



11<sup>th</sup> Seminar on Intelligent Techn  
6<sup>th</sup> International Conference



# Proceeding

ISSN : 2252-8296

Volume 13

Abstract Proceeding Edition

May 23<sup>rd</sup> 2012

at AJ's Building,

Dept. of Electrical Engineering Campus,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

Surabaya, Indonesia.



*The 13<sup>th</sup> Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*  
ISSN : 2252-8296

## **PUBLISHED BY**

Electrical Engineering Department

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Campus ITS, Keputih, Sukolilo

Surabaya 60111

ISSN 2252-8296

The 13<sup>th</sup> Seminar on Intelligent Technology and Its Applications

Copyright © 2012 by Electrical Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

All rights reserved. No part of this book, may be reproduced, stored, or transmitted, in any forms or by any means without the prior permission in writing from the publisher.

**May 23<sup>rd</sup> 2012**

*at AJ's Building, Dept. of Electrical Engineering Campus,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia*



# PROCEEDINGS OF THE 13<sup>TH</sup> SEMINAR ON INTELLIGENT TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS

## EDITOR-IN-CHIEF

Dr. Heri Suryoatmojo  
E-mail : suryomgt@ee.its.ac.id

## SECRETARY

Dr. Achmad Mauludiyanto  
E-mail : maulud@ee.its.ac.id

## EDITORIAL COORDINATORS

### Telematics

I Ketut Eddy Purnama, ST., MT., Ph.D  
E-mail : ketut@ee.its.ac.id  
Muhtadin, ST., MT.  
E-mail : muhtadin\_s@elect-eng.its.ac.id

### Telecommunication

Dr. Achmad Mauludiyanto  
E-mail : maulud@ee.its.ac.id  
Devy Kuswidiastuti, ST., M.Sc.  
E-mail : devy@ee.its.ac.id

### Electronics and Instrumentation

Dr. Achmad Arifin  
E-mail : arifin@ee.its.ac.id  
Ir. Totok Mujiono, MI.Kom  
E-mail : totok\_m@ee.its.ac.id

### Control System

Dr. Ir. M. Rameli  
E-mail : rameli@ee.its.ac.id  
Imam Arifin, ST., MT.  
E-mail : arifin-i@ee.its.ac.id

### Power System

Dr. Dedet Chandra Riawan  
E-mail : dedet@ee.its.ac.id  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc  
E-mail : vita@ee.its.ac.id

## EDITORIAL ADVISORY BOARD

Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.  
Head of Department of Electrical Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya  
E-mail : t.a.sardjono@ee.its.ac.id

SITIA's Proceeding is published once every year



## COMMITTEE OF SITIA 2012

### Honorary Chairman:

Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA  
Rector of Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

### General Chairman:

Dr. Heri Suryoatmojo

### Technical Committee:

Prof. Dr. Mohammad Nuh (ITS),  
Prof. Dr. Soebagio (ITS),  
Prof. Dr. Ontoseno Penangsang (ITS),  
Prof. Dr. Mauridhi Hery Purnomo (ITS),  
Prof. Dr. Abdullah Alkaff (ITS),  
Prof. Dr. Achmad Jazidie (ITS),  
Prof. Dr. Moh. Ashari (ITS),  
Prof. Dr. Imam Robandi (ITS),  
Prof. Dr. Adi Soeprijanto (ITS),  
Prof. Dr. Gamantyo Hendratoro (ITS),  
Prof. Dr. Ir. G.J. Verkerke (Groningen, Netherlands),  
Prof. Dr. Tsuyoshi Usagawa (Kumamoto University, Japan),  
Prof. Dr. Takeshi Hiyama (Kumamoto University, Japan),  
Prof. Dr. Akira Matsushita (Kumamoto University, Japan),  
Prof. Dr. T. Nakamoto (Tokyo Institute of Technology, Japan)  
Dr. Adel Elbaset (Minia University, Egypt)  
Dr. Engin Karatepe (Ege University, Turkey)  
Dr. Ir. M.H.F. Wilkinson (Groningen, Netherlands),  
Dr. I Ketut Eddy Purnama (ITS),  
Dr. M. Rameli (ITS),  
Dr. Wirawan (ITS),  
Dr. Ari Santoso (ITS),  
Dr. Djoko Purwanto (ITS),  
Dr. Achmad Affandi (ITS),  
Dr. Achmad Arifin (ITS),  
Dr. M. Rivai (ITS),  
Dr. Moch. Hariadi (ITS),  
Dr. Tri Arief Sarjono (ITS),  
Dr. Yoyon K. Suprpto (ITS),  
Dr. Achmad Mauludiyanto (ITS),  
Dr. Dedet Chandra Riawan (ITS),  
Dr. Titon Nugroho (ITS),  
Dr. Ardyono P. (ITS),  
Dr. Suwadi (ITS),  
Dr. Trihastuti Agustinah (ITS),  
Dr. Dadet Pramadihanto (ITS),  
Dr. Son Kuswadi (ITS),  
Dr. Endra Pitowarno (ITS),  
Dr. Agus Zaenal Arifin (ITS)  
Dr. Rony Seto(ITS)

### Organizing Committee:

Immanuel Natanael R.	Febrila Lupita	Aldhimas	Aufar Gusviandi P.
Alfina Zussida	Gilang Sholeh A.	Ni Wayan	Pungki Priambodo
Nezya Nabila	Debby P. T.	Ahmad Rifai	Faradhiba Rezqi
Siti Aisyah	Iyoka Cininta P.	Chairul Rizal	Nurdiansyah P.
Annisa Riani Sabila	Rosyid Hadi N.	Verdie Feryawan	Chyntia Ayuning P.
Dwi Didit P.	Bayu P. W.	Rizky Adam A.	Armando A. G. Sihite
Cindera Gana	Diah Kusumawati	Bagas Prasetya	Fakhrudin Azhar
Arda	Hosyi'ah Rusdiana	Arie Arifin	Atya Mahatmya
Nicolaus Radian Putra	Yusro	Luvy Arfendi P.	Ersha Okta R.
Weta Harry W.	Denny Novian M.	Gary Almas	Vivin Violita
Shandy Baskoro	Iskandar D.	Brilyan Muhammad	Agus Lesmana
Raymond Sinaga	Fadil Muhammad	Arnoldus Gerry S.	Randy Immanuel S.
Charisma Vian	Destina Surya	M. Syaiful Arif	Amin D. N.
Rosita Elvina	Herlambang Setiadi	Antonius Aryo W.	Evi Rahmawati



## PREFACE

Dear Colleagues,

On behalf of Technical Program Committee and Organizing Committee of SITIA 2012, I am honored to welcome you to *the 13<sup>th</sup> Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (SITIA)*. This annual seminar is organized by **Electrical Engineering Departement, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya**. The objective of this seminar is to promote the fruitful growth of researches in various fields in Electrical Engineering and its related fields presented in international oral presentation, domestic oral presentation, and poster presentation. This seminar also provides forum for researchers, scientist, and engineers to exchange ideas and their current achievements.

This year we have received **127 paper submissions** from universities, research centers, and industries, the Technical Program Committee accepted **107 selected papers** that should be presented in this seminar. The accepted papers are categorized into five groups; **Computer Engineering and Telematics, Electronics, Power Systems, Telecommunications and Control Systems**. This number the continues attraction on this seminar as an important forum. The quality of papers incresed year by year.

At last, the success of this seminar is due to the hard effort of many people especially students of Electrical Engineering Departement of ITS which we gratefully acknowledge. We thank also to the authors whose papers are presented, the invited keynote speakers, and all parties that we are not able to mention here.

We wish you all can enjoy one day discussion through this seminar and could spend to enjoy the beauties of Surabaya City and ITS-Campus. We hope to meet you again in the next seminar, the 14<sup>th</sup> Seminar on Intelligent Technology and Its Application 2013.

Surabaya, May 23<sup>rd</sup> 2012

General Chairman of SITIA 2012

**Dr. Heri Suryoatmojo**

NIP. 198006032006041003



## SCHEDULE OF SITIA 2012

07.30-08.00	Registration
08.00-08.05	Welcome Speech by MC
08.05-08.15	Opening Ceremony
08.15-08.20	Welcome Speech : General Chairman of SITIA 2012 <b>Dr. Heri Suryoatmojo</b>
08.20-08.30	Welcome Speech: Head of Electrical Engineering Department, ITS <b>Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.</b>
08.30-08.40	Welcome Speech : Rector of ITS <b>Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA</b>
08.40-09.15	<b>1<sup>st</sup> Keynote Speaker:</b>
	<b>Prof. Han Shik Chung</b> (Gyeongsang National University, Korea)
	Discussion
09.15-09.50	<b>2<sup>nd</sup> Keynote Speaker :</b>
	<b>Prof. Er Meng Joo</b> (Nanyang Technology University, Singapore)
	Discussion
09.50-10.10	Break
10.10-10.40	<b>3<sup>rd</sup> Keynote Speaker :</b>
	<b>Dr. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng.</b> (Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Indonesia)
	Discussion
10.40-12.25	Poster Session
12.25-13.00	Lunch Break & Pray
13.00-15.00	<b>Parallel Session I</b>
15.00-15.30	Break II
15.30-17.00	<b>Parallel Session II</b>
17.00-17.15	<b>Closing Ceremony</b>

**SCHEDULE OF PRESENTATION SESSION**

Time	Room I	Room II	Room III	Room IV	Room V	Room VI
	International Computer and Telematics	International Electronics, Telecommunications	International Power Systems, Control Systems	Domestic Computer and Telematics	Domestic Computer and Telematics, Electronics	Domestic Electronics, Telecommunications
<b>Parallel Session I 13.00 – 15.00 WIB</b>	001	027	014	003	009	004
	031	038	032	013	010	006
	035	046	057	016	011	007
	094	052	060	017	018	055
	012		045	019	028	105
	Room VII	Room VIII	Room IX	Room X	Room XI	
	Domestic	Domestic	Domestic	Domestic	Domestic	
	Telecommunications	Telecommunications, Control Systems	Power Systems	Power Systems	Power Systems	
	099	030	005	020	039	
	100	033	021	043	041	
	026	074	048	073	089	
	037	079	054	083	090	
050	097	121	085	091		



Time	Room I		Room II		Room III		Room IV		Room V		Room VI	
	International	Computer and Telematics	International	Electronics, Telecommunications	International	Power Systems, Control Systems	Domestic	Computer and Telematics	Domestic	Computer and Telematics, Electronics	Domestic	Electronics, Telecommunications
<b>Parallel Session II</b> 15.30 – 17.00 WIB	103		067		044		034		036		112	
	106		070		077		040		052		119	
	107		071		084		078		126		120	
	126		116		096		098		109		015	
			124		102		123		110		025	
			<b>Room VIII</b>		<b>Room IX</b>		<b>Room X</b>		<b>Room XI</b>			
			Domestic	Domestic	Domestic	Domestic	Domestic	Domestic	Domestic	Domestic		
			Telecommunications	Telecommunications, Control Systems	Power Systems	Power Systems	Power Systems	Power Systems	Power Systems, Control Systems, Electronics	Power Systems, Control Systems, Electronics		
			065	108	076	086	086	086	114	114		
			068	122	075	093	093	093	024	024		
			069	047	088	111	111	111	115	115		
		072	049	092	127	127	127	053	053			
		022	101	113	087	087	087	056	056			

# Aplikasi *Fuzzy Logic Controller* untuk *Active Power Filter* Tiga Fasa Tipe Shunt

Hanny H. Tumbelaka<sup>1)</sup>, Thiang<sup>2)</sup>, Ami Litari<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, Surabaya 60236  
email: <sup>1)</sup> tumbelaha@petra.ac.id, <sup>2)</sup> thiang@petra.ac.id, <sup>3)</sup> [tari\\_nami@yahoo.co.id](mailto:tari_nami@yahoo.co.id)

**Abstrak** - Alternatif solusi untuk mengatasi harmonisa akibat beban tak linier adalah dengan menggunakan shunt active power filter. Shunt active power filter adalah current controlled voltage source inverter (CC-VSI) tiga fasa yang dipasang paralel pada Point of Common Coupling (PCC). Untuk membangkitkan sinyal PWM digunakan *ramptime current control*. Rangkaian fuzzy logic controller akan menjaga tegangan DC bus inverter agar konstan dan menghasilkan amplitudo arus referensi. Arus sumber dikontrol langsung sesuai dengan arus referensi sehingga menjadi sinusoidal, seimbang dan sefasa dengan tegangan sumber serta sesuai dengan kebutuhan beban. Dari hasil simulasi ternyata jumlah fuzzy set mempengaruhi hasil kompensasi dan respon controller.

**Kata kunci** : Shunt Active Power Filter, Harmonisa, Fuzzy Logic Controller

## 1. PENDAHULUAN

Sejumlah peralatan elektronika dapat digolongkan sebagai beban tidak linier dan menghasilkan gangguan yang cukup serius dalam sistem tenaga listrik. Gangguan ini berupa penurunan kualitas bentuk gelombang arus dan tegangan (harmonisa), yang mengakibatkan rugi-rugi daya dan resiko kerusakan peralatan.

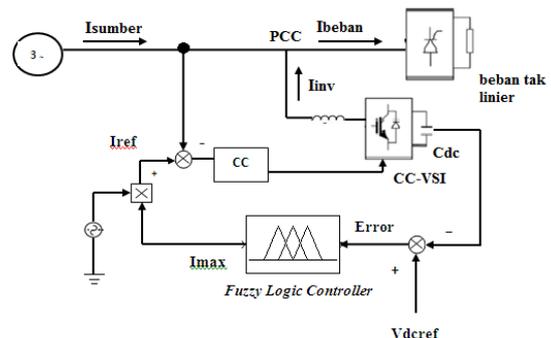
Solusi untuk menghindari efek yang tidak diinginkan akibat pengoperasian beban tak linier dapat dilakukan dengan menggunakan filter. Secara umum filter harmonisa dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Passive Power Filter* dan *Active Power Filter*. Penggunaan *Passive Power Filter* untuk mengatasi permasalahan harmonisa masih banyak kelemahannya, yaitu antara lain hanya dapat digunakan untuk suatu frekuensi harmonisa sejumlah filter L-C, dapat mengakibatkan resonansi pada sistem tenaga listrik, memiliki desain volume dan berat L dan C yang cukup besar untuk memfilter arus harmonisa pada orde frekuensi rendah, serta memiliki karakteristik filter L-C yang sangat dipengaruhi oleh impedansi sistem yang dapat berubah terhadap konfigurasi jaringan listrik. Oleh karena itu, akan dipelajari penggunaan *Active Power Filter* tipe *shunt* untuk menghilangkan harmonisa sekaligus mengatasi persoalan pada *Passive Power Filter*.

Ada banyak metode kompensasi pada *Active Power Filter* (APF) tipe shunt, salah satunya yang akan dipelajari adalah *Shunt Active Power Filter* tiga

fasa dengan metode *Fuzzy Logic Controller*. Tetapi berbeda dengan [1][2][3], pada penelitian ini *Fuzzy Logic Controller* digunakan untuk mengatur tegangan DC bus, sedangkan untuk membangkitkan sinyal PWM digunakan *ramptime current control*

## 2. KONFIGURASI SHUNT ACTIVE POWER FILTER

Secara umum *Shunt APF* adalah *Current Controlled Voltage Source Inverter* (CC-VSI) tiga fasa yang terhubung pada PCC dan dikontrol sedemikian rupa untuk menghasilkan arus anti harmonisa sehingga arus sumber menjadi sinusoidal. Konfigurasi *Shunt APF* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Konfigurasi *Shunt APF*

Dari gambar 1 terlihat bahwa hubungan arus yang didapat dari rangkaian tersebut adalah sebagai berikut:

$$i_s = i_L - i_{inv} \quad (1)$$

Dengan :

$i_s$  = Arus sumber sinusoidal

$i_{inv}$  = Arus anti harmonisa yang diinjeksikan ke grid

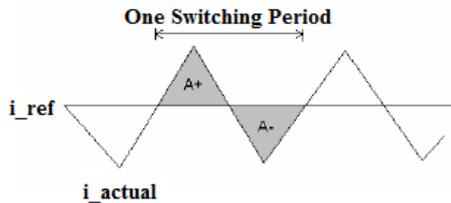
$i_L$  = Arus yang mengalir ke beban

Cara kerja rangkaian shunt APF dimulai dengan mendeteksi arus yang mengalir di sisi sumber/grid menggunakan *current sensor*. Output *current sensor* dikirimkan ke rangkaian kontrol CC-VSI untuk kemudian dipaksa agar sesuai dengan (mengikuti) arus referensi yang sinusoidal, seimbang dan sefasa dengan tegangan sumber. Hasil rangkaian kontrol ini adalah sinyal PWM yang akan mengontrol IGBT dari VSI.

Jadi pengontrolan *on* dan *off* IGBT dilakukan dengan cara mengontrol arus sumber secara langsung menjadi sinusoidal, seimbang dan sefasa dengan

tegangan sumber tanpa mendeteksi dan mengolah arus beban. Dengan demikian, secara otomatis CC-VSI menghasilkan arus anti harmonisa sesuai dengan persamaan (1) [5]. Proses *switching* ini didukung oleh rangkaian *Ramptime Current Control* [6].

Prinsip kerja dari *ramptime current control* (RCC) sama dengan *sliding mode control* dengan konsep *zero average current error* (ZACE) [7][8]. Nilai *error* arus yang merupakan selisih antara arus sumber/grid sesungguhnya dan arus referensi diatur agar memiliki nilai rata-rata sama dengan nol dengan frekuensi *switching* konstan. RCC menjaga agar *error* arus (A+) yang bernilai positif sama dengan *error* arus (A-) yang bernilai negatif sehingga nilai rata-rata dari *error* arus yang dihasilkan menjadi nol selama periode *switching* (gambar 2).



Gambar 2 : Zero average current error (ZACE)

Sementara itu arus referensi ( $I_{ref}$ ) diperoleh dari rangkaian *fuzzy logic controller* untuk menjaga tegangan DC bus konstan pada level tegangan referensi ( $V_{dcref}$ ). Dengan demikian daya aktif pada sumber/grid, beban dan VSI dipertahankan seimbang. Arus referensi yang sinusoidal dinyatakan dalam persamaan (2) berikut ini.

$$i_{ref} = I_{max} v_{g-1} \quad (2)$$

Dimana  $v_{g-1}$  adalah komponen fundamental dari tegangan sumber yang diperoleh dari rangkaian phase lock loop (PLL). Nilai  $I_{max}$  adalah output dari *fuzzy logic controller*.

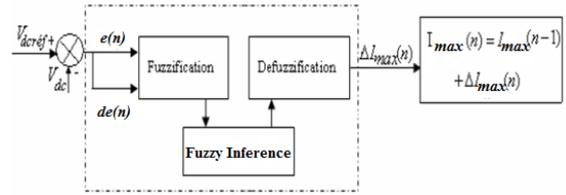
### 3. RANGKAIAN FUZZY LOGIC CONTROLLER

#### 3.1. Prinsip Dasar Fuzzy Logic Controller

*Fuzzy Logic Controller* diterapkan untuk mengatur tegangan DC bus VSI agar konstan yaitu dengan mengukur tegangan DC kapasitor dan kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan DC referensi ( $V_{dcref}$ ). *Error* yang diperoleh dan perubahan *error* (sinyal *delta error*) digunakan sebagai *input* untuk pengolahan *fuzzy*. *Output* dari *fuzzy logic controller* merupakan amplitudo arus referensi  $I_{max}$ . Diagram kerja rangkaian *fuzzy logic controller* dapat dilihat pada gambar 3. *Error* ( $e$ ) dan *delta error* ( $de$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:[1]

$$e(n) = V_{dcref} - V_{dc}(n) \quad (3)$$

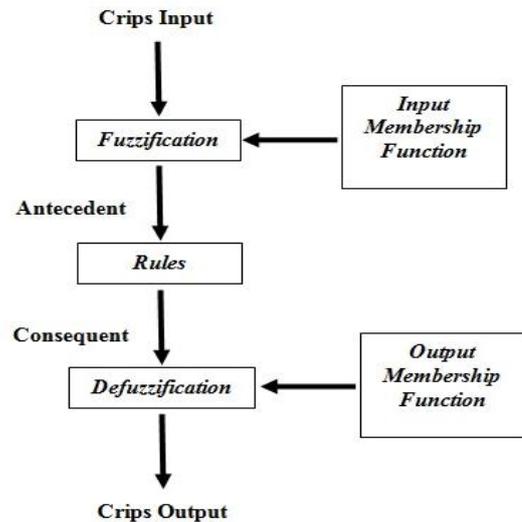
$$de(n) = e(n) - e(n-1) \quad (4)$$



Gambar 3: Diagram Fuzzy Logic Controller

#### 3.2. Perancangan Fuzzy Logic Controller

Proses *Fuzzy Logic Controller* memiliki 3 tahap yaitu: *Fuzzification*, *Fuzzy Inference* dan *Defuzzification* (gambar 4).

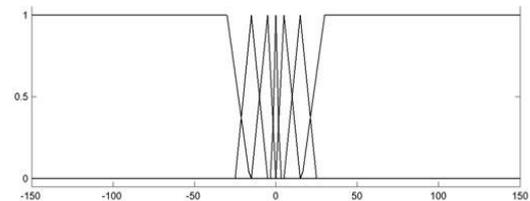


Gambar 4: Tahapan Fuzzy Logic Controller

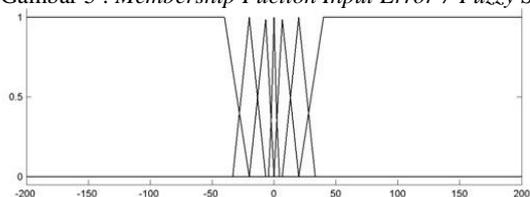
##### 3.2.1 Fuzzification

Pada *Fuzzification*, data *input crisp* diolah menjadi *fuzzy linguistic variable* yang kemudian dilakukan pemetaan ke dalam fungsi keanggotaan atau disebut sebagai *input membership function*. Pada *input membership function*, didefinisikan kondisi-kondisi yang akan terjadi pada bagian *output*.

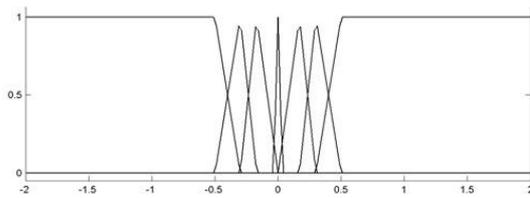
Dalam perancangan *controller* ini, digunakan bentuk segitiga dan *Trapezoid*. Gambar 5, 6 dan 7 terlihat *membership function* 7 *fuzzy set* untuk *error*, *error* dan *output*.



Gambar 5 : Membership Function Input Error 7 Fuzzy Set



Gambar 6 : Membership Function Input derror 7 Fuzzy Set



Gambar 7: Membership Fuction Output Imax 7 Fuzzy Set

### 3.2.2 Fuzzy Inference

Pada tahap ini akan diatur hubungan antara fuzzy input (antecedent) dengan fuzzy output (consequent) yang dikehendaki. Aturan yang dipakai adalah jenis 'if then'. Model aturan fuzzy yang akan digunakan dalam aplikasi ini adalah Mamdani. Adapun format yang dipakai adalah:[4]

*if antecedent(s) then consequent*

Dalam membuat aturan If-Then dari Fuzzy Logic Controller yang perlu diperhatikan adalah metode ini bertujuan untuk meminimalkan besarnya error  $e(n)$  antara sinyal tegangan referensi  $V_{dref}$  dan sinyal tegangan DC bus dimana error  $e(n)$  yang dinyatakan pada persamaan (3) dan (4). Berdasarkan persamaan tersebut dapat didesain Control Rule Table dengan menyesuaikan jumlah fuzzy set yang digunakan. Contoh control rule untuk 7 Fuzzy set dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 : Control Rule Table 7 Fuzzy sets

		Error						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
$\Delta error$	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
	NS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
	Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
	PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
	PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

#### 3.2.2.1. Model Mamdani

Pada model ini, aturan fuzzy didefinisikan sebagai:

IF  $x_1$  is  $A_{11}$  and ... and  $x_n$  is  $A_n$  THEN y is  $B_i$

Dimana  $x_n$  (1,2,...,r) adalah input variable.  $A_1, \dots, A_n$ , dan B adalah nilai-nilai linguistik (atau fuzzy set) dan " $x_1$  is  $A_1$ " menyatakan bahwa nilai  $x_1$  adalah anggota fuzzy set  $A_1$ . Untuk menentukan nilai yang dihasilkan oleh aturan Model Mamdani digunakan operator min-max. Operator min-max tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :[4]

Operasi min/irisan

$$a \cap b = \min (a,b) = a \text{ if } a \leq b \\ = b \text{ if } a > b \quad (5)$$

Operasi max/union

$$a \cup b = \max (a,b) = a \text{ if } a \geq b \\ = b \text{ if } a < b \quad (6)$$

### 3.2.3 Defuzzification

Tahap terakhir dari Fuzzy Logic Controller ini adalah Defuzzification yang mana akan menghasilkan output "crisp" dengan suatu harga berdasarkan hasil evaluasi pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini juga dilakukan membership function dengan kondisi yang juga kita tentukan sendiri. Variabel yang akan kita fungsikan ke dalam membership function disebut sebagai consequent/decendent.

Untuk memperoleh suatu harga output "crisp" atau nyata pada proses defuzzification ini digunakan centroid calculation defuzzification method dimana dilakukan perhitungan titik berat dari daerah membership yang dibentuk oleh beberapa titik yang berada pada beberapa daerah membership function yang berlainan. Untuk proses kendali biasanya dilakukan proses COA untuk defuzzification dimana prinsip utamanya adalah menghitung pusat berat pada sumbu "universe of discourse " (sumbu absis) dari output. Metode perhitungan nilai crips menggunakan rumus : [4]

$$COA(A) = \frac{\sum \mu_A(x)x}{\sum \mu_A(x)} \quad (7)$$

Dimana A adalah suatu nilai crips dan  $\mu_A(x)$  adalah derajat keanggotaan dari x (x bernilai diskrit). Persamaan (7) dapat diganti dengan fungsi integrasi jika x bernilai continuous, sehingga menjadi:

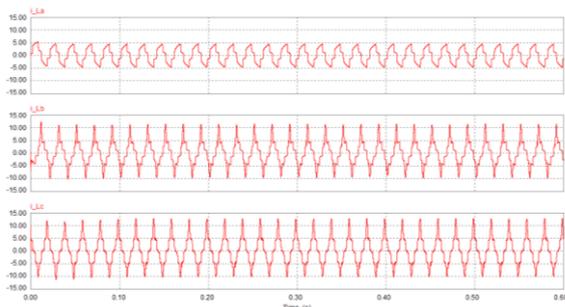
$$COA(A) = \frac{\int \mu_A(x)xdx}{\int \mu_A(x)dx} \quad (8)$$

## 4. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

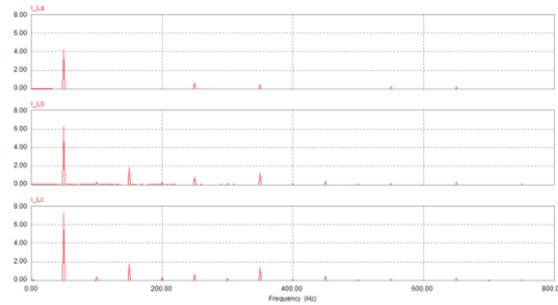
Untuk menguji unjuk kerja dengan metode fuzzy logic controller, maka rangkaian disimulasi dengan menggunakan gabungan software PSIM® dan Matlab Simulink. Rangkaian sumber/grid, beban dan inverter dimodelkan pada PSIM sedangkan fuzzy logic controller menggunakan Matlab Simulink. Pada simulasi ini akan dicoba penggunaan 5 fuzzy set, 7 fuzzy set dan 9 fuzzy set.

Arus beban dan spektrumnya yang mengandung harmonisa dan tidak seimbang dapat dilihat pada gambar 8 dan gambar 9. Arus ini mengalir ke sumber/grid bila tidak dikompensasi oleh APF.

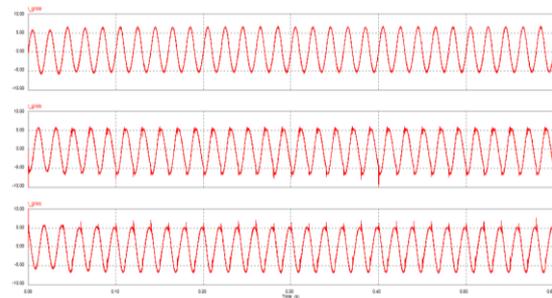
Arus sumber dan spektrumnya setelah dikompensasi oleh shunt APF tampak pada gambar 10 – 15. Terlihat bahwa APF bekerja dengan baik sehingga arus sumber tiga fasa berbentuk sinusoidal.



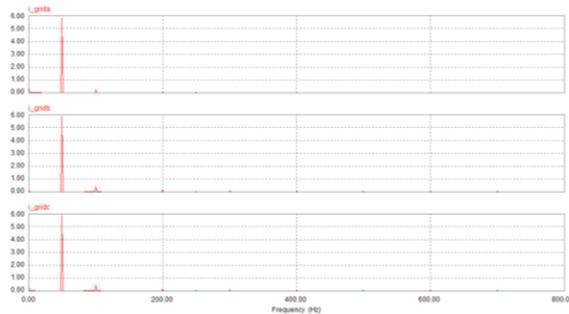
Gambar 8: Bentuk gelombang arus beban tiga fasa



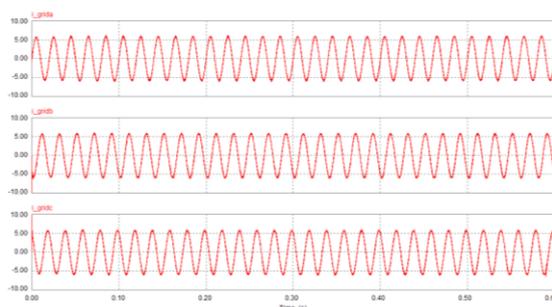
Gambar 9: Spektrum arus beban tiga fasa



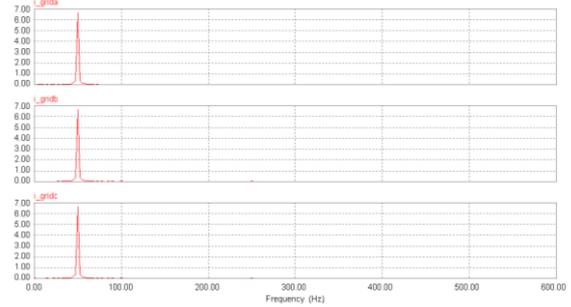
Gambar 10: Bentuk gelombang arus sumber tiga fasa setelah dikompensasi dengan menggunakan 5 fuzzy set.



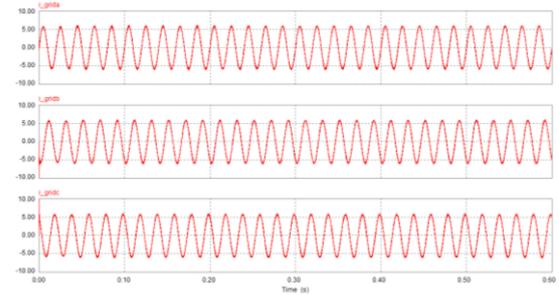
Gambar 11: Spektrum arus sumber tiga fasa setelah dikompensasi dengan menggunakan 5 fuzzy set.



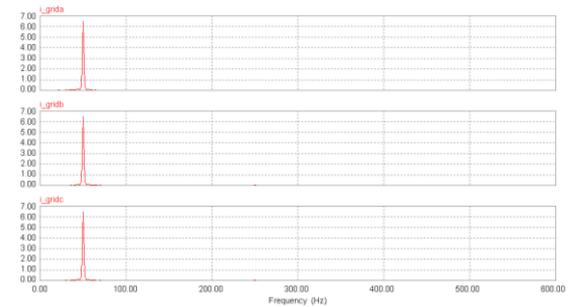
Gambar 12: Bentuk gelombang arus sumber tiga fasa setelah dikompensasi dengan menggunakan 7 fuzzy set.



Gambar 13: Spektrum arus sumber tiga fasa setelah dikompensasi dengan menggunakan 7 fuzzy set.



Gambar 14: Bentuk gelombang arus sumber tiga fasa setelah dikompensasi dengan menggunakan 9 fuzzy set.



Gambar 15: Spektrum arus sumber tiga fasa setelah dikompensasi dengan menggunakan 9 fuzzy set.

Analisa distorsi arus sumber (THD) dapat dilihat pada tabel 2. Dari penggunaan 3 macam fuzzy set, terlihat bahwa penggunaan 5 fuzzy set menghasilkan kompensasi yang tidak optimal karena *fuzzy logic controller* bekerja kurang teliti. Gambar 10 dan 11 menunjukkan masih adanya harmonisa. Demikian juga THD arus mencapai 7.916%. Sedangkan THD arus fasa sumber yang dihasilkan dari penggunaan 7 *fuzzy set* dan 9 *fuzzy set* sangat kecil sekitar 1%. Penurunan maksimum THD arus mencapai 40,683%.

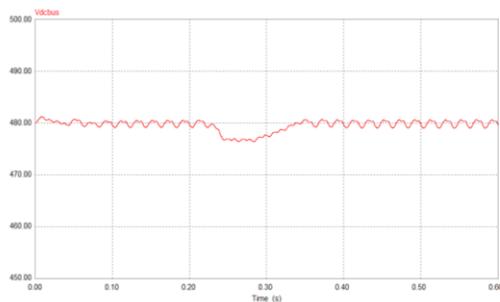
Tabel 2: Perbandingan  $I_{THD}(\%)$  Sebelum dan Setelah Kompensasi

No	Fuzzy Set	Sebelum Kompensasi			Setelah Kompensasi			Penurunan		
		ITHD(%)			ITHD(%)			ITHD(%)		
		R	S	T	R	S	T	R	S	T
1	5	21,508	40,448	41,721	4,052	7,691	7,916	17,456	32,757	33,805
2	7				0,615	0,936	1,038	20,89	39,512	40,683
3	9				0,588	0,98	1,059	20,92	39,468	40,662

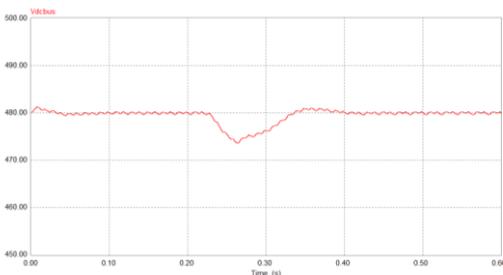
*Fuzzy Logic Controller* bekerja untuk mengatur tegangan DC bus inverter agar konstan (gambar 16 – 18) yaitu dengan mengukur tegangan DC kapasitor dan kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan DC referensi (konstan).

Dari gambar 16 – 18, menunjukkan tegangan DC bus mengalami penurunan sesaat karena adanya penambahan beban. Pada saat beban bertambah (gambar 21), sumber tidak dapat bereaksi secara langsung sehingga DC kapasitor pada DC bus membuang muatannya untuk mensuplai daya aktif yang dibutuhkan beban. Setelah *fuzzy logic controller* bekerja, maka daya aktif dari sumber, beban dan VSI seimbang kembali. Tegangan DC bus kembali seperti semula sesuai tegangan referensi dan sumber mensuplai beban. Perubahan daya aktif karena penambahan beban terlihat pada gambar 19 – 21.

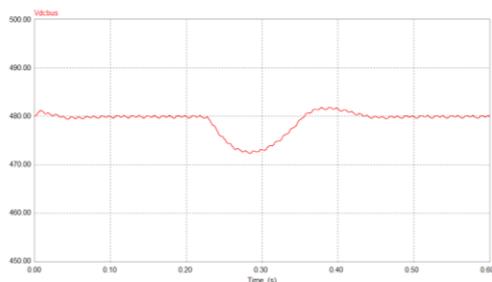
Jumlah *fuzzy set* yang digunakan mempengaruhi respon kerja *fuzzy logic controller*. Semakin besar *fuzzy set* yang digunakan maka penurunan tegangan makin besar dan waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke kondisi semula akan lebih lama karena *fuzzy* akan bekerja lebih teliti.



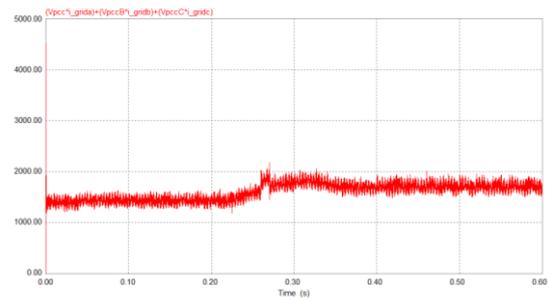
Gambar 16: Tegangan DC bus, menggunakan 5 *fuzzy set*



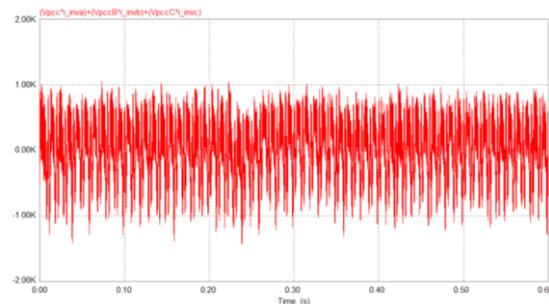
Gambar 17: Tegangan DC bus, menggunakan 7 *fuzzy set*



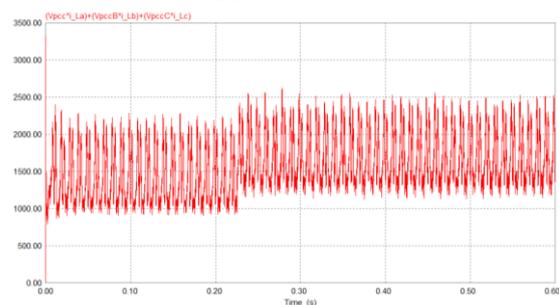
Gambar 18: Tegangan DC bus menggunakan 9 *fuzzy set*



Gambar 19. Daya sumber pada saat perubahan beban, menggunakan 7 *fuzzy set*



Gambar 20. Daya inverter pada saat perubahan beban, menggunakan 7 *fuzzy set*



Gambar 21. Daya beban bertambah

## 5. KESIMPULAN

*Shunt Active Power Filter* dengan metode *Fuzzy Logic Controller* dapat digunakan untuk mengatasi harmonisa yang mencemari sistem kelistrikan akibat penggunaan beban tak linier. Dari hasil simulasi terlihat bahwa APF dengan *ramp time current control* yang mengendali arus sumber secara langsung supaya sinusoidal dan *fuzzy logic controller* yang menjaga keseimbangan daya aktif dapat bekerja dengan baik.

Jumlah *fuzzy set* yang digunakan mempengaruhi hasil kompensasi dan respon *fuzzy logic controller*. Penambahan *fuzzy set* akan menurunkan THD arus sumber, tetapi memperpanjang waktu tegangan DC bus untuk kembali ke posisi semula. Dari hasil simulasi terlihat bahwa penggunaan 7 *fuzzy set* memiliki hasil yang optimal dengan nilai THD yang rendah, namun waktu dibutuhkan untuk kembali ke kondisi *steady state* relatif cepat.

#### DAFTAR REFERENSI

- [1] Kerrouche, Soumia and Fateh Krim. "*Three – phase Active Power Filter Based on Fuzzy Logic Controller*". International Journal of Sciences and Techniques of Automatic Control. (1999, Vol. no.3): 942 – 955.
- [2] Pitchaivijaya, Karuppanan and Kamalakanta Mahapatra. "*Adaptive-Fuzzy Logic Controller Based Shunt Active Filter for Power line Conditioners*". Telkomnika. (2011, Vol.9, no.2): 203 – 210.
- [3] Bhende, C.N., S.Mishra, and S.K.Jain. "*TS-Fuzzy-Controlled Active Power Filter for Load Compensation*". IEEE Transactions on Power Delivery. (2006, Vol.21, no.3): 1459-1465
- [4] Yen, Jon and Reza Langari. "Fuzzy Logic --- Intelligence, Control, and Information". New Jersey : Prentice Hall, 1999.
- [5] Tumbelaka, H.H., L.J. Borle., C.V. Nayar., and S.R. Lee. "*A Grid Current-controlling Shunt Active Power Filter*". Journal of Power Electronic. (2009, Vol.9, no.3).
- [6] Tumbelaka, H.H and Lawrence J. Borle. "*Harmonic Mitigation Using a Polarized Ramp-time Current-Controlled Inverter*". Telkomnika. (2010, Vol.8, no.3): 235-244.
- [7] L.J. Borle. "*Zero average current error control methods for bidirectional AC-DC converters*". PhD Thesis, Curtin University of Technology and the Australian Digital Theses Program: <http://adt.caul.edu.au/>
- [8] L.J. Borle and C.V. Nayar. "*Ramp-time Current Control*". IEEE Applied Power Electronics Conference. (1996): 828-834.