

---

# Jurnal *Rekayasa Elektrika*

---

VOLUME 11 NOMOR 2

OKTOBER 2014

---

**Desain Filter Aktif dengan Skema Fuzzy Logic Controller untuk Mereduksi Harmonisa** 62-68

*Irfandi Nu'man Dani, Usman Ba'afai, dan Marwan Ramli*

---

|     |         |       |           |                             |                                      |
|-----|---------|-------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|
| JRE | Vol. 11 | No. 2 | Hal 45-78 | Banda Aceh,<br>Oktober 2014 | ISSN. 1412-4785<br>e-ISSN. 2252-620X |
|-----|---------|-------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|

# Desain Filter Aktif dengan Skema Fuzzy Logic Controller untuk Mereduksi Harmonisa

Irfandi Nu'man Dani<sup>1</sup>, Usman Ba'afai<sup>1</sup>, dan Marwan Ramli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Elektro, Universitas Sumatra Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155

<sup>2</sup>Program Studi Matematika, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 3, Banda Aceh 23111

e-mail: dani\_balsem@yahoo.co.id

**Abstrak**— Harmonisa diketahui sebagai salah satu penyebab penurunan kualitas sistem tenaga listrik yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap peralatan elektronika. Usaha perbaikan dengan menurunkan harmonisa yang telah dilakukan dengan filter pasif belum cukup memuaskan, sehingga perlu dikembangkan filter aktif. Penelitian ini mengajukan perancangan filter aktif paralelmenggunakan *inverter* tiga tingkat dengan skema *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang digunakan untuk meredam harmonisa. Penggunaan *Multilevel Inverter* (MLI) tiga tingkat pada filter aktif paralel mempunyai keuntungan berupa distorsi harmonisa yang rendah dan dapat mengurangi stres *switching*. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa filter aktif paralel tiga tingkat mampu mereduksi harmonisa arus dan tegangan di sisi sumber;  $THD_i$  sebelum pemasangan filter adalah sebesar 26,16% dan dapat diturunkan menjadi 2,42%. Sedangkan  $THD_v$  berhasil direduksi dari 0,45% menjadi 0,17%. Harmonisa orde kelima merupakan komponen harmonisa yang paling mengganggu, dimana nilai  $IHD_i$  sebelum pemasangan filter adalah sebesar 21,44%, menjadi 1,2% setelah pemasangan filter aktif.

**Kata kunci:** MLI, FLC,  $THD_i$ ,  $THD_v$

**Abstract**—Harmonics are known as one of the causes of decline in the quality of the electrical power system, which can cause a negative impact on electronic equipment. Harmonics reduction that has been achieved with the passive filters is not quite satisfactory, thus development of active filters is required. This research proposes the use of parallel active filter design using a three-level inverter with the scheme of Fuzzy Logic Controller (FLC) that is used to reduce harmonics. The use of three stages Multilevel Inverter (MLI) on parallel active filter has several advantages that are lowering harmonic distortion and reducing stress switching. From the simulation results, it was obtained that three parallel active filters were capable of reducing the level of harmonic currents and voltages at the source;  $THD_i$  before installation of the filter was equal to 26.16% and can be lowered to 2.42%. While  $THD_v$  was reduced from 0.45% to 0.17%. Fifth-order harmonics is the most disturbing harmonic component, in which the value of  $IHD_i$  before installing the filter is equal to 21.44% and reduce to 1.2% after the installation of the active filter.

**Keywords:** MLI, FLC,  $THD_i$ ,  $THD_v$

## I. PENDAHULUAN

Beban yang bersifat tidak linier dapat menimbulkan distorsi bentuk gelombang, baik arus maupun tegangan. Distorsi gelombang ini biasanya disebut harmonisa, yang merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas dari sistem tenaga. Adanya harmonisa dapat menimbulkan permasalahan antara lain adalah faktor daya rendah, *overheating*, dan dapat meningkatkan rugi-rugi energi [1]. Harmonisa juga dapat menurunkan kualitas sistem tenaga listrik yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap peralatan-peralatan lain pada suatu instalasi.

Banyak usaha yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang muncul karena adanya harmonisa. Cara yang paling sederhana dan sering dilakukan adalah dengan menggunakan filter pasif. Filter pasif tersebut paling sering digunakan karena biaya pembuatan yang rendah

dan strukturnya yang sederhana. Namun, filter tersebut tidak dapat menyelesaikan masalah yang ditimbulkan oleh variasi acak dari bentuk gelombang pada beban karena filter ini biasanya ditala pada frekuensi tertentu. Filter ini juga dapat menghasilkan resonansi seri dan paralel dengan impedansi sumber [2].

Untuk memecahkan masalah ini, maka dikembangkan penggunaan filter aktif. Filter akan bekerja ketika kondisi beban dirasakan sudah mulai mengganggu. Ketika beban tidak cukup mengganggu maka filter tidak bekerja atau bernilai nol. Peralatan penalaan yang berasal dari filter aktif ini pada dasarnya harus memiliki dua jenis karakteristik, yaitu mampu ditala dengan frekuensi tinggi dan kemampuan untuk bekerja pada rating daya tinggi.

Dalam perkembangannya, filter aktif dengan metode kontrol yang bermacam-macam masih terus dikembangkan, akan tetapi masih terdapat banyak kerumitan pada rangkaian. Pada awalnya dan cukup populer, dikenal

sistem kontrol yaitu kontroler *PI* (*Proportional Integral*), fungsi kontrol yang *men-tuning gain-gain*-nya secara manual. Untuk mengatasi kelemahan tersebut dikenal kontroler seperti logika *fuzzy*, *robust*, adaptif, *neural network*, algoritma genetika, optimal dan *controller* lain yang bisa berupa gabungan.

## II. LATAR BELAKANG

### A. Harmonisa

Beban tidak linier sekarang ini sudah tidak bisa dihindari lagi pemakaiannya dalam sistem tenaga listrik. Banyak industri yang memanfaatkan konverter dengan *thyristor* dan *rectifier*, ataupun peralatan rumah tangga yang memanfaatkan komponen seperti dioda, *thyristor* dan sebagainya. Beban-bekan tersebut dapat menimbulkan distorsi bentuk gelombang arus maupun tegangan. Distorsi gelombang ini biasa disebut harmonisa seperti terlihat pada Gambar 1.

Besaran harmonisa biasanya diukur menggunakan parameter THD (*Total Harmonic Distortion*), baik untuk arus ( $THD_i$ ) maupun tegangan ( $THD_v$ ).

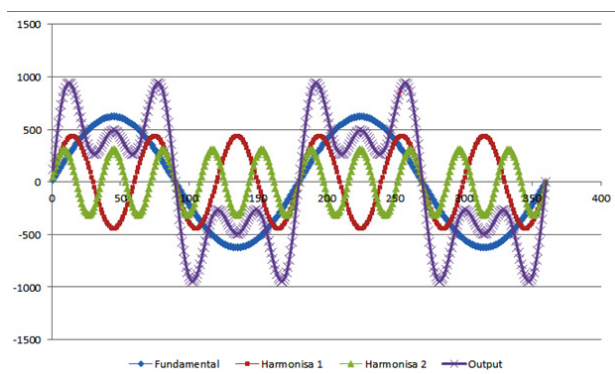
$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

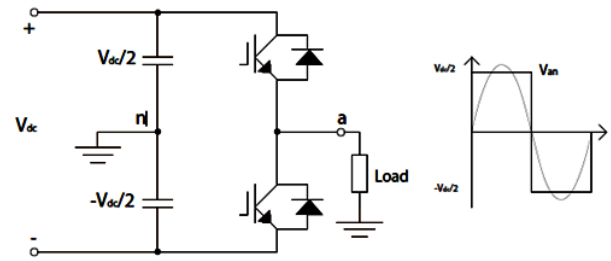
dimana  $THD_i$ : *Total Harmonic Distortion* arus;  $THD_v$ : *Total Harmonic Distortion* tegangan;  $I_h$ : komponen harmonisa arus ke- $h$ ;  $I_1$ : arus frekuensi fundamental (*rms*);  $V_h$ : komponen harmonisa tegangan ke- $h$ ; dan  $V_1$ : tegangan frekuensi fundamental (*rms*).

### B. Multilevel Inverter

Awalnya *inverter* konvensional memiliki konfigurasi dua tingkat, seperti pada Gambar 2, untuk menghasilkan tegangan AC dari tegangan DC. Dua tingkat *inverter* hanya bisa membangkitkan dua *level* tegangan output



Gambar 1. Distorsi gelombang harmonisa



Gambar 2. Konfigurasi *inverter* dua *level* satu fasa (kiri) dan bentuk gelombang keluaran (kanan)

untuk beban, yaitu  $(+)V_{dc}/2$  dan  $(-)V_{dc}/2$ .

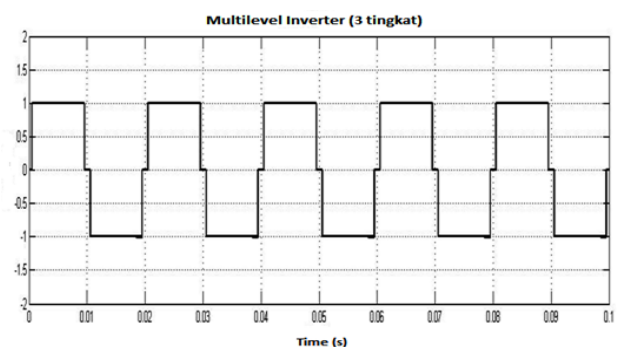
Untuk membangun keluaran tegangan AC, dua tegangan ini biasanya dilakukan dengan memodulasi lebar pulsa atau lebih dikenal dengan *Pulse Width Modulation* (PWM). Meskipun metode ini efektif dalam menghasilkan gelombang output, namun terdapat distorsi harmonik pada tegangan keluaran (dibandingkan dengan *inverter multilevel*). Hal ini mungkin tidak selalu menjadi masalah, tetapi untuk beberapa aplikasi tertentu dibutuhkan distorsi rendah dalam tegangan keluaran [3,4].

Konsep *Multilevel Inverter* (MLI) tidak hanya bergantung pada dua tingkat tegangan untuk dapat menghasilkan sinyal AC. Beberapa tingkat tegangan dapat ditambahkan untuk menciptakan gelombang yang semakin halus, dengan menghasilkan distorsi harmonisa yang rendah. Gambar 3 menunjukkan tegangan keluaran *multilevel inverter* 3 tingkat.

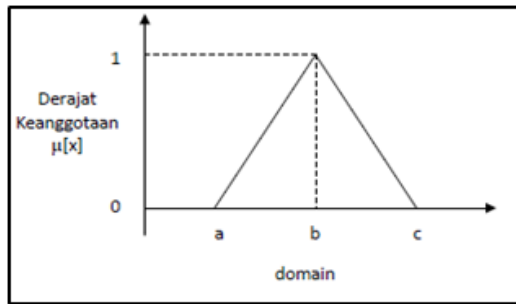
Semakin banyak *level* tegangan yang dihasilkan maka gelombang semakin mendekati sinusoidal, tetapi dengan berbagai tingkatan tersebut desain akan menjadi lebih rumit, lebih banyak komponen dan metode kontroler yang lebih sulit.

Ada beberapa fitur menarik dalam *multilevel inverter*, antara lain mampu menghasilkan tegangan keluaran dengan distorsi yang sangat rendah, beroperasi dengan frekuensi *switching* yang lebih rendah dibandingkan dengan *inverter* dua tingkat (metode konvensional). Dengan tingkat frekuensi yang lebih rendah maka tingkat “*stress*” komponen juga bisa dihindari, sehingga umur komponen akan menjadi lebih panjang. Berikut keuntungan menggunakan *multilevel inverter* [3]-[6]:

1. *Multilevel Inverter* dapat menghasilkan tegangan output dengan distorsi yang sangat rendah.



Gambar 3. Tegangan keluaran *multilevel inverter* 3 tingkat



Gambar 4. Representasi segitiga

2. *Multilevel Inverter* dapat menghasilkan arus masukan dengan distorsi yang sangat rendah.
3. *Multilevel Inverter* menghasilkan lebih kecil tegangan *common-mode* (CM), sehingga mengurangi stres.
4. *Multilevel Inverter* dapat beroperasi dengan frekuensi *switching* yang lebih rendah.

### C. Konsep Fuzzy Logic

*Fuzzy Logic Controller* (FLC) merupakan alternatif sistem kendali modern yang mudah karena tidak perlu dicari model matematis dari suatu sistem, tetapi tetap efektif karena memiliki respon sistem yang stabil. Logika *fuzzy* berfungsi untuk mewakili sesuatu yang tidak pasti dan tidak tepat dari sistem, sedangkan kontrol *fuzzy* memungkinkan untuk mengambil keputusan walaupun input atau output dari sistem tidak pasti dan tidak dapat diperkirakan [7-9].

Beberapa alasan penggunaan logika *fuzzy* antara lain [10]-[12]:

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.
4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi tidak linier yang kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.

FLC adalah evaluasi seperangkat aturan *linguistic* sederhana untuk menentukan aksi kontrol. Untuk mengembangkan aturan logika *fuzzy*, kita perlu memahami baik proses untuk dikendalikan, tetapi tidak memerlukan model matematis yang rumit [12]. FLC terdiri atas tiga tahapan utama yaitu:

1. Proses fuzzifikasi

Pembentukan fungsi keanggotaan menggunakan representasi kurva segitiga seperti terlihat pada Gambar 4.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & a < x < b \\ (c-x)/(c-b) & b < x < c \end{cases} \quad (3)$$

Parameter  $\mu[x]$  menunjukkan derajat keanggotaan, sedangkan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah nilai himpunan *fuzzy*.

2. Pembentukan aturan

Dalam proses *fuzzy*, pembentukan aturan merupakan faktor yang sangat penting. Di dalam pembentukan aturan, digunakan pemanfaatan logika *fuzzy* AND.

3. Proses defuzzifikasi

Dalam penelitian yang digunakan adalah metode Centroid (*Composite Moment*). Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy* yang secara umum dirumuskan:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (4)$$

dengan  $z$  merupakan parameter solusi *crisp* dari algoritma *fuzzy*.

### III. METODE

Berikut ini diuraikan secara jelas tentang penelitian yang dilakukan:

#### A. Konfigurasi Sistem

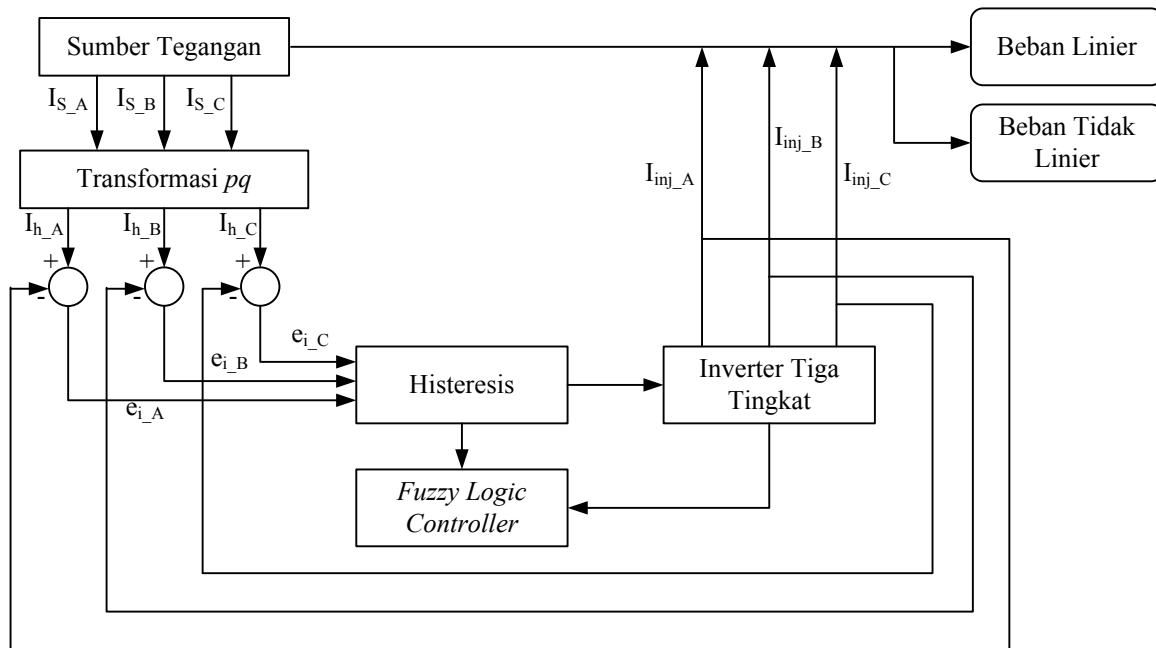
Desain sistem dapat dilihat pada Gambar 5. Sumber yang dibebani oleh sistem baik yang linier maupun tidak linier terdiri dari arus fundamental dan harmonisa, yaitu  $I_{sA}$ ,  $I_{sB}$ ,  $I_{sC}$ . Gelombang tersebut akan diproses menggunakan transformasi *pq*, sehingga akan didapatkan komponen fundamental dan juga komponen harmonisanya. Setelah didapatkan komponen harmonisanya, kemudian diproses dengan menjumlahkan arus yang diinjeksikan oleh filter (*closed loop*).

FLC sendiri digunakan untuk mempertahankan nilai tegangan yang berubah, dimana keluaran dari *fuzzy* ini akan diolah oleh *block hysteresis control* untuk menghasilkan pulsa. Pulsa ini yang berfungsi untuk menyalakan atau mematikan *switch* dari *inverter* 3 tingkat.

#### B. Transformasi *pq*

*Filtering* merupakan suatu proses untuk mendapatkan sinyal arus harmonisa dengan cara memfilter sinyal arus dan tegangan pada sistem. Dimana sinyal arus dan tegangan pada sistem memiliki dua komponen yaitu sinyal fundamental yaitu dengan frekuensi 50 Hz dan sinyal harmonisa dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental sistem. Untuk mengidentifikasi harmonisa arus digunakan *p-q theory* [7],[13]-[14].

Skema tranformasi *pq* bisa dilihat pada Gambar 6. Tranformasi Park secara matematik biasanya digunakan pada mesin sinkron 3 fasa yaitu untuk menyerderhanakan transformasi variabel tertentu dari sistem 3 fasa abc ke sumbu *dq0*. Kuantitas baru didapatkan dari proyeksi variabel aktual pada ketiga sumbu sepanjang sumbu *direct* kumparan rotor yang disebut sumbu *direct* (*d*), dan sepanjang sumbu netral kumparan medan yang disebut sumbu *quadrature* atau disebut sumbu stasioner. Untuk



Gambar 5. Desain sistem

memudahkan biasanya sumbu fasa  $a$  dianggap sebagai fasa referensi. Pergeseran sudut fasa referensi disebut  $\theta$ .

Transformasi Park ( $dq$ ) adalah untuk menyederhanakan transformasi semua kuantitas stator dari sumbu  $abc$  yang diubah kedalam referensi variabel baru yang disebut rotor. Jika kita mempunyai 3 variabel  $i_a$ ,  $i_b$ , dan  $i_c$  maka kita perlu menggunakan 3 variabel baru sehingga dengan transformasi Park menjadi 2 variabel baru yaitu variabel komponen  $i_d$  dan  $i_q$  dan variabel komponen ketiganya atau  $i_0$  adalah arus *stationer* yang sebanding dengan arus urutan nol. Untuk ketiga fasa yang seimbang sumbu nol biasanya dianggap nol. Gambar 6 adalah pemodelan persamaan untuk proyeksi perkalian transformasi Park [15].

### C. Fuzzy Logic

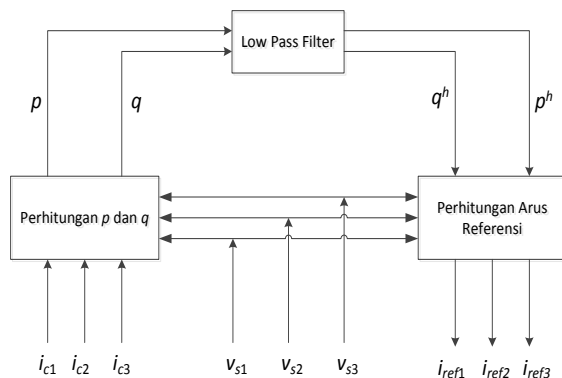
Implementasi *fuzzy logic* pada Matlab digunakan dengan memanfaatkan FIS (*Fuzzy Inference System*) Editor. Mulai dari setting *level* dari fungsi keanggotaan, dan batas masing-masing fungsi. Gambar 7 menjelaskan fitur dari FIS editor yang ada pada Matlab, ada tiga

bagian yang bisa di edit (*rules*, *FIS*, *membership*) dan dua bagian yang hanya bisa dilihat (*view only*).

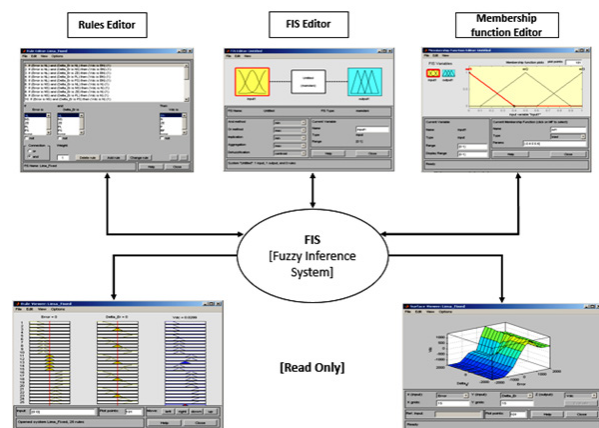
Pemodelan dari fungsi keanggotaan, dapat dilakukan dengan pilihan, seperti metode triangular, trapesium, *Gauss*, dan sebagainya. Dalam penelitian ini digunakan gabungan antara metode segitiga dan trapesium untuk himpunan poros-nya. Gambar fungsi keanggotaan untuk 5 *level* dan 7 *level* terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

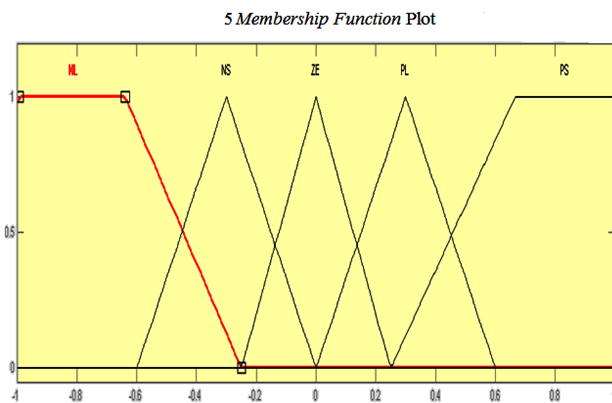
Ada dua bagian yang dilakukan dalam proses simulasi. Pertama dilakukan simulasi sistem tanpa menggunakan filter, sedangkan yang kedua sistem menggunakan filter aktif. Simulasi filter aktif sendiri menggunakan dua model fungsi keanggotaan yang berbeda. Simulasi dilakukan menggunakan *software* Matlab. Dengan menggunakan parameter sesuai Tabel 1.



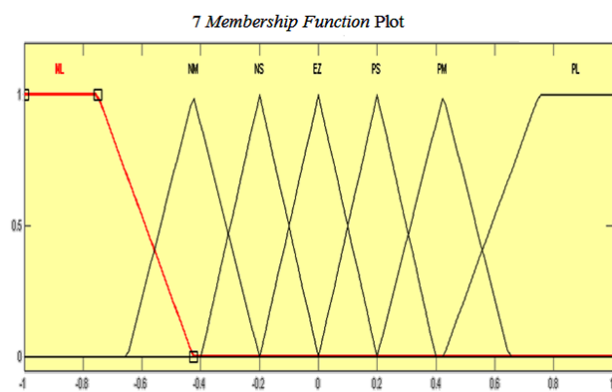
Gambar 6. Skema transformasi  $pq$



Gambar 7. FIS pada Matlab



Gambar 8. Fungsi keanggotaan error untuk 5 level



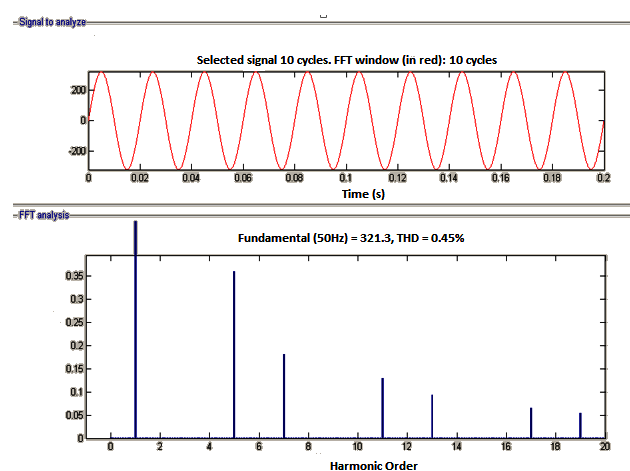
Gambar 9. Fungsi keanggotaan error untuk 7 level

#### A. Simulasi Awal tanpa Filter

Sebelum dilakukan pemasangan filter menunjukkan bentuk arus maupun tegangan tidak sinusoidal yang diakibatkan nilai fundamental sudah bercampur dengan harmonisa. Harmonisa tegangan seperti terlihat pada Gambar 10 masih dalam batasan yang normal, yaitu sebesar 0,45% masih bisa ditoleransi dalam standar

Tabel 1. Parameter simulasi

| Parameter              | Nilai                       | Satuan   |
|------------------------|-----------------------------|----------|
| Tegangan Sumber (v-v)  | 380                         | Volt     |
| Frekuensi Sumber       | 50                          | Hz       |
| Impedansi Saluran      | $R = 0.01$<br>$L = 1e^{-6}$ | Ohm<br>H |
| Beban Linear           |                             |          |
| Phase A = Phase B =    | $R = 10$                    | Ohm      |
| Phase C                | $L = 80e^{-3}$              | H        |
| Beban Non Linear Diode |                             |          |
| Resistance Ron         | $1e^{-1}$                   | Ohms     |
| Forward Voltage        | 0.8                         | V        |
| Snubber Resistance     | 1000                        | Ohms     |
| Snubber Capacitance    | $0.1e^{-6}$                 | F        |
| Resistor               | 1                           | Ohms     |
| Induktansi             | $70e^{-6}$                  | H        |
| Filter Aktif           |                             |          |
| Kapasitansi Cdc        | $40e^{-6}$                  | F        |
| Vdc Referensi          | 2000                        | V        |



Gambar 10. THDv sebelum pemasangan filter aktif

sebesar 2,5%.

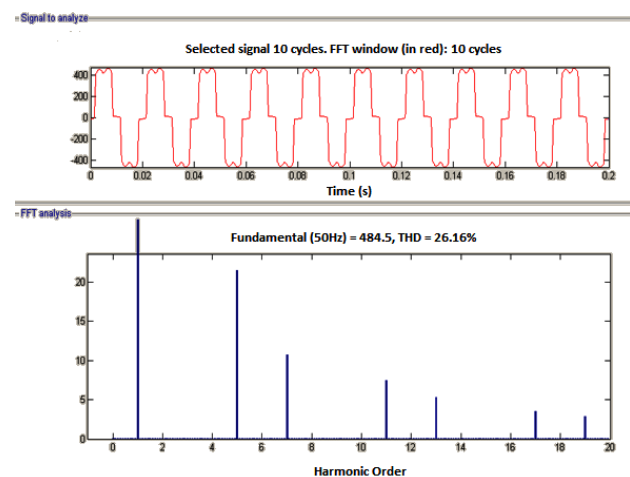
Sedangkan untuk harmonisa arus seperti pada Gambar 11. Terlihat dari hasil simulasi harmonisa arus di level 26.16% untuk semua fase (seimbang). Sehingga untuk harmonisa arus masih harus diperbaiki sampai ke level dibawah standar yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 5%.

#### B. Simulasi Sistem Menggunakan Fuzzy Logic 5 Fungsi Keanggotaan

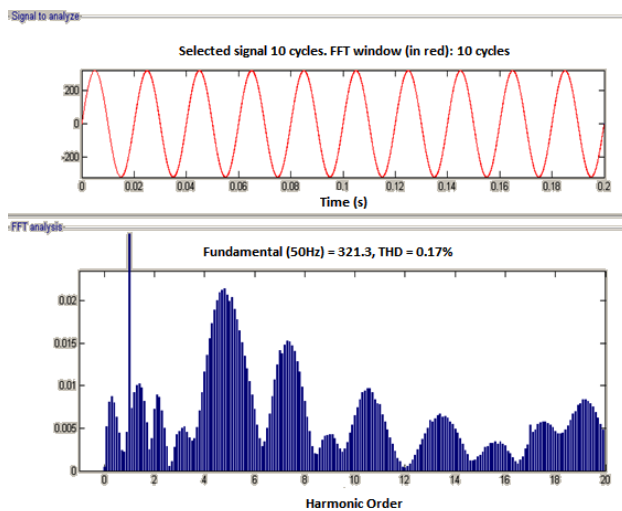
Secara umum, filter aktif dengan skema FLC menggunakan *multilevel inverter* tiga tingkat mampu meredam level harmonisa sehingga THD masih dibawah standart. Level THDV seperti terlihat pada Gambar 12 mengalami kenaikan dari sebelumnya sebesar 0,45% menjadi sebesar 0,17%.

Sedangkan untuk level THDI seperti terlihat pada Gambar 13 mengalami perbaikan dari sebelumnya 26,16% menjadi 2,42%.

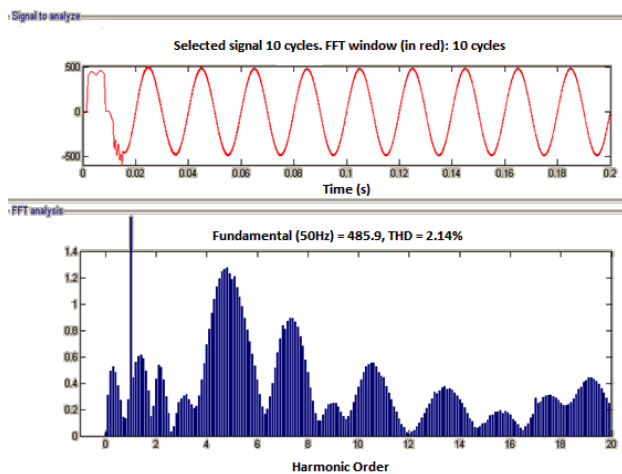
Filter aktif bekerja dengan menyuntikkan arus yang identik dengan arus harmonisa, tetapi dengan fasa yang berlawanan. Sehingga nantinya arus harmonisa dan arus filter tersebut akan saling menghilangkan.



Gambar 11. THDi sebelum pemasangan filter aktif



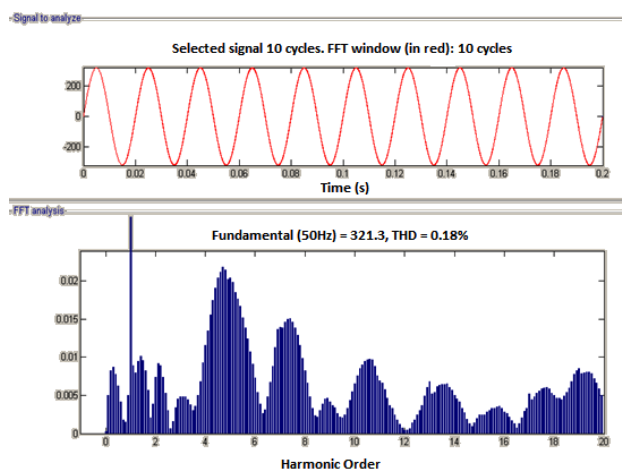
Gambar 12. THDv dengan filter aktif FLC 5 fungsi keanggotaan



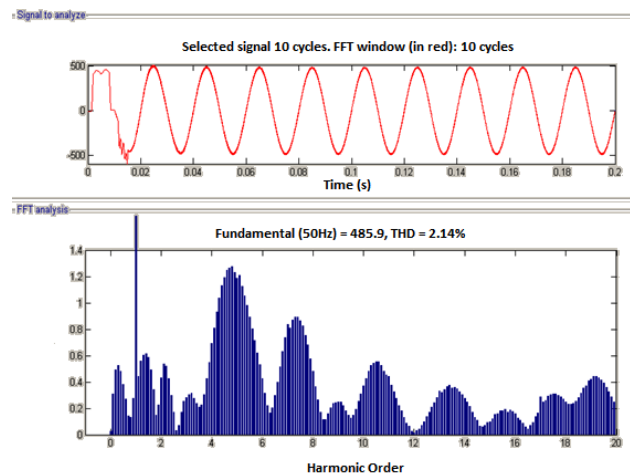
Gambar 13. THDi dengan filter aktif FLC 5 fungsi keanggotaan

### C. Simulasi Sistem Menggunakan Fuzzy Logic 7 Fungsi keanggotaan

Gambar 14 dan 15 merupakan gelombang tegangan dan arus menggunakan FLC dengan 7 fungsi keanggotaan.



Gambar 14. THDv dengan filter aktif FLC 7 fungsi keanggotaan



Gambar 15. THDi dengan filter aktif FLC 7 fungsi keanggotaan

Tabel 2. Perbandingan performansi hasil simulasi

| Deskripsi | Tanpa Filter | FLC 5 Level | FLC 7 Level | Standart |
|-----------|--------------|-------------|-------------|----------|
| THDV      | 0.45%        | 0.17%       | 0.18%       | 2.5%     |
| THDI      | 26.16%       | 2.42%       | 2.42%       | 5%       |

Secara umum juga mengalami peningkatan dibandingkan sebelum pemasangan filter.

$Level THD_v$  mengalami peningkatan dari sebelumnya sebesar 0,45% menjadi 0,18%. Gelombang arus mengalami peningkatan setelah diperiode kedua, setelah filter aktif bekerja. Dari sebelumnya sebesar 26,16% menjadi 2,42%.

Secara umum seperti Tabel 2, filter aktif dengan skema FLC menggunakan *multilevel inverter* tiga tingkat mampu meredam *level* harmonisa baik  $THD_v$  maupun  $THD_i$ .

## V. KESIMPULAN

Komponen harmonisa terbesar dalam sistem sebelum dilakukan pemasangan filter aktif, adalah orde ke lima. Penggunaan filter aktif dapat mengurangi *level THD<sub>i</sub>* dari sebelumnya sebesar 26,16% menjadi 2,42% baik untuk FLC 5 fungsi keanggotaan dan FLC 7 fungsi keanggotaan, nilai tersebut di bawah standar IEEE 519-1992 sebesar 5%. Nilai  $THD_v$  baik sebelum pemasangan filter dan sesudah pemasangan filter masih di bawah standar IEEE 519-1992 sebesar 5%. Dengan pemasangan filter aktif, terjadi perbaikan dari sebelumnya 0,45% menjadi 0,17% untuk FLC 5 fungsi keanggotaan dan 0,18% untuk FLC 7 fungsi keanggotaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] De La Rosa, Fransisco, Harmonics and Power Sistem, Distribution Control Sistem, Inc. Hazelwood, Missouri, USA, 2006.
- [2] J.L Hernandez, M.A Castro, J. Carpio, Harmonics in power sistem, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ), 2009.
- [3] Nordvall, Andreas, Multilevel Inverter Topology Survey, Chalmers University of Technology, Sweden, 2011.

- [4] Rashid, H, Muhammad, "Power Electronics: Circuit, Devices, and Application", Third Edition, 2004.
- [5] Yasmeena, Dr.G.Tulasi Ram Das, Cascaded multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 8, August-2013
- [6] Singh, Bindeshwar et al, Multi-level inverter: a literature survey on topologies and control strategies, International Journal of Reviews in Computing, July 2012.
- [7] Reddy, N T, Subramanyam, MV, Fuzzy logic controlled Shunt Active Power Filter for Mitigation of Harmonics with Different Membership Function, International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies, 2009.
- [8] Bentria, Hamza, A shunt Active Power Filter Controlled by Fuzzy logic controller for Current Harmonic Compensation and Power Factor Improvement, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol 32 No 1 2012.
- [9] Bangia, Sakshi, Simulation of Fuzzy Logic Based Shunt Hybrid Active Filter for Power Quality Improvement, I.J. Intelligent Sistem and Application, 2013, 02, 96-104.
- [10] Mesbahi, N , Ouari, A, A Fuzzy logic control For Three Level Shunt Active Power Filter, International Conference On Industrial Engineering and Manufacturing ICIEM'10, May 9 -10, 2010.
- [11] K. Tomsovic, M.Y. Chow, Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems, IEEE-PES Winter Meeting in Singapore January, 2000.
- [12] Abdenmour, Adel, Tutorial on Fuzzy Logic using MATLAB, King Saud Univerity, Electrical Engineering Departement.
- [13] Angelo Baggini, "Handbook of Power Quality", John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2008.
- [14] Agrawal S, Bhuria V, Shunt Active Power Filter for Harmonic Mitigation by Using Fuzzy logic controller, International Journey of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 2, Juni 2013.
- [15] Jayakrishna, G, Anjaneyulu, K.S.R, Fuzzy logic control Based Three Phase Shunt Active Filter for Voltage Regulation and Harmonic Reduction, International Journal of Computer Application (0975-8887) Volume 10 - No.5. November 2010.

**Penerbit:**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: [rekayasa.elektrika@unsyiah.net](mailto:rekayasa.elektrika@unsyiah.net)

Telp/Fax: (0651) 7554336

