

Implementasi Logika *Fuzzy* Terhadap Kontrol dan Monitoring Pada Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga

M. Ainur Rofiq^{1*}, Fadli Sirait¹, Ika Sari Damayanti Sebayang², Triyanto Pangaribowo¹,
Fina Supegina¹, Said Attamimi¹, Budi Yanto Husodo¹

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

²Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Jakarta

ainur.rofiq@mercubuana.ac.id

Abstrak— Energi listrik memiliki peran vital pada seluruh sektor kehidupan. Sektor rumah tangga mengkonsumsi energi listrik paling besar berdasarkan data tahunan PLN 2021. Meningkatnya populasi manusia ditambah penggunaan energi listrik yang tidak tepat memperbesar nilai konsumsi rumah tangga. *Standby power* adalah salah satu efek yang ditimbulkannya. *Standby power* dapat dihindari dengan memutus beban listrik dari sumber listrik jika tidak digunakan. Penelitian ini merancang alat bantu untuk efisiensi konsumsi listrik pada beban listrik rumah tangga dengan cara meminimalisir konsumsi listrik akibat *standby power* dengan menerapkan sistem *fuzzy logic mamdani*. Sensor PZEM-004T berfungsi mengukur besaran listrik, nodeMCU ESP8266 sebagai pengolah data dan Blynk Iot sebagai *interface* monitoring dan kontrol. Arus dan daya listrik digunakan sebagai *variable input fuzzy logic*. *Rules fuzzy* dirancang untuk mendeteksi kondisi beban, jika beban dalam mode aktif *output fuzzy* berupa kondisi *relay close*, jika beban dalam kondisi *standby output fuzzy* berupa kondisi *relay open*. Beban listrik yang digunakan untuk uji coba meliputi TV 32", AC, komputer, kipas angin dan laptop. Perkiraan nilai efisiensi yang dihasilkan dalam rentang waktu 1 tahun pada beban TV 7,26%, komputer 2,12%, AC 0,26% dan kipas angin 0% dikarenakan kipas angin tidak memiliki mode *standby*. Nilai efisiensi pada beban laptop adalah perbandingan pola penggunaan harian yang diakumulasikan selama 1 tahun dengan pola penggunaan A akan menghasilkan efisiensi konsumsi energi listrik sebesar 37,9% dibandingkan pola penggunaan B.

Kata Kunci— Blynk IoT, Fuzzy Logic Mamdani, NodeMCU ESP8266, PZEM-004T, Relay, Standby Power

DOI: 10.22441/jte.2024.v15i1.008

I. PENDAHULUAN

Energi listrik memiliki peran vital dalam perkembangan teknologi pada era modern pada seluruh sektro kehidupan. Konsumsi energi listrik pada sektor rumah tangga mengkonsumsi energi listrik paling besar dengan jumlah

pelanggan rumah tangga pada tahun 2020 dan 2021 mencapai 91% dan total konsumsi energi listrik pada pelanggan rumah tangga mencapai 115.370,05 GWh (44,78%)[1][2].

Besarnya konsumsi energi listrik pada sektor rumah tangga disebabkan oleh meningkatnya populasi manusia dan berkembangnya teknologi pada peralatan rumah tangga yang menggunakan energi listrik ditambah penggunaan energi listrik yang tidak tepat serta kurangnya kesadaran untuk melakukan penghematan energi listrik. Salah satu akibat dari penggunaan energi listrik yang tidak tepat adalah munculnya *standby power*. Menurut Laboratorium Nasional Lawrence Berkley, *standby power* merujuk pada energi listrik yang dikonsumsi saat peralatan listrik sedang dalam kondisi dimatikan atau tidak menjalankan fungsi utamanya [3].

Pencegahan timbulnya *standby power* dapat dilakukan melalui hal sederhana dengan memutus peralatan listrik dari sumber listrik jika tidak digunakan. Mobilitas manusia modern yang semakin cepat dan sifat manusia yang terkadang lupa, cara sederhana tersebut urung terlaksana. Penelitian ini merancang sebuah alat yang berfungsi untuk *monitoring* konsumsi energi listrik rumah tangga dan implementasi kontrol *fuzzy logic* dengan meminimalisir *standby power* yang dapat dipantau melalui *website* Blynk Iot.

II. PENELITIAN TERKAIT

Pada penelitian sebelumnya yaitu karya [4] berjudul "Sistem Otomasi Load Shedding pada Smart Meter Menggunakan Metode Fuzzy Logic". Pada penelitian ini dirancang sistem load shedding dengan beban uji peralatan elektronik rumah tangga menggunakan metode fuzzy logic mamdani, sensor ACS712 dan PZEM-004T untuk mengukur besaran listrik, data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD dan Blynk IoT output sistem berupa kondisi *relay* sesuai hasil dari fuzzy logic.

Pada penilitan karya [5] berjudul "Rancang Bangun Monitoring Pemborosan Energi Listrik Siaga Pada Peralatan Listrik Rumah Tangga Berbasis Iot". Pada penelitian ini dirancang sebuah alat untuk monitoring pemborosan enrgi listrik siaga menggunakan sensor PZEM-004T untuk mengukur konsumsi daya listrik pada kondisi aktif maupun siaga

kemudian data ditampilkan pada LCD, dan aplikasi smartphone, sensor PIR digunakan untuk deteksi keberadaan manusia untuk kontrol on/off relay.

Pada penelitian karya [6] berjudul “Design and Implementation of Standby Power Saving Smart Socket with Wireless Sensor Network”. Pada penelitian ini dirancang sebuah alat berupa smart socket yang berfungsi untuk menghilangkan standby power dengan menggunakan mikrokontroler PIC18F4520, sensor current transformer (CT) untuk mengukur arus listrik standby data dikirim ke komputer melalui ZigBee. Sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan pengguna, jika pengguna terdeteksi, alat ON. Ketika pengguna pergi, alat OFF. Pengujian hanya pada kompor induksi.

Pada penelitian karya [7] berjudul “Design and Implementation of an Intelligent Energy Saving System based on Standby Power Reduction for a Future Zero-Energy Home Environment”. Pada penelitian ini dirancang suatu sistem penghematan energi listrik dengan pengurangan standby power, alat berupa Smartplug yang didesain untuk dapat melakukan pengukuran dengan daya listrik dengan menggunakan CT sensor, dengan controller 8-bit dan Zigbee transceiver untuk komunikasi. Sistem dirancang berdasarkan pada kebiasaan penggunaan listrik pada sektor rumah tangga, dan di uji coba langsung selama 1 minggu yang terbukti dapat menurunkan penggunaan energi listrik 10.5%.

Pada penelitian karya [8] berjudul “Design and Performance Evaluation of a Home Energy Management System for Power Saving”. Pada penelitian ini dirancang sebuah alat menggunakan Arduino UNO, Modul RTC & SDCard, Modul GSM, sensor cahaya, sensor PIR, dan relay untuk melakukan penjadwalan ON/OFF. Monitoring data software Visual C# dan data disimpan dalam memori SD card. Pengujian dilakukan terhadap 6 rumah dan dalam kurun waktu 1 tahun dengan mengendalikan konsumsi energi standby peralatan rumah tangga non-esensial ketika pengguna sedang pergi atau tidur. Konsumsi energi standby berkurang rata-rata sebesar 52,77% dan konsumsi energi keseluruhan berkurang 5,8%.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Material dan Metode Perancangan

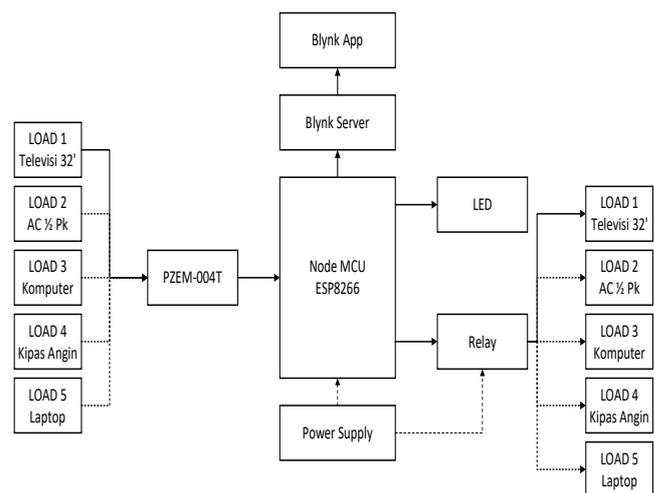
Perancangan sistem terdiri dari 3 bagian yaitu, input, pemroses dan output. Pada blok diagram input sistem menggunakan sensor PZEM-004T yang berfungsi sebagai sensor untuk mengukur arus, tegangan, daya, power factor dan energi listrik yang dikonsumsi beban pengujian. Beban pengujian yang digunakan berupa peralatan elektronik rumah tangga yang memiliki mode standby, meliputi Televisi, Air Conditioner, Komputer, Kipas angin dan Laptop.

Bagian proses menggunakan NodeMCU ESP8266 yang pada sistem monitoring nodeMCU berfungsi untuk mengolah data hasil pengukuran untuk dikirim ke Blynk Server yang kemudian akan ditampilkan pada dashboard interface Blynk App. Pada sistem kontrol yang didesain menggunakan fuzzy logic nodeMCU berfungsi untuk mengolah data hasil pengukuran dengan output fuzzy logic berupa kondisi beban

dalam keadaan aktif atau standby, ketika kondisi beban aktif maka relay akan dalam kondisi close, led indikator akan menyala dan sistem monitoring akan berjalan dengan mengukur daya listrik yang digunakan, ketika kondisi beban standby maka relay akan berubah menjadi kondisi open, led indikator akan mati dan sistem monitoring akan tetap berjalan dengan mengukur daya listrik yang digunakan namun akan bernilai nol (0) karena beban telah terputus dari jaringan listrik.

Pada bagian output terdiri dari led yang berfungsi sebagai indikasi status relay dan relay yang berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan energi listrik ke beban pengujian melalui stopkontak sistem.

Gambar 1. Blok Diagram Rangkaian



B. Perancangan Elektronika

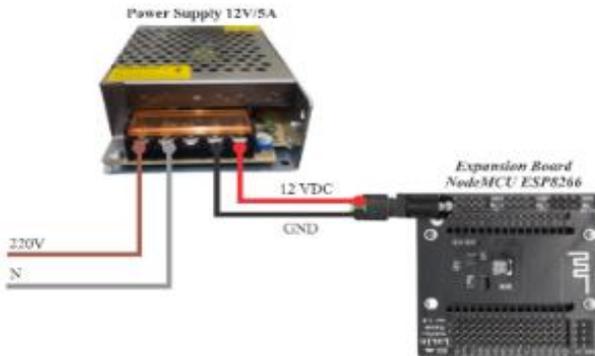
Pada perancangan elektronika komponen yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar Komponen Elektronika

No	Komponen	Fungsi	Jumlah
1	Node MCU ESP8266	Mikrokontroler pemroses	1
2	Modul PZEM-004T-100A	Sensor besaran listrik	1
3	Modul Relay	Penghubung/pemutus	1
4	Power supply S-60-12 (12V 5A)	Sumber tegangan DC	1
5	Stop kontak / Steker listrik	Penghubung beban listrik	1
6	NodeMCU expansion board	Board tambahan nodeMCU	1
7	Led	Indikasi status relay	1

Rangkaian Catu daya

Pada alat ini dipakai adaptor 12 Volt 5A tipe jaring-jaring sebagai sumber daya. Kemudian tegangan output 12V akan dihubungkan ke nodeMCU ESP8266 melalui jack power pada expansion board, salah satu fungsi dari expansion board untuk mengkonversi tegangan dari power supply ke level tegangan input nodeMCU di kisaran 7-12 V, dan juga berfungsi untuk menyediakan pin bertegangan dengan variasi tegangan 3,3V,5V dan 12V.



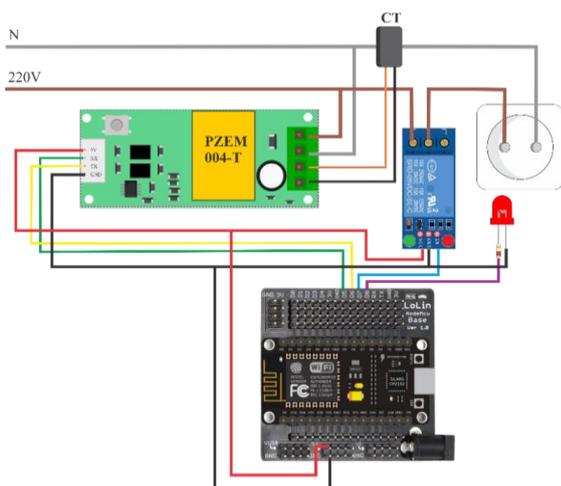
Gambar 2. Rangkaian Catudaya

Rangkaian Sistem

Konfigurasi pin NodeMCU ESP8266 pada sistem dapat dilihat pada tabel 2 dan rangkaian dari sistem dapat dilihat pada gambar 3.

Tabel 2. Konfigurasi pin NodeMCU ESP8266

Pin nodeMCU ESP8266	Pin Target
D5 (Rx)	Tx PZEM-004T
D6 (Tx)	Rx PZEM-004T
D7	Input trigger Modul Relay
D8	Led indikator



Gambar 3 Rangkaian Sistem

C. Perancangan Software

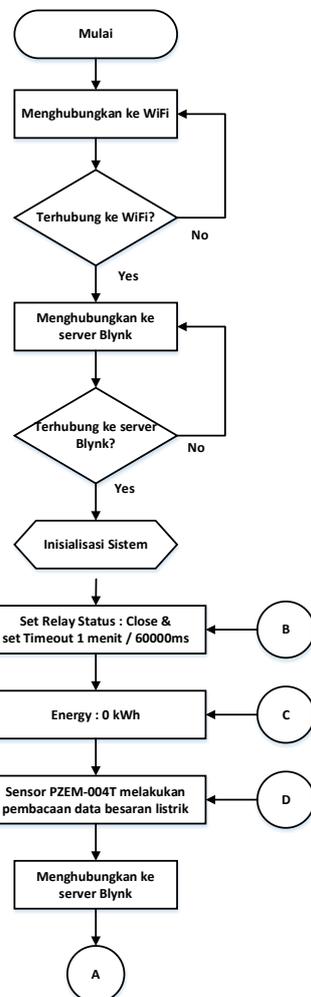
Perancangan software terdiri dari 3 tahapan yaitu perancangan program pengukuran awal, perancangan program sistem dan perancangan simulasi fuzzy logic pada matlab.

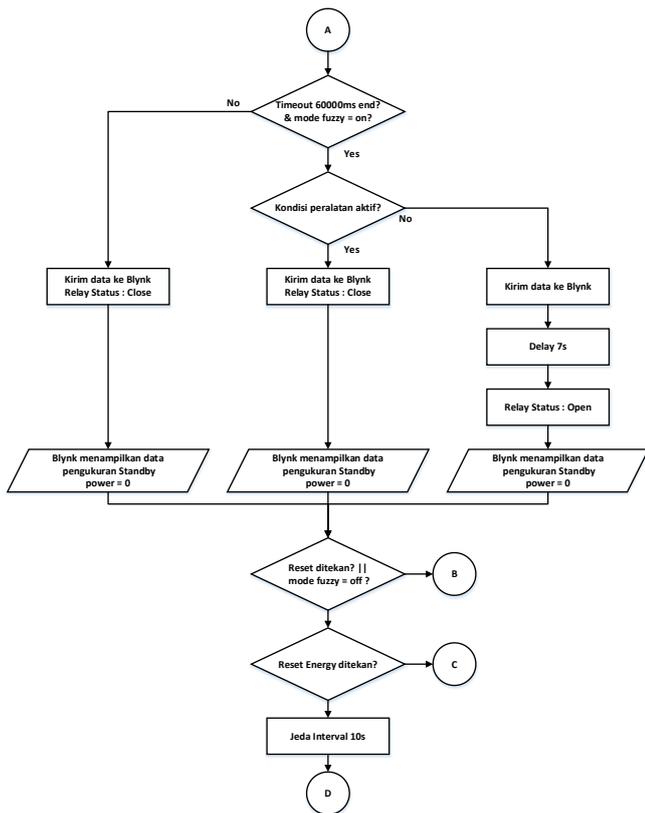
Program Pengukuran awal

Program pengukuran awal dirancang menggunakan software Arduino IDE yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan variasi nilai besaran listrik dari jenis beban listrik yang sudah ditentukan. Hasil dari pengukuran awal digunakan dalam perancangan himpunan fuzzy input. Besaran listrik yang digunakan sebagai himpunan fuzzy input adalah nilai arus dan daya listrik.

Program sistem

Tahap perancangan perangkat lunak selanjutnya setelah data pengukuran awal didapatkan adalah pembuatan program sistem. Diagram alir program sistem dapat dilihat pada gambar 4.





Gambar 4. Flowchart program

Pada program yang dirancang untuk sistem monitoring, nilai awal dari konsumsi energi listrik adalah 0 kWh. NodeMCU akan mengolah data hasil pembacaan sensor setiap interval waktu 10s kemudian ditampilkan pada dashboard Blynk Iot. pada sistem kontrol fuzzy logic, kondisi awal relay adalah close, sehingga beban pengujian dapat terhubung dengan sistem dan dapat dilakukan pengukuran besaran listrik. Besaran listrik yang digunakan sebagai himpunan fuzzy input adalah nilai arus dan daya listrik.

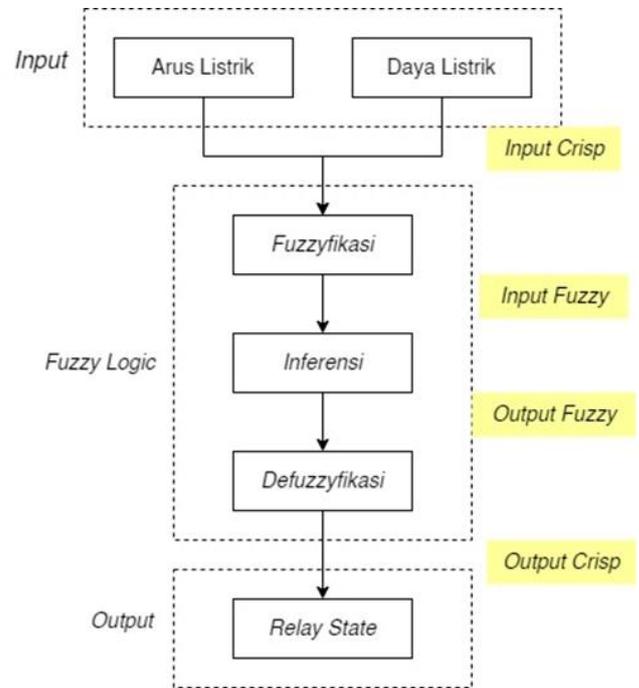
Jika output Fuzzy logic menunjukkan bahwa peralatan listrik sedang dalam kondisi aktif digunakan maka status relay akan tetap close dan sistem akan mengirim data hasil pembacaan besaran listrik ke Blynk server yang kemudian akan ditampilkan pada Blynk App. Jika output fuzzy logic menunjukkan bahwa peralatan listrik sedang dalam kondisi standby (terhubung aliran listrik namun tidak digunakan) maka status relay akan berubah menjadi open untuk memutus aliran listrik menuju peralatan listrik, dan hasil pembacaan sensor bernilai 0.

Simulasi matlab

Perancangan perangkat lunak pada software matlab bertujuan untuk membandingkan hasil fuzzy logic sistem yang dirancang menggunakan nodeMCU ESP8266 dengan model fuzzy logic pada matlab.

D. Perancangan Fuzzy Logic

Metode Fuzzy Logic yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Logic mamdani. Pada sistem dirancang 2 variabel input dan 1 variable output dengan 16 klasifikasi rule. Fuzzy Logic mamdani memiliki 3 tahapan yaitu fuzzyfikasi, inferensi, dan defuzzyfikasi.



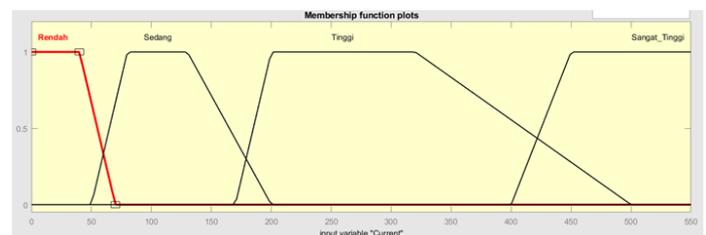
Gambar 5. Diagram Fuzzy Logic

Fuzzyfikasi

Tahap fuzzyfikasi dimulai dengan menentukan himpunan keanggotaan input dan output fuzzy logic. Berdasarkan hasil dari pengukuran awal dirancang himpunan fuzzy input arus diklasifikasikan kedalam 4 variable linguistik yaitu Rendah, Sedang, Tinggi dan Sangat tinggi.

Tabel 3 Himpunan Fuzzy Input Arus

Variable linguistik	Nilai Arus (mA)
Rendah	0-70
Sedang	50-200
Tinggi	170-500
Sangat Tinggi	≥400

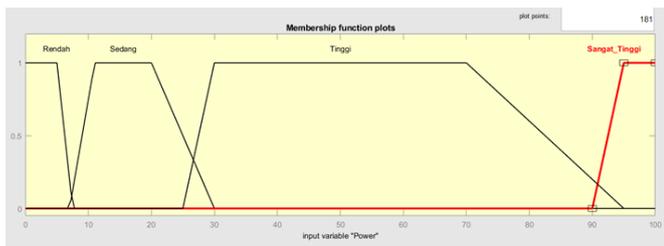


Gambar 6. Kurva Himpunan Fuzzy Input Arus

Himpunan fuzzy *input* daya listrik diklasifikasikan kedalam 4 variable linguistik yaitu Rendah, Sedang, Tinggi dan Sangat tinggi.

Tabel 4. Himpunan Fuzzy *Input* Daya Listrik

Variable linguistik	Nilai Daya (W)
Rendah	0-7.5
Sedang	7-30
Tinggi	25-95
Sangat Tinggi	≥90

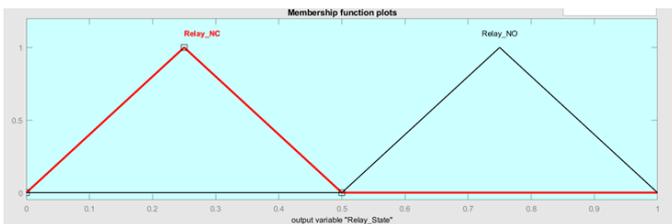


Gambar 7. Kurva Himpunan Fuzzy *Input* Daya Listrik

Himpunan fuzzy *output* relay state diklasifikasikan kedalam 2 variable linguistik yaitu *open* dan *close*.

Tabel 5. Himpunan Fuzzy *Output* Relay State

Variable linguistik	Fuzzy Output
Relay_NC (<i>Closed</i>)	0 – 0.5
Relay_NO (<i>Open</i>)	0.5 – 1



Gambar 8. Kurva Himpunan Fuzzy *Output* Relay State

Aturan FIS Mamdani

Aturan pada FIS Mamdani berfungsi sebagai penalaran terhadap nilai input dari sensor sehingga dapat disimpulkan menjadi suatu informasi.

Tabel 6. Rules Fuzzy

Input	Daya (P)				
	Rules	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Arus (I)	Rendah	[1] Relay_NO	[2] Relay_NO	[3] Relay_NO	[4] Relay_NO
	Sedang	[5] Relay_NO	[6] Relay_NC	[7] Relay_NC	[8] Relay_NC

Tinggi	[9] Relay_NO	[10] Relay_NC	[11] Relay_NC	[12] Relay_NC
Sangat Tinggi	[13] Relay_NO	[14] Relay_NC	[15] Relay_NC	[16] Relay_NC

Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi yang bertujuan adalah mengkonversi setiap hasil dari sistem inferensi yang diekspresikan dalam bentuk fuzzy set kesuatu bilangan real. Pada penelitian ini metode defuzzyfikasi yang digunakan adalah metode atau *Center of Area (CoA)* yaitu solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (Z) daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan :

$$Z = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z)dz} = \frac{M_1 + \dots + M_n}{A_1 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Ket :

Z : Titik pusat area,

M : Momen tiap area;

A : Luas tiap area.

E. Interface Blynk IoT

Interface Blynk digunakan sebagai media untuk memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh melalui website atau aplikasi Blynk yang dapat dipasang pada *smartphone*. Pada interface Blynk akan ditampilkan data berupa :

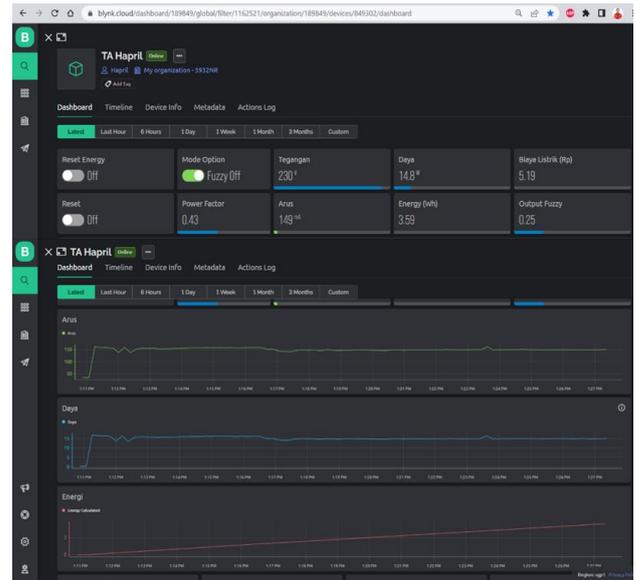
1. Nilai tegangan listrik / voltage (V),
2. Nilai daya listrik / power (W),
3. Nilai arus listrik / current (mA),
4. Nilai power factor,
5. Nilai konsumsi energi listrik (Wh),
6. Nilai output hasil perhitungan fuzzy logic,
7. Nilai Biaya konsumsi listrik (Rp).

Selain menampilkan beberapa data, pada interface Blynk juga terdapat tombol virtual, yaitu :

1. *Reset energy*, berfungsi untuk mengatur ulang nilai konsumsi energi listrik menjadi 0 Wh.
2. *Reset*, berfungsi untuk mengatur ulang status relay pada kondisi *close*. Tombol ini ditujukan untuk mengatur ulang sistem setelah sistem fuzzy logic bekerja dengan merubah kondisi relay menjadi *open* akibat mendeteksi peralatan pada kondisi *standby*. Maka jika peralatan akan digunakan kembali status sistem harus diatur ulang terlebih dahulu.
3. *Mode Option*, berfungsi untuk mengatur apakah sistem kontrol fuzzy logic akan difungsikan atau tidak.



Gambar 9. Tampilan Dashboard Blynk



Gambar 10. Tampilan Dashboard Blynk Monitoring

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian sensor PZEM-004T bertujuan untuk mengetahui apakah sensor dapat membaca besaran listrik berupa tegangan, arus, dan *power factor*. Pengujian sensor PZEM-004T dilakukan menggunakan beban listrik berupa kipas angin. Besaran listrik hasil pembacaan sensor akan dibandingkan dengan alat ukur standar berupa multimeter dan kWh meter portable.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor

Besaran listrik	Sensor PZEM-004T	Multimeter	kWh meter portable	Error %
Tegangan (V)	233 V	233,3 V		0,128 %
Arus (mA)	202 mA	203 mA	207 mA	0,492%
Power factor	0,99	-	1,00	1%
Daya (P)	46,4 W	-	46,2 W	0,432%

B. Pengujian Sistem Monitoring

Pengujian sistem *monitoring* meliputi *monitoring* besaran listrik berupa tegangan, arus, daya, *power factor* dan energi listrik pada saat kondisi beban listrik aktif menjalankan fungsi utamanya dan saat beban listrik dalam mode *standby*. Pengujian sistem *monitoring* dilakukan selama 10 menit dengan interval pengambilan data setiap 10 detik.

Tampilan Dashboard Blynk Monitoring

Tampilan dashboard Blynk monitoring pada pengujian beban listrik televisi 32”.

Data Hasil Monitoring Beban Listrik Televisi

Data hasil monitoring beban listrik televisi pada mode aktif dan *standby* dalam rentang waktu pengukuran 10 menit.

Tabel 8. Data Hasil Monitoring Beban Listrik Televisi

	Value	Min	Max	Mean
V (Volt)	Aktif	229,90	230,80	230,33
	Standby	232,10	235,10	233,83
I (mA)	Aktif	33,00	163,00	150,37
	Standby	33,00	34,00	33,03
PF	Aktif	0,05	0,45	0,43
	Standby	0,05	0,05	0,05
Biaya (Rp)	Aktif	0,00	3,63	1,85
	Standby	0,00	0,10	0,05
P Measure (W)	Aktif	0,40	16,70	15,07
	Standby	0,40	0,40	0,40
P Calc (W)	Aktif	0,3808	16,5888	15,0208
	Standby	0,3830	0,3997	0,3862
P Error (%)	Aktif	0,049	4,795	0,627
	Standby	0,082	4,259	3,449
E Measure (Wh)	Aktif	0,0012	2,5122	1,2781
	Standby	0,0011	0,0656	0,0337
E Calc (Wh)	Aktif	0,0011	2,5111	1,2771
	Standby	0,00	0,07	0,03
E Error (%)	Aktif	0,044	7,407	0,314
	Standby	0,012	1,973	0,373

Data Hasil Monitoring Beban Listrik Air Conditioner

Data hasil monitoring beban listrik *air conditioner* pada mode aktif dan *standby* dalam rentang waktu pengukuran 10 menit.

Tabel 9. Data Hasil Monitoring Beban Listrik AC

Value		Min	Max	Mean
V (Volt)	Aktif	229,00	231,90	230,29
	Standby	231,00	232,40	231,84
I (mA)	Aktif	26,00	1590,00	1525,90
	Standby	17,00	34,00	17,85
PF	Aktif	0,40	0,99	0,98
	Standby	0,20	0,41	0,21
Biaya (Rp)	Aktif	0,01	83,79	41,35
	Standby	0,01	0,22	0,13
P Measure (W)	Aktif	2,40	363,30	347,98
	Standby	0,80	3,10	0,92
P Calc (W)	Aktif	2,4118	363,1449	347,7583
	Standby	0,7861	3,1281	0,9126
P Error (%)	Aktif	0,001	0,490	0,099
	Standby	0,706	1,740	1,411
E Measure (Wh)	Aktif	0,0089	57,9983	28,6213
	Standby	0,0069	0,1539	0,0878
E Calc (Wh)	Aktif	0,0067	57,9961	28,6190
	Standby	0,0069	0,1539	0,0878
E Error (%)	Aktif	0,004	25,009	0,437
	Standby	0,000	0,064	0,005

Data Hasil Monitoring Beban Listrik Komputer

Data hasil monitoring beban listrik komputer pada mode aktif dan *standby* dalam rentang waktu pengukuran 10 menit.

Tabel 10. Data Hasil Monitoring Beban Listrik Komputer

Value		Min	Max	Mean
V (Volt)	Aktif	224,70	226,80	225,60
	Standby	222,1	224,1	223,14
I (mA)	Aktif	407,00	609,00	439,67
	Standby	162	216	164,1
PF	Aktif	0,78	0,89	0,80
	Standby	0,04	0,32	0,04
Biaya (Rp)	Aktif	0,36	19,28	10,14
	Standby	0,06	0,42	0,24
P Measure (W)	Aktif	71,50	121,80	80,04
	Standby	1,4	15,6	1,73
P Calc (W)	Aktif	71,428	122,223	80,020
	Standby	1,439	15,386	1,689
P Error (%)	Aktif	0,026	0,631	0,295
	Standby	1,371	10,05	3,034
E Measure (Wh)	Aktif	0,251	13,345	7,016
	Standby	0,0433	0,2886	0,1657
E Calc (Wh)	Aktif	0,2472	13,340	7,012
	Standby	0,0433	0,2886	0,1657
E Error (%)	Aktif	0,035	1,873	0,144
	Standby	0	0,008	0,002

Data Hasil Monitoring Beban Listrik Kipas Angin

Data hasil monitoring beban listrik komputer pada mode aktif dan *standby* dalam rentang waktu pengukuran 10 menit. Pada monitoring mode *standby*, bernilai 0 karena kipas angin tidak memiliki mode *standby*.

Tabel 11. Data Hasil Monitoring Beban Listrik Kipas Angin

Value		Min	Max	Mean
V (Volt)	Aktif	229,3	232,4	230,47
	Standby	0	0	0
I (mA)	Aktif	196	204	197,22
	Standby	0	0	0
PF	Aktif	0,98	0,99	0,98
	Standby	0	0	0
Biaya (Rp)	Aktif	0,19	10,78	5,506
	Standby	0	0	0
P Measure (W)	Aktif	44,2	46,5	44,76
	Standby	0	0	0
P Calc (W)	Aktif	44,043	46,612	44,755
	Standby	0	0	0
P Error (%)	Aktif	0,165	0,499	0,364
	Standby	0	0	0
E Measure (Wh)	Aktif	0,129	7,460	3,811
	Standby	0	0	0
E Calc (Wh)	Aktif	0,129	7,460	3,811
	Standby	0	0	0
E Error (%)	Aktif	0,000	0,026	0,001
	Standby	0	0	0

Data Hasil Monitoring Beban Listrik Laptop

Hasil pengujian mode aktif bertujuan untuk mengetahui nilai energi listrik yang dikonsumsi dalam 1 kali proses pengisian baterai dan hasil pengujian pada mode *standby* bertujuan untuk mengetahui nilai energi listrik yang dikonsumsi sebagai *standby power*.

Tabel 12 Data Hasil Monitoring Beban Listrik Laptop

Value		Min	Max	Mean
V (Volt)	Aktif	230,7	237,7	234,19
	Standby	230,8	232,3	231,49
I (mA)	Aktif	67	346	138,86
	Standby	63	97	67,12
PF	Aktif	0,45	0,59	0,52
	Standby	0,45	0,51	0,48
Biaya (Rp)	Aktif	0,14	48,45	29,93
	Standby	0,03	1,79	0,93
P Measure (W)	Aktif	7,3	44,3	17,40
	Standby	6,8	11	7,45
P Calc (W)	Aktif	7,365	43,944	17,386
	Standby	6,842	10,984	7,447
P Error (%)	Aktif	0,000	1,050	0,475
	Standby	0,008	1,015	0,464
E Measure (Wh)	Aktif	0,098	33,536	20,714
	Standby	0,020	1,241	0,646
E Calc (Wh)	Aktif	0,098	33,536	20,714
	Standby	0,020	1,241	0,646

E Error (%)	Aktif	0,000	0,000	0,000
	Standby	0,000	0,000	0,000

C. Pengujian Sistem Fuzzy Logic

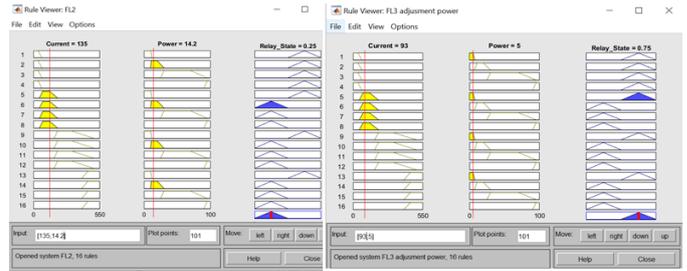
Pengujian sistem *fuzzy logic* dilakukan dengan metode simulasi kondisi beban listrik ketika terjadi peralihan dari mode aktif ke mode *standby*.

Beban Listrik Televisi

Pengujian sistem *fuzzy logic* pada beban listrik TV LED 32” dilakukan dengan menyalakan TV selama 2 menit kemudian dimatikan menggunakan tombol *power* pada *remote* TV. Data pada tabel 13 adalah data peralihan dari mode aktif ke mode *standby* yang terjadi pada detik ke-120 dan ke-130.

Tabel 13. Data Peralihan Mode Aktif ke Mode *Standby* TV

Detik ke-	120	130	140
I (mA)	135	93	0
P (W)	14,2	5	0
MF Arus	R = 0,00 S = 0,93 T = 0,00 ST = 0,00	R = 0,00 S = 1,00 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Daya	R = 0,00 S = 1,00 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Relay	NC = 0,93 NO = 0,00	NC = 0,00 NO = 1,00	NC = 0,00 NO = 1,00
Fuzzy Output	0,25	0,75	0,75



Gambar 12. Simulasi Matlab Fuzzy Logic Beban TV

Tabel 14. Perbandingan Hasil Fuzzy Logic TV

Ouput fuzzy logic	Data detik ke-120	Data detik ke-130
Sistem	0,25	0,75
Matlab	0,25	0,75
Perhitungan	0,249	0,748

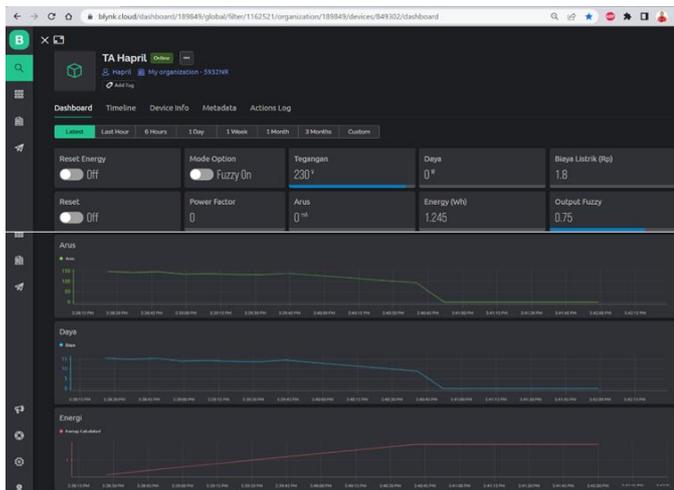
Tabel 14 menunjukkan *fuzzy logic* pada sistem berfungsi sesuai dengan hasil simulasi matlab dan hasil perhitungan dengan *output* 0,25 mewakili kondisi *relay close* dan *output* 0,75 mewakili kondisi *relay open*.

Beban Listrik Air Conditioner

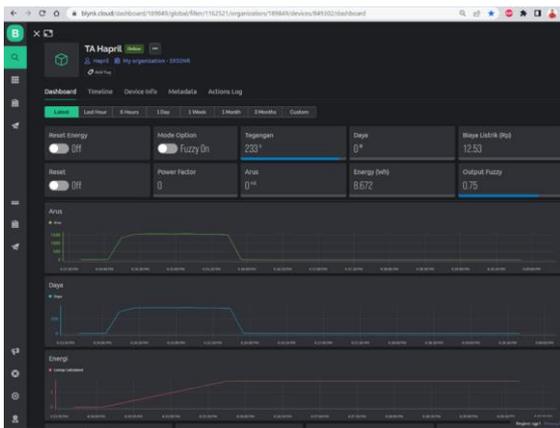
Pengujian sistem *fuzzy logic* pada beban listrik *Air Conditioner (AC)* dilakukan dengan menyalakan *AC* selama 2 menit kemudian dimatikan menggunakan tombol *power* pada *remote AC*. Data pada tabel 15 adalah data peralihan dari mode aktif ke mode *standby* yang terjadi pada detik ke-110 dan ke-120.

Tabel 15 Data Peralihan Mode Aktif ke Mode *Standby* AC

Detik ke-	110	120	130
I (mA)	1504	23	0
P (W)	343,3	1,9	0
MF Arus	R = 0,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 1,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Daya	R = 0,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 1,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Relay	NC = 1,00 NO = 0,00	NC = 0,00 NO = 1,00	NC = 0,00 NO = 1,00
Fuzzy Output	0,25	0,75	0,75

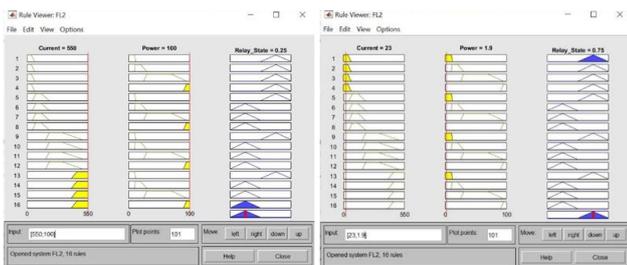


Gambar 11. Tampilan Dashboard Pengujian Fuzzy Logic TV

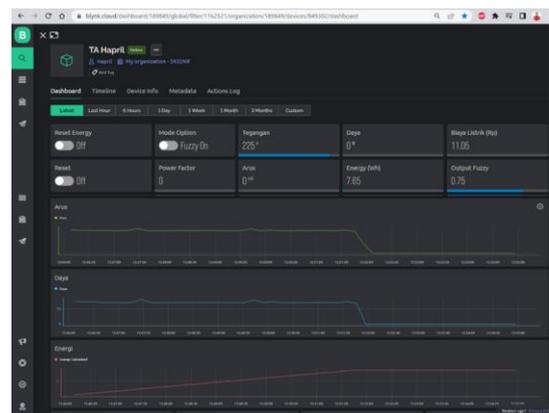


Gambar 13 Tampilan Dashboard Pengujian Fuzzy Logic AC

MF Arus	R = 0,00 S = 0,00 T = 0,59 ST = 0,00	R = 0,00 S = 0,53 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Daya	R = 0,00 S = 0,00 T = 1,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Relay	NC = 0,59 NO = 0,00	NC = 0,00 NO = 0,53	NC = 0,00 NO = 1,00
Fuzzy Output	0,25	0,75	0,75



Gambar 14. Simulasi Matlab Fuzzy Logic Beban AC



Gambar 15. Tampilan Dashboard Pengujian Fuzzy Logic Komputer

Tabel 16. Perbandingan Hasil Fuzzy Logic AC

Ouput fuzzy logic	Data detik ke-110	Data detik ke-120
Sistem	0,25	0,75
Matlab	0,25	0,75
Perhitungan	0,25	0,748

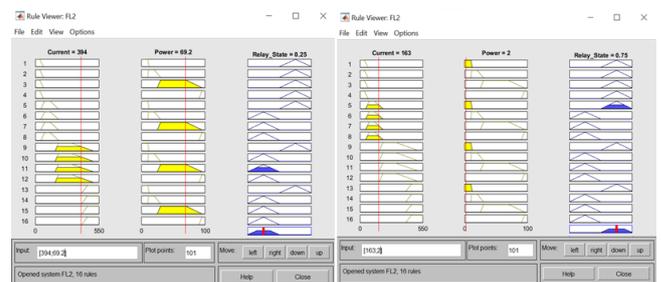
Tabel 16 menunjukkan fuzzy logic pada sistem berfungsi sesuai dengan hasil simulasi matlab dan hasil perhitungan dengan output 0,25 mewakili kondisi relay close dan output 0,75 mewakili kondisi relay open.

Beban Listrik Komputer

Pengujian sistem fuzzy logic pada beban listrik Komputer dilakukan dengan menyalakan komputer selama 2 menit kemudian dimatikan dengan perintah shutdown. Data pada tabel 17 adalah data peralihan dari mode aktif ke mode standby yang terjadi pada detik ke-130 dan ke-140.

Tabel 17. Data Peralihan Mode Aktif ke Mode Standby Komputer

Detik ke-	130	140	150
I (mA)	394	163	0
P (W)	69,2	2	0



Gambar 16. Simulasi Matlab Fuzzy Logic Beban Komputer

Tabel 18. Perbandingan Hasil Fuzzy Logic Komputer

Ouput fuzzy logic	Data detik ke-130	Data detik ke-140
Sistem	0,25	0,75
Matlab	0,25	0,75
Perhitungan	0,25	0,749

Tabel 18 menunjukkan fuzzy logic pada sistem berfungsi sesuai dengan hasil simulasi matlab dan hasil perhitungan dengan output 0,25 mewakili kondisi relay close dan output 0,75 mewakili kondisi relay open.

Beban Listrik Laptop

Pengujian sistem *fuzzy logic* pada beban listrik laptop dilakukan dengan menghubungkan *charger* laptop untuk melakukan pengisian baterai dan sistem *fuzzy logic* akan otomatis memutus *charger* laptop dari sumber energi listrik sesuai dengan *rules fuzzy logic* yang telah dibuat. Data pada tabel 19 adalah data peralihan dari mode aktif ke mode *standby* yang terjadi pada detik ke-6930 dan ke-6940.

Tabel 19. Data Peralihan Mode Aktif ke Mode Standby Laptop

Detik ke-	6930	6940	6950
I (mA)	67	67	0
P (W)	7,4	7,3	0
MF Arus	R = 0,10 S = 0,57 T = 0,00 ST = 0,00	R = 0,10 S = 0,57 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Daya	R = 0,04 S = 0,10 T = 0,00 ST = 0,00	R = 0,08 S = 0,08 T = 0,00 ST = 0,00	R = 1,00 S = 0,00 T = 0,00 ST = 0,00
MF Relay	NC = 0,10 NO = 0,10	NC = 0,08 NO = 0,08	NC = 0,00 NO = 1,00
Fuzzy Output	0,5	0,51	0,75

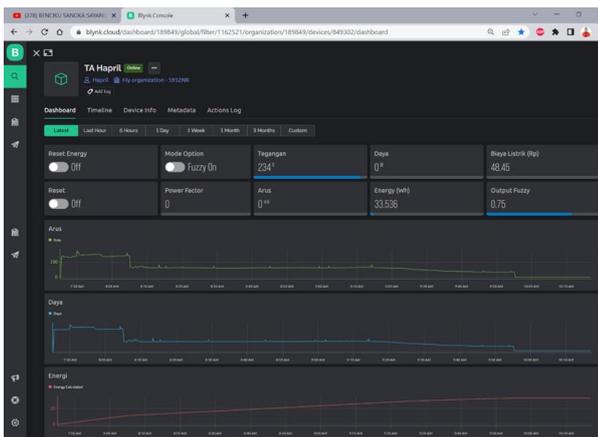


Gambar 18. Simulasi Matlab Fuzzy Logic Beban Laptop

Tabel 20. Perbandingan Hasil Fuzzy Logic Laptop

Ouput <i>fuzzy logic</i>	Data detik ke-6930	Data detik ke-6940
Sistem	0,5	0,51
Matlab	0,5	0,508
Perhitungan	0,499	0,749

Tabel 4.29 menunjukkan terdapat perbedaan nilai *output fuzzy logic* pada data detik ke-6940 *output fuzzy* dari sistem 0,51, *output fuzzy* Matlab 0,508 sedangkan *output fuzzy* hasil perhitungan 0,749, hal ini kemungkinan terjadi diakibatkan oleh nilai resolusi pengukuran sensor pada besaran listrik daya/power yang kurang sensitif terhadap perubahan nilai daya/power dibawah 0,1W. Nilai *output crisp* pada data detik ke-6940 tetap sama dengan *output crisp* dari sistem dan matlab yaitu kondisi *relay open*.

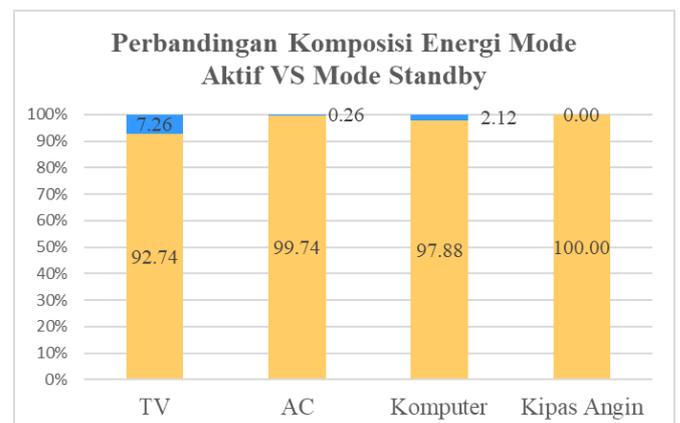


Gambar 17. Tampilan Dashboard Pengujian Fuzzy Logic Laptop

D. Nilai Efisiensi

Nilai efisiensi konsumsi energi listrik yang dihasilkan dari penerapan sistem memiliki nilai yang bervariasi, hal ini disebabkan oleh variasi jenis beban listrik yang diuji memiliki karakteristik dan cara kerja yang berbeda.

Nilai efisiensi yang dihasilkan sistem untuk beban listrik TV, *Air Conditioner*, Komputer dan Kipas angin didapatkan dari nilai akumulasi perhitungan data pengujian pada mode *standby* dalam rentang waktu 1 tahun.



Gambar 19. Perbandingan komposisi energi mode aktif dan standby

Tabel 21. Perkiraan konsumsi energi listrik 1 tahun

Konsumsi Energi Listrik dalam 1 tahun (kWh)				
Mode	TV	AC	Komputer	Kipas Angin
Aktif	33,01	1524,20	350,71	196,05
Standby	2,58	4,04	7,58	0,00

Nilai efisiensi pada beban laptop didapatkan dari perbandingan pola penggunaan harian yang diakumulasikan selama 1 tahun.

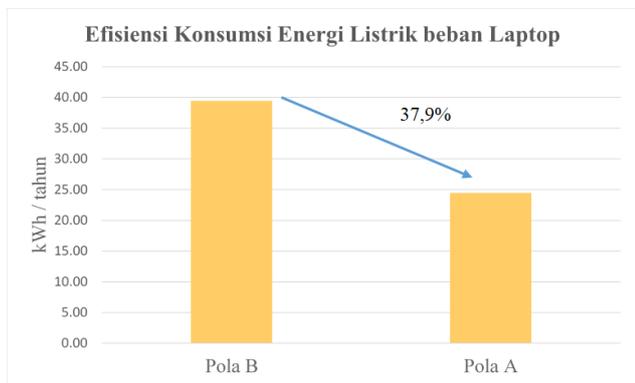
Pola penggunaan A yaitu jika dalam 1 hari atau 24jam laptop digunakan selama 12 jam/hari dengan durasi pengisian baterai laptop adalah 2 jam dan baterai laptop dapat bertahan selama 5 jam , maka dalam 1 hari diperlukan setidaknya 2 kali proses pengisian baterai.

$$E_A/hari : 2xE_{charging} \quad (2)$$

Standby power pada laptop akan muncul pada pola penggunaan B yaitu jika setelah level baterai 100% charger masih terhubung dengan laptop, jika kebiasaan penggunaan laptop dengan selalu menghubungkan charger pada laptop selama pemakaian 12 jam/hari maka perhitungan konsumsi energi listrik mode standby dapat dihitung dengan menjumlahkan nilai konsumsi energi listrik 1 kali pengisian baterai dengan nilai konsumsi energi listrik akibat standby power selama 10 jam.

$$E_B/hari : E_{charging} + E_{standby\ 10\ jam} \quad (3)$$

Nilai efisiensi pada beban laptop didapatkan dari perbandingan pola penggunaan harian yang diakumulasikan selama 1 tahun.



Gambar 20. Efisiensi konsumsi energi listrik beban Laptop

Tabel 22. Perbandingan Konsumsi Energi Laptop

	Konsumsi Energi Listrik Laptop dalam 1 tahun (kWh)
Pola B	39,43
Pola A	24,48

Tabel 22 menunjukkan dengan pola penggunaan A akan menghasilkan efisiensi konsumsi energi listrik sebesar 37,9% dibandingkan dengan pola penggunaan B.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan , pengujian dan analisa dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring konsumsi energi listrik rumah tangga dapat dirancang menggunakan sensor PZEM-004T dengan pengolah data NodeMCU ESP8266 dan tampilan interface pada dashboard Blynk IoT. Implementasi fuzzy logic menghasilkan nilai efisiensi energi listrik dengan menggunakan sistem selama 1 tahun pada beban TV dengan pola penggunaan harian selama 6 jam/hari mencapai 2,584 kWh menghasilkan penghematan sebesar 7,26 %, pada beban Air Conditioner dengan pola penggunaan harian selama 12 jam/hari mencapai 4,044 kWh menghasilkan penghematan sebesar 0,26 %, pada beban komputer dengan pola penggunaan harian selama 12 jam/hari mencapai 7,584 kWh menghasilkan penghematan sebesar 2,12 %, pada beban Laptop dengan pola penggunaan B mencapai 40,9476 kWh menghasilkan penghematan sebesar 37,9% dibandingkan dengan pola penggunaan A, pada beban Kipas angin tidak dihasilkan penghematan energi listrik karena pada kipas angin tidak menimbulkan standby power.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini dituliskan ucapan terima kasih terhadap pihak-pihak yang membantu terselesaikannya penelitian ini serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. PLN, "Statistik PLN 2021," 2022.
- [2] P. PLN, "Statistik PLN 2020," 2021.
- [3] E. Dawson, S. Meier, and J. Potter, "Are Phantom Loads Haunting Your Energy Bill?," *Appliance*, 2005.
- [4] D. A. Yuhansyah, I. W. Farid, and C. W. Priananda, "Sistem Otomasi Load Shedding pada Smart Meter Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.68680.
- [5] Hardi, "RANCANG BANGUN MONITORING PEMBOROSAN ENERGI LISTRIK SIAGA PADA PERALATAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS IOT," 2021.
- [6] A. Singaravelan and M. Kowsalya, "Design and Implementation of Standby Power Saving Smart Socket with Wireless Sensor Network," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 92, pp. 305–310, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.07.360.
- [7] J. Byun, S. Park, B. Kang, I. Hong, and S. Park, "Design and implementation of an intelligent energy saving system based on standby

power reduction for a future zero-energy home environment,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 59, no. 3, pp. 507–514, 2013, doi: 10.1109/TCE.2013.6626231.

[8] D. Chioran and H. Valean, “Design and performance evaluation of a home energy management system for power saving,” *Energies*, vol. 14, no. 6, pp. 1–34, 2021, doi: 10.3390/en14061668.