

# Sistem Cerdas *Hybrid Active Power Filter* Tiga Fasa untuk Mereduksi Harmonisa dan Tegangan Tidak Seimbang

Marselin Jomlaay  
Jurusan Teknik Elektro ITS,  
Surabaya 60111  
sellydoank@hotmail.com

Mochamad Ashari  
Jurusan Teknik Elektro ITS,  
Surabaya 60111  
ashari@ee.its.ac.id

Mauridhi Hery Purnomo  
Jurusan Teknik Elektro ITS,  
Surabaya 60111  
hery@ee.its.ac.id

**Abstrak**— Metode kontrol *hybrid active power filter* tiga fasa yang diusulkan terdiri dari rangkaian filter aktif tipe seri (*series active power filter*) dan rangkaian filter pasif (*passive power filter*). Filter aktif tipe seri menyuntikan tegangan kompensasi yang sebanding dengan komponen harmonisa pada suplai arus. Strategi kontrol yang digunakan untuk memperoleh tegangan referensi berbasis *Artificial Intelligence* (AI) yaitu *Adaptive Linear Neuron* (ADALINE) yang terintegrasi dengan *Fuzzy*. Sedangkan untuk menyelesaikan masalah *voltage unbalance* digunakan metode perhitungan komponen simetri. Penggunaan *hybrid active power filter* dapat mengoptimal kompensasi harmonik dan kompensasi tegangan tiga fasa yang tidak seimbang. Hasil simulasi menunjukkan penurunan THD arus sumber mencapai 3% dengan reduksi *unbalance* hingga 0.015%.

**Kata Kunci**—*harmonisa; filter aktif; ADALINE-FUZZY;*

## I. PENDAHULUAN

Harmonisa selalu ada pada sistem tenaga listrik namun tidak membahayakan jika distorsinya berada pada batas toleransi (IEEE-519-1992). Jika melampaui batas toleransi, harmonisa dapat membahayakan sistem kelistrikan [1].

Pada saat ini telah dikembangkan *hybrid APF* dengan berbagai topologi dan strategi kontrol [2]. *Hybrid APF* memiliki beberapa kelebihan dibanding *stand alone APF*, yaitu dapat mengurangi kapasitas APF, dapat mereduksi distorsi arus dan tegangan, dan mengkompensasi daya reaktif [3]. Sehingga pada penelitian ini digunakan *hybrid APF* yang merupakan kombinasi antara *series APF* dan *shunt passive power filter*.

Perkembangan saat ini, metode *Artificial Intelligence* (AI) khususnya *Artificial Neural Network* (ANN) telah diterapkan untuk mendeteksi harmonisa. *Adaptive Linear Neuron* (ADALINE) adalah salah satu jenis ANN yang digunakan dalam mengkompensasi harmonisa. ADALINE memiliki kelebihan dibanding dengan ANN jenis lain yaitu memiliki perhitungan *real-time* lebih sederhana seperti estimasi harmonisa, frekuensi, dan komponen simetri, dan menghasilkan respon yang cepat pada kondisi dinamis. Untuk

meningkatkan kinerja ADALINE dalam kondisi dinamis, diperlukan penentuan *learning factor* yang tepat. Pada penelitian ini digunakan *fuzzy logic regulator* yang berfungsi untuk memperbaharui *learning factor* melalui *error* yang dihasilkan ADALINE seperti yang diusulkan pada [4] [5], yang menghasilkan respon ADALINE yang lebih akurat dan cepat dalam mengestimasi distorsi gelombang.

Pada sistem tiga fasa, tegangan yang dibangkitkan adalah sinusoidal dan memiliki *magnitude* yang sama dengan perbedaan 120° antar fasa. Namun, tegangan yang terdapat pada sistem distribusi bisa menjadi tidak seimbang disebabkan oleh beberapa alasan. Ketidakseimbangan ini mencakup *magnitude* tegangan yang tidak sama (*over voltage* atau *under voltage*), deviasi sudut fundametal, atau distorsi harmonisa yang tidak merata di tiap fasa. Tegangan yang tidak seimbang dapat memberi pengaruh terhadap kinerja peralatan yang terhubung ke sistem [6]. Untuk menyelesaikan masalah tersebut pada penelitian ini digunakan metode perhitungan komponen simetri sehingga dapat diperoleh komponen tegangan yang tidak seimbang yaitu berupa komponen urutan negatif dan urutan nol.

## II. HYBRID APF

### A. *Passive Power Filter* (PPF)

Fungsi PPF secara sederhana dapat dikatakan sebagai jalan yang harus dilewati harmonisa sehingga harmonisa tidak sampai lewat pada sistem dan beban lain. PPF dirancang berdasarkan orde harmonisa yang paling dominan yang dihasilkan oleh beban-beban nonlinier.

Digunakan dua buah *single tuned filter* yang mampu mereduksi harmonisa ke-5 dan ke-7. Filter ini terdiri dari rangkaian resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C), yang disusun seri. Impedansi rangkaian resistor R, induktor L, dan kapasitor C dapat dinyatakan pada “persamaan 1” yaitu:

$$Z(\omega) = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (1)$$

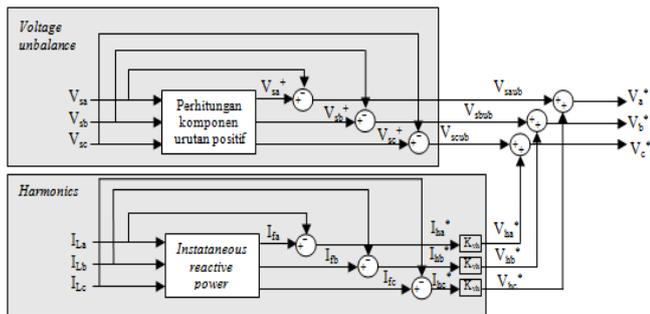
Filter ditala pada frekuensi resonansi  $f_r$  sehingga menghasilkan resonansi seri. Filter ini memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi resonansinya [7]. Resonansi terjadi pada saat nilai

reaktansi induktif sama dengan nilai reaktansi kapasitif. Filter akan menyerap arus harmonik yang dekat dengan frekuensi resonansi.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

**B. Series APF**

Series Active Power Filter (SAPF) berperan seperti impedansi untuk komponen harmonik yang menghalanginya mengalir ke sumber. Arus harmonisa sumber  $i_s$  akan berkurang dengan naiknya impedansi. Impedansi tinggi yang dikenakan SAPF dibuat dengan membangkitkan tegangan dengan frekuensi sebanding dengan komponen arus harmonik. SAPF juga berfungsi sebagai pengatur tegangan sumber yang tidak seimbang.



Gambar 1. Topologi sistem kompensasi

Gelombang arus yang terdistorsi pada sisi sumber  $i_s$  dideteksi dan ditentukan arus referensi  $i_h^*$  menggunakan algoritma pembangkit arus referensi. Selanjutnya tegangan kompensasi  $V_h^*$  diperoleh melalui:

$$V_h^* = K_{vh} \times I_{sh} \quad (3)$$

Sumber diasumsikan menghasilkan gelombang tegangan tiga fasa yang tidak seimbang yang menunjukkan adanya komponen simetri. Ketidakseimbangan dalam persen (%) didefinisikan oleh National Electrical Manufacturers Association (NEMA) pada publikasi no. MG 1-1993 [8] yaitu:

$$\%unbalance = \frac{\text{Maksimum deviasi dari nilai rata-rata}}{\text{Rata-rata magnitude tegangan tiga fasa}} \times 100\% \quad (4)$$

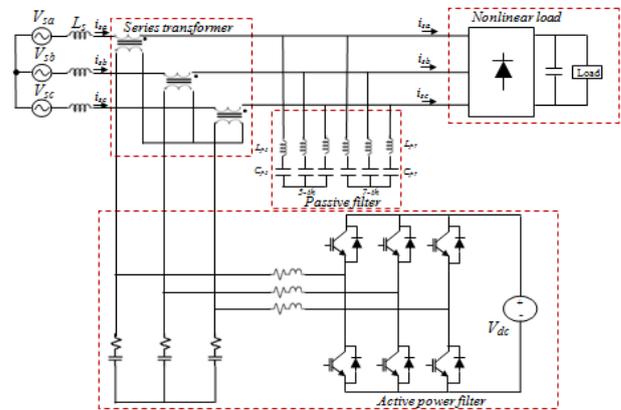
Berikut ini adalah perhitungan komponen simetri yang digunakan sebagai kompensator dalam menyelesaikan masalah ketidakseimbangan tegangan. Pertama, dilakukan perhitungan komponen urutan positif pada sumber tegangan dengan menggunakan "persamaan (5)". Komponen urutan positif, fasornya sama besar dan mempunyai beda fasa  $120^\circ$ , serta urutan fasa sama dengan urutan fasa aslinya [2]:

$$\begin{bmatrix} v_{a(+)} \\ v_{b(+)} \\ v_{c(+)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & 1 & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} - \frac{1}{j2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

Selanjutnya tegangan kompensasi dapat dihitung sebagai berikut. Tegangan kompensasi terdiri dari komponen urutan negatif dan komponen urutan nol:

$$\begin{bmatrix} V_{saub} \\ V_{sbub} \\ V_{scub} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{sa}^+ - V_{sa} \\ V_{sb}^+ - V_{sb} \\ V_{sc}^+ - V_{sc} \end{bmatrix} \quad (6)$$

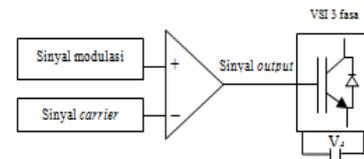
Gambar 2 menunjukkan konfigurasi hybrid APF:



Gambar 2. Konfigurasi power circuit hybrid APF

SAPF menggunakan inverter sumber tegangan (*Voltage Source Inverter*). Pada sisi AC terpasang filter LC untuk mengkompensasi kerugian yang dihasilkan oleh inverter, dan pada sisi DC inverter terdapat sumber tegangan DC.

Penyalan keenam *switch* semikonduktor tergantung pada sinyal modulasi yang dibangkitkan oleh *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM berupa rangkaian komparator yang terdiri dari dua *input* yaitu sinyal yang akan dimodulasi dan sinyal *carrier*. *Output* PWM berupa pulsa yang akan mengatur penyalan *switch* IGBT (*on* atau *off*).



Gambar 3. Skema pembangkitan sinyal PWM

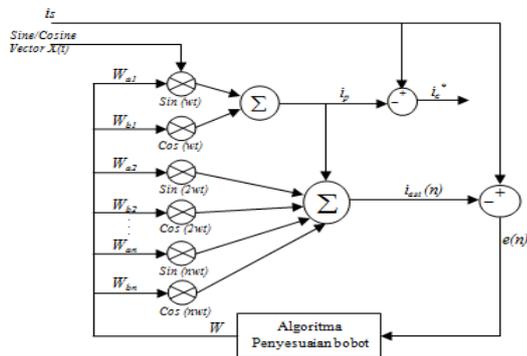
**C. ADALINE-FUZZY**

Kontrol ADALINE digunakan untuk mengidentifikasi gelombang arus yang terdistorsi. Gelombang periodik dapat digambarkan sebagai penjumlahan komponen sinus dan cosinus (persamaan 7).  $a_n$  dan  $b_n$  adalah amplitudo komponen sinus dan cosinus dari arus harmonik. Konsep ini menjadi dasar dari ADALINE dalam melakukan estimasi komponen harmonik pada sistem [9]:

$$i(t) = \sum_{n=1,2,\dots}^N a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t) \quad (7)$$

$$i(t) = W \cdot X(t) \quad (8)$$

Dengan  $W = [a_1, b_1, a_2, b_2 \dots a_n, b_n]$  dan vektor sinus cosinus  $X(t) = [\sin(\omega t), \cos(\omega t) \dots \sin(n\omega t), \cos(n\omega t)]$ . Berdasarkan persamaan tersebut maka konstruksi ADALINE dapat diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Topologi ADALINE

Proses *learning* untuk penyesuaian nilai bobot dilakukan dengan menggunakan algoritma Widrow-Hoff yang bertujuan untuk meminimalkan besarnya *error*  $e(n)$  antara arus sumber  $i_s(n)$  dan arus estimasi  $i_{est}(n)$ , dimana  $e(n)$  dapat dinyatakan melalui persamaan di bawah ini :

$$e(n) = i_s(n) - i_{est}(n) \quad (9)$$

Persamaan untuk memperbaharui bobot berdasarkan algoritma Widrow-Hoff dapat dijelaskan sebagai berikut [10]:

$$W(n+1) = W(n) + \alpha e(n)x(n) \quad (10)$$

Dengan :  $x(n)$  = gelombang sinus kosinus  $X(t)$   
 $\alpha e(n)x(n)$  = perubahan bobot  
 $\alpha$  = *learning factor*,  $0 < \alpha < 1$   
 $e(n)$  = nilai *error*

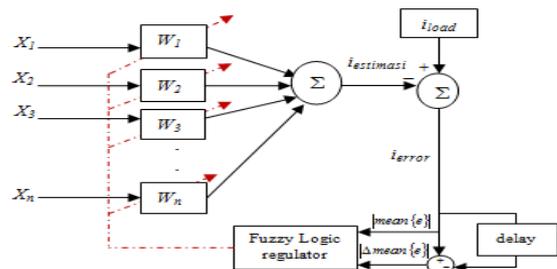
*Learning factor* merupakan salah satu parameter pengontrol algoritma penyesuaian nilai bobot yang mempengaruhi kecepatan belajar dan mempengaruhi efektifitas proses belajar yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Jika ditentukan nilai *learning factor* sangat dekat dengan nol maka dibutuhkan sejumlah besar siklus pelatihan atau pembelajaran. Hal ini membuat proses belajar sangat lama.
- Disisi lain jika *learning factor* sangat besar maka bobot menyimpang dengan osilasi nilai *error* yang besar sehingga jaringan mencapai suatu keadaan dimana tidak terjadi proses pembelajaran.

Berdasarkan pemahaman tersebut digunakan *Fuzzy logic regulator* untuk meningkatkan kinerja ADALINE melalui pengaturan *learning factor*. Masukan pada *fuzzy regulator* adalah nilai abstrak dari keluaran ANN berupa *error* rata-rata

dan perubahannya. Nilai *error* menunjukkan keidentikan sinyal yang dihasilkan ANN dengan sinyal *actual*. *Output fuzzy* akan memperbaharui *learning factor*  $\alpha$  dari ANN [4]:

$$\alpha(\text{Fuzzy}) = \text{FuzzyRule}(|\text{mean}\{e\}|, |\Delta \text{mean}\{e\}|) \quad (18)$$



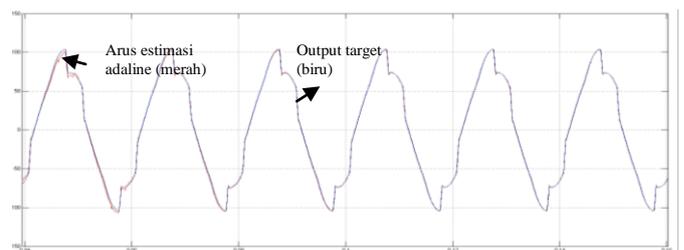
Gambar 5. Struktur umum ADALINE-FUZZY

### III. PEMODELAN SISTEM DAN HASIL SIMULASI

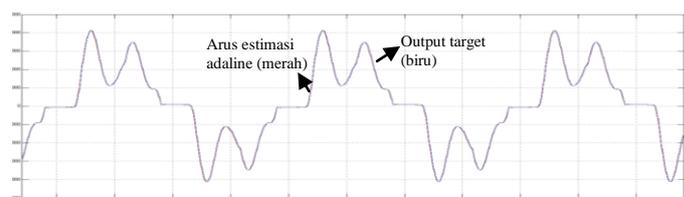
#### A. Pengujian ADALINE-FUZZY

Kompensasi harmonisa menggunakan metode ADALINE sangat unggul karena sifatnya yang adaptif terhadap perubahan sinyal *input*. ADALINE mampu mengadaptasi perubahan beban dan secara optimal mampu menghasilkan gelombang referensi. Dalam kondisi beban yang dinamik dengan THD serta magnitud komponen harmonik yang bervariasi dapat dibuktikan kehandalan ADALINE dalam mengidentifikasi sinyal.

Berikut ini adalah berbagai sinyal input beban yang dapat diidentifikasi oleh ADALINE dengan *learning factor*  $\alpha = 0.04$ , dan arus referensi yang dihasilkan:



Gambar 6. Prinsip kerja ADALINE untuk beban nonlinier rectifier dengan R-L seri



Gambar 7. Prinsip kerja ADALINE untuk beban nonlinier rectifier dengan R-C paralel

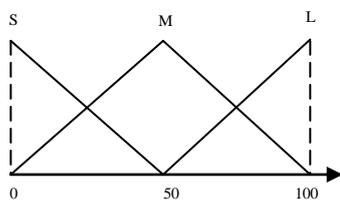
Gambar 6 merupakan penggambaran proses perolehan sinyal referensi melalui pengenalan pola gelombang arus

sumber ( $I_s$ ) untuk dioda rectifier 3 fasa dengan beban  $R-L$  seri, sebagai beban nonlinier yang membangkitkan arus harmonik. Selanjutnya adalah beban nonlinier yang membangkitkan tegangan harmonik yang terdiri dari dioda rectifier dengan beban  $R-C$  paralel (Gambar 7).

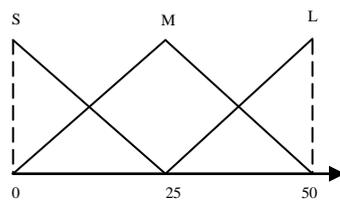
Untuk mentracking nilai  $\alpha$  digunakan *fuzzy regulator* yang secara otomatis mencari nilai  $\alpha$  yang tepat sehingga kinerja ADALINE dalam pengenalan sinyal lebih optimal. Digunakan sembilan *fuzzy rule* (Tabel I) dengan masing-masing *membership function* untuk *input* dan *output* dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

TABLE I. FUZZY RULES

$\Delta$ mean (e)	mean (e)	S	M	L
S	S	S	M	L
M	S	S	L	L
L	L	L	M	L

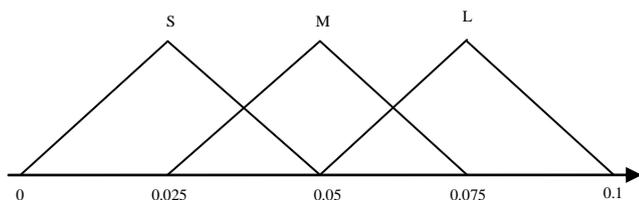


(a)



(b)

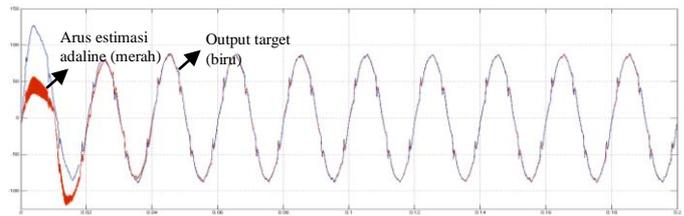
Gambar 8. Membership function input; (a) Mean error variable (b)  $\Delta$  mean error variable



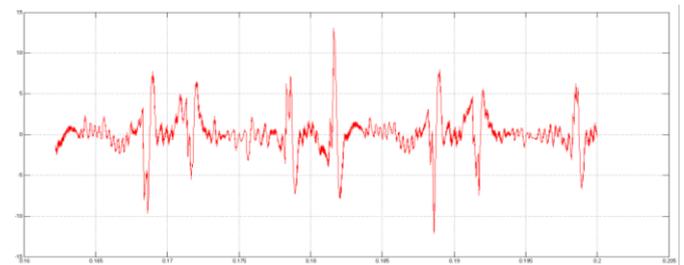
Gambar 9. Membership function output variable

Berdasarkan hasil simulasi, nilai optimum *learning factor* ADALINE setelah ditracking adalah 0.025. Berikut ini adalah

proses pengenalan gelombang distorsi yang dilakukan oleh adaline terhadap arus sumber  $I_s$  fasa a:



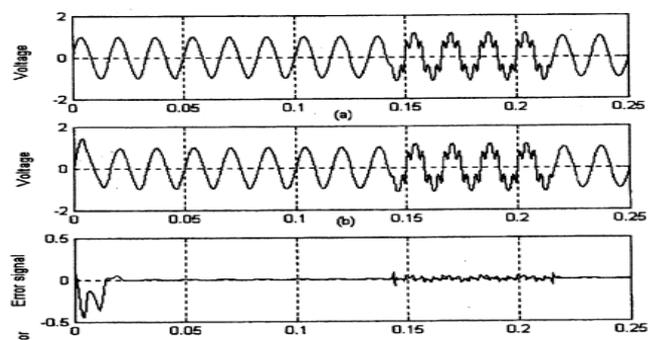
Gambar 10. Proses Pengenalan sinyal oleh ADALINE dengan *learning factor* 0.025



Gambar 11. Gelombang referensi (murni harmonisa)

### B. Kompensasi Harmonisa dan Ketidakseimbangan Tegangan

Sistem dimodelkan pada MATLAB SIMULINK terdiri atas *power circuit* dan *compensation model*. Strategi kontrolnya sebagai berikut: sinyal *output* yang diperoleh dari ADALINE-FUZZY berupa gelombang arus fundamental yang akan dibandingkan dengan sinyal terdistorsi sehingga dihasilkan gelombang murni harmonik. Gelombang inilah yang akan dijadikan sinyal referensi. Gambar 12 adalah hasil yang diperoleh berdasarkan simulasi pada [10] yang mengkompensasi tegangan harmonik:



Gambar 12. Voltage harmonic event (a) input voltage signal; (b) predicted signal; (c) error signal

Metode ADALINE-FUZZY disimulasikan pada MATLAB SIMULINK dan diperoleh hasil yang akan dibandingkan dengan sistem sebelum kompensasi, sehingga dapat diketahui

keefektifan metode dan kontroler yang dirancang. Tabel II memperlihatkan parameter sistem yang digunakan.

TABLE II. PARAMETER SISTEM

No	Parameter	Nilai
1	Sumber tegangan	380V, 50 Hz (line-line)
2	Impedansi sumber	$R_s = 0.8\Omega, L_s = 0.01\text{mH}$
3	Sumber DC	850 Volt
4	Filter LC	$L_f = 0.5\text{mH}, C_f = 10\text{mF}, R_f = 0.1\Omega$
5	Tuned PPF (5 <sup>th</sup> )	Phasa a: $L_5 = 0.998\text{mH}, C_5 = 0.4\text{mF}$ Phasa b: $L_5 = 0.3\text{mH}, C_5 = 0.42\text{mF}$ Phasa c: $L_5 = 1\text{mH}, C_5 = 0.4\text{mF}$
6	Tuned PPF (7 <sup>th</sup> )	Phasa a: $L_7 = 0.5\text{mH}, C_7 = 0.4\text{mF}$ Phasa b: $L_7 = 0.48\text{mH}, C_7 = 0.42\text{mF}$ Phasa c: $L_7 = 0.51\text{mH}, C_7 = 0.4\text{mF}$
7	Transformator seri	1:1
8	Load 1	Beban nonlinier: Diode rectifier dengan beban R-L seri ( $R = 10\Omega, L = 0.8\text{mH}$ ) Beban linier: Beban R-L ( $R = 1\Omega, L = 10\text{mH}$ )
9	Load 2	Beban nonlinier: Diode rectifier dengan beban R-C paralel ( $R = 20\text{mF}, C = 20\text{mF}$ ) Beban linier: Beban R-L ( $R = 1\Omega, L = 10\text{mH}$ )

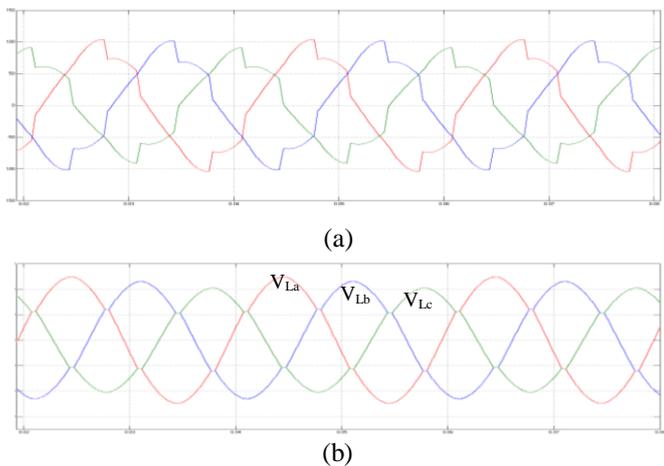
Berdasarkan parameter tersebut dilakukan simulasi pada sistem sebelum pemasangan filter, dan dengan beban yang ditentukan diperoleh bentuk distorsi gelombang arus dan tegangan sumber yang tidak seimbang dimana sumber tegangan tiga fasa memiliki nilai berikut:

$$V_{an} = 300 (\omega t)$$

$$V_{bn} = 280 (\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_{cn} = 250 (\omega t + 2\pi/3)$$

Pengujian pertama dilakukan untuk Load 1 berupa dioda rectifier yang menyuplai beban dc R-L seri, dimana hybrid APF bekerja untuk mengurangi beban penghasil arus harmonik. Simulasi sebelum dan setelah kompensasi dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 13. Sistem sebelum kompensasi: (a) Arus, (b) Tegangan beban

TABLE III.

TABLE IV. HASIL SIMULASI SEBELUM KOMPENSASI

	Data Sumber								Data Beban								V <sub>unb</sub> (%)
	V <sub>m</sub> (V)	$\theta$	L <sub>m</sub> (A)	P <sub>R(W)</sub>	Q <sub>(VAR)</sub>	cos $\theta$	THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>v</sub> (%)	V <sub>m</sub> (V)	$\theta$	L <sub>m</sub> (A)	P <sub>R(W)</sub>	Q <sub>(VAR)</sub>	cos $\theta$	THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>v</sub> (%)	
Fasa A	172.1	10.14	67.25	7.821	0.435	0.67	11.55	3	172.1	10.14	67.25	7.821	0.435	0.67	11.55	3	
Fasa B	159.6	-109.3	63.14	6.906	7.656	0.66	12.16	4	159.6	-109.3	63.14	6.906	7.656	0.66	12.16	4	
Fasa C	141.8	130.1	57.54	5.676	3.730	0.69	14.35	4	141.8	130.1	57.54	5.676	3.730	0.69	14.35	4	

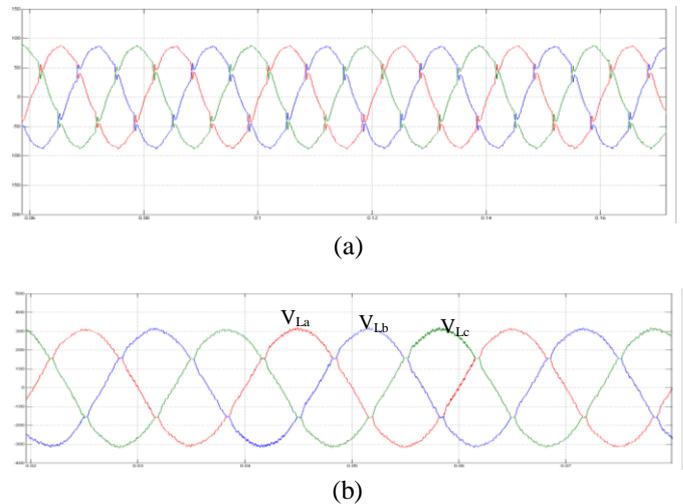
Berdasarkan hasil simulasi, distorsi arus sumber akibat penggunaan beban nonlinier mencapai THD 14.35%. Sistem memiliki power factor yang jelek dibawah 0.66, suplai daya reaktif yang cukup besar, dan tegangan unbalance mencapai 10.15% (berdasarkan NEMA), dapat dilihat pada Tabel II.

Hybrid APF kemudian dipasang ke sistem untuk memperbaiki keterbatasan power factor, mengkompensasi harmonisa, dan ketidakseimbangan tegangan. Diharapkan agar sistem menghasilkan kompensasi yang baik dalam menyelesaikan permasalahan ketidakseimbangan tegangan dari segi magnitud tegangan dan sudut fasa. Selain itu dalam penyelesaian harmonisa diharapkan tidak menimbulkan distorsi tegangan melebihi standart IEEE 519-1992.

Berikut hasil simulasi yang diperoleh setelah dipasang hybrid APF:

TABLE V. HASIL SIMULASI SETELAH PEMASANGAN HYBRID APF

	THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>v</sub> (%)	cos $\theta$	THD <sub>UL</sub>	V <sub>rms</sub> (V)	$\theta$	V <sub>unb</sub> (%)
Fasa A	5	1.6	0.99	2	219.5	-0.8	0.015
Fasa B	5	1.8	0.99	2	219.5	-199.1	
Fasa C	5	2	0.99	2	219.6	120.7	

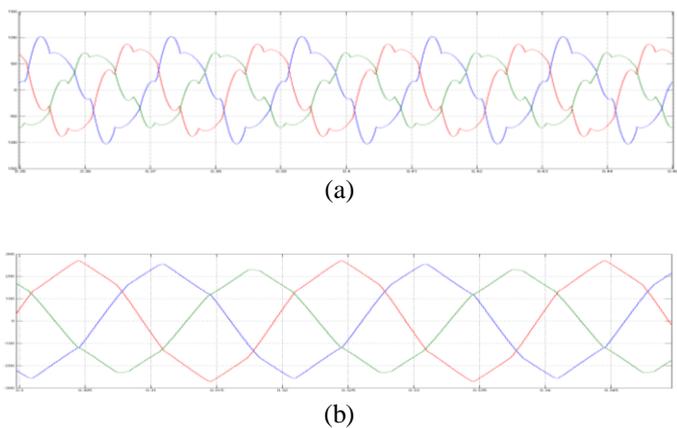


Gambar 14. Sistem setelah kompensasi dengan hybrid APF: (a) Arus sumber, (b) Tegangan beban

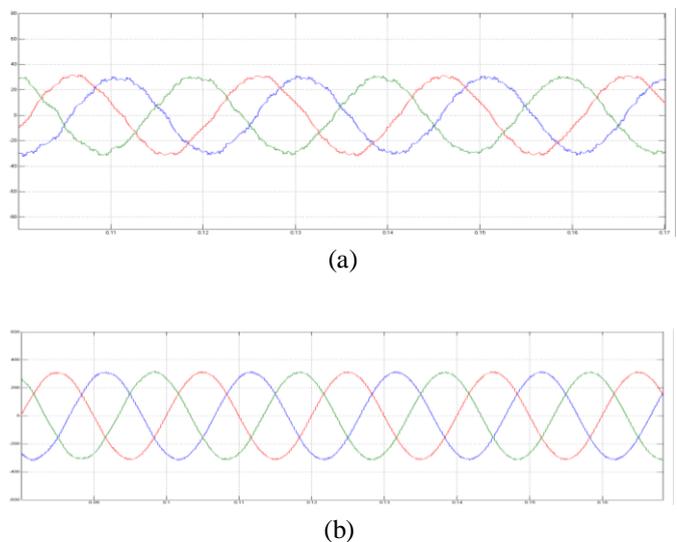
Berdasarkan hasil simulasi diperoleh THD arus sumber berkurang hingga 5% diikuti dengan THD tegangan yang rendah hingga 2%. Presentasi tegangan sumber yang tidak seimbang 10.15% tereduksi hingga 0.015%. Ini menunjukkan bahwa hybrid APF yang dirancang selain mampu mengkompensasi permasalahan arus harmonisa pada sisi sumber, juga mampu menyelesaikan permasalahan ketidakseimbangan tegangan pada sisi beban.

Pengujian selanjutnya dilakukan pada Load 2 dengan dioda rectifier yang menyuplai tegangan dc konstan pada beban R-C yang dihubung paralel. Hybrid APF bekerja untuk

mengurangi beban penghasil tegangan harmonik. Kinerja *Hybrid APF* ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Sistem sebelum kompensasi: (a) Arus, (b) Tegangan beban



Gambar 16. Sistem setelah kompensasi dengan hybrid APF: (a) Arus sumber, (b) Tegangan beban

Berdasarkan hasil simulasi pada *Load 2*, penurunan arus THD dari 18% menjadi 3% menunjukkan kompensator harmonik dapat bekerja dengan baik demikian juga kompensator tegangan dalam menyelesaikan masalah *unbalance*, tegangan beban menjadi seimbang dan berdasarkan perhitungan dari NEMA, tereduksi hingga 0.06%.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan dan simulasi sistem dapat disimpulkan:

1. *Hybrid APF* yang dirancang berhasil memberikan *performance* yang cukup baik dalam memperbaiki *power*

*factor*, aliran daya reaktif, distorsi arus dan tegangan, serta mampu mengkompensasi tegangan *unbalance*.

2. Penggunaan filter pasif tidak begitu optimal dalam meminimalkan arus harmonik sumber karena hanya mampu mengurangi distorsi arus sumber sekitar 7%. Sehingga apabila diintegrasikan dengan *series APF* kinerja filter pasif menjadi lebih optimal.
3. Kompensasi sistem secara keseluruhan mencapai kondisi *steady state* sekitar  $t = 0.06$  detik menunjukkan arus dan tegangan baik ditorsi harmonik maupun masalah *unbalance* telah terkompensasi dan stabil pada  $t$  tersebut.
4. ADALINE-FUZZY memberikan *performance* yang baik dalam menyelesaikan masalah harmonik. Sebagai metode *tracking* komponen fundamental, ADALINE mampu diterapkan pada kondisi beban yang berubah-ubah. Sedangkan Fuzzy regulator mampu mentracking nilai *learning factor* yang tepat dalam mengoptimalkan proses pengenalan gelombang oleh ADALINE.

#### REFERENSI

- [1] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, dan H. W. Beaty, *Electrical power system quality*, 2nd ed, McGraw-Hill Companies, 2003, pp. 167-168..
- [2] A. Mulla, R. Chudamani, dan A. Chowdhury, "A Novel Control Scheme for Series Hybrid Active Power Filter for Mitigating Source Voltage Unbalance and Current Harmonics", 7th IEEE International Conference on Industrial and Information System (ICIIS), pp. 1-6, Chennai, India, 6-9 Agustus 2012.
- [3] M. T. Chau, A. Lou, dan V. B. Chau, "PID-Fuzzy Control Method with Time Delay Compensation for Hybrid Active Power Filter with Injection Circuit", *International Journal of Computer Applications*, vol.3 6, no.7, Desember 2011.
- [4] S. Sajedi, A. Noruzi, H. Jafari Rezabeyglo, F. Khalifeh, T. Karimi dan Z. Khalifeh, "Harmonics Estimation Investigation using a New Fuzzy Adaline Neural Network Method", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 735-748, 2012.
- [5] B. Sujanarko, M. Ashari, dan M. H. Purnomo, "Neural Network Controller for Asymmetric Cascaded Multilevel inverter", *International Journal of Computer Applications*, vol.11, no. 6, Desember 2010.
- [6] A. V. Juanne, B. Banerjee, "Assessment of Voltage Unbalance", *IEEE transaction on power delivery*, vol.16, no.4, October 2001.
- [7] Y-S. Cho dan H. Cha, "Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor", *Journal of International Council on Electrical Engineering*, vol.1, no.1, pp.7-13, 2011.
- [8] *Motors and Generators*, NEMA Standards Publication no. MG 1-1993.
- [9] B. Świątek, M. Rogóż, Z. Hanzelka, "Power System Harmonic Estimation Using Neural Networks", 9<sup>th</sup> International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), pp.1-8, 2007.
- [10] T.K. Abdel-Galil, E.F. EL-Saadany, M.M.A. Salama, "Power Quality Event Decetion Using Adaline", *Electric Power System Research*, vol.64, issue.2, pp.137-144, 2003.