



"Tema: 4 (teknik dan energi baru dan terbarukan)"

PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM PADA SISTEM KONTROL HIBRIDA PV-DIESEL

Oleh

Priswanto, Daru Tri N, Widhiatmoko HP, Agung M, Alifa Aminatus
Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto
priswanto@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Pembangkit listrik energi terbarukan sangat tergantung pada kondisi alam. Aplikasi pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan diesel akan menghasilkan pasokan energi listrik yang berkelanjutan, dan pada saat yang sama berperan dalam menghemat penggunaan bahan bakar minyak. Namun demikian, yang menjadi masalah adalah bagaimana mengatur aliran energi agar mendapatkan sistem yang optimal dan efisien. Teknologi sistem kontrol hibrida dirancang untuk dapat mengatur kontinuitas aliran energi ke beban dari PV yang terhubung ke diesel (PV-diesel), sekaligus sebagai perangkat sistem manajemen energi cerdas yang memungkinkan penggunaan energi lebih efektif, efisien dan optimal. Simulasi prototipe ini menggunakan teknologi *fuzzy inference system* yang ditanamkan pada kontroler, dan dilengkapi dengan sensor arus ACS712, sensor tegangan, relay dan tampilan GUI/ HMI sebagai antarmuka maupun akuisisi data. Penelitian ini menggunakan tiga parameter input yaitu SOC baterai, arus pada PV dan arus pada beban. Dari data yang diperoleh dari setiap input kemudian dikonversi menjadi nilai persentase. Dalam penelitian ini terdapat 75 aturan fuzzy berdasarkan 80% DOD, hubungan iradiasi matahari dengan arus ketika paralel dan energi rata-rata diperlukan dalam satu hari. Prototipe ini akan secara otomatis menghasilkan pengendalian ke hardware berdasarkan aturan fuzzy yang telah dibuat. Pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian hardware dan simulasi dengan toolbox fuzzy menggunakan MATLAB. Sistem ini memiliki akurasi tinggi dengan tingkat akurasi 96%. Prototipe yang telah dirancang untuk bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan.

Kata kunci: *sistem kontrol hibrida, PV-diesel, fuzzy inference system, energi baru terbarukan.*

ABSTRACT

Renewable energy power plants are very dependent on natural conditions. This causes renewable energy power plants (eg solar cells) to become less reliable individually. The electrical energy produced by solar cells is strongly influenced by the intensity of sunlight received. The application of solar power plants connected with diesel will produce a continuous supply of electrical energy and at the same time play a role in saving the use of fuel oil. The problem is how to regulate the flow of energy in order to obtain an optimal and efficient system. The hybrid control system technology is designed to be able to regulate the continuity of energy flow to the load from PV connected to diesel (PV-diesel), and at the same time as an intelligent energy management system device that enables the use of energy more effectively, efficiently and optimally. This prototype simulation consists of ACS712 current sensor, voltage sensor, relays and display as the interface. There are three inputs namely SOC Battery, current generated photovoltaic and load current required. From the real data



obtained from each input then converted into the percentage value. In this research there are 75 universal rules and range based on DOD 80%, the relationship of solar irradiation with current when parallel and the average energy needed in one day. This prototype will automatically make a decision on the relay based on the fuzzy rule that has been created. Testing the system by comparing the results of testing the system with fuzzy rule that has been made. This system has high accuracy with 96% accuration rate. From the results of this research it can be said that the prototype has been designed to work properly and in accordance with the expected.

Key words: hybrid controller, PV-diesel, fuzzy inference system, renewable energy

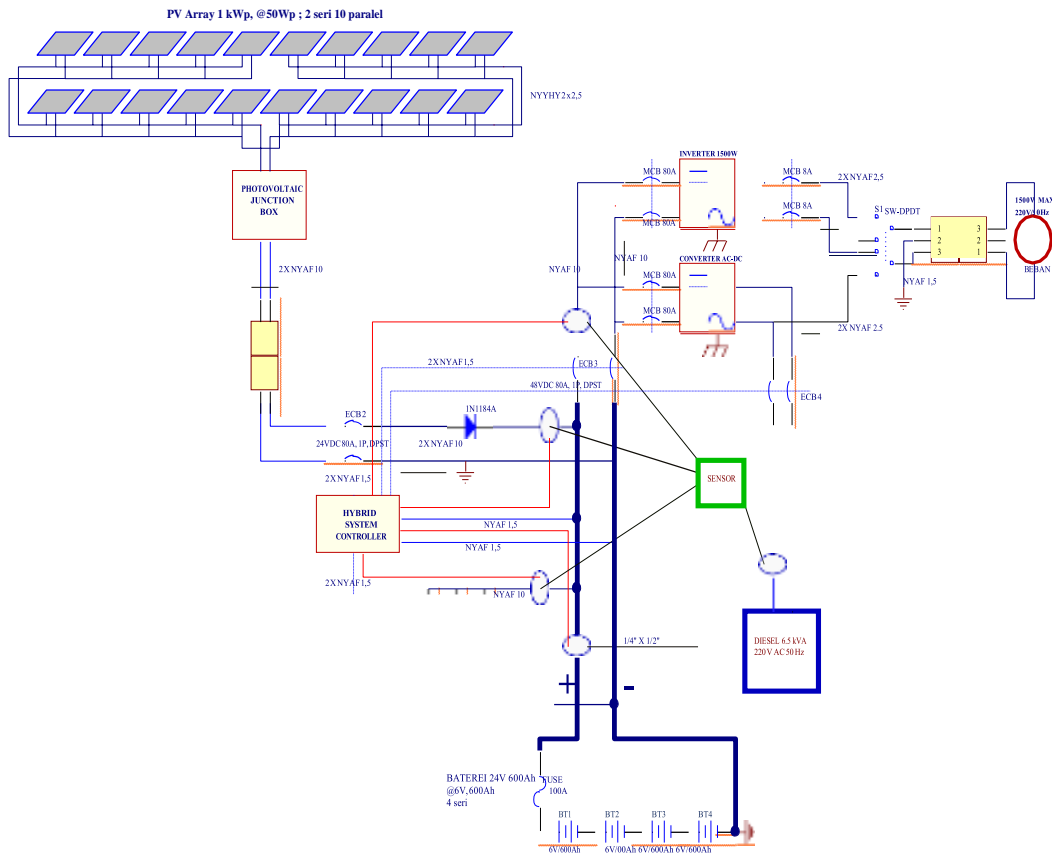
PENDAHULUAN

Potensi energi surya di Indonesia cukup besar, dengan nilai insolasi rata-rata harian matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m².(Tharakan, Pradeeb 2015) Namun demikian, sampai saat ini kapasitas daya sel surya (*photovoltaic cell*, PV) terpasang di Indonesia baru sekitar 10 MWp. Sebagian besar dimanfaatkan untuk *solar home system* (SHS) 50 Wp, sistem hibrida antara PV-diesel dan atau tenaga angin, serta interkoneksi antara sistem PV dengan diesel. Sistem kontrol hibrida pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang dikoneksikan dengan diesel dan dilengkapi dengan sistem penyimpanan energi listrik (*storage system*) masih merupakan teknologi baru di Indonesia. Aplikasinya juga masih terbatas hanya untuk PLTS pembangkitan listrik dengan daya besar. Oleh karena itu pengembangan sistem kontrol hibrida pada pembangkit listrik tenaga surya – diesel untuk daya kecil perlu terus dilakukan sehingga kontinuitas suplai energi listrik di suatu lokasi (rumah, ruang kuliah, laboratorium, gedung perkantoran) akan tetap terjamin, meskipun terjadi pemadaman listrik oleh PT. PLN untuk selang waktu tertentu.

METODE PENELITIAN

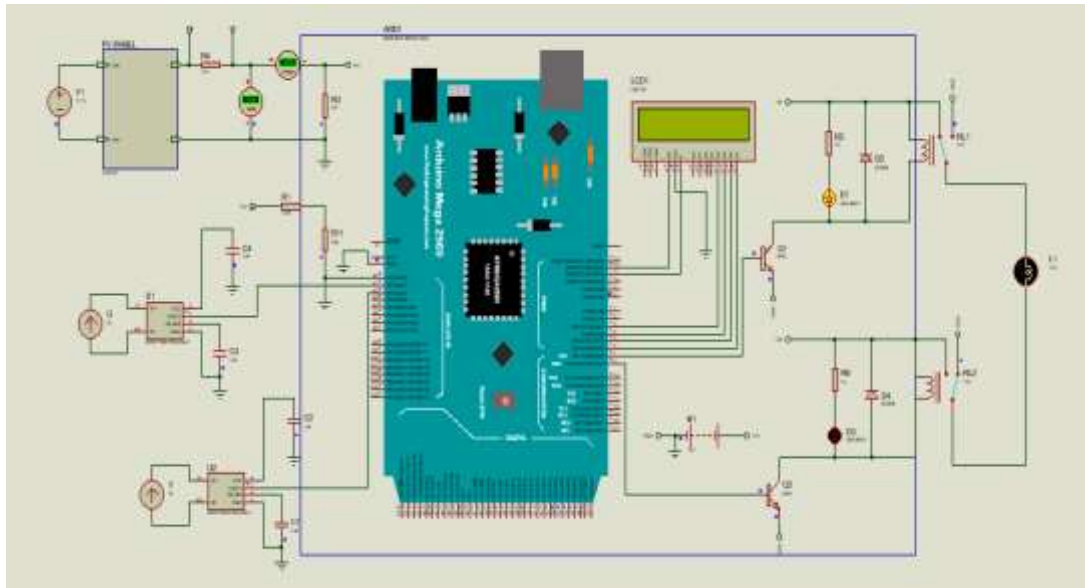
Sistem kontrol Hibrida PV-Diesel

Konsep sistem kontrol *hybrid* pada sistem PLTS terhubung diesel berbasis *Fuzzy Logic Control* bertujuan untuk mendapatkan kontinuitas pasokan energi listrik ke beban (*load*). (Saleh 2015) Dua sumber pasokan listrik dikendalikan oleh sistem kontrol *hybrid*, yang berfungsi untuk mengatur proses inter-koneksi dua sumber pembangkit listrik ke beban. Gambar 1., di bawah ini menjelaskan koneksi antara sistem PLTS dengan diesel.



Gambar 1. Desain skematik PLTS terhubung dengan diesel

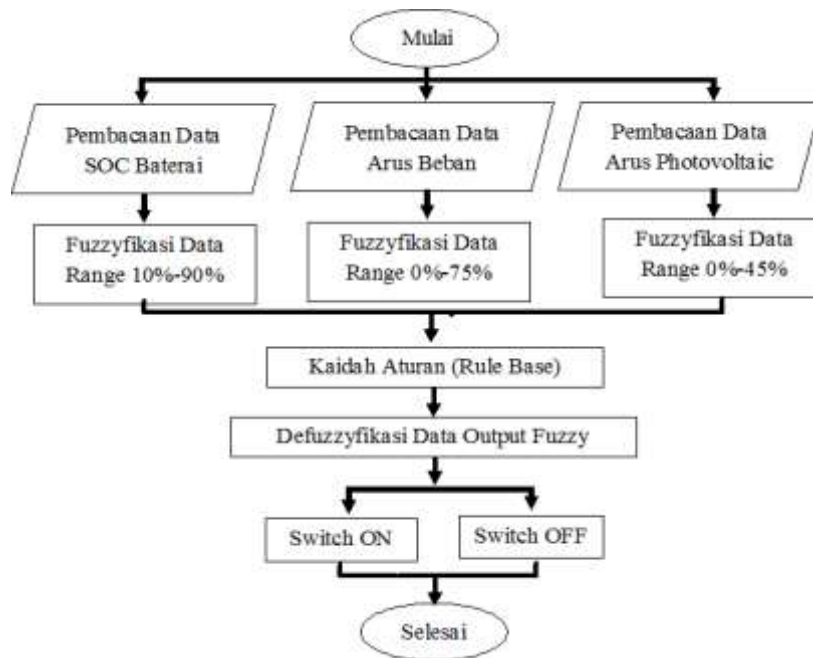
Berdasarkan gambar 1, tersebut ada 4 bagian penting dalam sistem yaitu pembangkit (PV dilengkapi baterai-Diesel), kontroller (mikrokontroller/ arduino), aktuator (kontaktor) dan beban (lampu atau beban lain). Prinsip kerja dari rancangan *sistem tersebut adalah* sensor akan mendeteksi arus dari *photovoltaic*, sensor juga akan mendeteksi berapa arus pada beban dan sensor tegangan akan mendeteksi nilai SOC baterai. Sebagai pengendali utama digunakan Arduino. Fungsi Arduino adalah mendeteksi sensor arus pada *photovoltaic*, sensor arus pada beban dan sensor tegangan pada baterai. Untuk penganbilan keputusan output berdasarkan *fuzzy inference system* (FIS) setelah Arduino mengolah data yang diperoleh dari sensor. Keluaran dari Arduino adalah berupa ON/OFF pada kontaktor. Pada saat PV dengan storage mampu menyuplai beban, maka kontaktor diesel OFF, sedangkan ketika PV dengan storage tidak mampu menyuplai beban, maka Diesel ON. Nilai arus pada beban dan arus yang dihasilkan *photovoltaic* akan ditampilkan ke dalam LCD. Dengan pola pengaturan seperti ini diharapkan kontinuitas pembangkit dapat terjaga dan penggunaan diesel lebih efisien. Gambar 2 adalah diagram blok dari rancangan prototype sistem kontrol hibrida berbasis FIS menggunakan Proteus.



Gambar 1. Desain prototipe sistem kontrol hibrida PV-Diesel

Fuzzy Inference System pada sistem kontrol hibrida PV-Diesel

Sistem pengambilan keputusan pada sistem Fuzzy Inference System dibagi menjadi tiga bagian yaitu fuzzyfikasi, inferensi dan kaidah aturan (*rule base*), dan defuzzyfikasi. Fuzzyfikasi merupakan bagian program yang digunakan untuk mengubah data yang didapat dari sensor yang berupa nilai tegas (*crisp*) untuk diubah menjadi nilai samar (*fuzzy*). Inferensi dan kaidah aturan (*rule base*) merupakan bagian utama program yang berisi basis aturan yang digunakan sebagai acuan untuk pengambilan keputusan sehingga dapat menghasilkan sebuah keluaran dalam bentuk nilai samar (*fuzzy*). (Ruan 2012) Sedangkan defuzzyfikasi adalah kebalikan dari fuzzyfikasi yaitu merupakan bagian program yang digunakan untuk mengubah nilai samar yang dihasilkan menjadi nilai tegas (*crisp*) yang berupa ON atau OFF pada *switch*/ kontaktor. Pada Gambar 3., ditunjukkan diagram alir (*flowchart*) dari tahap perancangan logika *fuzzy*.



Gambar 0. Diagram alir sistem kontrol hibrida berbasis FIS

Variabel arus pada beban dibagi menjadi 5 variabel yaitu ABSR (Arus Beban Sangat Rendah) dengan presentase beban 0%-7.8%, ABR (Arus Beban Rendah) dengan presentase beban 2.5%-12.8%, ABS (Arus Beban Rendah) dengan presentase beban 7.5%-27.8%, ABT (Arus Beban Tinggi) dengan presentase beban 17.5%-37.8% dan ABST (Arus Beban Sangat Tinggi) dengan presentase beban 30%-44%.

Variabel arus pada *photovoltaic (sel surya)*, dibagi menjadi 3 variabel yaitu ASR (Arus Surya Rendah) dengan presentase arus yang dihasilkan PV adalah 0%-9.8%, ASS (Arus Surya Sedang) dengan presentase arus yang dihasilkan PV adalah 5%-46.8% dan AST (Arus Surya Tinggi) dengan presentase arus yang dihasilkan sel surya adalah 26%-74%.

SOC (*State of Charge*) Baterai dibagi menjadi 5 variabel yaitu SSR (SOC Sangat Rendah) dengan presentase SOC sebesar 10%-21.8%, SR (SOC Rendah) dengan presentase sebesar 15%-31.8%, SS (SOC Sedang) dengan presentase SOC Baterai sebesar 25%-41.8%, ST (SOC Tinggi) dengan presentase SOC Baterai sebesar 35%-56.8%, SST (SOC Sangat Tinggi) dengan presentase SOC Baterai sebesar 48%-89%.

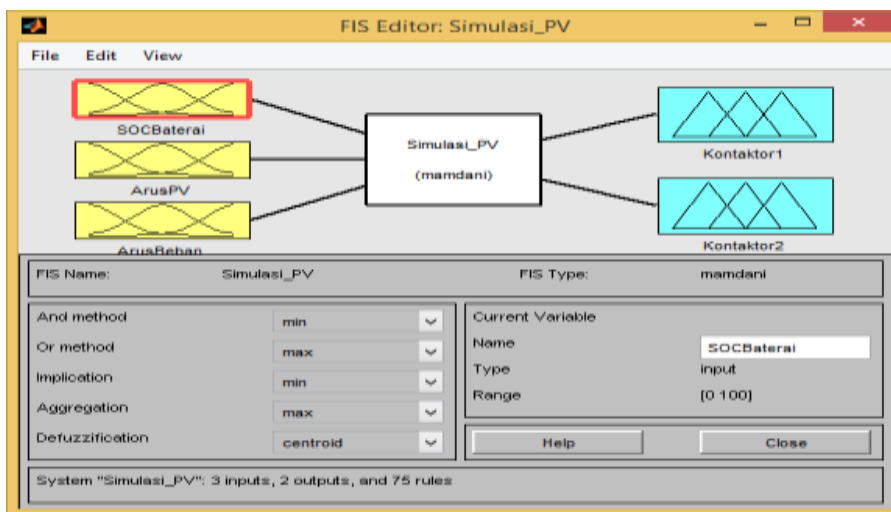
Keluaran kontaktor dibagi menjadi 2 variabel yaitu ON dan OFF. Variabel ON ketika keluaran dengan *range* nilai 0-0.5 dan variabel OFF ketika output dengan *range* nilai 0.5-1. Kontaktor inilah yang menghubungkan beban dengan sumber pembangkit PV atau diesel. Pada saat PV (dengan storage) mampu menyuplai beban maka diesel OFF, sedangkan ketika PV (dengan storage) tidak mampu menyuplai beban, maka diesel ON dan menyuplai energi ke beban dan storage.



HASIL DAN PEMBAHASAN

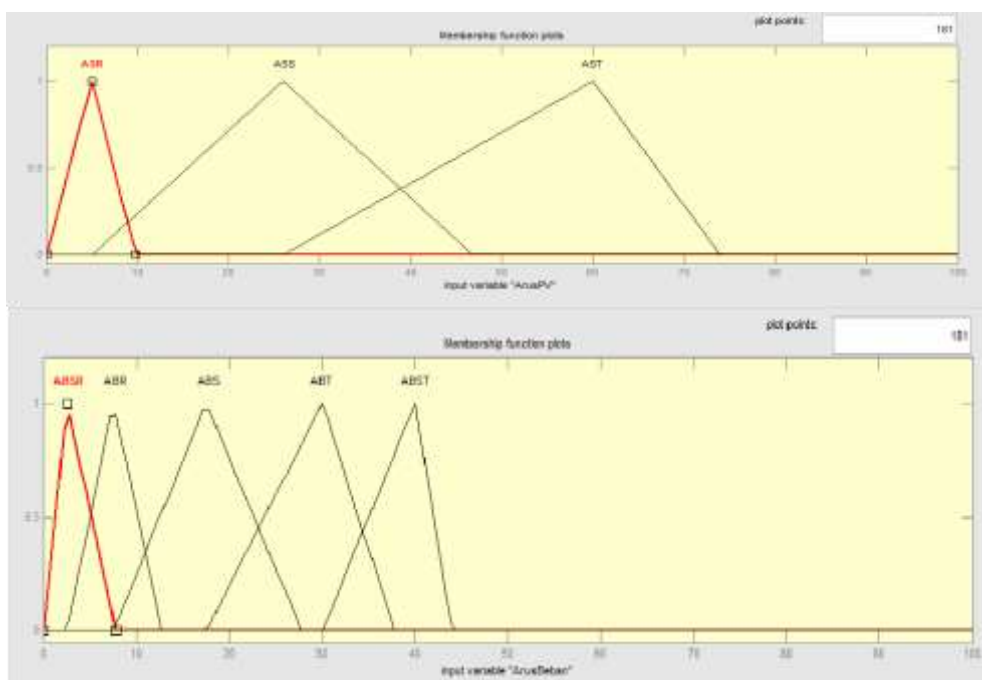
Simulasi sistem kontrol hibrida berbasis FIS dengan MATLAB

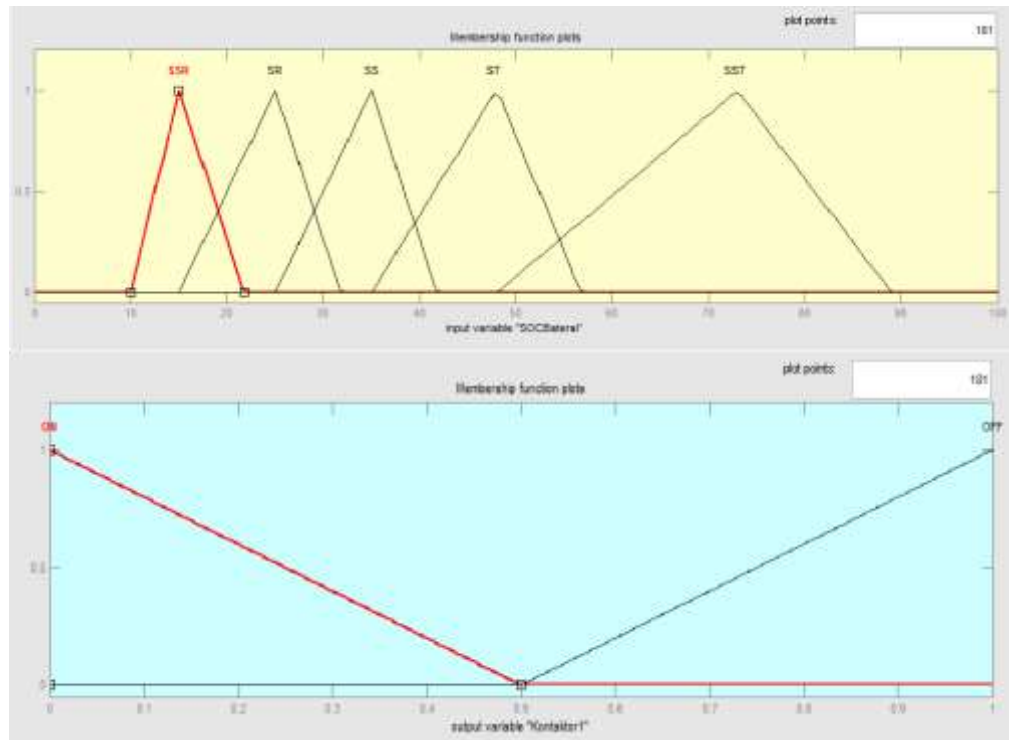
Gambar 4, menunjukkan simulasi sistem kontrol hibrida berbasis FIS dengan menggunakan toolbox MATLAB. FIS yang dirancang menggunakan tipe Mamdani, proses implikasi dan agregasinya menggunakan metode Min-Max, sedangkan proses defuzzifikasinya menggunakan metode *Centroid* atau *Center of Area* (COA). Sistem yang telah dibuat terdiri dari tiga buah input yaitu arus beban, arus *photovoltaic* dan tegangan SOC baterai. Sistem tersebut terdiri dari dua buah output yaitu kontaktor 1 dan kontaktor 2. menggunakan aturan sebanyak 75 basis aturan (*rule base*).



Gambar 4. FIS editor dengan toolbox MATLAB

Gambar 5, berikut menunjukkan fungsi keanggotaan variabel input dan output : arus PV, arus beban, SOC baterai dan kontaktor.





Gambar 5. Fungsi keanggotaan variabel input dan output

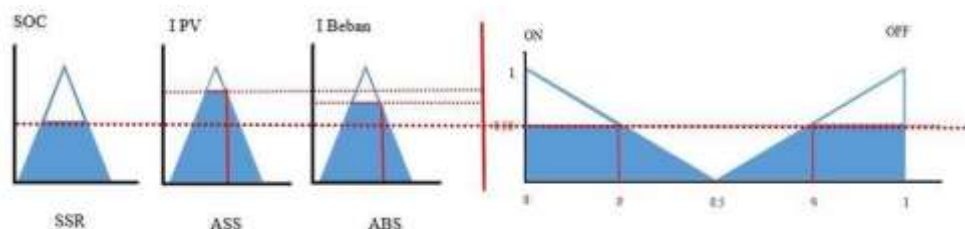
Proses inferensi merupakan proses dimana sistem melakukan proses penarikan kesimpulan berdasarkan aturan yang telah dibuat. (Zadeh 1965) Pada contoh ini aturan yang dibuat yaitu sebagai berikut. Jika SSR (SOC Sangat Rendah) dengan nilai 20 volt, arus *photovoltaic* = ASS (Arus Sel Sedang) dan diberikan nilai 8 ampere dan arus beban = ABS (Arus Beban Sedang) dan diberikan nilai 7. Output dari kontaktor 1 adalah ON dan kontaktor 2 adalah OFF. Karena pada penelitian ini proses komposisinya menggunakan operator Min-Max, maka proses penalaran *fuzzy*-nya adalah sebagai berikut.

$$Output = \min(\mu_{SSR}(18), \mu_{ASS}(6), \mu_{ABS}(4))$$

$$Output = \min(0.56, 0.79, 0.72)$$

$$Output = 0.56$$

atau secara visual dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 6



Gambar 6. Proses penalaran FIS



Proses defuzzifikasi merupakan proses yang digunakan untuk mengubah nilai *fuzzy* yang diperoleh dari hasil proses penalaran *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp*). (Zadeh 1965) Karena pada penelitian ini menggunakan metode *centroid* atau *center of area* (COA), maka rumus yang digunakan yaitu dapat dilihat pada Persamaan berikut :

- Mencari nilai p

$$\mu_{ON}(p) = \frac{0-p}{0.5}$$

$$0.56 = \frac{0-p}{0.5} \text{ sehingga diperoleh nilai } p = 0.22$$

- Mencari nilai q

$$\mu_{OFF}(q) = \frac{0.50-q}{0.5}$$

$$0.56 = \frac{0.50-q}{0.5} \text{ sehingga diperoleh nilai } q = 0.78$$

Untuk menghitung luas daerahnya adalah seperti di bawah ini :

$$A1 = 0,56 \times q = 0.123$$

$$A2 = 0.5 (0.56 \times 0.28) = 0.0784$$

$$B1 = 0,5 \times (0.28 \times 0.56) = 0.0784$$

$$B2 = 0.22 \times 0.56 = 0.123$$

Sedangkan untuk menghitung momen, perhitungannya adalah seperti berikut.

$$MA1 = \int_0^{0.22} (2z-2)zdz = \int_0^{0.22} (2z^2-2z)dz = 0.028$$

$$MA2 = \int_{0.22}^{0.5} (2z-z)zdz = \int_{0.22}^{0.5} (2z^3-z^2)dz = 0.305$$

$$MA3 = \int_{0.5}^{0.78} (2z-1)zdz = \int_{0.5}^{0.78} (2z^2-z)dz = 1.1$$

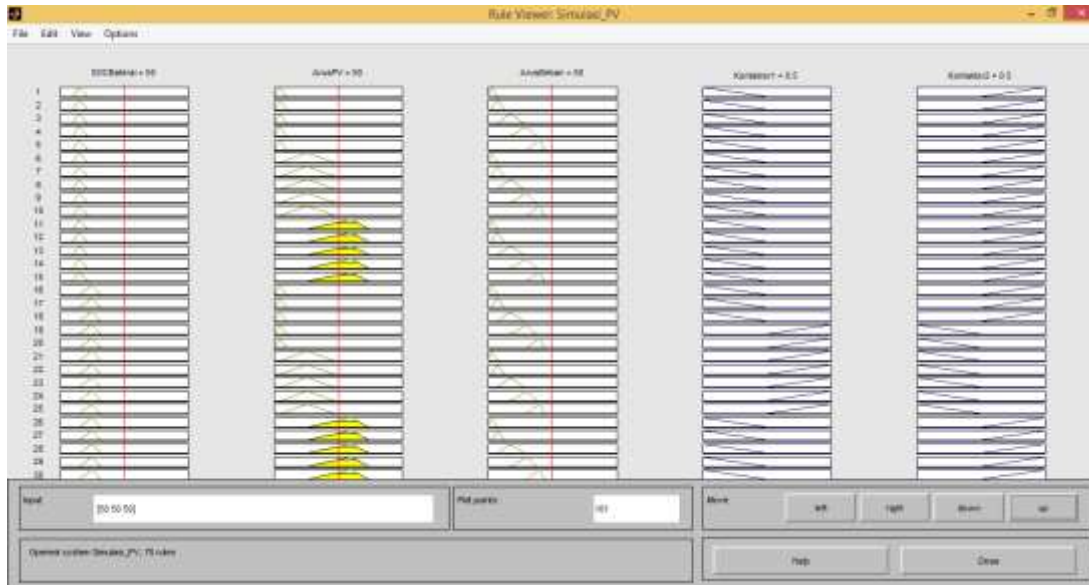
$$MB1 = \int_{0.78}^1 (2z^2-z)zdz = \int_{0.78}^1 (2z^3-z^2)dz = 0,2199$$

Dari hasil perhitungan momen dan luas daerah di atas, maka selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan perhitungan defuzzifikasi terhadap masing-masing keluaran yaitu sebagai berikut.

$$z^*_{ON} = \frac{MA1+MA2}{A1+A2} = 1.65$$

$$z^*_{ON} = \frac{MB1+MB2}{B1+B2} = 9.55$$

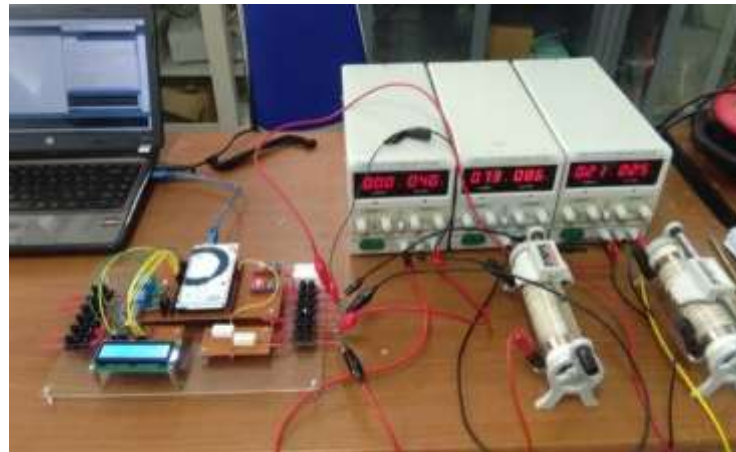
Jadi, dari proses perhitungan di atas jika input SOC baterai = 20, arus *photovoltaic* = 8, dan arus beban = 7 dengan menggunakan sebuah aturan tunggal maka akan menghasilkan output ON sebesar 0.165 dan output OFF sebesar 0.95. Nilai tersebut didapat setelah diubah ke presentase. Gambar 8., berikut menunjukkan tampilan hasil simulasi rule FIS pada controller.



Gambar 8. Tampilan hasil simulasi rule FIS

Pengujian prototipe sistem kontrol hibrida berbasis FIS

Pengujian prototipe sistem fuzzy berbasis FIS dilakukan dengan membandingkannya dengan hasil simulasi rule FIS, Gambar 9.



Gambar 9. Pengujian prototipe sistem

Dimisalkan pengujian pada *rule 2*, dilakukan dengan memberikan input ke sistem dengan SOC Baterai= 11%, arus *photovoltaic* = 2%, dan arus beban = 5%. Mekanisme pengujian yang dilakukan yaitu dengan cara memberikan beban masukan berupa tegangan sebesar 2.64 Volt ke sensor tegangan, memberikan arus ke sensor arus 1 sebesar 0.0438 Ampere dan memberikan arus ke sensor arus sensor arus 2 sebesar 0.1095 Ampere. Setelah semua parameter input sudah diberi data masukan, maka selanjutnya sistem kendali logika *fuzzy* akan melakukan proses pengambilan keputusan berdasarkan basis aturan yang telah ditentukan, sehingga akan menghasilkan 2 buah keluaran yaitu keluaran relay 1 dan relay 1 yang keduanya menyambungkan ke beban. Adapun dari



pengujian *rule 2* ini diperoleh nilai keluaran dari sistem *fuzzy* yang telah dirancang Relay 1 = ON dan Relay 2 = OFF. Hasil pengujian *rule 2* ditunjukkan pada Tabel 1., berikut.

Tabel 1. Perbandingan hasil pengujian *rule 2*.

	Nilai Output		Basis Aturan		Sesuai ?	
	Relay 1	Relay 2	Relay 1	Relay 2	Ya	Tidak
Simulasi	0.223	0,77	ON	OFF	√	
Pengujian	ON	OFF			√	
Serial Monitor	0.23	0.77			√	

Berdasarkan hasil perbandingan antara hasil pengujian dan hasil simulasi dengan basis aturan yang ditunjukkan pada Tabel 1 di atas, dapat dilihat bahwa data yang didapatkan dari hasil simulasi dan hasil pengujian menunjukkan kesesuaian dengan basis aturan yang telah ditentukan. Dari hasil tersebut pengujian sistem terhadap *rule 2* dapat dikatakan berhasil dan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Keseluruhan *rule* yang disimulasikan dibandingkan dengan prototipe. Dari 75 *rule* yang dilakukan, tingkat akurasi mencapai rerata 96%.

KESIMPULAN

Sistem kontrol hibrida PV-Diesel berbasis FIS di rancang menggunakan 3 variabel input (arus PV, arus beban, SOC baterai) dan 2 output (kontaktor 1 dan kontaktor 2), menggunakan metode mamdani dengan 75 *rule*. Berdasarkan pengujian prototipe hasil perancangan yang di komparasikan dengan simulasi menggunakan MATLAB menunjukkan tingkat akurasi 96%. Disarankan untuk menggunakan sensor dengan tingkat kehandalan dan akurasi yang lebih baik, sehingga kinerja sistem kontrol diharapkan dapat lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Universitas Jenderal Soedirman atas dukungannya melalui kegiatan Riset Peningkatan Kompetensi BLU LPPM Unsoed.



DAFTAR PUSTAKA

- Ruan, Da. 2012. *Intelligent Hybrid Systems: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Genetic Algorithms*. Springer Science & Business Media.
- Saleh, Azmi. 2015. Perancangan Sistem Kontrol Hibrid Energi Surya Fotovoltaik (SESF) dengan Sumber Listrik PLN Menggunakan Fuzzy Logic Controller. 7
- Tharakan, Pradeeb. 2015. *Summary of Indonesia's Energy Sector Assessment*. ADB Papers on Indonesia.
- Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8(3): 338 – 53