

Implementasi Fuzzy Logic Controller Pada Filter Active Shunt Untuk Menanggulangi Thd (Total Harmonic Distortion) Sistem Kelistrikan RSUP Sanglah

I Gede Anom Aditya Prawira*, I Wayan Rinas, I Wayan Arta Wijaya.
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia.
Email: anomap90@gmail.com

Abstrak—Listrik dapat dikategorikan sebagai kebutuhan pokok, karena banyaknya pengoperasian peralatan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Kualitas daya listrik perlu diperhatikan agar peralatan elektronika yang kita gunakan tidak mengalami kerugian. Faktor penyebab kualitas daya menurun salah satunya adalah penggunaan beban non-linier. Penggunaan beban non-linier tersebut mengakibatkan adanya distorsi pada gelombang fundamental 50 Hz atau yang dikenal dengan istilah Harmonisa. Salah satu sarana publik yang mempunyai nilai harmonisa yang tinggi karena pengoperasian beban non-linier yang banyak adalah RSUP Sanglah Denpasar. Penanggulangan harmonisa di RSUP Sanglah Denpasar dapat dilakukan dengan melakukan filterisasi harmonisa dengan implementasi fuzzy logic.

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan analisa perbandingan hasil pengurangan harmonisa yang didapatkan dengan cara penambahan filter harmonisa tanpa penggunaan fuzzy dan setelah penggunaan fuzzy pada filter, sehingga kita dapat mengetahui bagaimana kontribusi fuzzy tersebut dalam penggunaan filter agar dapat mengurangi harmonisa lebih baik, mengurangi switching pada inverter dan juga mencapai batas terendah harmonisa sesuai standar IEEE no 519 tahun 1992.

Perbandingan yang telah dilakukan dalam penelitian ini menyatakan bahwa nilai harmonisa yang didapatkan setelah penggunaan fuzzy logic pada filter aktif memang mendapatkan nilai harmonisa terendah, dengan kata lain implementasi fuzzy logic dapat digunakan dalam proses penanggulangan harmonisa.

Kata kunci: harmonisa, filter aktif, *fuzzy logic*, *non-linier*.

I. Pendahuluan

Listrik dapat dikategorikan sebagai salah satu kebutuhan pokok dikarenakan banyaknya peralatan listrik yang dioperasikan dalam kehidupan sehari-hari. Kualitas daya listrik menjadi faktor penting agar pengoperasian peralatan tidak menurun. Distorsi daya listrik mengakibatkan terjadinya kualitas daya listrik yang menurun yang terjadi karena pengoperasian beban listrik non-linier. Meningkatnya beban non-linier mengakibatkan terbentuknya gelombang frekuensi fundamental 50 Hz yang cacat atau dikenal dengan istilah Total Harmonic Distortion (THD).

Rumah Sakit Umum Pusat (RSUP) Sanglah Denpasar merupakan salah satu sarana publik dengan jumlah pengoperasian beban non-linier yang banyak. Beban non-linier tersebut berupa alat-alat elektronika daya yang dioperasikan untuk membantu dalam bidang kedokteran. Pengukuran harmonisa pada saat melakukan kerja praktek pada bulan November tahun 2012 di RSUP Sanglah Denpasar didapatkan besar nilai THD arus tertinggi sebesar 20,2% dan THD arus sebesar 10,0%, sedangkan nilai THD tegangan tertinggi sebesar 0,2%. Hasil pengukuran yang didapatkan di RSUP Sanglah Denpasar tidak sesuai dengan standar IEEE 519 tahun 1992, sehingga diperlukan suatu cara untuk menanggulangi harmonisa pada sistem kelistrikan RSUP Sanglah.

Usaha untuk menanggulangi harmonisa adalah dengan pemasangan filter aktif. Proses pembentukan arus kompensasi pada filter aktif menggunakan kontrol PWM yang memberikan sinyal *control* untuk switch yang digunakan dalam penentuan inverter untuk mendapatkan arus injeksi pada sistem. Kontrol PWM dapat menggunakan sistem kontrol berbasis kecerdasan buatan. Penelitian ini menggunakan implementasi *fuzzy logic controller* sebagai kontrol berbasis kecerdasan buatan. Implementasi *fuzzy logic controller* dalam pengoperasian filter yang disimulasikan diharapkan dapat mengurangi rugi switching pada inverter serta mengurangi THD arus dan THD tegangan lebih baik dibandingkan filter tanpa *fuzzy logic*.

II. Tinjauan Pustaka

A. *State of the Art Review*

Penelitian tentang harmonisa telah banyak dilakukan dari suatu sistem kelistrikan, diantaranya:

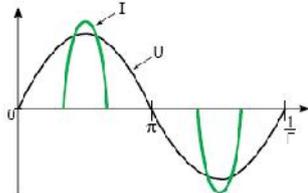
1. Anom Aditya Prawira dengan laporan kerja praktek yang berjudul Studi *Total Harmonic Distortion* pada Sistem Kelistrikan RSUP Sanglah Denpasar. Di dalam laporan ini dipaparkan tentang nilai THD yang terdapat di sistem kelistrikan RSUP Sanglah pada tahun 2012.
2. Antaka, E.P. dengan skripsi yang berjudul Analisis Penggunaan *Filter Aktif Shunt* untuk Menanggulangi

THD (*Total Harmonic Distortion*) di RSUP Sanglah. Antaka menyatakan nilai THD setelah penggunaan filter aktif dengan *virtual PLL* sebagai input kontrol PWM.

- Ahmed A Helal dengan paper yang berjudul *Fuzzy Logic Controlled Shunt Active Power Filter For Three-phase Four-wire System switch Balanced and Unbalanced Loads* menyatakan penggunaan fuzzy didalam control filter aktif untuk mengurangi harmonisa dengan 2 level inverter.

B. Beban Non-Linier

Beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sama dengan bentuk gelombang tegangannya. Hubungan arus dan tegangan pada beban non-linier tidak sama. Beban nonlinier menyerap arus non sinusoidal demikian juga arus harmonik walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal seperti gambar 1.[1][7]



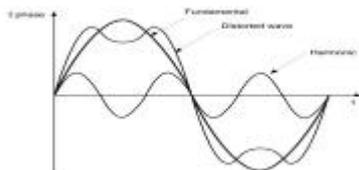
Gambar 1. Arus yang diserap oleh beban nonlinier

Beban nonlinier yang digolongkan *deforming loads* adalah konverter statis. Beban ini dapat berdaya besar dengan jumlah yang sedikit atau berdaya rendah dengan jumlah yang banyak, contoh *deforming loads* antara lain :

- Lampu neon / TL (*fluorescent lamps*)
- *Light dimmers*
- Peralatan listrik rumah tangga seperti TV, *microwave*, radio, dan piringan induksi (*induction plates*) dan lain-lain.

C. Harmonisa

Daya yang didistribusikan pada sistem tenaga listrik adalah pada level tegangan dengan frekuensi tunggal (50 Hz atau 60 Hz). Pengoperasian beban-beban non-linier mengakibatkan bentuk gelombang sinusoidalnya menjadi berubah. Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang disebabkan oleh pemakaian beban non-linier lebih dikenal dengan harmonisa, harmonisa adalah komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen frekuensi fundamental. Cacat gelombang dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2. [7]



Gambar 2. Bentuk Gelombang Fundamental, harmonic, dan distorted wave

Standar harmonisa yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan IEEE Std 519-1992 dapat dilihat pada tabel 1 dan table 2. [2]

Tabel 1. *Current Distortion Limits* untuk *General Distribution System*

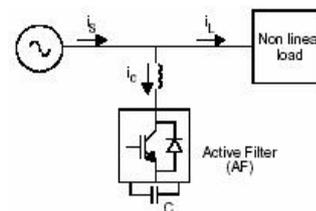
<i>Maximum Harmonics Current Distortion $I_n \% I_L$</i>						
<i>Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)</i>						
I_{sc} / I_L	<11	11=<h<17	17=<h<23	23=<h<35	35=<h	THD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Table 2. *Voltage Distortion Limits*

<i>Voltage at PCC</i>	<i>Individual Voltage Distortion (%)</i>	<i>Total Harmonic Distortion THD (%)</i>
69 kV and below	3.0	5.0
69 kV – 161 kV	1.5	2.5
161 kV	1.0	1.5

D. Filter aktif

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. [1][6]



Gambar 3. Konfigurasi Filter aktif

E. Prosedur pengontrolan inverter

Prosedur dalam menentukan penyalan pada inverter bertingkat diperlukan suatu kondisi tertentu yang harus terpenuhi, sehingga kombinasi penyalan masing-masing *ideal switch* pada multilevel inverter dapat dilakukan. Jumlah seluruh *ideal switch* yang digunakan terdapat 12 buah *ideal switch*. *Idealswitch* ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu untuk *ideal switch* T₁₁-T₁₄, T₂₁-T₂₄, dan T₃₁-T₃₄. Secara umum, kontrol sinyal *ideal switch* ditunjukkan pada tabel 3. [4][8]

Tabel 3. Sinyal Kontrol *Ideal Switch* pada Inverter Tiga Tingkat

Ki	Ti1	Ti2	Ti3	Ti4	Vi0
1	1	1	0	0	Vdc/2
0	0	1	1	0	0
-1	0	0	1	1	-Vdc/2

F. Fuzzy Logic

Sistem *fuzzy* adalah sebuah sistem yang dibangun dengan definisi, cara kerja dan deskripsi yang jelas berdasarkan pada teori logika *fuzzy*. Kendali *fuzzy logic* merupakan klasifikasi sistem kendali modern yang didasarkan pada kaidah kabur (*fuzzy*). *Fuzzy Logic Controller* (FLC) bertitik tolak ke model logika yang mempresentasikan proses berfikir seorang ahli ketika sedang mengendalikan suatu proses. *Fuzzy logic* pertama kali dikemukakan oleh Lotfi A Zadeh pada tahun 1965. Teori *fuzzy* menggunakan variabel linguistik. Misalnya motor listrik dinyatakan dengan nilai ‘cukup lambat’, ‘lambat’, ‘cepat’, ‘cukup cepat’, ‘sangat cepat, dan sebagainya.[3][5]

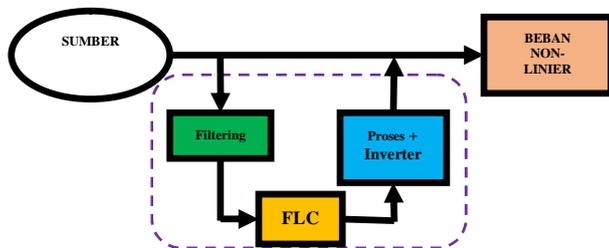
Menurut Kusumadewi (2004), ada beberapa alasan mengapa *fuzzy logic* banyak digunakan, antara lain:

1. Konsep *fuzzy logic* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. *Fuzzy logic* sangat fleksibel.
3. *Fuzzy logic* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
4. *Fuzzy logic* mampu memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang sangat kompleks.

III. Metode Penelitian

A. Bagan konsep

Konfigurasi sistem *filter aktif shunt* berbasis *fuzzy logic controller* (FLC) yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Bagan Konsep Sistem Filter Aktif Shunt berbasis FLC

Gambar 4 merupakan bagan konsep untuk perancangan filter harmonisa berbasis FLC. Filter aktif shunt berbasis fuzzy logic dipasang diantara sumber dan beban. Proses filtering di dalam bagan dilakukan untuk mendapatkan sinyal arus harmonisa, sinyal arus harmonisa menjadi input dari fuzzy logic sehingga mendapatkan output berupa sinyal refrensi untuk mengatur switch yang digunakan dalam proses pembentukan arus kompensasi pada inverter.

B. Analisis data

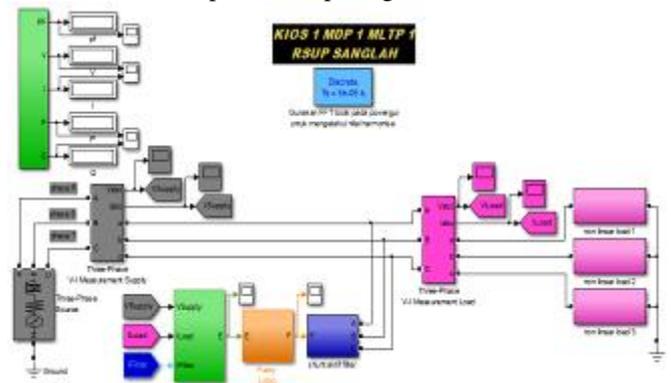
Analisis data pada tugas akhir ini dilakukan dalam beberapa tahap, antara lain:

1. Mengelompokan beban-beban non-linier di tiap-tiap ruangan pada MLTP masing-masing MDP.
2. Menghitung besarnya batas maksimum Total Harmonic Distortion pada arus (THDi) dan Total Harmonic Distortion pada tegangan (THDv).
3. Membandingkan batas maksimum THD berdasarkan IEEE standard 519 – 1992 untuk mengetahui lokasi-lokasi yang THDnya tidak sesuai standar.
4. Simulasi Sistem Tanpa Menggunakan Filter Aktif Shunt Berbasis FLC.
5. Simulasi Sistem Menggunakan Filter Aktif Shunt Berbasis FLC.
6. Analisis perbandingan nilai THD pada saat Sistem tidak Menggunakan Filter Aktif Shunt Berbasis FLC dengan Sistem Menggunakan Filter Aktif Shunt Berbasis FLC.

IV. PEMBAHASAN

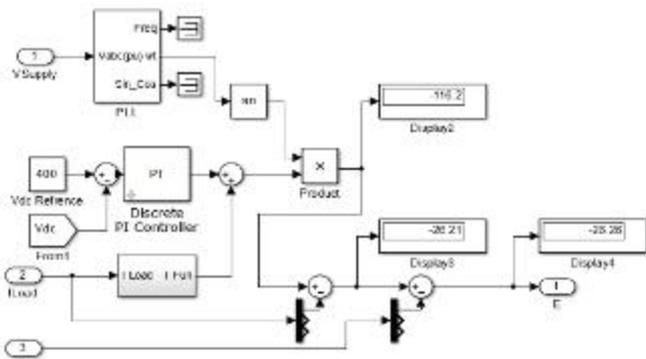
A. Simulasi Filter Aktif Shunt Berbasis Fuzzy Logic Controller (FLC) Untuk Mengurangi Total Harmonic Distortion.

Rangkaian Implementasi *fuzzy logic* pada *filter aktif shunt* di dalam simulasi dapat dilihat pada gambar 5.



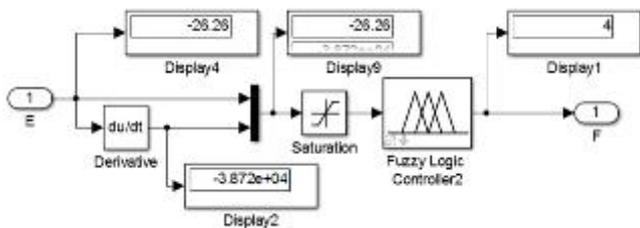
Gambar 5. Implementasi FLC pada Filter aktif shunt.

Bentuk gambar 5 merupakan rangkaian implementasi *fuzzy logic controller* pada *filter aktif shunt*. Dimana *fuzzy logic* (sub berwarna oranye) menerima *input error* dari perbedaan antara arus referensi (arus harmonisa saat ini) dengan *filter* aktif saat ini yang dilakukan didalam proses pada sub *current compensation* (sub berwarna hijau). *Output* dari *fuzzy* kemudian memberikan perintah kepada kontrol PWM untuk memberikan *signal pulse* pada *inverter* di dalam sub *shunt aktif filter* (sub berwarna biru). Rangkaian pada sub berwarna hijau dapat dilihat pada gambar 6.

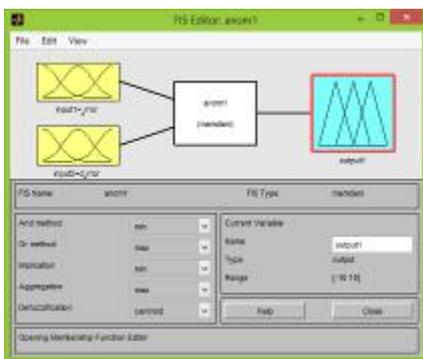


Gambar 6. Rangkaian current compensation

Pemodelan filter aktif shunt berbasis fuzzy logic menggunakan dua input dan satu output. Input pertama adalah error (E) yang merupakan perbedaan antara arus referensi (harmonisa saat ini) dengan filter aktif saat ini. Input kedua merupakan turunan dari error (delta error), dimana delta error merupakan error sekarang dikurangi error sebelumnya dan outputnya adalah perintah. Rangkaian fuzzy logic dan model fuzzy pada sistem dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Rangkaian fuzzy logic pada simulasi.



Gambar 8. Pemodelan fuzzy

Input error (e), delta error serta output rentang nilai yang digunakan pada gambar 8 adalah jenis fungsi keanggotaan berupa representasi segitiga. Input error (E), delta error serta output nilai dibagi menjadi 5 kuantisasi sesuai dengan data dari nilai terkecil dan terbesar yang dibagi menjadi range-range nilai tertentu. Lima kuantisasi tersebut adalah Large Negative (LB), Negative (N), Zero (ZE), Positive (P), dan Large Postive (LP).

Setelah proses fuzzifikasi input dan output, tahap selanjutnya adalah membuat rule base yang hubungan antara ketiga parameter input dan parameter output yang dinamakan interfacing. Fungsi keanggotaan terdiri dari 2 input dan 1

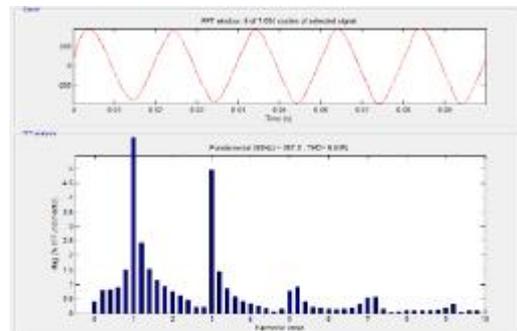
output menghasilkan 25 rule base. Input pertama adalah error (E), Input kedua adalah deviasi error (E) dan output. Rule base yang digunakan didalam fuzzy logic pada filter aktif shunt dapat dilihat pada tabel 4.

Table 4. Rule base 5x5 pada fuzzy logic

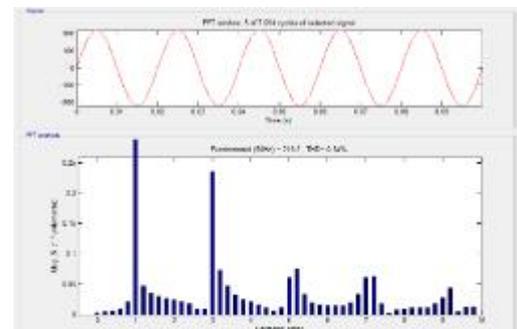
D_error	Error				
	LN	N	ZE	P	LP
LN	BN	N	P	P	BP
N	BN	N	P	P	BP
ZE	BN	N	ZE	P	BP
P	BN	N	N	P	BP
LP	BN	N	N	P	BP

Pada proses interfacing ini hubungan antara kedua variabel input dan variabel output dapat diatur yaitu dengan menghubungkan kedua variabel input dan variabel output menjadi IF-THEN. Output dari FLC menjadi input pada kontrol PWM. Kontrol PWM bekerja dengan menentukan perbandingan antara sinyal keluaran FLC dan Vcarrier yang menghasilkan sinyal untuk ideal switch control pada inverter. Filter aktif shunt yang sudah diberikan input mengontrol inverter dengan lebih tepat sehingga mengurangi rugi pada switching dan menghasilkan arus kompensasi yang lebih baik.

Hasil simulasi dari pemodelan yang dilakukan terhadap nilai THDi dan THDv dengan bantuan FFT Tools di KIOS1 MDP1 MLTP1 setelah ditambahkan filter aktif berbasis fuzzy logic dapat dilihat pada gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Sinyal dan spektrum THDi



Gambar 10. Sinyal dan spektrum THDv

Hasil simulasi pada masing-masing MDP MLTP tiap KIOS setelah ditambahkan filter aktif berbasis fuzzy logic dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai THD dengan menggunakan FLC

KIOS	MDP	MLTP	THDi %	THDv %
1	1	1	6,54	0,34
		2	4,86	0,21
	2	3	6,82	0,97
2	1	1	4,37	1,11
	2	2	6,6	0,51
3	1	1	5,22	0,96
4	1	1	5,71	0,69
	2	2	5,52	0,4
5	1	1	3,5	0,9
		2	3,77	1,1
	3	3	4,6	0,5

Table 5 merupakan nilai THDi setelah penggunaan *fuzzy logic* kontroller pada *filter* aktif *shunt* dengan nilai terendah terdapat pada kios 5 MDP1 MLTP1 dengan nilai sebesar 3,5 % dan THDi tertinggi terletak pada kios 1 MDP 2 MLTP 3 dengan nilai sebesar 6.82%. THDv terendah diperoleh pada kios 1 MDP 1 MLTP 2 dengan nilai sebesar 0.21 % dan THDi tertinggi terletak pada kios 2 MDP 1 MLTP 1 dengan nilai sebesar 1,11%.

B. Analisis Nilai THDi dan THDv

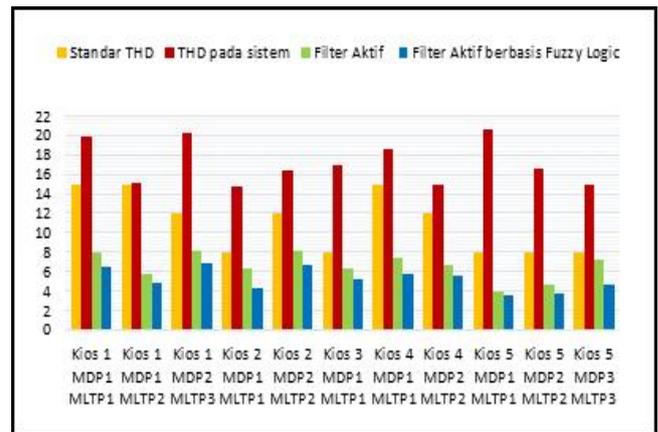
1. Perbandingan nilai THDi

Perbandingan nilai THDi dilakukan dari hasil simulasi pada sistem kelistrikan RSUP Sanglah sebelum dan sesudah penggunaan *filter* aktif *shunt* berbasis *fuzzy logic*. Hasil THDi juga dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992. Perbandingan nilai THDi dapat dilihat pada table 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai THDi

Kios	Tempat		THDi (%)			
	M D P	M L T P	IEEE 519 - 1992	Pada Sistem	Penggunaan Filter Aktif Shunt	Penggunaan Filter Aktif Shunt berbasis Fuzzy logic
1	1	1	15	19,93	8,04	6,54
		2	15	15,2	5,84	4,86
	2	3	12	20,3	8,16	6,82
2	1	1	8	14,83	6,37	4,37
	2	2	12	16,49	8,19	6,6
3	1	1	8	16,98	6,24	5,22
4	1	1	15	18,69	7,46	5,71
	2	2	12	14,95	6,65	5,52
5	1	1	8	20,58	3,96	3,5
		2	8	16,57	4,57	3,77
	3	3	8	14,88	7,25	4,6

Perbandingan nilai THDi untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam bentuk grafik pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 grafik perbandingan nilai THDi

Bentuk Grafik pada gambar 4.9 menyatakan bahwa nilai THDi pada sistem (balok berwarna merah) belum sesuai dengan THDi Standar IEEE 519-1992 (balok berwarna kuning) yang mempunyai nilai THDi standar antara 8%, 12%, dan 15%. Grafik *filter* aktif berbasis *fuzzy logic* (balok berwarna biru) merupakan grafik yang menghasilkan nilai THDi terendah, dengan kata lain dapat memberikan kompensasi terhadap THDi lebih baik dari pada pemakaian *filter* aktif tanpa *fuzzy logic*.

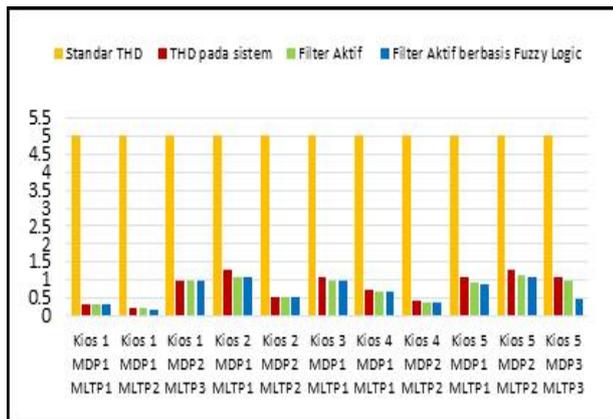
2. Perbandingan nilai THDv

Perbandingan nilai THDv dilakukan dari hasil simulasi yang didapatkan pada sistem kelistrikan RSUP Sanglah sebelum dan sesudah penggunaan *filter* aktif *shunt* berbasis *fuzzy logic*. Hasil THDv juga dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992. Perbandingan nilai THDv dapat dilihat pada table 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan nilai THDv

Kios	Tempat		THDv (%)			
	M D P	M L T P	IEEE 519 - 1992	Pada Sistem	Penggunaan Filter Aktif Shunt	Penggunaan Filter Aktif Shunt berbasis Fuzzy logic
1	1	1	5	0,34	0,34	0,34
		2	5	0,22	0,21	0,20
	2	3	5	1,0	0,98	0,97
2	1	1	5	1,27	1,1	1,11
	2	2	5	0,53	0,52	0,51
3	1	1	5	1,06	0,98	0,96
4	1	1	5	0,73	0,70	0,69
	2	2	5	0,41	0,40	0,4
5	1	1	5	1,06	0,94	0,9
		2	5	1,3	1,13	1,1
	3	3	5	1,09	1,00	0,5

Perbandingan nilai THDv untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam bentuk grafik pada gambar 4.10.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan nilai THDv

Bentuk Grafik pada gambar 4.10 menyatakan bahwa nilai THDv pada sistem (balok berwarna merah) sudah sesuai dengan THDv Standar IEEE 519-1992 (balok berwarna kuning) yang mempunyai nilai THDv standar sebesar 5%. Grafik *filter* aktif berbasis *fuzzy logic* (balok berwarna biru) merupakan grafik yang menghasilkan nilai THDv terendah, dengan kata lain dapat memberikan kompensasi terhadap THDv lebih baik dari pada pemakaian *filter* aktif tanpa *fuzzy logic*.

V. SIMPULAN

Implementasi *fuzzy logic* pada *filter* menghasilkan nilai Total Harmonic Distortion terendah. Penggunaan *fuzzy logic* pada kontrol PWM dapat memberikan kompensasi terhadap nilai Total Harmonic Distortion lebih baik dari pada pemakaian *filter* tanpa *fuzzy logic*.

Daftar Pustaka

- [1] Antaka, E. P. 2009. Analisis Penggunaan Filter Aktif Shunt untuk Menanggulangi THD (*Total Harmonic Distortion*) di RSUP Sanglah. Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [2] Dugan; McGranaghan; Santoso; Beaty. 2003. *Electrical Pwer System Quality – second Edition*. USA: McGraw-Hill.
- [3] Kusumadewi, S. 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [4] Mesbahi, N. 2010. *A Fuzzy Logic Control For Three-Level Shunt Active Power Filter*. ICIEM'10, Page(s): 414-418.
- [5] Naba, A. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: Andi
- [6] Prannamto, Aris. 2008. Analisis Penggunaan Single Tuned Filter Sebagai Salah Satu Solusi Masalah Harmonik Pada Beban Rumah Tangga. *Jurnal Teknik Elektro* Vol. 2, No. 1, Maret 2002.
- [7] Sankaran, C. 2002. *Power Quality*. USA: CRC Press
- [8] Saad, S.; Zellouma, S. 2009. *Fuzzy Logic Controller For Three-Level Shunt Active Filter Compensating Harmonics And Reactive Power*, *Electric Power Systems Research* 79, Page(s): 1337-1341.