

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION–FUZZY LOGIC CONTROLER UNTUK PENYEARAH SATU FASA

Ilham Pakaya¹, Pressa Perdana²
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Surabaya, Indonesia
ilhampakaya@gmail.com

Abstrak

Dalam penelitian ini, sebuah metode telah diusulkan untuk menemukan fungsi keanggotaan optimal dari sebuah sistem fuzzy menggunakan algoritma particle swarm optimization (PSO). Sebuah algoritma yang menggabungkan kontrol logika fuzzy dan algoritma PSO digunakan untuk merancang pengendali tegangan untuk sistem penyearah satu fasa. Untuk menunjukkan keefektivitasan dari algoritma yang diusulkan, algoritma ini digunakan untuk mengoptimalkan fungsi keanggotaan segitiga dari model fuzzy dari sebuah sistem penyearah satu fasa nonlinier sebagai studi kasus. Hal ini jelas membuktikan bahwa fungsi keanggotaan (MFs) yang dioptimalkan memberikan kinerja yang lebih baik dari model fuzzy untuk sistem yang sama ketika MFs belum didefinisikan.

Kata kunci- penyearah satu fasa, fuzzy logic, PSO

Abstract

In this paper, a method has been proposed for finding the optimum membership functions of a fuzzy system using particle swarm optimization (PSO) algorithm. A algorithm combined from fuzzy logic control and PSO algorithm is used to design a voltage controller for a single phase rectifier. To exhibit the effectiveness of proposed algorithm, it is used to optimize the Triangular membership functions of the fuzzy model of a nonlinear single phase rectifier system as a case study. It is clearly proved that the optimized membership functions (MFs) provided better performance than a fuzzy model for the same system, when the MF's were defined.

Keywords- rectifier; fuzzy logic; PSO

PENDAHULUAN

Perangkat switching semikonduktor modern yang saat ini digunakan dalam berbagai macam beban rumah tangga dan industri, seperti uninterruptable power supply, adjustable speed drive, tanur listrik, dan rectifier pengendali thyristor untuk mengendalikan dan menyearahkan listrik bolak-balik. Penyearah satu fasa termasuk jenis reaksi kompleks dengan kenonlinearan, dan sulit untuk dikontrol oleh metode konvensional. Dalam spektrum pengendali parameter tetap konvensional, peningkatan dan parameter lain mungkin tidak secara ideal sesuai dengan seluruh spektrum operasi. Perkembangan teknologi digital telah membuat hal tersebut memungkinkan untuk dikembangkan dan pengimplementasian peningkatan controller secara modern dan teknik yang lebih canggih. Namun, untuk menghindari kompleksitas komputasi yang merupakan karakteristik pengendali nonlinear, FLC dapat menjadi algoritma alternatif yang sederhana dan cocok. Alasan utama untuk memulai memunculkan metode yang kuat dan fleksibel adalah keterbatasan pendekatan tradisional dalam menangani batasan-batasan yang ada [3]. Logika fuzzy berbasis penyearah satu fasa (FLSPR) menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kinerja pengaturan tegangan.

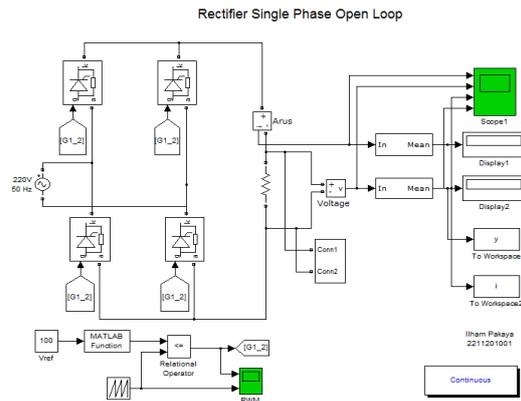
Algoritma PSO dan logika fuzzy telah menunjukkan kemampuan tinggi untuk mengatasi masalah-masalah yang disebutkan sebelumnya [1]. Keberhasilan logika fuzzy merupakan bukti kekokohan metode ini dalam membuktikan pengaplikasian di lingkungan nyata. Akan tetapi, diperlukan sebuah metode yang

efisien untuk men-tuning MFs dengan tujuan meminimalkan tindakan kesalahan keluaran atau memaksimalkan kemampuan indeks FLC. Teknik optimasi PSO adalah sebuah teknik pencarian stokastik melalui lingkup ruang masalah berdimensi-n yang bertujuan minimalisasi (atau maksimalisasi) dari fungsi tujuan dari masalah [5].

Penelitian ini memanfaatkan sistem dari strategi pengendalian yang didasarkan pada kombinasi logika fuzzy dan teknik optimasi PSO. Tujuannya adalah untuk mengontrol tegangan penyearah satu fasa saat terjadi perubahan set point. Software MATLAB digunakan untuk merancang dan mensimulasikan controller tersebut. Kinerja pengendali yang diusulkan telah dipertimbangkan berdasarkan jumlah kesalahan persegi (SSE). Hasil yang didapatkan jelas menunjukkan bahwa strategi pengendalian PSO-FLC memberikan kinerja yang dapat diterima sehubungan dengan perubahan fungsional dari proses tersebut.

Model Penyearah Satu Fasa

Penyearah dikenal sebagai konverter AC-DC yang mengkonversi tegangan AC menjadi tegangan DC [4]. Penyearah satu fasa banyak digunakan dalam industri skala kecil, peralatan rumah tangga, peralatan kantor, pengendali pencahayaan, pengendali pemanas dan lain-lain. Peralatan penyearah berjenis semikonverter menggunakan thyristor satu fasa berjenis silicon control rectifier-penyearah pengendali silikon (SCR).

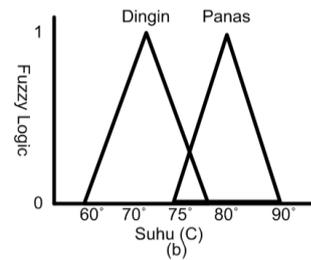
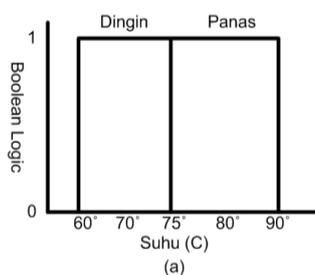


Gambar 1. Model Penyearah Satu Fasa Loop Terbuka

Gambar 1 menunjukkan model sistem loop terbuka penyearah satu fasa dengan tegangan referensi dari 100 V. Dengan penambahan beban secara paralel, diharapkan sistem ini dapat mempertahankan tegangan output, maka diperlukan suatu sistem yang kuat, dengan menggunakan beberapa kontrol.

Algoritma Fuzzy Logic Controller

Sistem fuzzy ditemukan pertama kali oleh Prof. Lotfi Zadeh pada pertengahan tahun 1960 di Universitas California. Sistem fuzzy diciptakan karena boolean logic tidak mempunyai ketelitian yang tinggi, hanya mempunyai logika 0 dan 1 saja. Sehingga untuk membuat sistem yang mempunyai ketelitian yang tinggi tidak dapat menggunakan boolean logic. Perbedaan fuzzy logic dengan boolean logic terlihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Perbedaan Boolean Logic dan Fuzzy Logic

Pada gambar di atas, merupakan perbedaan antara logika boolean dengan logika fuzzy. Dimana logika fuzzy menggunakan parameter membership function sebagai indikator pendekatan pada kondisi nyata. Karena pada kenyataan di lapangan, parameter yang digunakan tidak selalu sama.

Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (intelligent control). Unit logika fuzzy memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks, yang tidak dimiliki oleh kontroler konvensional. Secara umum kontroler logika fuzzy memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontroler manusia.
2. Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak stasioner.
3. Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja.
4. Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time*.

Kebanyakan proses di dalam sistem pengendalian merupakan proses yang kompleks. Proses-proses tersebut pada kenyataannya bisa dikontrol secara manual dengan hasil yang cukup baik, oleh

operator. Operator tersebut adalah tenaga terampil yang mengandalkan pengalaman praktis, tanpa dilatarbelakangi teori-teori sistem pengendalian yang rumit. Pengalaman tersebut diperoleh dalam waktu yang lama, sehingga pengendalian yang dilakukan sepenuhnya bersifat intuitif. Untuk mendesain sistem pengendalian otomatis bagi proses –proses tersebut, diperlukan metode khusus, dalam hal ini digunakan teori logika fuzzy.

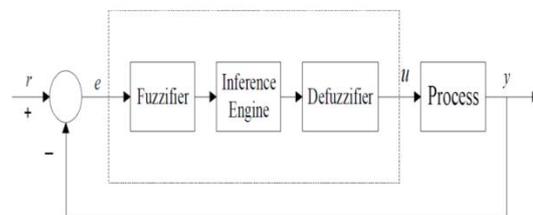
Berdasarkan penjelasan di atas, Algoritma utama dari fuzzy logic controller (FLC) dibangun berdasarkan pengetahuan keahlian yang berupa perilaku berbasis aturan [3]. Secara umum aturan FLC dieksplicitkan dalam bentuk: Jika input 1 adalah A dan masukan 2 adalah B maka output adalah C. Dimana anteseden A dan B dinyatakan oleh MFs.

Ada dua jenis ekspresi untuk konsekuen C. Dalam jenis FLC Tagaki-Sugeno, C dinyatakan sebagai kombinasi linear dari semua masukan. Di sisi lain, jika jenis FLC Mamdani yang digunakan, C dinyatakan oleh satu set MFs. Prosedur yang digunakan untuk menghitung aksi kontrol secara keseluruhan di FLC ditentukan oleh berbagai jenis proses defuzzifikasi. Secara umum, metode pusat daerah (CoA) biasanya digunakan, di mana output u^* dihitung sebagai:

$$u^* = \frac{\int um_o(u)du}{\int m_o(u)du} \tag{1}$$

Prinsip dasar dalam loop FLC ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem ini terdiri dari tiga langkah utama berurutan , yaitu fuzzifikasi, mesin Inference dan Defuzzifikasi. Fuzzifikasi mengkonversi nilai crisp (nilai-real) menjadi anggota

fuzzy set, sementara defuzzifikasi mengubah output fuzzy yang ditentukan oleh mesin inferensi menjadi nilai crisp.



Gambar 3. Diagram blok untuk algoritma FLC

Algoritma Particle Swarm Optimization

Particle swarm optimization (PSO) diperkenalkan pada tahun 1995 oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 [1,2]. PSO adalah suatu metode pencarian nilai optimal yang terinspirasi oleh kegiatan/pola dari burung dan ikan dalam mencari makanan. Sifat burung dan ikan yang mencari makanan dalam suatu kelompok besar sehingga jika salah satu anggota menemukan makanan maka akan memberitahukan kepada yang lain agar semua anggota dapat ikut menikmati, menunjukkan suatu pola optimisasi yang jelas. Yaitu bagaimana mencapai tujuan dengan cepat dan tepat.

Suatu teknik optimisasi yang berbasis pada populasi. Populasi PSO disebut dengan swarm. Pada sistem PSO beberapa kandidat yang telah diinisialisasi kemudian dievaluasi secara bersamaan. Setiap kandidat yang menghasilkan solusi disebut sebagai partikel. Karakteristik dari partikel ini adalah akan bergerak pada ruang lingkup permasalahan untuk mencari nilai optimum. Metode optimasi yang didasarkan pada swarm intelligence ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika,

yang sering disebut *evolution-based procedures*.

Sebuah partikel yang bergerak akan belajar dari pengalaman partikel tersebut yang terdahulu seiring dengan Bergeraknya waktu. Setiap partikel akan selalu mengatur posisi diri sendiri berdasarkan pada pengalaman dari partikel di sekitar. Apabila suatu partikel menemukan posisi yang terbaik untuk menghasilkan nilai optimal, maka partikel-partikel lain di sekitarnya akan bergerak untuk mendekati posisi tersebut. Partikel-partikel tersebut akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda untuk mendekati posisi terbaik yang ditemukan oleh partikel terdahulu. Kecepatan suatu partikel untuk bergerak dapat dihitung dengan menggunakan informasi dari : (i) kecepatan sekarang, (ii) jarak antara posisi semula dengan posisi terbaik yang telah ditemukan.

Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (rule) seperti berikut :

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

1. Kohesi - terbang bersama
2. Separasi - jangan terlalu dekat

3. Penyesuaian (alignment) - mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maximum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain.

Meskipun beberapa modifikasi pada algoritma swarm asli telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja dan disesuaikan dengan jenis masalah tertentu, versi seri sebelumnya telah sukses diimplementasikan. Berdasarkan konsep/ analogi dari PSO di atas, maka algoritma PSO secara lebih jelas dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

- Setiap partikel individu i memiliki sifat-sifat sebagai berikut: Posisi saat ini di ruang pencarian, x_{id} , dengan kecepatan gerakan, v_{id} dan sebuah posisi perseorangan terbaik di sebuah ruang pencarian, p_{id}

- Sebuah posisi perseorangan terbaik, p_{id} , sesuai dengan posisi dalam ruang pencarian di mana
- partikel i menghadirkan sebuah kesalahan terkecil yang ditentukan oleh fungsi obyektif f , dengan asumsi tugas untuk meminimalisasi kesalahan tersebut.
- Posisi terbaik global yang ditandai oleh kehadiran posisi partikel yang menghasilkan kesalahan terkecil di antara semua partikel p_{gd} tersebut

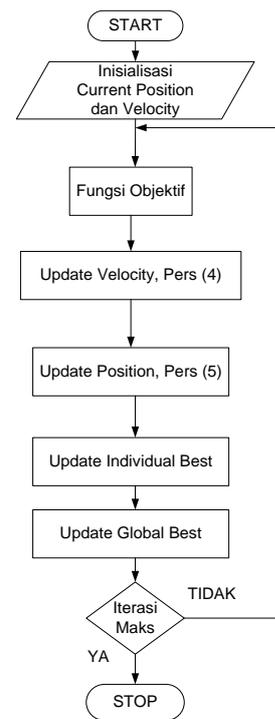
Selama iterasi setiap partikel dalam swarm diperbarui dengan menggunakan dua persamaan berikut:

$$v_{id}(t+1) = w \cdot v_{id}(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id} - x_{id}(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{gd} - x_{id}(t)) \quad (2)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (3)$$

Dimana $v_{id}(t+1)$ dan $v_{id}(t)$ merupakan kecepatan partikel terbaru dan kecepatan partikel saat ini, $x_{id}(t+1)$ and $x_{id}(t)$ merupakan posisi partikel terbaru dan posisi partikel saat ini, c_1 dan c_2 adalah konstanta positif, dan r_1 dan r_2 merupakan unit angka acak di dalam jangkauan $[0,1]$, dan w merupakan momen berat.

Secara umum diagram alur (flowchart) dari Particle Swarm Optimization ditampilkan pada gambar 4 sebagai berikut, dimana proses dimulai dengan inialisasi letak sumber dan kecepatan partikel. Kemudian menentukan kecepatan dari masing-masing partikel hingga ditemukan posisi dari yang dicari. Proses ini akan terus berlangsung hingga didapatkan posisi terbaik. Proses pencarian nilai optimal akan berhenti setelah iterasi maksimum tercapai, sebelum iterasi itu tercapai maka proses pencarian posisi baru dan proses perkembangan velocity akan terus terjadi.



Gambar 4. Diagram alir algoritma PSO

Desain Optimal Fuzzy Logic Controller

Pendekatan menggunakan PSO untuk mengatur MF dari FLC ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam proses PSO yang diusulkan, setiap partikel dibentuk untuk mewakili parameter MF dari input dan output FLC. Tujuan dari PSO adalah untuk meminimalkan kesalahan kontrol FLC, sedangkan fungsi obyektif dari PSO didefinisikan sebagai:

$$f(x(k)) = \sum_{t=0}^{t_f} \epsilon^2 \quad (4)$$

Dimana t_f adalah total running time dari FLC, ϵ adalah control error dari FLC.

Model ini terdiri dari sistem multi-input single-output (MISO) dengan sejumlah-n input. Input tersebut adalah m_1, \dots, m_n . Ada beberapa asumsi dalam perumusan model yang akan digunakan. Asumsi ini harus didefinisikan dan tersedia dalam sistem advance sebagai dasar

integrasi algoritma hybrid ini. Asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi keanggotaan segitiga yang digunakan untuk variabel input dan output.
- b. Aturan-dasar lengkap yang dipertimbangkan. Sebuah aturan dianggap selesai ketika semua kemungkinan kombinasi dari fungsi keanggotaan masukan dari semua variabel input berpartisipasi dalam pembentukan aturan-dasar fuzzy.

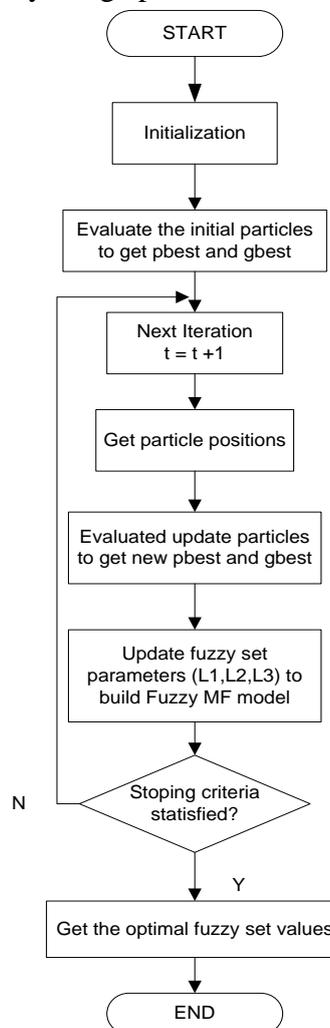
Integrasi antara permasalahan logika optimasi adalah sebagai berikut:

- a) Parameter tersebut berupa nilai rata-rata dan standar deviasi dari masing-masing fungsi keanggotaan fuzzy.
- b) Parameter ini bertindak sebagai partikel dan nilai kecocokan terbaik global.
- c) Proses optimasi dimulai dengan nilai inisial dari parameter.
- d) Setelah parameter diatur menggunakan metode optimasi, parameter ini akan digunakan untuk memeriksa performansi dari logika fuzzy
- e) Proses ini diulan secara terus menerus sampai tujuan tercapai.

Metode optimisasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. dimulai dengan memberi nilai awal dari parameter-parameter dan menjalankan fungsi fitness untuk memperoleh nilai baru untuk parameter fungsi keanggotaan. Nilai baru ini akan digunakan dalam studi kasus yang akan dipertimbangkan di penelitian ini.

Dimensi ruang partikel ini mewakili nilai parameter fungsi keanggotaan fuzzy. Kolom pertama menunjukkan variabel input dan variabel output. Semua input dan output dari MFs menjadi berbeda

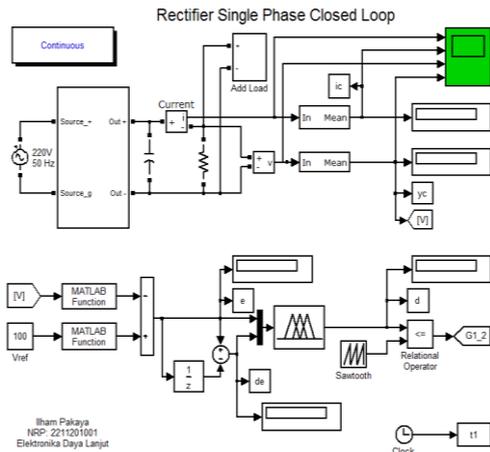
tergantungan dari posisi baru mereka. Ukuran partikel untuk mewakili fungsi keanggotaan segitiga dari variabel input dan variabel output untuk sebuah model sebanyak tiga partikel.



Gambar 5. Diagram alir dari PSO untuk Fungsi keanggotaan

SIMULASI DAN HASIL

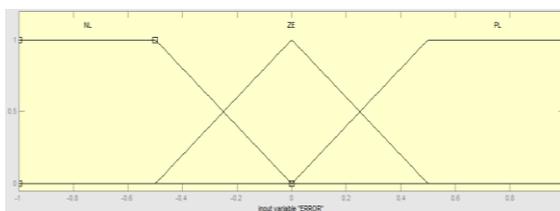
Untuk mengatasi pengontrolan penyearah satu fasa, model persamaan secara perhitungan berdasarkan pemodelan pada simulator digunakan dalam penelitian ini. Simulator yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan software matlab, yang ditampilkan seperti gambar 6 berikut ini.



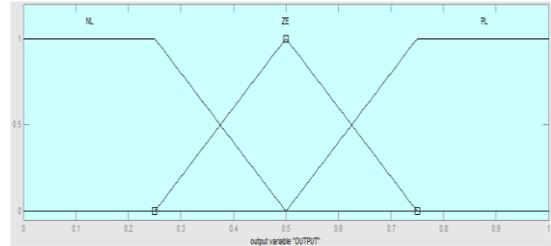
Gambar 6. Model Penyearah Satu Fasa Loop Tertutup

Conventional FLC

Nilai awal dari MFs dari FLC untuk input dan output ditunjukkan pada Gambar 7. dan Gambar 8. berikut ini. Ketiga fungsi input menggunakan sistem matematis berupa segitiga fuzzy. MFs didefinisikan sebagai NL, ZE dan PL. Kesatuan dari nilai input MFs ini adalah mereka berada pada range [-1,1]. Delapan aturan fuzzy telah dipertimbangkan untuk membangun dasar-dasar aturan fuzzy. KONTROLLER fuzzy telah didesain dan diuji berdasarkan mekanisme intervensi mamdani.



Gambar 7. Input MFs untuk konvensional FLC



Gambar 8. Output MFs untuk FLC konvensional

Penentuan luas atau pun lebar segitiga di atas dilakukan dengan melihat karakteristik sistem saat dijalankan. Jadi, saat simulasi, setiap step perubahan sistem akan dilihat dan dievaluasi secara manual. Hal ini lah yang membedakan sistem fuzzy konvensional dengan fuzzy yang ditala dengan menggunakan PSO. Fuzzy yang ditala secara manua, masih ada kemungkinan nilai optimum terbaik akan terlewat.

Delapan aturan fuzzy telah dikembangkan untuk membangun dasar-dasar aturan fuzzy. Aturan-aturan tersebut adalah sebagai berikut ini :

- If (ERROR in NL) and (D-ERROR) is NL) then (OUTPUT is NL) (1)
- If (ERROR in NL) and (D-ERROR) is ZE) then (OUTPUT is NL) (1)
- If (ERROR in NL) and (D-ERROR) is PL) then (OUTPUT is ZE) (1)
- If (ERROR in ZE) and (D-ERROR) is NL) then (OUTPUT is NL) (1)
- If (ERROR in ZE) and (D-ERROR) is ZE) then (OUTPUT is ZE) (1)
- If (ERROR in PL) and (D-ERROR) is NL) then (OUTPUT is ZE) (1)
- If (ERROR in PL) and (D-ERROR) is ZE) then (OUTPUT is mf3) (1)
- If (ERROR in PL) and (D-ERROR) is PL) then (OUTPUT is mf3) (1)

Aturan-aturan tersebut berfungsi sebagai algoritma matematika untuk

mencocokkan keadaan inputan dengan hasil yang diharapkan.

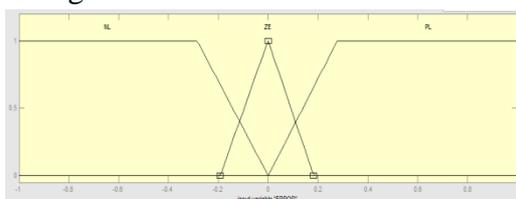
Untuk mengevaluasi manfaat dari masing-masing kontroler fuzzy, penjumlahan dari error kuadrat (SSE) yang diberikan oleh persamaan (5) untuk mengevaluasi kriteria kinerja

$$F = \sum_{j=1}^N [e(j)]^2 \quad (5)$$

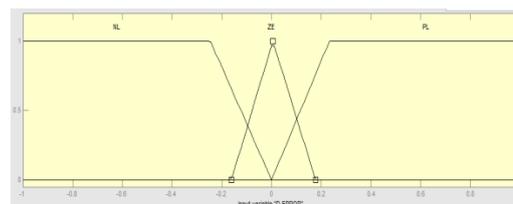
Persamaan di atas memberikan arti bahwa hasil akhir dari sistem fuzzy, menggunakan penjumlahan luas bangunan. Atau biasa dikenal dengan sistem Mamdani. Jadi, nilai input yang berupa ERROR dan D-ERROR akan digabungkan dan dicocokkan dengan nilai output. Hasilnya adalah berupa luasan yang kemudian dicari nilai rata-ratanya.

PSO menala parameter FLC

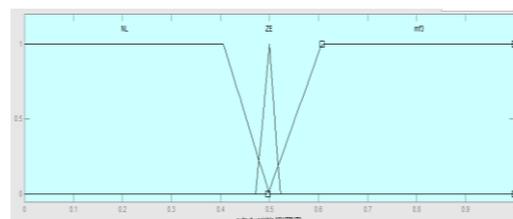
Semua MFS yang digunakan dalam FLC ini adalah berbentuk segitiga. Parameter-parameter yang menentukan MFs adalah nilai L dari masing-masing MF. Gambar 9-11 menampilkan MFs yang dioptimalkan oleh masing-masing FLC. Kriteria ini digunakan oleh PSO untuk mengevaluasi kecocokan masing-masing kandidat solusi. Karena ada 2 input dan 1 output MFS, ada total 3 parameter yang perlu disetel. Tabel IV menunjukkan parameter MF sebelum dan sesudah proses tuning PSO.



Gambar 9. Pengoptimalan masukan "error" MFS untuk PSO- FLC



Gambar 10. Proses optimalisasi masukan delta error (perubahan kesalahan) MFS untuk PSO- FLC



Gambar. 11 Proses optimalisasi masukan MFS untuk PSO- FLC

Tabel 1. Parameter PSO untuk penyearah satu fasa

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>
C1	1.2
C2	0.8
Inertia w factor	0.5
Number Of particle	50
Searching iterations	200
Fitness	SSE

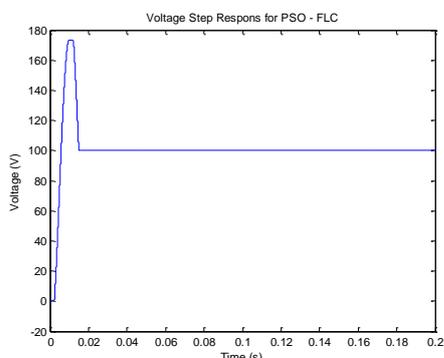
Tabel 2. nilai SSE

<i>Control Variabel</i>	<i>SSE</i>
Conventional FLC	0.004672
Tuned FLC (PSO- FLC)	0.003511

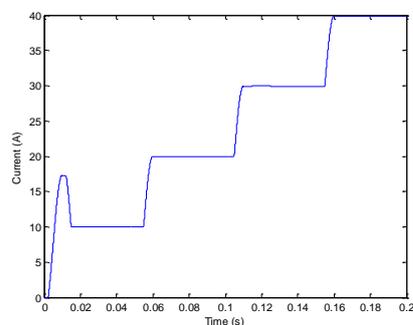
Dari Tabel 2. di atas dapat kita lihat bahwa nilai error yang dihasilkan oleh PSO-FLC lebih kecil dibandingkan nilai error sistem dengan menggunakan fuzzy konvensional. Hal itu karena sistem PSO mampu mendeteksi hasil optimum dari sistem yang diaplikasikan.

Tabel 3. Perbedaan parameter FLC dibandingkan dengan PSO - FLC.

Parameter	FLC	PSO - FLC
L1	0.5	0.1923
L2	0.5	0.1614
L3	0.25	0.4722
L4	0.75	0.5221



(a)



(b)

Gambar 11. Respon tegangan (a) dan arus (b) sistem menggunakan PSO –Fuzzy

Tabel 4. Nilai tegangan output berdasarkan perubahan beban

Teg . Ref. (V)	Load Ohm	Actual Voltage		Actual Current	
		FLC	PSO FLC	FLC	PSO FLC
100	100	98.5	99.9	9.78	9.99
	100	99.1	99.9	19.8	19.9
	100	99.0	99.9	29.8	29.9
	100	99.0	99.9	39.7	39.8

Berdasarkan Tabel 3 di atas, dan juga dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 7-10, nilai input dan output yang berupa segitiga mempunyai yang berbeda. Pada Gambar 9 dan Gambar 10, Nilai segitiga yang ditala dengan menggunakan PSO lebih tidak simetris. Walau terlihat digambar simetris, namun ketidak-simetrisannya dapat dilihat dengan jelas pada tabel 3. Akan tetapi, ketidaksimetrisan itu membuat hasil error yang didapat lebih minimum.

Nilai error yang lebih minimum tersebut tentu membuat output yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan nilai yang diinginkan. Tabel 4 menunjukkan perbedaan nilai tegangan yang diinginkan dengan nilai tegangan saat simulasi. Algoritma PSO-FLC menghasilkan nilai tegangan output/ tegangan simulasi mendekati nilai tegangan yang diinginkan/ tegangan referensi. Nilai perbedaan itu lebih minimum, jika dibandingkan dengan nilai perbedaan tegangan pada sistem fuzzy konvensional. Berdasarkan nilai capaian itu, tidak dapat diragukan lagi bahwa PSO-FLC lebih akurat dan lebih ampuh dibandingkan dengan sistem fuzzy konvensional.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan dengan jelas, bahwa FLC yang dioptimalkan menggunakan algoritma particle swarm optimization memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler konvensional untuk menjaga tegangan output dari penyearah dengan perubahan dan penambahan beban. Titik berat penelitian ini berada pada penyearah satu fasa yang dikendalikan melalui dua kontroler Fuzzy yang berbeda. Menurut hasil dari simulasi komputer, FLC

dengan algoritma PSO lebih baik dari FLC konvensional tanpa algoritma PSO. Kerugian utama dari kontroler fuzzy adalah kekurangan dalam mendesain teknik fuzzy secara analisis (pemilihan aturan, fungsi keanggotaan dan faktor skala). Oleh karena itu controller PSO-FLC memberikan peningkatan ketahanan dan hasil yang sangat baik di bandingkan dengan pengontrolan FLC konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eberhart, R. and Kennedy, I. "A new optimizer using particle swarm theory". Symposium on Micro Machine and Human Science, 39-43, 1995.
- [2] J. Kennedy and R.C. Eberhart, "Particle swarm optimization ", Proceeding of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks (Perth, Australia), IEEE Service Centre, 1995.
- [3] Zadeh, L. A., " Fuzzy Sets, Information Control", 330-353, 1965
- [4] Muhammad H. Rashid. "Power Electronics Circuits, Devices and Application". Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.
- [5] G. Coath and S. Halgamuge. "A Comparison of Constraint-handling Methods for the Application of Particle Swarm Optimization to Constrained Nonlinear Optimization Problems". In Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation