

PENGARUH FILTER AKTIF TERHADAP LOSSES TRANSFORMATOR DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS UDAYANA BUKIT JIMBARAN DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER MENGGUNAKAN SIMULINK

I Kadek Indra Jana Martana¹, I Wayana Arta Wijaya², I Made Suartika³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia

Email : janamartana14@gmail.com¹, artawijaya@ee.unud.ac.id², madesuartika@unud.ac.id³

ABSTRAK

Harmonisa dalam sistem kelistrikan dapat berdampak buruk bagi kualitas energi listrik yang disalurkan. Harmonisa merupakan fenomena yang muncul akibat pengoperasian beban listrik non linier. Sehingga menyebabkan pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi yang berbeda dari frekuensi fundamentalnya. *Total harmonic distortion*(THD) merupakan besaran nilai efektif gelombang yang terdampak harmonisa sehingga dapat berpengaruh terhadap rugi-rugi daya listrik. Penelitian ini menganalisis rugi-rugi daya pada transformator KA4214 di Fakultas Teknik Universitas Udayana Bukit Jimbaran. Metode yang digunakan yaitu melakukan simulasi dan analisis hasil dari pengukuran harmonisa yang dilakukan pada kondisi *existing* menggunakan filter aktif, dan menggunakan filter aktif dengan *fuzzy logic controller* lalu dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014. Hasil simulasi dari menggunakan filter aktif dengan *fuzzy logic controller* didapatkan nilai THD arus yang terkecil dari masing-masing fasa yaitu R = 0,28%, S = 0,71% dan T = 0,72% dengan rugi-rugi daya yang dihasilkan sebesar 0,0009905 kW

Kata kunci : Harmonisa, Filter Aktif, Fuzzy Logic Controller (FLC)

ABSTRACT

Harmonics in the electrical system can have a negative impact on the quality of the electrical energy being distributed. Harmonics are phenomena that arise due to the operation of non-linear electrical loads. Thus causing the formation of waves with a frequency that is different from the fundamental frequency. Total harmonic distortion (THD) is the effective value of waves affected by harmonics so that they can affect power losses. This study analyzes the power losses in the KA4214 transformer at the Faculty of Engineering, Udayana University, Bukit Jimbaran. The method used is to carry out simulations and analysis of the results of harmonic measurements carried out in existing conditions using active filters, and using active filters with fuzzy logic controllers and then compared with IEEE 519-2014 standards. The simulation results from using an active filter with a fuzzy logic controller obtained the smallest current THD value of each phase, namely R = 0.28%, S = 0.71% and T = 0.72% with the resulting power losses of 0.0009905 kW

Key Words : Harmonics, Active Filters, Fuzzy Logic Controller (FLC)

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik di Indonesia dibuat untuk bekerja pada frekuensi 50 Hz. Salah satu peralatan yang digunakan pada sistem tenaga listrik adalah transformator. Transformator merupakan peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dari tegangan rendah

ke tegangan tinggi (*step-up*) maupun sebaliknya dari tegangan tinggi ke tegangan rendah (*step-down*). Transformator juga memiliki fungsi yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik, sehingga diharapkan dapat beroperasi secara optimal dalam

menyalurkan energi listrik kepada konsumen.

Gangguan pada transformator salah satunya diakibatkan oleh kandungan harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Harmonisa adalah suatu fenomena yang terjadi akibat pengoperasian beban *non-linier* yang merupakan sumber terbentuknya gelombang dengan frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental). Tingginya tingkat harmonisa dapat menyebabkan kualitas daya pada sistem tenaga listrik menjadi buruk, bentuk gelombang tegangan dan arus sistem terdistorsi, rugi-rugi daya pada sistem meningkat, pemanasan transformator yang berlebih (*overheating*) peningkatan arus netral yang menyebabkan beban lebih pada konduktor netral dan mengakibatkan penurunan kinerja dari peralatan-peralatan yang terpasang. Tingkat distorsi harmonisa yang terjadi pada sistem tenaga listrik disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD) yang umumnya dinyatakan dalam satuan persen (%). Tingkat THD yang tinggi pada transformator sehingga melebihi standar yang ditetapkan dikategorikan sebagai gangguan sistem karena dapat memberikan efek negatif terhadap transformator. Semakin besar THD-nya maka semakin besar juga rugi-rugi yang dihasilkan (*losses*) pada saluran listrik tersebut.[1]

Fakultas teknik universitas udayana bukit jimbaran disuplai oleh 3 transformator, salah satunya transformator KA4214 berkapasitas 250 kVA yang menyuplai gedung dekanat, undagi, arsitek dan teknik mesin. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan untuk THDi pada masing-masing fasa diperoleh R sebesar 10,4%, S sebesar 9,1% dan T sebesar 9,0%. Menurut IEEE 519-2014 batasan THDi yang ditentukan yaitu sebesar 8% sehingga diketahui bahwa THDi pada transformator KA4214 melebihi standar IEEE 519-2014. Maka dari itu perlu dilakukan cara untuk meredam harmonisa pada transformator difakultas teknik universitas udayana bukit jimbaran.

Solusi yang dilakukan untuk menanggulangi harmonisa adalah salah satunya dengan pengoperasian filter aktif. Filter aktif merupakan tipe baru untuk peralatan filter eliminasi harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Filter ini disusun dari peralatan-peralatan elektronika daya. Komponen utama yang terdapat pada filter aktif adalah inverter dan rangkaian pengontrol. Filter aktif bekerja dengan menyalurkan arus untuk meredam harmonisa yang terkandung pada arus beban sehingga arus output menjadi sinusoidal dan mempunyai kualitas yang baik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan simulasi pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* untuk mengetahui pengaruh dari THDi terhadap rugi-rugi daya pada transformator di fakultas teknik universitas udayana bukit jimbaran dengan menggunakan *simulink* MATLAB.

2. Kajian Pustaka

2.1 Kualitas Daya Listrik (*Power Quality*)

Kualitas daya listrik merupakan tenaga listrik yang handal serta mampu menyalurkan energi listrik dengan kualitas yang baik serta memenuhi standar, mempunyai kontribusi yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat, kualitas daya juga dapat diartikan dalam hubungan dari daya listrik dengan peralatan listrik. Kualitas daya listrik menunjukkan setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik.[2]

2.2 Standar Harmonisa

Standar diberlakukan untuk memberikan batasan terhadap kandungan harmonisa agar tidak merusak kehandalan sistem. *Institute of electrical and electronic engineer* (IEEE) telah mengeluarkan *IEEE std.519-2014 Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power system*. [3]

Tabel 1. Standar IEEE std 519TM-2014 tentang batas THD arus[3]

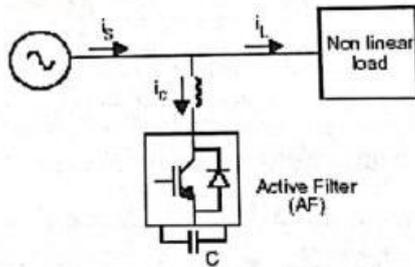
Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic orde (odd harmonic) ^{a,b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.1	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	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

Batas THD arus dalam sistem tenaga listrik dapat diketahui dengan melakukan perhitungan *Short Circuit Ratio* (SCR).[4]

$$SCR_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (1)$$

2.3 Filter Aktif

Filter aktif adalah rangkaian elektronik yang terdiri dari komponen R,L,C yang dirancang dalam meredam harmonisa pada beban non-linier dalam sistem tenaga listrik. filter aktif menyalurkan arus untuk meredam harmonisa yang terkandung pada arus beban [5]



Gambar 1. Filter Aktif

2.4 Losses pada Transformator

Losses pada transformator (P_{LL}) dapat dalam satuan per unit (p.u) dapat diketahui dengan menggunakan rumus. [6]

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R} \text{ (p.u)} \quad (2)$$

untuk mengetahui *load loss* (P_{LL}) dalam satuan kW digunakan rumus [4] :

$$P_{LL} \text{ (kW)} = P_{LL} \text{ (p.u)} \times P_{base \ 1\phi} \quad (3)$$

$$P_{base \ 1\phi} = \frac{S \times \cos\phi}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

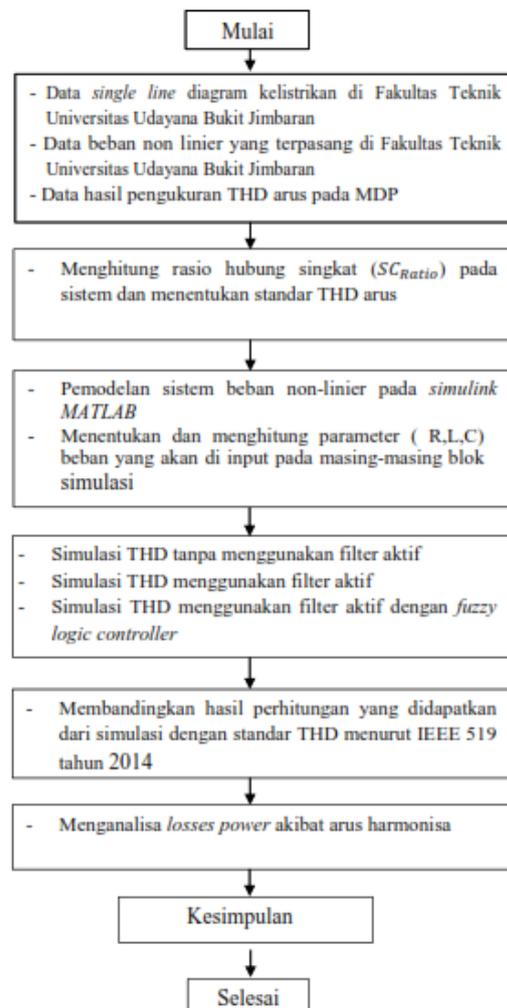
2.5 Fuzzy Logic Controller

Fuzzy logic controller merupakan metode memproses data yang menggunakan serangkaian himpunan keanggotaan, yang terinspirasi dari proses

persepsi dan penalaran yang dilakukan oleh manusia.[7]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Teknik Universitas Udayana Bukit Jimbaran. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan April 2022.



Langkah 1. Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data, yaitu data beban, data *single line diagram* sistem kelistrikan di

fakultas teknik universitas udayana bukit jimbaran, data pengukuran pada masing-masing fasa pada saat beban penuh meliputi THD arus, tegangan, arus, faktor daya, daya aktif dan daya semu Langkah 2. Menghitung rasio hubung singkat (SC_{Ratio}) pada sistem dan menentukan standar THD arus.

Analisis dilakukan untuk mengetahui nilai dari rasio hubung singkat sehingga dapat diketahui batas maksimum THD arus berdasarkan IEEE 519-2014 pada MDP fakultas teknik bukit jimbaran. Langkah 3. Menentukan dan Menghitung nilai parameter (R,L,C) beban yang akan di input pada masing-masing blok pada simulasi, Pemodelan sistem beban non linier tiga fasa pada *Simulink MATLAB*.

langkah selanjutnya menghitung nilai parameter (R,L,C) pada masing-masing fasa yang nantinya akan dimasukkan pada simulasi MATLAB

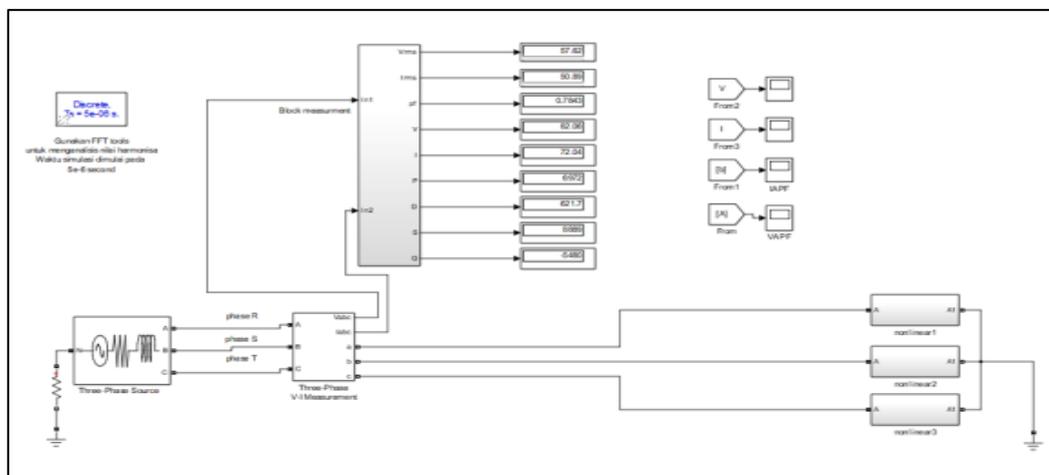
Langkah 4. Simulasi sistem pada kondisi *existing*, pengoperasian filter aktif dan pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* menggunakan *simulink MATLAB*.

Saat dilakukan simulasi sistem kelistrikan pada MDP di fakultas teknik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi THD Arus Pada Kondisi *Existing*

Simulasi THD arus pada kondisi *existing* dilakukan dengan menggunakan software MATLAB. Simulasi sistem kelistrikan pada MDP di fakultas teknik universitas udayana bukit jimbaran dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Pemodelan Sistem dalam Kondisi *Existing*

bukit jimbaran akan dilihat nilai dari THD arus, bentuk output gelombang arus dan tegangan yang terdistorsi, orde harmonisa, arus serta tegangan fundamental

Langkah 5. Membandingkan hasil perhitungan yang didapatkan dari simulasi dengan standar THD menurut IEEE 519 tahun 2014

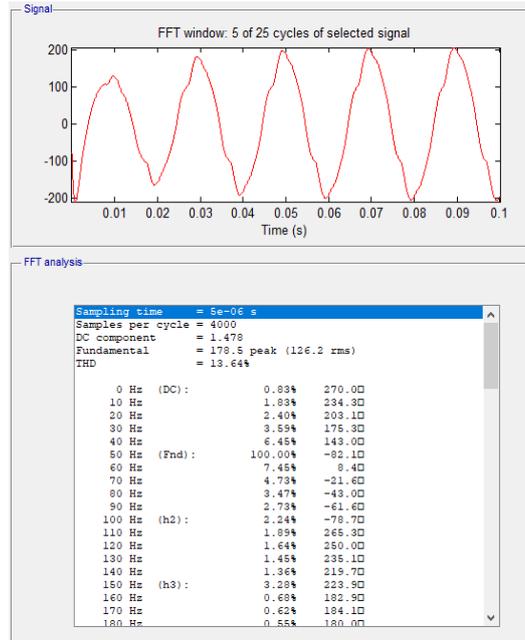
Setelah dilakukan simulasi pada masing-masing pengoperasian, selanjutnya membandingkan hasil tersebut dengan standar IEEE 519-2014 yang mana THD arus yang dihasilkan tidak melewati batas standar yang diperbolehkan.

langkah 6. Menganalisa *losses* akibat arus harmonisa.

Dengan menghitung *losses* dari setiap pengoperasian yang dilakukan, maka dapat diketahui pengoperasian mana yang menghasilkan nilai *losses* yang terkecil.

langkah 7. Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan langkah-langkah tersebut maka penarikan kesimpulan dapat dilakukan sehingga dapat memberikan penjelasan yang lebih mudah

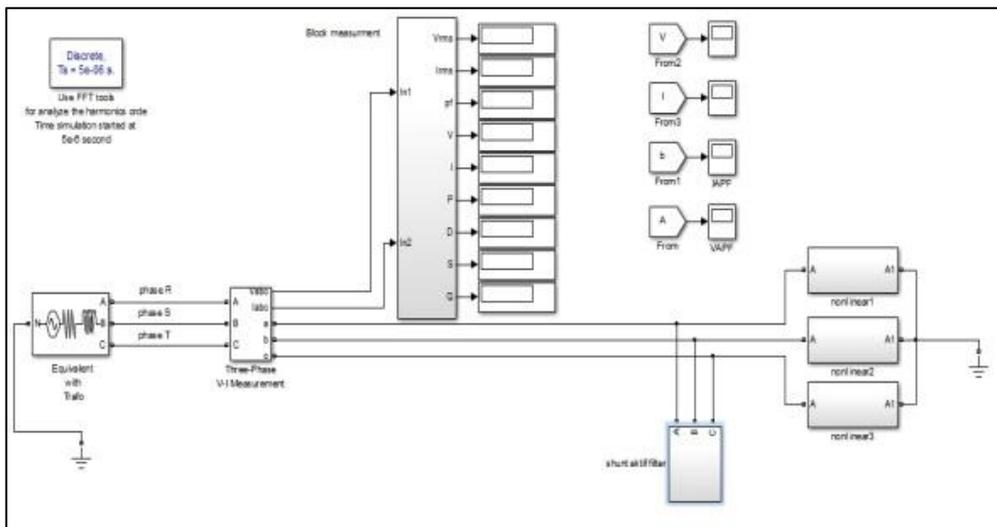


Gambar 4. Sinyal Arus, THDi dan Orde Harmonisa Pada Fasa S dalam Kondisi Existing.

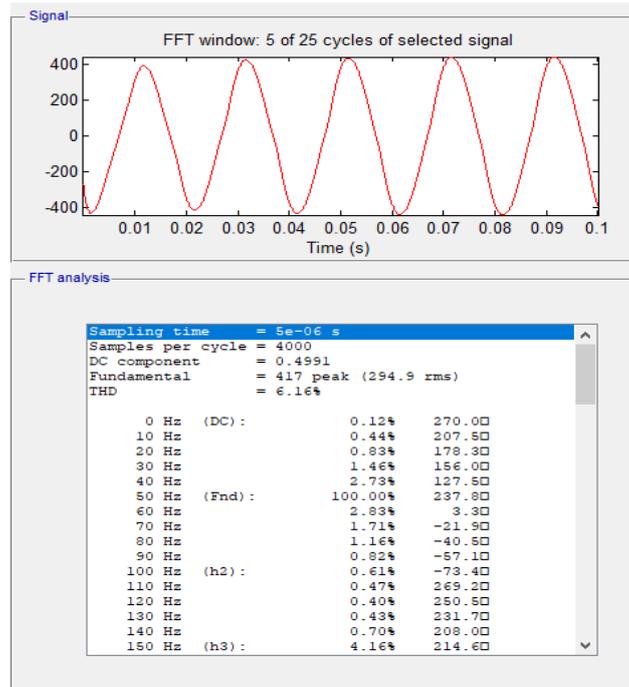
Gambar 4 merupakan hasil simulasi THDi saat kondisi existing pada fasa S didapatkan sebesar 13,64 %. Dengan menggunakan cara yang sama didapatkan hasil simulasi THDi untuk fasa R dan T masing-masing sebesar 12,16 % dan 11,89 %.

4.2 Simulasi THD Arus Pengoperasian Filter Aktif

Pemodelan simulasi THD arus dengan pengoperasian filter aktif dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan Sistem Dalam Pengoperasian Filter Aktif

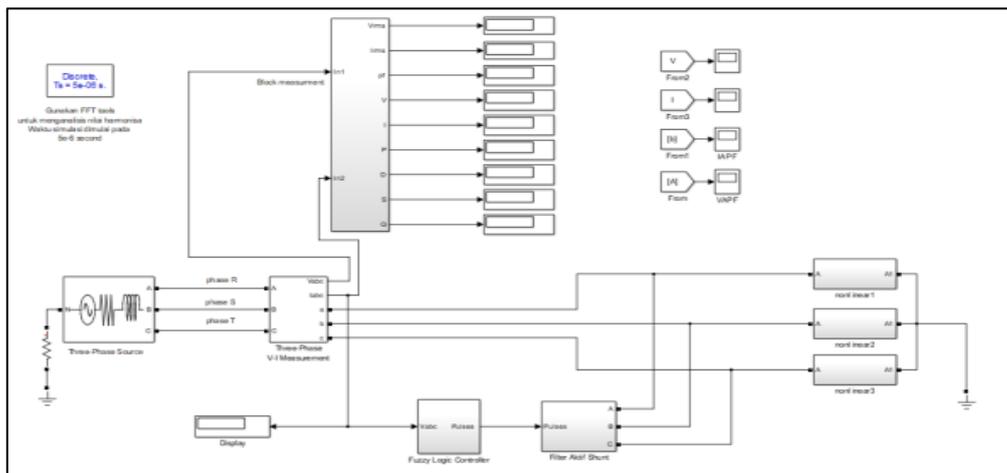


Gambar 6. Sinyal Arus, THDi dan Orde Harmonisa Pada Fasa T Dengan Pengoperasian Filter Aktif.

Gambar 6 merupakan hasil simulasi THD arus dengan pengoperasian filter aktif pada fasa T yaitu 5,63 %. Dengan menggunakan cara yang didapatkan hasil pada masing-masing fasa R dan S adalah 5,80 % dan 6,16 %.

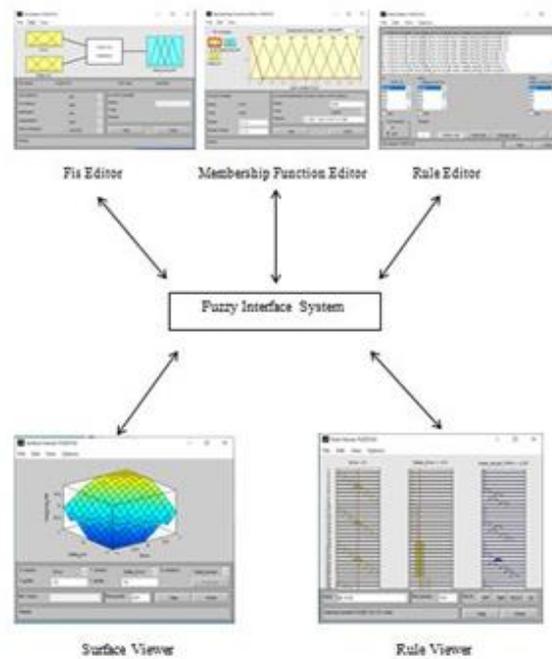
4.3 Simulasi THD Arus Dalam Pengoperasian Filter Aktif Dengan *Fuzzy Logic Controller*

Simulasi THD arus dalam pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller*



Gambar 7. Pemodelan Sistem Kelistrikan Pada Kondisi Pengoperasian Filter Aktif Dengan *Fuzzy Logic Controller*

Pada simulasi THD arus dalam pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller*. Software MATLAB simulink menyediakan *fuzzy logic toolbox*, yang mana memiliki 5 jenis *graphic user interface* (GUI) untuk merancang *fuzzy inference system* (FIS)



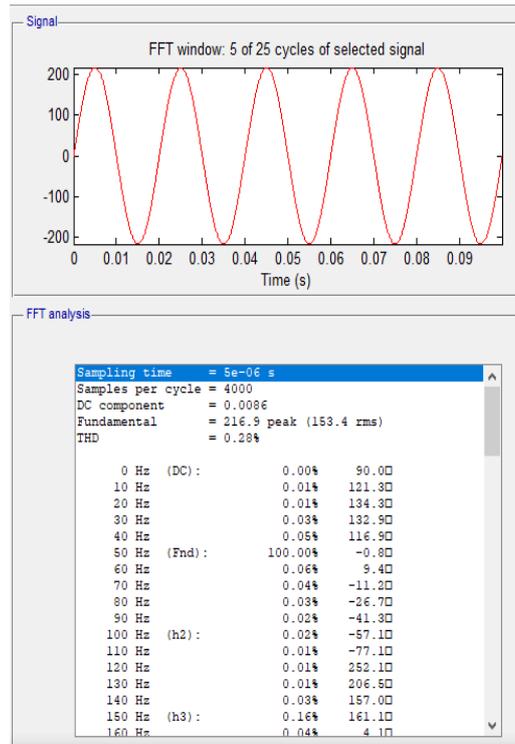
Gambar 8. Fuzzy Inference System

Metode yang digunakan pada simulasi ini yaitu metode mamdani berupa variabel *input* tegangan *error* dan tegangan *delta error*.

Tabel 2. Rule Base 9x9 Fuzzy Logic Controller

	<i>Error</i>								
<i>D_error</i>	NVB	NB	NS	NM	ZE	PS	PM	PB	PVB
NVB	NVB	NVB	NVB	NVB	NVB	NB	NM	NS	ZE
NB	NVB	NVB	NVB	NVB	NB	NM	NS	ZE	PS
NM	NVB	NVB	NVB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
NS	NVB	NVB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
ZE	NVB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PVB
PS	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PVB	PVB
PM	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PVB	PVB	PVB
PB	NS	ZE	PS	PM	PB	PVB	PVB	PVB	PVB
PVB	ZE	PS	PM	PB	PVB	PVB	PVB	PVB	PVB

Variabel linguistik yang dibentuk dalam 9 fungsi keanggotaan. Dimana masing-masing himpunan pada *error* dan *delta error* dibagi menjadi 9 fungsi keanggotaan



Gambar 9. Sinyal Arus, THDi, dan Orde Harmonisa Pada Phasa R Setelah Pengoperasian Filter Aktif dengan *Fuzzy logic controller*

Gambar 9 merupakan hasil simulasi THD arus dalam pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* didapatkan hasil pada phasa R sebesar 0,28 % dengan menggunakan cara yang sama didapatkan hasil pada masing-masing phasa S dan T yaitu 0,71 % dan 0,72 %.

4.4 Perbandingan *losses* Pada Setiap Kondisi Pengoperasian.

Load loss(P_{LL}) yang didapatkan pada setiap phasa pada kondisi *existing* dalam satuan p.u dapat dilihat pada tabel 3 berikut

Tabel 3. Nilai I^2 dalam satuan (p.u) untuk phasa R,S dan T pada kondisi *existing*

Orde Harmonisa	Phasa R		Phasa S		Phasa T	
	Ih (p.u)	Ih2 (p.u)	Ih (p.u)	Ih2(p.u)	Ih (p.u)	Ih2(p.u)
3	0,01371	0,0001879641	0,02599	0,00107584	0,01511	0,000228389
5	0,04869	0,0002370716	0,04160	0,00275625	0,04807	0,002310796
7	0,01958	0,0003833764	0,02297	0,000841	0,02307	0,000532259
9	0,00293	0,0000085849	0,02456	0,00000961	0,00418	0,000017472
11	0,00388	0,000015054	0,00364	0,00002116	0,00080	6,46e ⁻⁷
13	0,00222	0,000049284	0,00419	0,00002809	0,00289	8,37e ⁻⁶
15	0,00111	0,0000012321	0,00229	0,00000841	0,00176	3,12e ⁻⁶
17	0,00087	0,0000007569	0,00118	0,00000225	0,00136	1,86e ⁻⁶
19	0,000079	6,2e ⁻⁹	0,00229	0,00000841	0,00209	4,36e ⁻⁶
Total		0,00029734		0,00474261		0,003107301

Berdasarkan tabel 3 diatas dapat diketahui *load loss*(P_{LL}) pada masing-masing phasa dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$P_{LL} \text{ phasa S (p.u)} = 0,00474261 + (0,00474261 \times 13,64^2) \times 0,01 = 0,0136 \text{ (p.u)}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui load loss(P_{LL}) dalam satuan kW yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_{LL} \text{ phasa S} &= P_{LL}(\text{p.u}) \times P_{\text{base } 1\phi} \\
 &= 0,0135 \times 129,90 \\
 &= 1,76225158 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

dengan menggunakan cara yang sama pada masing-masing phasa maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. Load Loss Pada Kondisi Existing

Phasa	Losses (p.u)	$P_{\text{base } 1\phi}$ (kW)	Losses (kW)
R	0,00738	129,90	0,9582
S	0,0135	129,90	1,7623
T	0,00750	129,90	0,9742
Total			3,6947

Sehingga dengan menggunakan cara perhitungan sama dalam setiap simulasi pengoperasian filter aktif dan pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Perbandingan THDi dan Losses dalam Setiap Pengoperasian

Kondisi pengoperasian	THDi (%)			Total Losses (kW)
	R	S	T	
Eksisting	12,16	13,64	11,89	3,6947
Filter aktif	5,80	6,16	5,63	0,11052
Filter aktif dengan <i>fuzzy logic controlleer</i>	0,28	0,71	0,72	0,0009905

Berdasarkan tabel 5 diatas diketahui losses dan THD arus paling rendah didapatkan pada kondisi pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa simulasi yang telah dilakukan pada transformator distribusi KA4214 di fakultas teknik universitas udayana dapat disimpulkan yaitu pada kondisi *existing* persentase nilai THDi pada phasa R sebesar 12,16%, S sebesar 13,64%, T sebesar 11,89%. Nilai tersebut tidak sesuai dengan standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 8%. Tingginya nilai THDi tersebut dapat berpengaruh pada Losses pada sistem kelistrikan di fakultas teknik universitas udayana. penurunan nilai THDi dilakukan dengan pengoperasian filter aktif dengan persentase nilai pada phasa R sebesar 5,80%, S sebesar 6,16%, T sebesar 5,63%. Dan saat pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* nilai THDi mengalami penurunan kembali yaitu pada phasa R sebesar 0,28%, phasa S sebesar 0,71%, phasa T sebesar 0,72%.

Losses yang dihasilkan pada kondisi *existing* sebesar 3,6947 kW. Saat pengoperasian filter aktif Losses yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi 0,11502 kW. Sedangkan pada saat pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* mengalami penurunan yang signifikan dengan nilai Losses yang dihasilkan sebesar 0,0009905 kW. Sehingga Pengaruh pengoperasian filter aktif dengan *fuzzy logic controller* mampu mengkompensasi arus harmonisa dan mengurangi Losses pada sistem kelistrikan di fakultas teknik universitas udayana.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W. 2004. *Electrical Power System Quality - Second Edition*. USA: McGraw-Hill
- [2] Sankaran, C. 2002. *Power Quality*. Florida: CRC Press LLC.

- [3] IEEE Standard 519-2014 95011/4 (Cooper Power System as Bulletin 87011, *Electrical Power Control in Electric Power System*.
- [4] IEEE. 2014. *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic*
- [5] 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.
- [6] Dugan, R.C., Rizy, D.T. 2001. *Harmonic Consideration for Electrical Distribution Feeder*, *National Technical Information Service, Report No. ORNL/Sub/81-*
- [7] Kusumadewi S, Purnomo H, 2013, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- [8] De La Rosa, F. C. 2006. *Harmonics And Power System*. United State of America: Taylor & Francis Group.
- [9] Dugan, R.C. 1996. *Electrical Power System Quality*. New York: Marcell Deker.
- [10] Harlow, J.H. 2004. *Electric Power Engineering*. United States of America : CRC
- [11] Jerry, Rinas, I.W dan Wijaya Arta.I.W., 2019. Pengaruh *fuzzy logic controller* pada pengoperasian filter aktif *shunt* terhadap penurunan THDi dan rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan RSUD Klungkung. *Jurnal SPEKTRUM Vol.6 No.3*
- [12] Kurniawan, Wijaya Arta.I.W dan Rinas, I.W., 2020. Penggunaan *fuzzy logic controller* pada filter aktif untuk meredam harmonisa akibat beban *non linier* di Bali *National Golf Resort*. *Jurnal SPEKTRUM Vol.7 No.3*
- [13] Rinas, I.W dan Suartika I.M. Pengaruh Distorsi Harmonisa Arus Terhadap Kapasitas Kerja Trafo Daya Pada Sistem Tenaga Listrik. Jimbaran :Jurusan Teknik Elektro, Universitas Udayana. 2018.
- [14] Widiastara, W.A.A., Rinas, I.W. dan Sukerayasa, I.W. Analisis Pengaruh Total Harmonic Distortion Terhadap Losses dan Efisiensi Transformator RSUD Kabupaten Klungkung. Jimbaran :Jurusan Teknik Elektro, Universitas Udayana. 2016.
- [15] Z. Zukhri, : ANDI. Algoritma Genetika Metode Komputasi Evolusioner untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi, Yogyakarta, 2014
- [16] Rinas, I.W. 2017. *Kualitas Daya Listrik & Beberapa Solusinya*. Denpasar: Udayana University Press.