

Sistem Otomasi *Load Shedding* pada *Smart Meter* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*

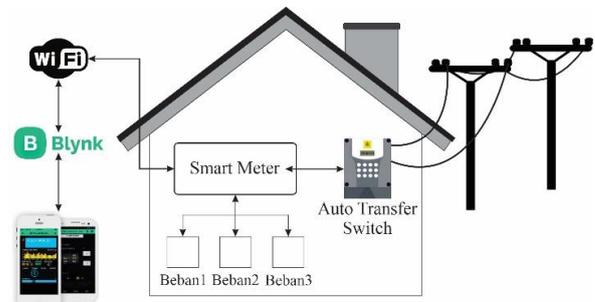
Divan Andika Yuhansyah, Imam Wahyudi Farid, dan Ciptian Weried Priananda
 Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wahyu@ee.its.ac.id

Abstrak—Kebutuhan energi listrik bagi sektor rumah tangga telah menjadi kebutuhan dasar. Namun, masih ada masyarakat yang mengeluh terkait dengan tagihan rekening listrik yang mahal. Selain itu penggunaan listrik sangatlah tidak disarankan untuk melebihi kapasitas daya yang dapat mengakibatkan terjadinya korsleting. Oleh karena itu, dibutuhkan alat yakni *Smart Meter* yang dapat memonitoring penggunaan energi listrik serta dapat melakukan *load shedding* secara otomatis untuk mengurangi terjadinya korsleting. Sistem otomasi *load shedding* menggunakan salah satu metode dari teknologi *artificial intelligence* yaitu dengan menggunakan *Fuzzy Logic Mamdani* sehingga dapat mengenali pola, klasifikasi/identifikasi, prediksi, dan optimasi terhadap penggunaan energi listrik. *Load shedding* yang dilakukan berdasarkan pada beban prioritas dan beban non-prioritas. Dari pengujian sistem otomasi *load shedding* yang dilakukan sebanyak 5x dengan 6x percobaan kombinasi beban menghasilkan bahwa pada percobaan ke-1 hingga ke-4 mendapatkan hasil output Relay_Hidup3, pada percobaan ke-5 mendapatkan hasil output Relay_Hidup2, dan pada percobaan ke-6 mendapatkan hasil output Relay_Hidup1. Untuk melakukan proses *load shedding* tersebut didapatkan rata-rata *delay waktu* sebesar 2,302 detik.

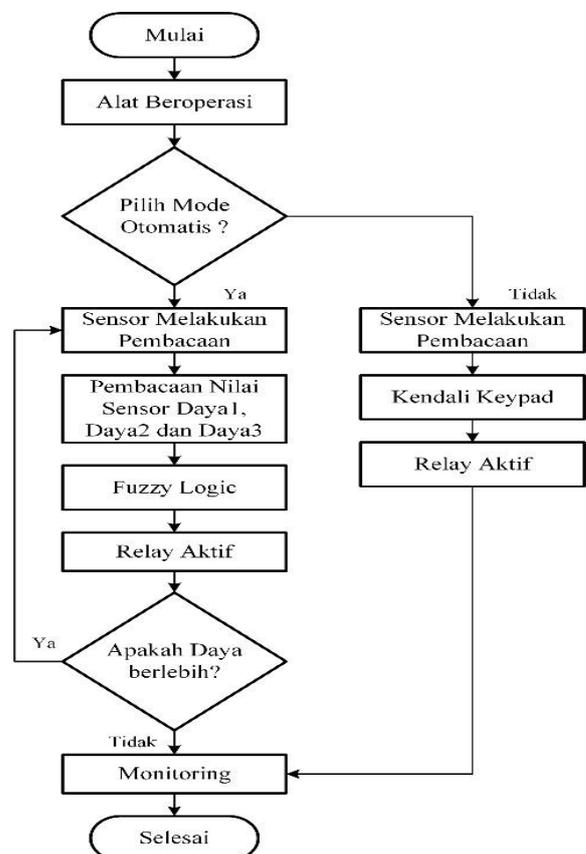
Kata Kunci—*Artificial Intelligence, Fuzzy Logic, Listrik, Load Shedding, Smart Meter.*

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat, baik dari sektor rumah tangga, penerangan, komunikasi, industri dan sebagainya. Namun masih banyak para konsumen rumah tangga mengeluh dikarenakan tagihan rekening listriknya yang terlalu mahal. Selain itu penggunaan listrik sangat tidak disarankan untuk melebihi kapasitas daya yang ada. Hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya korsleting secara menyeluruh. Pada penelitian ini, *Smart Meter* dirancang untuk dapat memonitoring penggunaan energi listrik dan dapat mengidentifikasi pemakaian energi listrik dari penggunaan peralatan-peralatan elektronika dirumah dengan *load shedding*. *Smart Meter* tersebut dirancang menggunakan salah satu metode dari kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* (AI) yaitu *Fuzzy Logic Mamdani* yang dapat mengenali pola, klasifikasi/identifikasi, prediksi, optimasi, dan pendekatan fungsi yang berguna pada sistem otomasi *load shedding*. Prinsip kerja dari sistem otomasi *load shedding* yaitu ketika tegangan dan daya berada di kondisi tidak Normal, maka *load shedding* akan melakukan tindakan pada *relay* sesuai dengan output yang telah dirancang pada perancangan *Fuzzy Logic*. Selain itu, *Smart Meter* dapat mengirim data monitoring tegangan, daya, arus, dan daya pada setiap beban melalui aplikasi Blynk.



Gambar 1. Desain sistem smart meter.

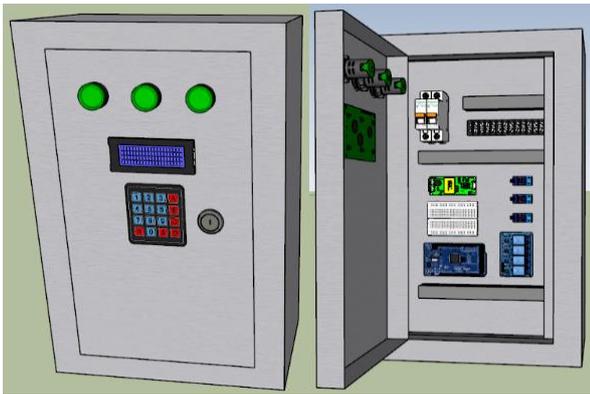


Gambar 2. Flowchart sistem smart meter.

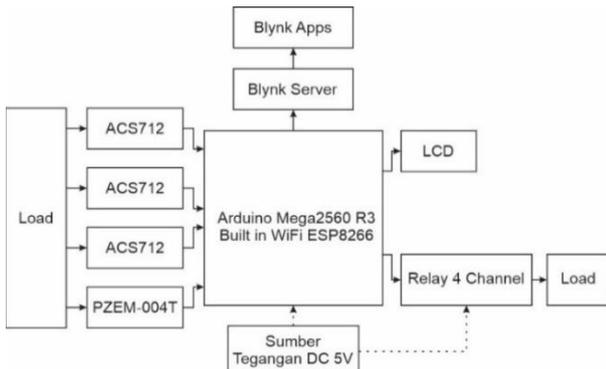
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Smart Meter

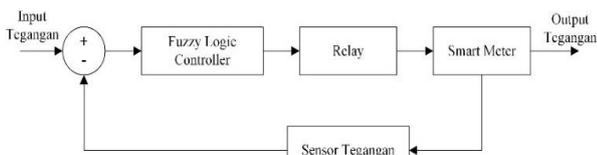
Smart Meter adalah sebuah alat yang bertujuan untuk memonitoring pemakaian suatu energi listrik. *Smart Meter* dapat menampilkan berapa banyak penggunaan energi listrik dan harga yang dikeluarkan selama penggunaan energi listrik tersebut. *Smart Meter* ini memodifikasi dari meteran konvensional menggunakan sebuah mikrokontroler dan



Gambar 3. Desain panel *smart meter*.



Gambar 4. Blok diagram *smart meter*



Gambar 5. Blok diagram *close loop* sensor tegangan.

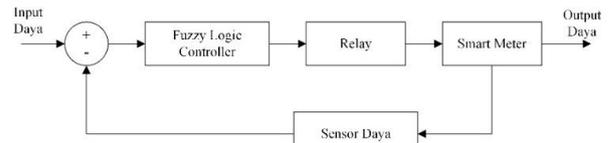
jaringan internet untuk mengirim data monitoring [1]. Keunggulan dari *Smart Meter* ini yaitu data monitoring dapat dipantau melalui aplikasi pada *smartphone* serta dapat mengurangi kesalahan perhitungan konvensional terhadap penyedia energi listrik, sehingga dapat mempermudah pengguna dalam memantau pemakaian energi listrik.

B. Load Shedding

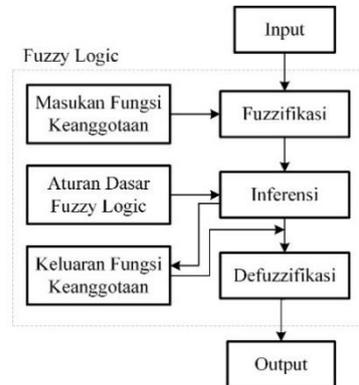
Load Shedding adalah suatu bentuk tindakan pelepasan beban yang terjadi untuk mengamankan operasi unit pembangkit dari kemungkinan terjadinya padam total [2]. Hal ini disebabkan oleh adanya beban lebih yang ditanggung pembangkit sehingga untuk mengembalikan kondisi menjadi seperti semula diperlukan pelepasan pada beberapa beban tertentu. Tujuan utama dari *load shedding* adalah untuk mengantisipasi dan mencegah pasokan listrik padam total karena disebabkan oleh pembangkit yang kelebihan beban. Akibat dari kelebihan beban dapat mengganggu kestabilan sistem yang dapat menimbulkan beberapa masalah antara lain yaitu penurunan tegangan dan penurunan frekuensi [2]. Adapun pembagian jenis *load shedding* berdasarkan beban prioritas dan beban non-prioritas:

1) Essential Load

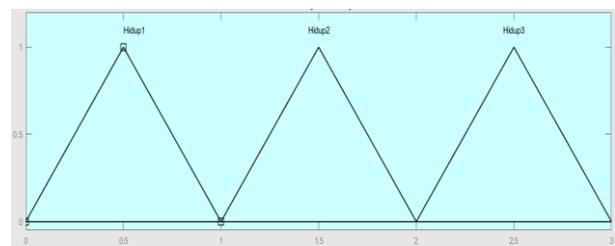
Essential Load atau beban prioritas adalah beban yang dianggap penting ataupun beban yang menjadi penunjang tetap demi kenyamanan konsumen, dimana apabila terjadi pemutusan atau gangguan akan menyebabkan konsumen



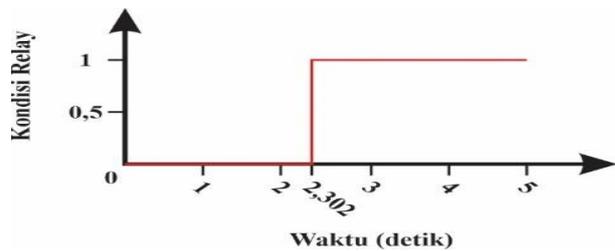
Gambar 6. Blok diagram *close loop* sensor daya.



Gambar 7. Diagram *fuzzy logic*.



Gambar 8. Kurva himpunan keanggotaan output.



Gambar 9. Rata-rata *delay load shedding*.

menjadi tidak nyaman dan mengganggu aktifitas konsumen [3].

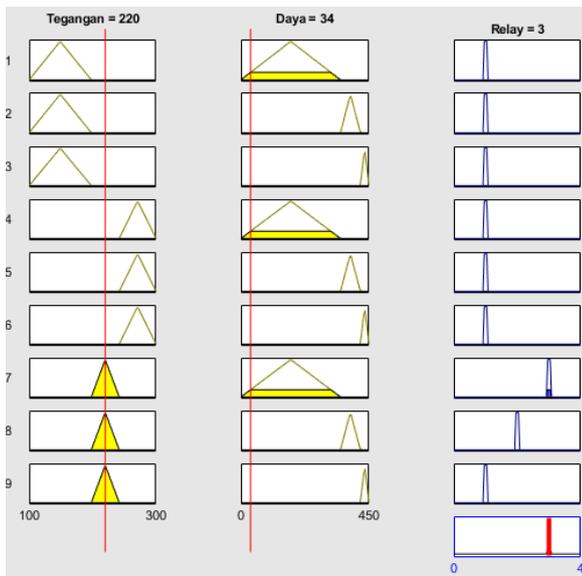
2) Non-Essential Load

Non-Essential Load atau beban yang dianggap bukan sebagai prioritas, dimana apabila terjadi pemutusan atau gangguan pada beban tersebut, maka tidak akan mempengaruhi aktifitas konsumen dan tidak akan mengganggu kenyamanan konsumen [3].

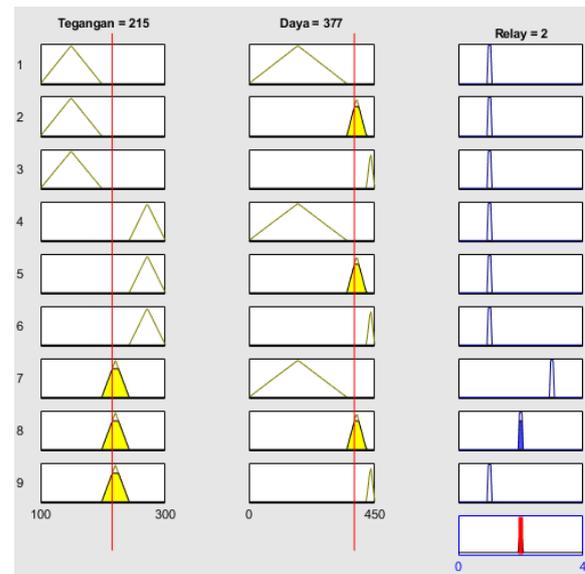
C. Fuzzy Logic

Fuzzy Logic adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner.

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar yang artinya suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. *Fuzzy Logic* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran antara benar atau salah. Dalam teori *Fuzzy Logic* suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Namun seberapa besar



Gambar 10. Simulasi 1 load shedding menggunakan fuzzy logic.



Gambar 11. Simulasi 2 load shedding menggunakan fuzzy logic.

kebenaran dan kesalahan tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya.

Fuzzy Logic memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 (nol) hingga 1 (satu) dan *Fuzzy Logic* menunjukkan sejauh mana suatu nilai benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah [4]. *Fuzzy Logic* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output dan mempunyai nilai kontinu. *Fuzzy* dinyatakan dalam derajat keanggotaan dan derajat kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama.

Perancangan sistem otomasi *load shedding* pada *Smart Meter* menggunakan metode *Fuzzy Logic* ini dirancang dengan perhitungan secara sistematis. Perancangan *Fuzzy Logic* ini akan diimplementasikan kedalam sebuah *embedded system* berupa mikrokontroler yaitu *Arduino Mega R3 Built in IoT WiFi ESP8266*. Tahap pembuatan *Fuzzy Logic* ini terdiri dari tahap *fuzzifikasi* sebagai input himpunan *fuzzy*, *inference system* sebagai aturan dasar *fuzzy*, dan *defuzzifikasi* sebagai output dari sistem [5].

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALAT

Dalam melakukan pembuatan sistem otomasi *load shedding* pada *Smart Meter* menggunakan metode *Fuzzy Logic* memerlukan adanya sebuah rancangan yang dapat memberikan arahan kerja serta permodelan sistem alat yang akan dibuat agar mempermudah dalam melakukan pekerjaan pembuatan alat.

A. Perancangan Sistem

Pada Gambar 1 merupakan desain sistem dari *Smart Meter* menggunakan aplikasi Blynk dengan sistem otomasi *load shedding*. Dalam sistem *Smart Meter* tersebut terdapat komponen-komponen yang digunakan diantaranya yaitu sensor arus, sensor tegangan, sensor daya, sensor energi, mikrokontroler, dan relay. Hasil pembacaan dari sensor akan diolah menggunakan mikrokontroler yang mana hasil pembacaan dari sensor tersebut akan dikirim menuju server Blynk. Sehingga dapat menampilkan hasil pembacaan sensor pada aplikasi Blynk.

B. Flowchart Sistem Smart Meter

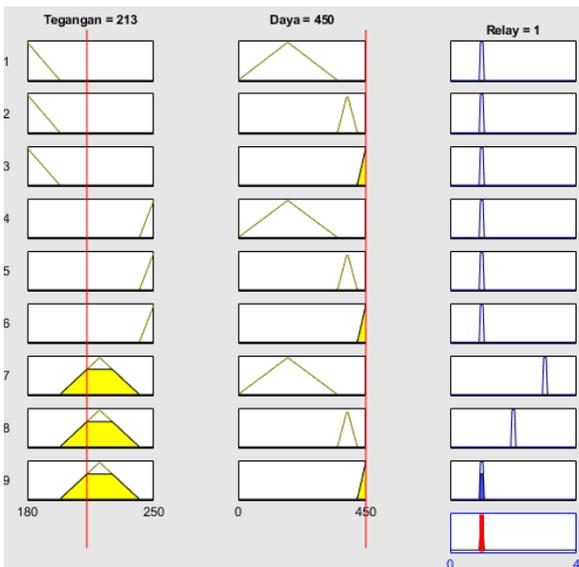
Pada Gambar 2 merupakan flowchart dari sistem *Smart Meter* yang telah dibuat. Ketika sistem *Smart Meter* dimulai, alat *Smart Meter* akan beroperasi atau aktif. Sensor – sensor seperti sensor arus, tegangan, daya, dan energi akan melakukan pembacaan pada beban listrik. Kemudian hasil pembacaan sensor tersebut masuk ke dalam sistem kontrol *Fuzzy Logic*. Dalam sistem kontrol *Fuzzy Logic* ini, hasil pembacaan akan melalui proses kalkulasi sesuai pengaturan yang telah ditentukan. Setelah melalui proses kalkulasi *Fuzzy Logic* tersebut akan menghasilkan suatu tindakan pada relay. Jika pembacaan sensor tidak melebihi beban yang ada, maka relay tidak aktif. Sedangkan jika pembacaan sensor melebihi beban, maka relay akan aktif. Pembacaan sensor tersebut akan dikirim untuk dilakukannya *monitoring*. *Monitoring* dilakukan melalui aplikasi Blynk dengan menampilkan hasil pembacaan dari sensor yang ada.

C. Perancangan Perangkat Keras

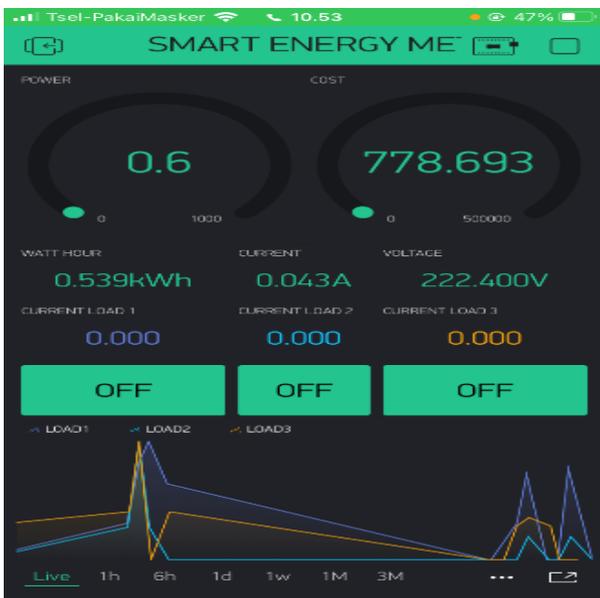
Gambar 3 merupakan desain panel *Smart Meter* tampak luar dan dalam. Pada pintu panel terdapat beberapa komponen elektronika yaitu *pilot lamp* dan LCD. Sedangkan pada panel bagian dalam terdapat komponen-komponen elektronika yang meliputi MCB, terminal block, mikrokontroler, sensor, dan relay. Komponen-komponen tersebut dirangkai sedemikian rupa agar tertata rapi serta dapat memudahkan dalam proses *wiring* komponen-komponen elektronika.

D. Perancangan Perangkat Elektronika

Gambar 4 merupakan diagram blok dari sistem *Smart Meter*. *Smart Meter* menggunakan mikrokontroler *ATMega2560* yang telah terintegrasi dengan modul *WiFi ESP8266*. Mikrokontroler tersebut memerlukan sumber tegangan DC 5V. Sensor *PZEM* melakukan pembacaan nilai tegangan, arus total, energi, dan daya yang sedang digunakan. Sistem kerja dari *Smart Meter* tersebut yakni sensor *ACS712* melakukan pembacaan nilai arus pada setiap beban yang berjumlah 3 beban. Kemudian data nilai arus pada masing-masing beban tersebut dibaca oleh mikrokontroler. Didalam mikrokontroler terdapat pemrosesan *Fuzzy Logic* terhadap



Gambar 12. Simulasi 3 load shedding menggunakan fuzzy logic.



Gambar 13. Tampilan monitoring aplikasi blynk.

daya beban yang digunakan dan menghasilkan keluaran relay berupa perintah ON/OFF terhadap beban. Data pembacaan sensor pada sistem tersebut dikirim oleh mikrokontroler melalui jaringan WiFi menuju ke Blynk Server yang selanjutnya akan ditampilkan melalui aplikasi Blynk berupa nilai data pembacaan sensor. Selain itu, data pembacaan sensor tersebut ditampilkan pada LCD.

E. Block Diagram Close Loop

Gambar 5 merupakan blok diagram *close loop* dari sensor tegangan. Pada diagram blok ini terdapat input tegangan yang memiliki parameter yang meliputi Tegangan_Rendah yaitu 100 - 198 V, Tegangan_Normal yaitu 198 - 242 V, dan Tegangan_Tinggi yaitu 242 - 300 V. *Fuzzy Logic Controller* digunakan untuk mengolah nilai input yang diberikan berdasarkan aturan - aturan pada sistem inferensi yang telah dirancang. Relay pada diagram blok berfungsi sebagai aktuator untuk menentukan keluaran dari kontroler berupa posisi relay tertutup (hidup) atau relay terbuka (mati). Sensor tegangan berfungsi sebagai pendeteksi nilai tegangan yang masuk pada sistem yang kemudian dilanjutkan menuju kontroler untuk menentukan parameter tegangan tersebut.

Tabel 1.

Himpunan fungsi keanggotaan tegangan	
Tegangan (V)	Kondisi
100 - 198	Rendah
198 - 242	Normal
242 - 300	Tinggi

Tabel 2.

Himpunan fungsi keanggotaan daya	
\Daya (W)	Kondisi
0 - 350	Normal
350 - 420	Tinggi
420- 450	Sangat Tinggi

Tabel 3.

Perancangan aturan dasar fuzzy logic			
Rule	Tegangan	Daya	Kondisi
R1	Rendah	Normal	Relay_Hidup_1
R2	Rendah	Tinggi	Relay_Hidup_1
R3	Rendah	Sangat Tinggi	Relay_Hidup_1
R4	Normal	Normal	Relay_Hidup_3
R5	Normal	Tinggi	Relay_Hidup_2
R6	Normal	Sangat Tinggi	Relay_Hidup_1
R7	Tinggi	Normal	Relay_Hidup_1
R8	Tinggi	Tinggi	Relay_Hidup_1
R9	Tinggi	Sangat Tinggi	Relay_Hidup_1

Gambar 6 merupakan blok diagram *close loop* dari sensor daya. Pada diagram blok ini terdapat input daya yang memiliki parameter yang meliputi Daya_Normal yaitu 0 - 350 W, Daya_Tinggi yaitu 350 - 420 W, dan Daya_Sangat Tinggi yaitu 420 - 450 W. *Fuzzy Logic Controller* digunakan untuk mengolah nilai input yang diberikan berdasarkan aturan - aturan pada sistem inferensi yang telah dirancang. Relay pada diagram blok berfungsi sebagai aktuator untuk menentukan keluaran dari kontroler berupa posisi relay tertutup (hidup) atau relay terbuka (mati). Sensor tegangan berfungsi sebagai pendeteksi nilai tegangan yang masuk pada sistem yang kemudian dilanjutkan menuju kontroler untuk menentukan parameter tegangan tersebut.

F. Perancangan Fuzzy Logic

Metode *Fuzzy Logic* yang diterapkan pada *Smart Meter* ini menggunakan metode *Fuzzy Logic* mamdani. Pada sistem *Smart Meter* ini memiliki 2 variabel input dan 3 variabel output dengan 9 klasifikasi rule. *Fuzzy Logic* dengan metode mamdani memiliki 3 tahapan yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi akan memproses 2 parameter masukan yang merupakan himpunan keanggotaan dari tegangan dan daya. Gambar 7 merupakan diagram perancangan *Fuzzy Logic*.

Tabel 1 merupakan himpunan keanggotaan tegangan yang dinyatakan dalam nilai dengan satuan volt (V) dan diklasifikasikan berdasarkan 3 parameter yaitu tegangan rendah, tegangan normal, dan tegangan tinggi.

Tabel 2 merupakan himpunan keanggotaan daya yang dinyatakan dalam nilai dengan satuan daya (W) dan diklasifikasikan berdasarkan 3 parameter yaitu daya normal, daya tinggi, dan daya sangat tinggi.

Setelah melakukan penentuan terhadap himpunan keanggotan tegangan dan daya, langkah selanjutnya yakni menentukan aturan dasar atau sistem inferensi *Fuzzy Logic*.

Berdasarkan Tabel 3 yang merupakan perancangan aturan dasar *Fuzzy Logic* dari sistem *Smart Meter*. Perancangan

Tabel 4.
Penguujian sensor tegangan

No	Beban	Tegangan PZEM	Voltmeter
1	Setrika	219 V	220 V
2	Setrika	219 V	221 V
3	Heater	218 V	219 V
4	Heater	219 V	220 V
5	Kipas	222 V	220 V
6	Kipas	221 V	220 V
7	Kipas + Setrika	214 V	215 V
8	Kipas + Setrika	215 V	217 V
9	Kipas + Heater	215 V	216 V
10	Kipas + Heater	215 V	217 V
11	Setrika + Heater	210 V	212 V
12	Setrika + Heater	210 V	211 V
13	Setrika + Heater + Kipas	211 V	212 V
14	Setrika + Heater + Kipas	211 V	212 V

Tabel 5.
Penguujian sensor arus

No	Beban	Arus			
		1	2	3	PZEM
1	Setrika	1,52	-	-	1,6
2	Setrika	1,53	-	-	1,6
3	Heater	-	1,34	-	1,4
4	Heater	-	1,31	-	1,4
5	Kipas	-	-	0,18	0,2
6	Kipas	-	-	0,17	0,2
7	Kipas + Setrika	1,54	-	0,18	1,7
8	Kipas + Setrika	1,54	-	0,19	1,7
9	Kipas + Heater	-	1,3	0,18	1,5
10	Kipas + Heater	-	1,27	0,17	1,5
11	Setrika + Heater	1,53	1,23	-	2,9
12	Setrika + Heater	1,50	1,26	-	2,9
13	Setrika + Heater + Kipas	1,54	1,32	0,18	3
14	Setrika + Heater + Kipas	1,45	1,26	0,16	3

tersebut dibuat melalui simulasi pada MATLAB, sehingga menghasilkan aturan dasar *Fuzzy Logic* sebagai berikut:

- [R1] IF (Tegangan is Rendah) AND (Daya is Normal) THEN (Relay is Hidup1)
- [R2] IF (Tegangan is Rendah) AND (Daya is Tinggi) THEN (Relay is Hidup1)
- [R3] IF (Tegangan is Rendah) AND (Daya is Sangat Tinggi) THEN (Relay is Hidup1)
- [R4] IF (Tegangan is Normal) AND (Daya is Normal) THEN (Relay is Hidup3)
- [R5] IF (Tegangan is Normal) AND (Daya is Tinggi) THEN (Relay is Hidup2)
- [R6] IF (Tegangan is Normal) AND (Daya is Sangat Tinggi) THEN (Relay is Hidup1)
- [R7] IF (Tegangan is Tinggi) AND (Daya is Normal) THEN (Relay is Hidup1)
- [R8] IF (Tegangan is Tinggi) AND (Daya is Tinggi) THEN (Relay is Hidup1)
- [R9] IF (Tegangan is Tinggi) AND (Daya is Sangat_Tinggi) THEN (Relay is Hidup1)

Defuzzifikasi merupakan langkah terakhir dalam suatu sistem *Fuzzy Logic* dimana tujuannya adalah mengkonversi setiap hasil dari sistem inferensi yang diekspresikan dalam bentuk fuzzy set kesuatu bilangan real. Hasil konversi tersebut merupakan aksi yang diambil oleh sistem kendali logika fuzzy. Pada proyek akhir ini metode defuzzifikasi yang

Tabel 6.
Penguujian konversi sensor arus menjadi daya

No	Beban	Daya			
		1	2	3	PZEM
1	Setrika	332	-	-	342
2	Setrika	330	-	-	340
3	Heater	-	287	-	296
4	Heater	-	284	-	296
5	Kipas	-	-	39	35
6	Kipas	-	-	36	34
7	Kipas + Setrika	330	-	38	377
8	Kipas + Setrika	331	-	38	373
9	Kipas + Heater	-	41	284	330
10	Kipas + Heater	-	38	286	329
11	Setrika + Heater	323	-	274	616
12	Setrika + Heater	323	-	277	616
13	Setrika + Heater + Kipas	316	268	35	639
14	Setrika + Heater + Kipas	320	269	34	634

Tabel 7.
Penguujian 1 sistem otomasi *load shedding* menggunakan *fuzzy logic*

No	Beban	Tegangan Daya Delay			Keterangan
		(V)	(W)	(detik)	
1	Kipas	220	34	0	Relay_Hidup3
2	Heater	219	296	0	Relay_Hidup3
3	Setrika	215	328	0	Relay_Hidup3
4	Kipas + Heater	217	330	0	Relay_Hidup3
5	Kipas + Setrika	215	377	2,39	Relay_Hidup2
6	Setrika + Heater + Kipas	212	640	2,73	Relay_Hidup1

Tabel 8.
Penguujian 2 sistem otomasi *load shedding* menggunakan *fuzzy logic*

No	Beban	Tegangan Daya Delay			Keterangan
		(V)	(W)	(detik)	
1	Kipas	221	34	0	Relay_Hidup3
2	Heater	218	298	0	Relay_Hidup3
3	Setrika	215	326	0	Relay_Hidup3
4	Kipas + Heater	218	339	0	Relay_Hidup3
5	Kipas + Setrika	215	379	1,72	Relay_Hidup2
6	Setrika + Heater + Kipas	211	643	1,66	Relay_Hidup1

digunakan yaitu dengan metode centroid atau *Center of Area* (CoA) yaitu pengambilan berdasarkan titik tengah.

Kurva himpunan keanggotaan output dari *Fuzzy Logic* dapat dilihat pada Gambar 8 dimana fungsi keanggotaan output tersebut terdiri dari Relay_Hidup1, Relay_Hidup2, dan Relay_Hidup3. Untuk mencari nilai tengah dapat dihitung luas daerah dengan cara mengalikan panjang alas dengan tinggi kemudian dibagi dengan 2.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Penguujian Sensor Tegangan

Tabel 4 merupakan data penguujian sensor tegangan. Dari data tersebut menghasilkan nilai eror antara pembacaan nilai sensor tegangan PZEM dengan voltmeter sebesar 0,429%.

B. Penguujian Sensor Arus

Tabel 5 merupakan data penguujian sensor arus. Dari data tersebut menghasilkan nilai eror antara pembacaan nilai sensor arus dengan sensor PZEM sebesar 3,409%.

C. Penguujian Konversi Sensor Arus Menjadi Daya

Tabel 6 merupakan data penguujian konversi arus menjadi daya. Dari data tersebut menghasilkan nilai eror antara

Tabel 9.

Penguujian 3 sistem otomasi <i>load shedding</i> menggunakan <i>fuzzy logic</i>					
No	Beban	Tegangan (V)	Daya (W)	Delay (detik)	Keterangan
1	Kipas	220	36	0	Relay_Hidup3
2	Heater	219	295	0	Relay_Hidup3
3	Setrika	215	328	0	Relay_Hidup3
4	Kipas + Heater	217	331	0	Relay_Hidup3
5	Kipas + Setrika	216	375	2,22	Relay_Hidup2
6	Setrika + Heater + Kipas	211	640	2,1	Relay_Hidup1

Tabel 10.

Penguujian 4 sistem otomasi <i>load shedding</i> menggunakan <i>fuzzy logic</i>					
No	Beban	Tegangan (V)	Daya (W)	Delay (detik)	Keterangan
1	Kipas	220	36	0	Relay_Hidup3
2	Heater	219	298	0	Relay_Hidup3
3	Setrika	215	327	0	Relay_Hidup3
4	Kipas + Heater	218	330	0	Relay_Hidup3
5	Kipas + Setrika	215	376	2,32	Relay_Hidup2
6	Setrika + Heater + Kipas	212	642	2,63	Relay_Hidup1

Tabel 11.

Penguujian 5 sistem otomasi <i>load shedding</i> menggunakan <i>fuzzy logic</i>					
No	Beban	Tegangan (V)	Daya (W)	Delay (detik)	Keterangan
1	Kipas	220	36	0	Relay_Hidup3
2	Heater	218	298	0	Relay_Hidup3
3	Setrika	216	326	0	Relay_Hidup3
4	Kipas + Heater	217	331	0	Relay_Hidup3
5	Kipas + Setrika	216	377	1,68	Relay_Hidup2
6	Setrika + Heater + Kipas	210	645	3,06	Relay_Hidup1

pembacaan nilai nilai konversi daya dengan sensor PZEM sebesar 2,3%.

D. Penguujian Fuzzy Logic Pada Sistem Otomasi Load Shedding

Data penguujian 1 sistem otomasi *load shedding* menggunakan metode *Fuzzy Logic* terdapat pada Tabel 7. Penguujian dilakukan dengan mengkombinasikan 3 beban yang terdiri dari Kipas, *Heater*, dan Setrika. Dari data ke-1 hingga data ke-3, beban dihubungkan secara bergantian pada beban 1 dan didapatkan hasil output Relay_Hidup3 dikarenakan tegangan dan daya termasuk pada parameter Normal sesuai dengan [R4] dari sistem inferensi *Fuzzy Logic*. Pada data ke-4, kipas dihubungkan pada beban 1 dan *heater* dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup3. Pada data ke-5, kipas dihubungkan pada beban 1 dan setrika dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup2 sesuai dengan [R5] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 1 dan 2 tetap terhubung sedangkan relay pada beban 3 terputus dengan *delay* waktu 2,39 detik. Pada data ke-6, kipas dihubungkan pada beban 1, setrika pada beban 2, dan *heater* pada beban 3 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup1 sesuai dengan [R6] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 2 dan 3 terputus dengan *delay* waktu 2,73 detik.

Data penguujian 2 sistem otomasi *load shedding* menggunakan metode *Fuzzy Logic* terdapat pada Tabel 8. Penguujian dilakukan dengan mengkombinasikan 3 beban yang terdiri dari Kipas, *Heater*, dan Setrika. Dari data ke-1 hingga data ke-3, beban dihubungkan secara bergantian pada beban 1 dan didapatkan hasil output Relay_Hidup3

dikarenakan tegangan dan daya termasuk pada parameter Normal sesuai dengan [R4] dari sistem inferensi *Fuzzy Logic*. Pada data ke-4, kipas dihubungkan pada beban 1 dan *heater* dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup3. Pada data ke-5, kipas dihubungkan pada beban 1 dan setrika dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup2 sesuai dengan [R5] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 1 dan 2 tetap terhubung sedangkan relay pada beban 3 terputus dengan *delay* waktu 1,72 detik. Pada data ke-6, kipas dihubungkan pada beban 1, setrika pada beban 2, dan *heater* pada beban 3 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup1 sesuai dengan [R6] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 2 dan 3 terputus dengan *delay* waktu 1,66 detik.

Data penguujian 3 sistem otomasi *load shedding* menggunakan metode *Fuzzy Logic* terdapat pada Tabel 9. Penguujian dilakukan dengan mengkombinasikan 3 beban yang terdiri dari Kipas, *Heater*, dan Setrika. Dari data ke-1 hingga data ke-3, beban dihubungkan secara bergantian pada beban 1 dan didapatkan hasil output Relay_Hidup3 dikarenakan tegangan dan daya termasuk pada parameter Normal sesuai dengan [R4] dari sistem inferensi *Fuzzy Logic*. Pada data ke-4, kipas dihubungkan pada beban 1 dan *heater* dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup3. Pada data ke-5, kipas dihubungkan pada beban 1 dan setrika dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup2 sesuai dengan [R5] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 1 dan 2 tetap terhubung sedangkan relay pada beban 3 terputus dengan *delay* waktu 2,22 detik. Pada data ke-6, kipas dihubungkan pada beban 1, setrika pada beban 2, dan *heater* pada beban 3 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup1 sesuai dengan [R6] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 2 dan 3 terputus dengan *delay* waktu 2,61 detik.

Data penguujian 4 sistem otomasi *load shedding* menggunakan metode *Fuzzy Logic* terdapat pada Tabel 10. Penguujian dilakukan dengan mengkombinasikan 3 beban yang terdiri dari Kipas, *Heater*, dan Setrika. Dari data ke-1 hingga data ke-3, beban dihubungkan secara bergantian pada beban 1 dan didapatkan hasil output Relay_Hidup3 dikarenakan tegangan dan daya termasuk pada parameter Normal sesuai dengan [R4] dari sistem inferensi *Fuzzy Logic*. Pada data ke-4, kipas dihubungkan pada beban 1 dan *heater* dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup3. Pada data ke-5, kipas dihubungkan pada beban 1 dan setrika dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup2 sesuai dengan [R5] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 1 dan 2 tetap terhubung sedangkan relay pada beban 3 terputus dengan *delay* waktu 2,32 detik. Pada data ke-6, kipas dihubungkan pada beban 1, setrika pada beban 2, dan *heater* pada beban 3 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup1 sesuai dengan [R6] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 2 dan 3 terputus dengan *delay* waktu 2,63 detik.

Data penguujian 5 sistem otomasi *load shedding* menggunakan metode *Fuzzy Logic* terdapat pada Tabel 11. Penguujian dilakukan dengan mengkombinasikan 3 beban yang terdiri dari Kipas, *Heater*, dan Setrika. Dari data ke-1

hingga data ke-3, beban dihubungkan secara bergantian pada beban 1 dan didapatkan hasil output Relay_Hidup3 dikarenakan tegangan dan daya termasuk pada parameter Normal sesuai dengan [R4] dari sistem inferensi *Fuzzy Logic*. Pada data ke-4, kipas dihubungkan pada beban 1 dan *heater* dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup3. Pada data ke-5, kipas dihubungkan pada beban 1 dan setrika dihubungkan pada beban 2 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup2 sesuai dengan [R5] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 1 dan 2 tetap terhubung sedangkan relay pada beban 3 terputus dengan *delay* waktu 1,68 detik. Pada data ke-6, kipas dihubungkan pada beban 1, setrika pada beban 2, dan *heater* pada beban 3 sehingga menghasilkan output Relay_Hidup1 sesuai dengan [R6] pada sistem inferensi *Fuzzy Logic* dimana relay pada beban 2 dan 3 terputus dengan *delay* waktu 3,06 detik.

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan sebanyak 5x terdapat pengujian *delay* terhadap relay pada sistem otomasi *load shedding* untuk mengetahui berapa jeda waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses *load shedding*. Rata-rata *delay* didapatkan pada perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata } \textit{delay} &= \frac{\sum_{i=5}^n \textit{Jumlah } \textit{delay} \textit{ pengujian}}{\sum_{i=5}^n \textit{Jumlah } \textit{data} \textit{ pengujian}} & (1) \\ &= \frac{23,02}{10} \\ &= 2,302 \text{ detik} \end{aligned}$$

Sehingga pada pengujian sistem otomasi *load shedding* yang telah dilakukan sebanyak 5x didapatkan rata – rata *delay* waktu sebesar 2,302 detik untuk memutuskan relay pada beban.

Gambar 9 merupakan grafik rata – rata waktu respon kondisi relay untuk melakukan *load shedding*. Kondisi relay 0 mengartikan relay berada pada kondisi terhubung atau beban hidup dan kondisi relay 1 mengartikan relay berada pada kondisi terputus atau beban mati.

E. Simulasi Load Shedding Menggunakan Fuzzy Logic Pada MATLAB

Simulasi 1 *load shedding* pada MATLAB dilakukan dengan menggunakan nilai tegangan dan daya pada beban kipas. Simulasi tersebut dilakukan dengan cara memasukkan nilai daya dan tegangan sesuai dengan Gambar 10. Tegangan yang dimasukkan sebesar 220 dan daya sebesar 34. Kemudian didapatkan hasil output relay yang hidup yaitu sebanyak 3 atau Relay_Hidup3.

Simulasi 2 *load shedding* pada MATLAB dilakukan dengan menggunakan nilai tegangan dan daya pada beban setrika dan kipas. Simulasi tersebut dilakukan dengan cara memasukkan nilai daya dan tegangan sesuai dengan Gambar 11. Tegangan yang dimasukkan sebesar 215 dan daya sebesar 377. Kemudian didapatkan hasil output relay yang hidup yaitu sebanyak 2 atau Relay_Hidup2. Simulasi 3 *load shedding* pada MATLAB dilakukan dengan menggunakan

nilai tegangan dan daya pada beban setrika, *heater* dan kipas. Simulasi tersebut dilakukan dengan cara memasukkan nilai daya dan tegangan sesuai dengan Gambar 12. Tegangan yang dimasukkan sebesar 213 dan daya sebesar 640. Kemudian didapatkan hasil output relay yang hidup yaitu sebanyak 1 atau Relay_Hidup1.

F. Pengujian Koneksi Dengan Blynk

Pada pengujian koneksi dengan Blynk tersebut dilakukan dengan cara menghubungkan *Smart Meter* terhadap koneksi WiFi yang telah di program untuk mengirim data monitoring pada panel menuju Blynk. Data informasi yang ditampilkan yaitu meliputi daya total, tarif penggunaan, energi terpakai, arus, tegangan, daya beban 1, daya beban 2 dan daya beban 3 yang dapat terdapat pada Gambar 13. Pada desain *monitoring* tersebut juga terdapat grafik penggunaan yang menampilkan riwayat data daya beban 1, daya beban 2, dan daya beban 3 sehingga pengguna dapat dengan mudah memantau pemakaian energi listrik. Selain itu, pada aplikasi tersebut juga terdapat fitur yang dapat mematikan beban 1, beban 2, dan beban 3 sehingga dapat lebih mudah dalam mengendalikannya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian alat yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan: (1) Dari hasil pengujian kalibrasi sensor memiliki perbandingan nilai eror yang meliputi sensor tegangan sebesar 0,429%, sensor arus sebesar 3,409%, dan pengujian konversi arus menjadi daya sebesar 2,37%. (2) Pada pengujian sistem otomasi *load shedding* menggunakan *Fuzzy Logic*, dilakukan sebanyak 5x pengujian dengan 6x percobaan kombinasi beban yang berbeda. Dari pengujian yang dilakukan tersebut mendapatkan hasil yang meliputi percobaan ke-1 hingga ke-4 mendapatkan hasil output Relay_Hidup3, percobaan ke-5 mendapatkan hasil output Relay_Hidup2, dan percobaan ke-6 mendapatkan hasil output Relay_Hidup1. (3) Dari pengujian sistem otomasi *load shedding* yang dilakukan sebanyak 5x memiliki rata – rata hasil *delay* sebesar 2,302 d etik untuk memutuskan relay pada beban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Chaudhari, P. Rathod, A. Shaikh, D. Vora, and J. Ahir, "Smart Energy Meter Using Arduino and GSM," in *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics*, p. 4, 2017.
- [2] E. M. Sartika, R. Sarjono, and R. S. Restianto, "Simulasi sistem otomasi load shedding menggunakan prediksi beban," *ELKOMIKA*, vol. 7, no. 1, p. 180, 2019.
- [3] W. K. Raharja, A. K. Yapie, and F. O. Utama, "Alat Kontrol Kesenambungan Daya Otomatis Akibat Adanya Beban Lebih," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, p. 6, 2014.
- [4] H. R. Setiyawan, W. Hadi, and T. Hardianto, "Sistem kontrol fuzzy logic pada generator DC penguatan terpisah berbasis arduino UNO R3," *BERKALA SAINSTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 55-60, 2017.
- [5] S. Rahmawati, "Perancangan aplikasi fuzzy logic dalam menentukan volume produksi dengan menggunakan metode mamdani," *Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan*, vol. 10, no. 1, p. 11, 2017.