang diberikan dibangun berdasarkan definisi, cara kerja, dan deskripsi yang jelas berdasarkan pemahaman pada teori *fuzzy logic controller*. Dasar teori pada *fuzzy logic controller* membahas mengenai konsep dasar himpunan pada *fuzzy logic controller*, yang mencakup mengenai himpunan, operasi logika dan hukum – hukum pada himpunan *fuzzy logic controller* [10].

3. METODE PENELITIAN

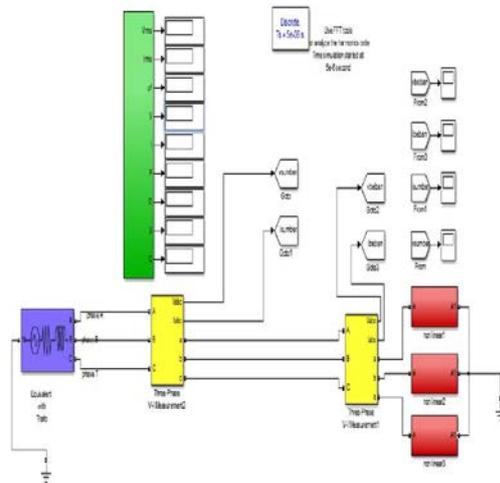
Penelitian dilakukan di gedung Fakultas Teknik Universitas Udayana Jalan P.B. Sudirman Denpasar. Data yang diperoleh merupakan data hasil pengukuran langsung pada MDP Fakultas Teknik. Data yang digunakan antara lain seperti tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, THDi pada sistem kelistrikan dan data spesifikasi transformator dari Trafindo. Selanjutnya dilakukan simulasi pemodelan pada kondisi eksisting, filter aktif tanpa kontrol dan filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* yang dilakukan simulasi pada setiap fhasanya. Hasil simulasi dibandingkan dengan batas THDi yang telah ditentukan. Hasil simulasi

yang telah dilakukan akan dibandingkan dengan batas THDi yang telah ditentukan oleh IEEE 519-2014 serta melihat nilai penurunan THDi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

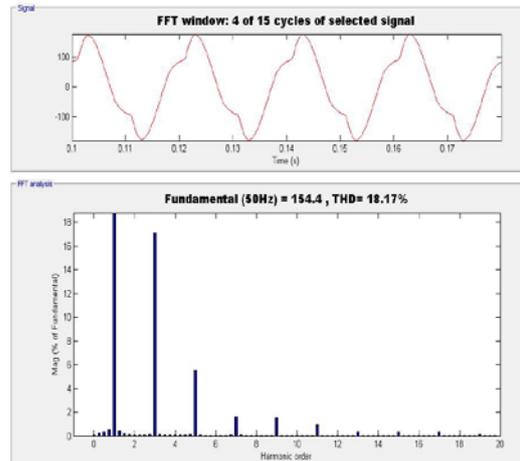
4.1. Simulasi Tanpa Menggunakan Filter Aktif (Kondisi Eksisting)

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Simulink MATLAB* untuk simulasi THD pada pemodelan sistem kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman. Pada sistem awal ini disimulasikan tanpa menggunakan filter aktif pada sistem kelistrikannya. Model simulasi dari sistem kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Model Simulasi Sistem Kelistrikan Sebelum Terpasang Filter

Dari model simulasi pada gambar 3 maka dapat diketahui nilai THDi sistem kelistrikan dalam kondisi eksisting sebagai berikut.

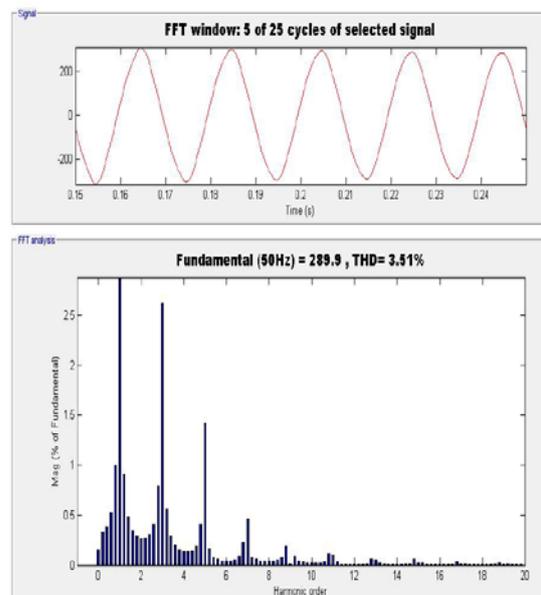


Gambar 4. THDi Fase R Kondisi Eksisting

Gambar 4 merupakan hasil simulasi THDi pada fase R saat kondisi eksisting, dari hasil simulasi diketahui kandungan THDi sebesar 18,17% Dengan cara yang sama yaitu menggunakan bantuan FFT dalam menampilkan hasil simulasi pada fase R maka hasil dari fase S dan T adalah 18,30 % dan 14,17 %.

4.2. Simulasi Menggunakan Filter Aktif Tanpa *Fuzzy Logic Controller*

Pada simulasi sistem kelistrikan mengoperasikan filter aktif tanpa *fuzzy logic controller* menyebabkan penurunan nilai THDi yang dapat dilihat pada gambar 5.

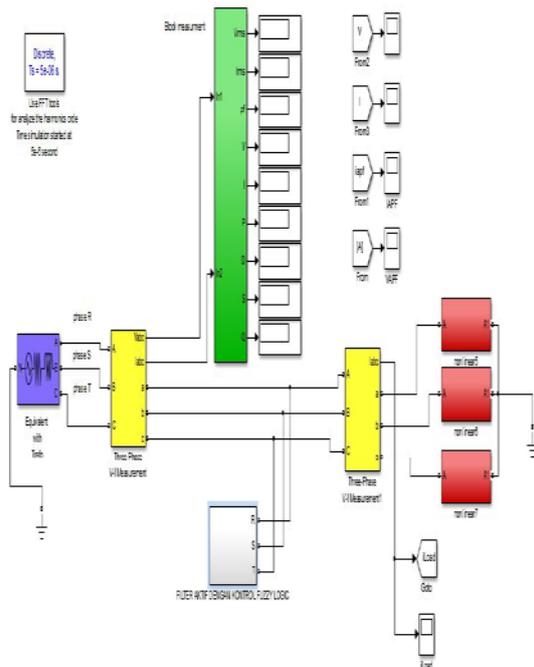


Gambar 5. Hasil Simulasi Fase R pada kondisi Filter Aktif Tanpa Kontrol

Gambar 5. merupakan hasil simulasi THDi pada phasa R saat kondisi telah dioperasikan filter aktif tanpa *fuzzy logic controller*. Dengan cara yang sama maka dari hasil simulasi diketahui kandungan THDi phasa R, S, T adalah 3,51%, 3,59% dan 3,83%.

4.3. Simulasi Menggunakan Filter Aktif Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

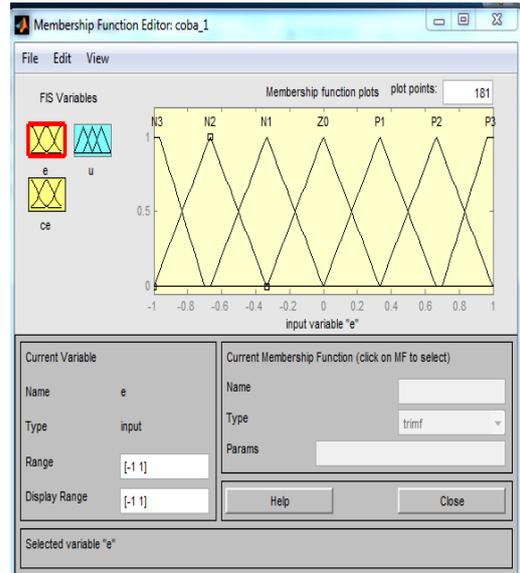
Berikut merupakan rangkaian filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* dengan skema FLC7 fungsi keanggotaan.



Gambar 6. Desain model Simulink filter aktif berbasis *fuzzy logic controller*

Gambar 6 merupakan rangkaian implementasi *fuzzy logic controller* pada filter aktif. *Fuzzy logic* berfungsi menerima input error dari arus referensi yang dihasilkan di dalam proses sub current compensation pada filter aktif.

Pada penelitian ini menggunakan konfigurasi *fuzzy logic controller* dengan 7 *membership function* sehingga dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



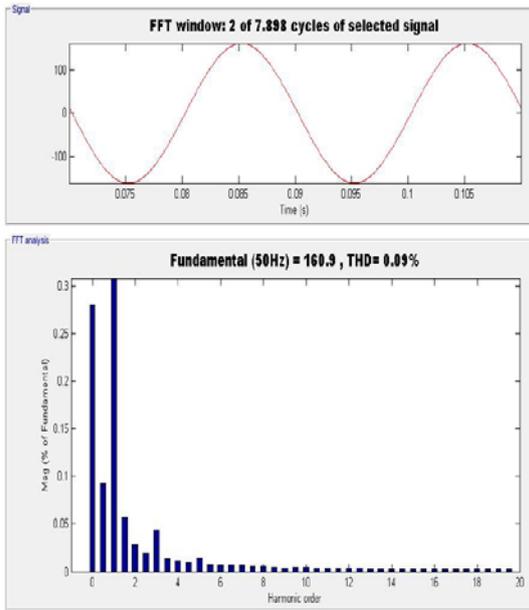
Gambar 7. Membership Function

Setelah *membership function* terbentuk maka selanjutnya dapat ditentukan *rule base function*nya sebagai berikut :

Tabel 3. Rule Base Function 7x7

<i>D error</i>	<i>Error</i>						
	N3	N2	N1	Z0	P1	P2	P3
N3	N3	N3	N3	N3	N2	N1	Z0
N2	N3	N3	N3	N2	N1	Z0	P1
N1	N3	N3	N2	N1	Z0	P1	P2
Z0	N3	N2	N1	Z0	P1	P2	P3
P1	N2	N1	Z0	P1	P2	P3	P3
P2	N1	Z0	P1	P2	P3	P3	P3
P3	Z0	P1	P2	P3	P3	P3	P3

Hasil simulasi dari pemodelan filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* yang didapat menggunakan bantuan FFT pada panel MDP setelah pemasangan dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil THDi Fase R saat kondisi terpasang filter aktif berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Gambar 8 merupakan hasil simulasi THDi pada fase R setelah terpasangnya filter aktif shunt berbasis *fuzzy logic controller*. Pada fase R gambar bagian atas menampilkan gelombang sinusoidal yang lebih baik sehingga dapat dikatakan kandungan THDi yang berada pada sistem sudah mengalami penurunan atau telah tereduksi dikarenakan terpasangnya filter aktif shunt berbasis *fuzzy logic*. Kandungan THDi yang terdapat pada fase R adalah 0,09 %. Hasil simulasi tiap fase dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Tiap Fase Setelah Pemasangan Filter Aktif Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Kondisi	Fase	THD arus Hasil Simulasi (%)	Standar IEEE 519-2014 (%)	Keterangan
Filter Aktif Berbasis <i>Fuzzy logic controller</i>	R	0,09	8,0	Sesuai Standar
	S	0,25	8,0	Sesuai Standar
	T	0,14	8,0	Sesuai Standar

Dari tabel 4 diketahui penurunan THDi yang sangat baik dari setiap fasanya. Nilai THDi yang terdapat pada fase R adalah sebesar 0,09% yang mana merupakan sudah berada dibawah nilai

standar yang telah ditetapkan oleh IEEE 519-2014 yaitu sebesar 8%. Pada fase S dan T masing-masing fase juga mengalami penurunan THDi yang sangat baik dimana pada fase S memiliki nilai 0,25% dan fase T memiliki nilai 0,14%.

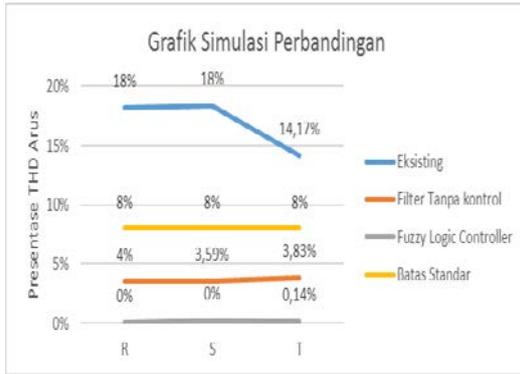
4.4. Analisis Nilai THDi pada setiap kondisi Simulasi

Berdasarkan hasil ketiga simulasi yang telah dilakukan maka selanjutnya dapat dilakukan analisa THDi pada masing-masing hasil simulasi. Perbandingan hasil THDi pada setiap simulasi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan hasil simulasi THDi pada setiap kondisi simulasi

Tempat	Fase	Tanpa Filter Aktif/Kondisi Eksisting	Filter aktif tanpa kontrol	Filter aktif berbasis <i>fuzzy logic controller</i>	IEEE Standar 519-2014	KET
		THD arus (%)	THD arus (%)	THD arus (%)	THD arus (%)	
MDP Fakultas Teknik Sudirman	R	18,17	3,51	0,09	8	Memenuhi Standar
	S	18,38	3,59	0,25	8	Memenuhi Standar
	T	14,17	3,83	0,14	8	Memenuhi Standar

Tabel 5 menampilkan hasil simulasi saat sistem belum terpasang filter aktif atau dalam keadaan eksisting nilai THDi yang terkandung adalah pada fase R = 18,17 %, fase S = 18,38 % dan fase T = 14,17. Saat sistem dalam keadaan sudah terpasang filter aktif tapi belum berbasis pada sistem kontrol *fuzzy*, nilai THDi adalah pada fase R = 3,51 %, fase S = 3,59 % dan fase T 3,83 %. Saat sistem disimulasikan sudah terpasang filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* maka kondisi nilai THDi adalah pada fase R = 0,09 %, fase S = 0,25 % dan fase T = 0,14 %. Sehingga standar IEEE 519 – 2014 sebesar 8 % sudah terpenuhi karena nilai telah berada dibawah batas maksimum dari THDi yang telah ditentukan. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil Simulasi Eksisting, Filter Aktif dan Filter Aktif berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Berdasarkan bentuk grafik pada gambar 9, menyatakan bahwa nilai THDi pada sistem memiliki batas standar (blok warna kuning) yaitu 8%. Grafik filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* (berwarna abu-abu) merupakan grafik yang menghasilkan nilai THDi terendah, dengan kata lain dapat memberikan kompensasi THDi yang lebih baik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada kondisi eksisting persentase THDi pada Phasa R sebesar 18,17 %, Phasa S sebesar 18,38 %, Phasa T sebesar 14,17 %. Saat kondisi sistem kelistrikan telah terpasang filter aktif tanpa kontrol, persentase THDi pada masing-masing phasa mengalami penurunan, pada phasa R menjadi 3,51 %, Phasa S menjadi 3,59 %, dan Phasa T menjadi 3,83 %. Simulasi ketiga pada kondisi sistem telah terpasang filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* presentase nilai THDi pada phasa R sebesar 0,09 %, phasa S sebesar 0,25 %, dan phasa T sebesar 0,14 %. Dibandingkan dengan ketiga simulasi yang telah dilakukan, kondisi sistem dengan terpasang filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* merupakan yang terbaik karena mampu mereduksi THDi hingga $\pm 98\%$ dari kondisi eksisting pada masing-masing phasanya sehingga pengoperasian filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* memiliki nilai yang paling baik. Pengoperasian filter aktif berbasis *fuzzy logic controller* pada sistem kelistrikan Fakultas Teknik Udayana Jalan P.B Sudirman menyebabkan penurunan nilai THDi, sehingga nilai THDi yang terkandung

pada sistem telah memenuhi standar IEEE 519 Tahun 2014.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F, Santoso, S., Beaty, H.W, Electrical Power System Quality-Second Edition. The McGraw-Hill. 2004.
- [2] Janardana, IGN, *Effect Of Value Of Resistance Announcement to THD In Electrical System Faculty Of Engineering University Udayana Denpasar*. *Journal Of Electrical, Electronics, and Informatics, Vol 2 No.1*
- [3] Pahlevi, AB. 2017. “ Reduksi Harmonisa Pada Motor Sinkron 3 Phasa Menggunakan Filter Aktif Shunt Berbasis *Fuzzy Logic*”. Yogyakarta : CITEE 2017.
- [4] Ferracci, Ph. 2001. *Power Quality*. Cahier Technique Merlin Gerin no: 199
- [5] Rosa. Francisco C. De La. 2006. *Harmonics and Power Systems. Distribution Control Systems, Inc.; USA*
- [6] Ekastawa Putra, IW., Rinas, IW., Putu Arya Mertasana. 2014. “Kajian dan Analisa Distorsi Harmonisa di Hotel Amankila”. Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro, Universitas Udayana
- [7] IEEE Standards Association. 519 - 2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. New York; IEEE Press; 2014.
- [8] Izhar. M. et al. “*Performance for Passive and Active Power Filter in Reducing Harmonics in the Distribution System*”, *National Power & Energi Conference (PECon) 2004, IEEE Proceedings*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 104-108, 2004.
- [9] Purwajaya, IW., Rinas, IW., Arta Wijaya, IW. 2013. “Analisis Perbandingan Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif, Dan Filter *Hybrid Shunt*

Untuk Meredam Gangguan Resonansi Harmonisa". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, *E-Journal SPEKTRUM*, Vol. 4.

[10] Kusumadewi, S, 2006, Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan, Graha Ilmu, Yogyakarta.