

## DESAIN DAN ANALISIS *HYBRID SYSTEM CONTROLLER PV-DIESEL* *BERBASIS FUZZY INFERENCE SYSTEM*

Priswanto<sup>(1)</sup>, Widhatmoko HP<sup>(2)</sup>, Daru Tri Nugroho<sup>(3)</sup>, Agung Mubyarto<sup>(4)</sup>, Alifa Aminatus<sup>(5)</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto  
Email : priswanto@unsoed.ac.id

### **Abstract**

*Renewable energy power plants are very dependent on weather. This causes renewable energy power plants (solar cells) to become less reliable individually. The electrical energy produced by solar cells is very 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

### **1. PENDAHULUAN**

Penerapan sel surya di Indonesia sangatlah menguntungkan karena radiasi matahari hampir merata di seluruh daerah, termasuk daerah Kabupaten Banyumas, dengan nilai insolasi rata-rata harian sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>. 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 pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang dikoneksikan dengan diesel dan dilengkapi dengan sistem penyimpanan energi listrik (*storage system*) merupakan teknologi baru di Indonesia. Aplikasinya juga masih terbatas hanya untuk PLTS pembangkitan listrik dengan daya besar. Oleh karena itu pengembangan sistem 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.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Hibrida

Sistem hibrida didefinisikan sebagai kombinasi dari sistem suplai energi yang berbeda tetapi saling melengkapi pada satu tempat yang sama, misal sel surya dan pembangkit tenaga angin (Aburto dan Weber t.t.). Tujuan dari sistem pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) adalah untuk meningkatkan kehandalan sistem dan menurunkan biaya operasional. (Setiawan, Zhao, dan Nayar 2009). Meskipun pembangkit energi terbarukan adalah kompetitif dan layak untuk aplikasi off-grid, satu pembangkit energi terbarukan yang berdiri sendiri biasanya memunculkan permasalahan *oversizing* komponen yang meningkatkan biaya operasi dan *life cycle* pembangkit (Bagul, Salameh, dan Borowy 1996). Kombinasi (hibrida) dari satu atau lebih sumber energi terbarukan akan meningkatkan faktor beban dan menghemat biaya perawatan dan penggantian komponen karena masing-masing pembangkit saling melengkapi. (Kaldellis 2007)

### 2.2 Logika fuzzy

Logika fuzzy merupakan suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam ruang output. Pada tahun 1965, Zadeh memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan kontinu antara 0 - 1, himpunan ini disebut himpunan samar (*Fuzzy set*). Sebagai contoh: himpunan temperatur yang akan mempengaruhi kondisi panas tidak bersifat diskrit dan dibatasi kondisi hangat. Fungsi keanggotaan ( $\mu_f =$  membership function) merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan antara titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan). Ambil U sebagai semesta dari himpunan objek {u}. Himpunan fuzzy F dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dalam nilai keanggotaan  $\mu_f$  yang mempunyai interfal nilai [0,1]. Himpunan fuzzy biasanya dinyatakan dengan :

$$F = \{ \{u, \mu_f(u) \} \mid u \in U \} \quad (1)$$

jika U kontinyu maka himpunan F dapat ditulis dengan:

$$F = \int \mu_f(u) / u \quad (2)$$

jika U diskrit maka himpunan F dapat ditulis dengan :

$$F = \sum \mu_f(u_i) / u_i \quad (3)$$

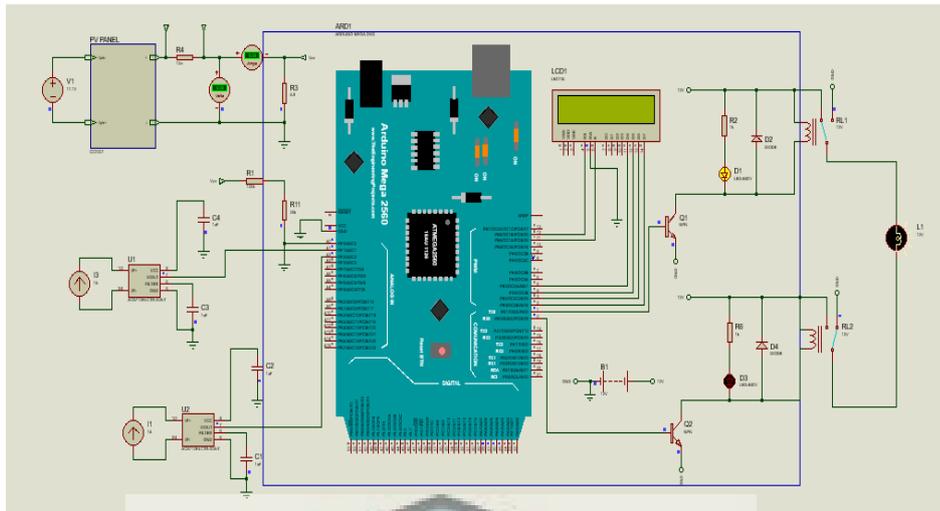
(Zadeh 1965)

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 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*). 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.

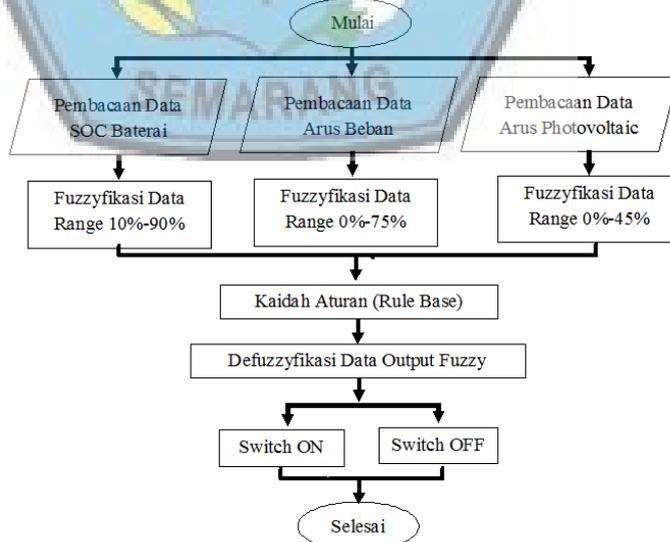




Gambar 1. Desain prototipe sistem kontrol hibrida PV-Diesel

### 3.2 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*). 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 Error! No text of specified style in document..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%.

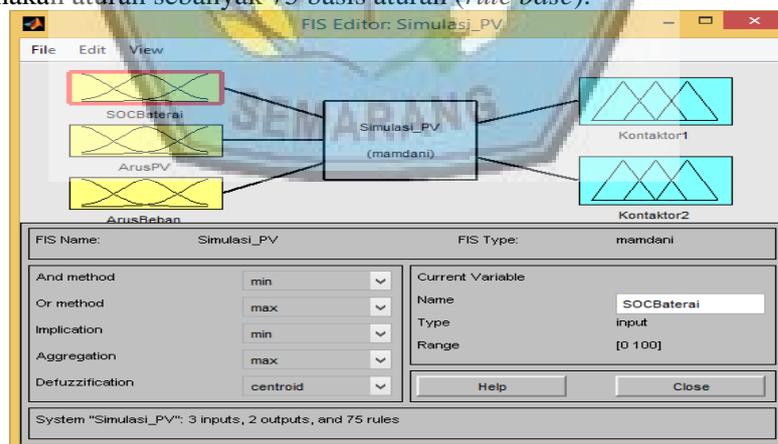
SOC (*State of Charge*) Baterai dibagi menjadi 5 variabel yaitu SSR (SOC Sangat Rendah) dengan presentase SOC sebesar 10%-21.8%, SR (SOC Rendah) dengan presentase sebesar 15%-31.8%, SS (SOC Sedang) dengan presentase SOC Baterai sebesar 25%-41.8%, ST (SOC Tinggi) dengan presentase SOC Baterai sebesar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

#### 4. HASIL PENELITIAN

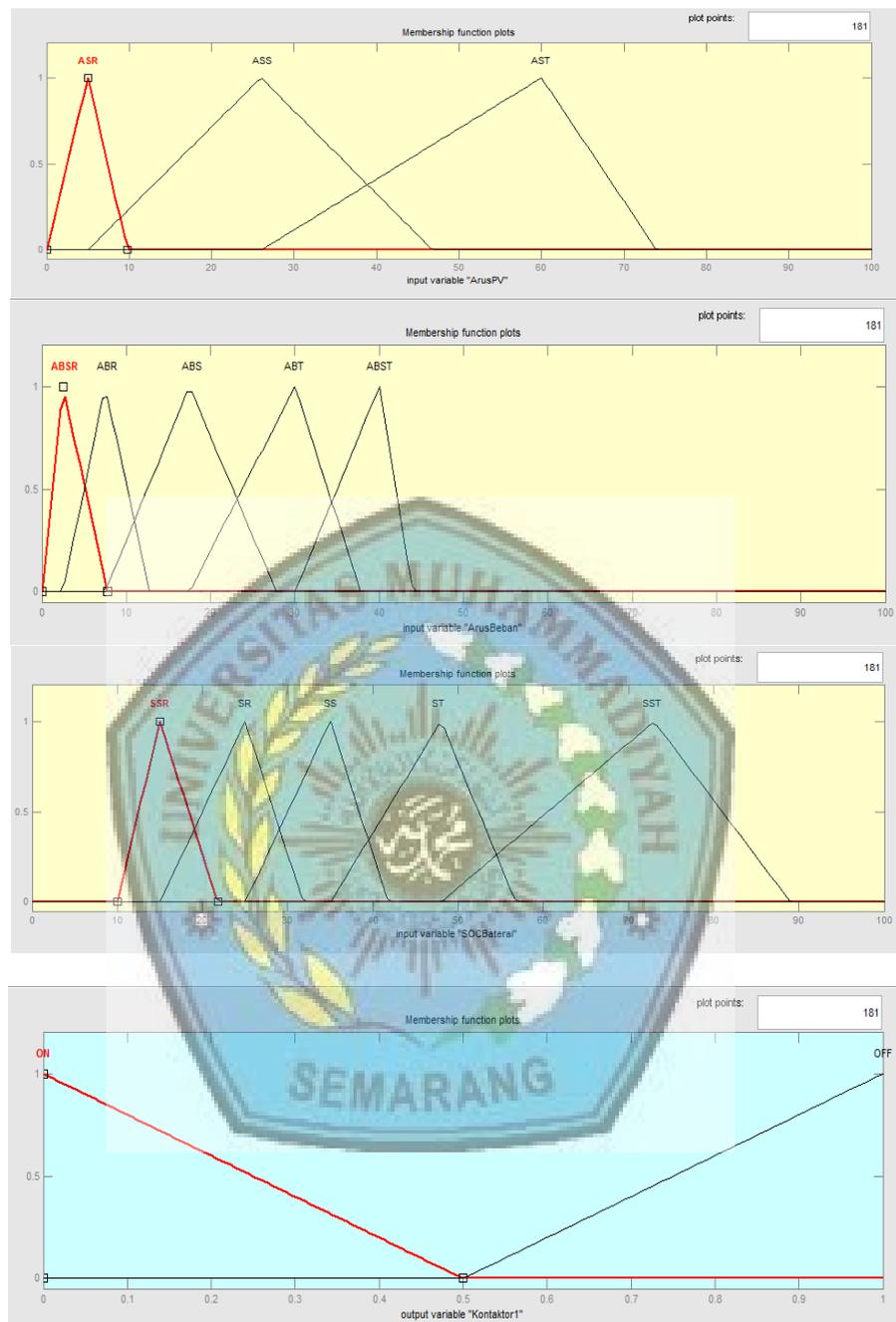
##### 4.1 Simulasi sistem kontrol hibrida berbasis FIS dengan MATLAB

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

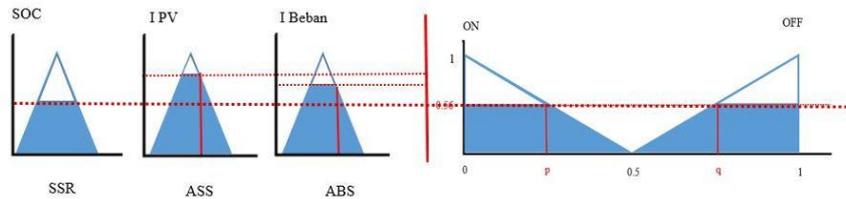
Proses inferensi merupakan proses dimana sistem melakukan proses penarikan kesimpulan berdasarkan aturan yang telah dibuat. Pada contoh ini aturan yang dibuat yaitu sebagai berikut. Jika *SSR* (*SOC* Sangat Rendah) dengan nilai 20 volt, arus *photovoltaic* = *ASS* (*Arus Sel Sedang*) dan diberikan nilai 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.

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

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

$$Output = 0.56$$

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*). Karena pada penelitian ini menggunakan metode *centroid* atau *center of area* (COA), maka rumus yang digunakan yaitu dapat dilihat pada Persamaan berikut :

$$Z^* = \frac{\int \mu_x(z)zdz \rightarrow \text{Momen}}{\int \mu_x(z)dz \rightarrow \text{Luas daerah}} \quad (4)$$

Gambar 7., berikut ini adalah untuk proses defuzzifikasinya.



Gambar 7. Proses defuzzifikasi.

Sebelum menghitung momen dan luas daerahnya maka terlebih dahulu harus mencari nilai masing-masing p dan q. Langkah yang digunakan sebagai 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

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

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

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.

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

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

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 kontroller.



Gambar 8. Tampilan hasil simulasi rule FIS

#### 4.2 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.

Kegiatan pengujian	Nilai Output		Basis Aturan		Status	
	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%.

## 5. SIMPULAN

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.

## 6. REFERENSI

- Aburto, Luis, dan Richard Weber. "Improved Supply Chain Management Based on Hybrid Demand Forecasts." *Applied Soft Computing* 7(1): 136–44.
- Bagul, A.D., Z.M. Salameh, dan Bogdan Borowy. 1996. "Sizing of a stand-alone hybrid wind-photovoltaic system using a three-event probability density approximation." *Solar Energy* 56: 323–35.
- Kaldellis, John. 2007. "An integrated model for performance simulation of hybrid wind–diesel systems." *Renewable Energy* 32: 1544–64.
- Setiawan, Ahmad Agus, Yu Zhao, dan Chem V. Nayar. 2009. "Design, Economic Analysis and Environmental Considerations of Mini-Grid Hybrid Power System with Reverse Osmosis Desalination Plant for Remote Areas." *Renewable Energy* 34(2): 374–83.
- Zadeh, L. A. 1965. "Fuzzy sets." *Information and Control* 8(3): 338–53.

