

SIDANG TUGAS AKHIR

Perancangan Manajemen Energi PLTS-Off Grid Untuk Charging Station Alat Pertanian



Mufti Amalia Ikhsan
NIM 04221091

Dosen Pembimbing Utama:

Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D.

Dosen Pembimbing:

Yun Tonce Kusuma Priyanto, S.T., M.T

Dosen Penguji 1:

Muhammad Ridho Dewanto, S.T., M.T

Dosen Penguji 2:

Riza Hadi Saputra, S.T., M.T.



LATAR BELAKANG

PLTS off-grid pada charging station alat pertanian membutuhkan sistem manajemen energi agar suplai daya tetap stabil dan kondisi baterai tetap aman. Pada sistem eksisting, pengoperasian beban masih dilakukan secara manual dan belum mempertimbangkan daya PV, kondisi SoC baterai, serta daya beban secara real-time.

- Belum ada monitoring SoC baterai
 - Risiko overdischarge baterai
- Beban masih dikendalikan manual
 - Sistem belum adaptif terhadap perubahan energi
- Belum ada prioritas beban
 - Energi belum dimanfaatkan secara optimal

Dikembangkan EMS berbasis ESP32 dan logika fuzzy untuk menentukan level beban aktif, dengan mode operasi berdasarkan selisih daya PV dan daya beban.

TUJUAN PENELITIAN

1

Mengembangkan prototipe EMS berbasis ESP32 untuk memantau kondisi PV, baterai, dan beban secara real-time.

2

Menerapkan Fuzzy Logic Controller Mamdani untuk menentukan level beban aktif berdasarkan SoC, Ppv, dan Pbeban.

3

Menguji kinerja sistem dalam menentukan mode operasi dan mengendalikan relay sesuai prioritas beban.

RUMUSAN MASALAH

1

Bagaimana merancang EMS PLTS off-grid yang mampu memantau dan mengatur energi secara otomatis?

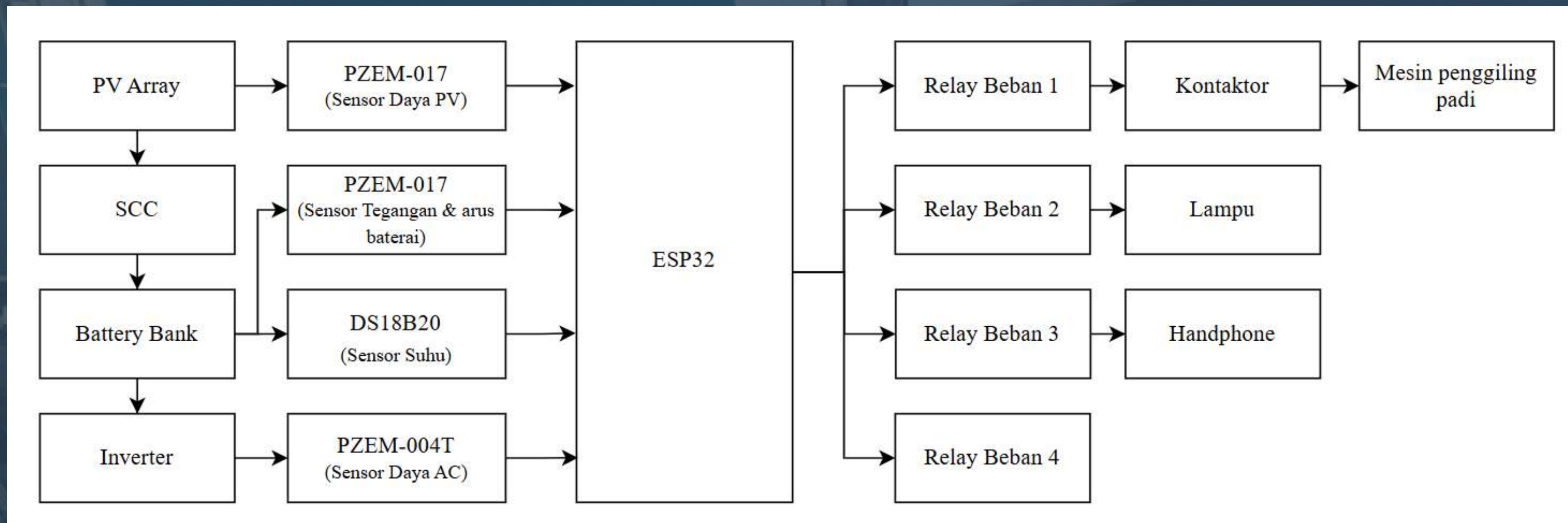
2

Bagaimana menerapkan fuzzy Mamdani untuk menentukan level beban aktif berdasarkan kondisi sistem?

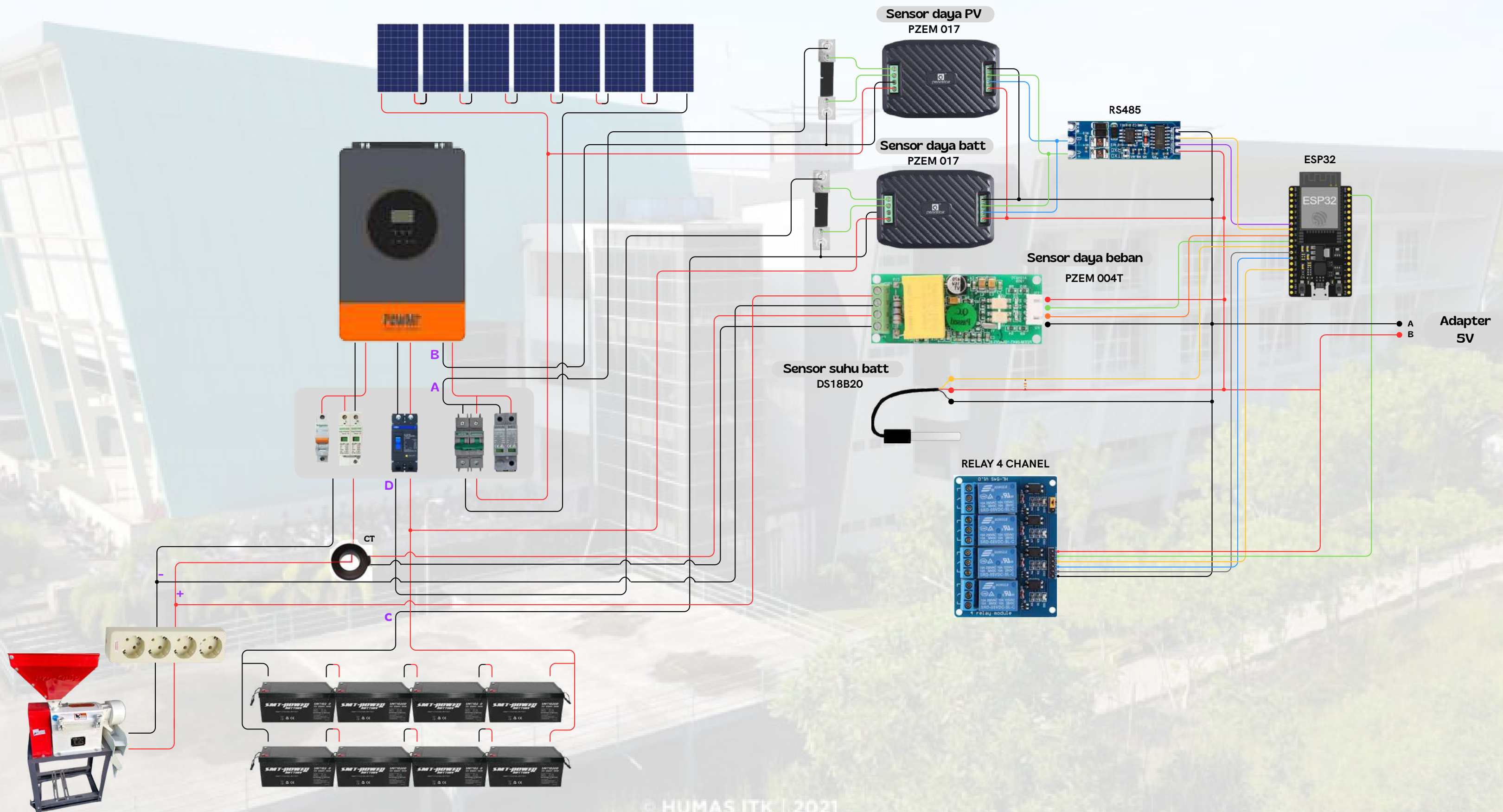
3

Bagaimana kinerja sistem dalam menjaga SoC baterai dan mengatur beban sesuai prioritas?

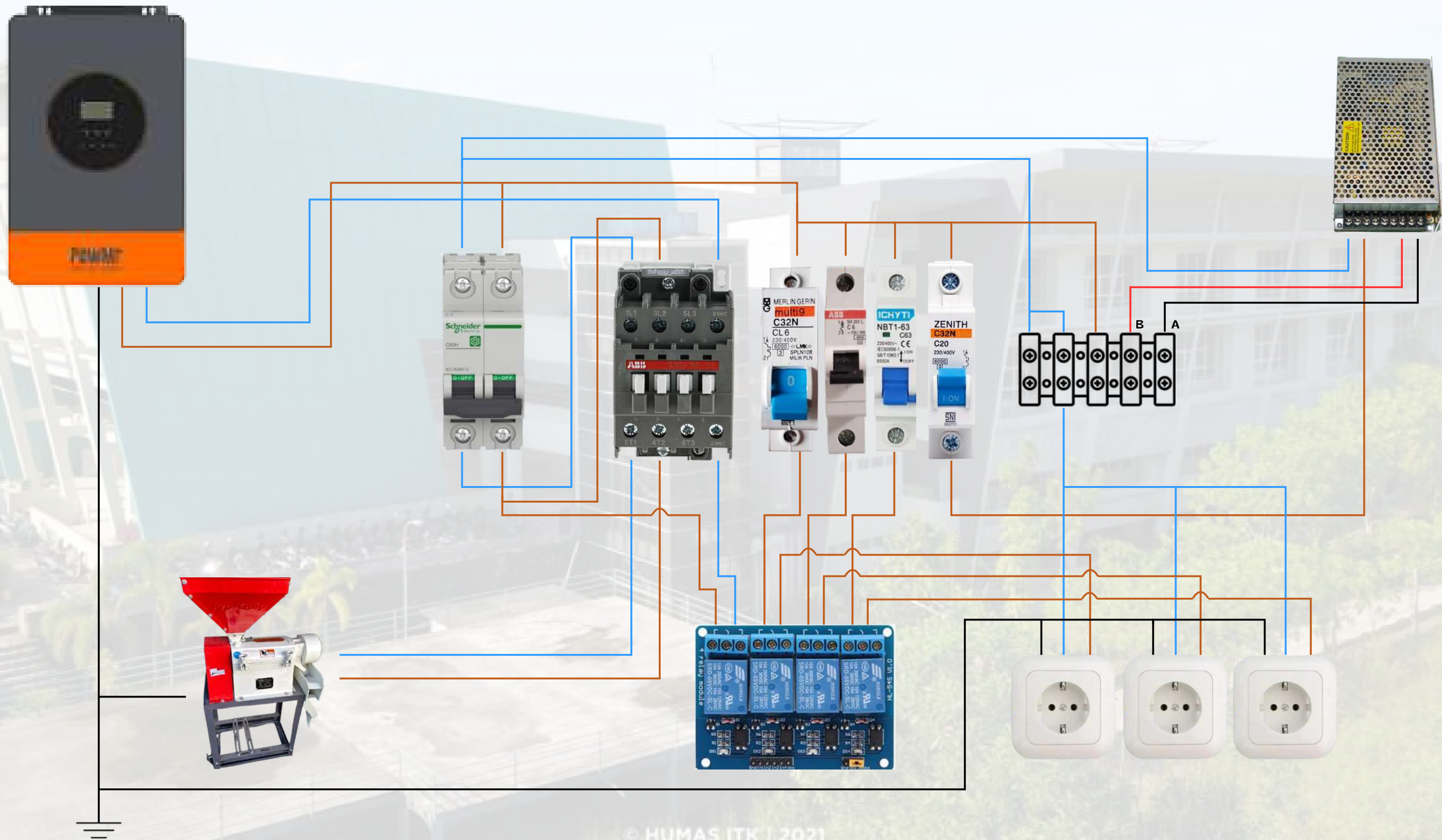
KONSEP EMS



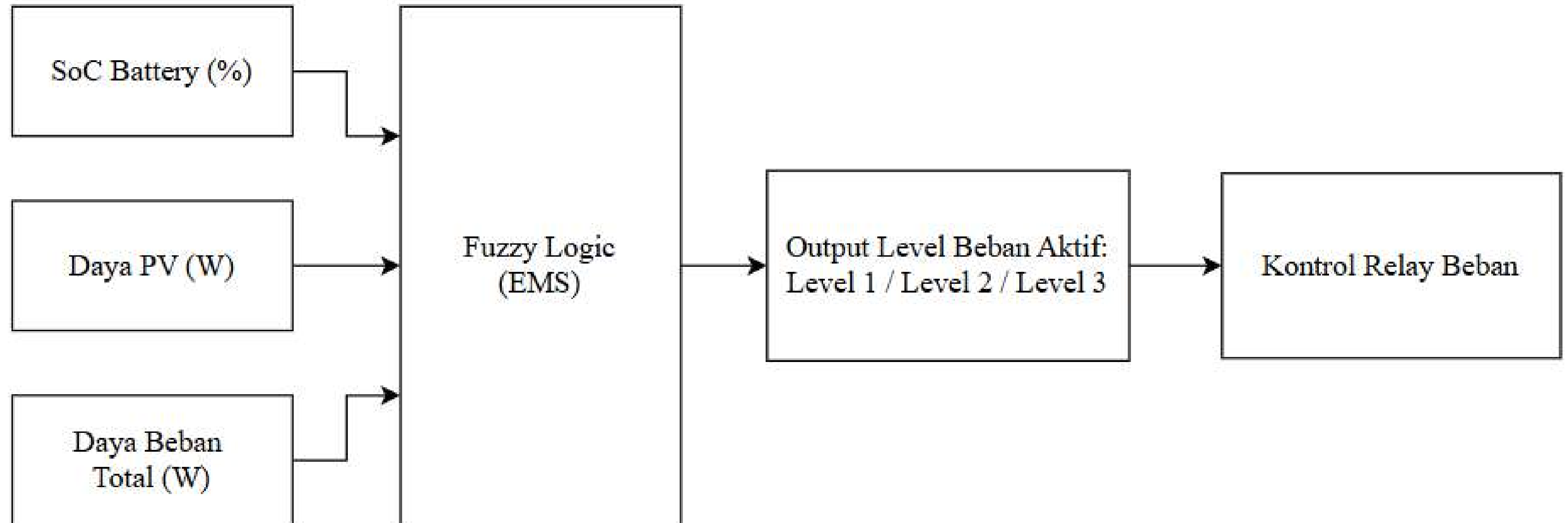
WIRING IOT



WIRING SISTEM PROTEKSI



PERANCANGAN EMS



PENENTUAN SOC

SoC awal ditentukan dari tegangan baterai menggunakan tabel OCV. Karena sistem menggunakan baterai VRLA 48 V

SoC	Tegangan OCV
100%	51,60 V
90%	51,00 V
80%	50,40 V
70%	49,80 V
60%	49,20 V
50%	48,60 V
40%	48,00 V
30%	47,40 V
20%	46,80 V
10%	46,20 V
0%	45,60 V

konfigurasi:

- 8 unit VRLA 12V 400Ah
- Susunan 4S2P → 48 V
- Total kapasitas: $\pm 19,2$ kWh



PENENTUAN SOC

Setelah SoC awal diperoleh, nilai SoC diperbarui menggunakan Coulomb Counting berdasarkan arus baterai dan interval waktu pengukuran.

Rumus Coulomb Counting:

$$SOC(t) = SOC(t_0) \pm \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t I \, dt$$

Keterangan:

I_{bat} = arus baterai dari PZEM-017

Δt = interval waktu pengukuran

C_{bat} = kapasitas baterai = 400 Ah

+ = charging

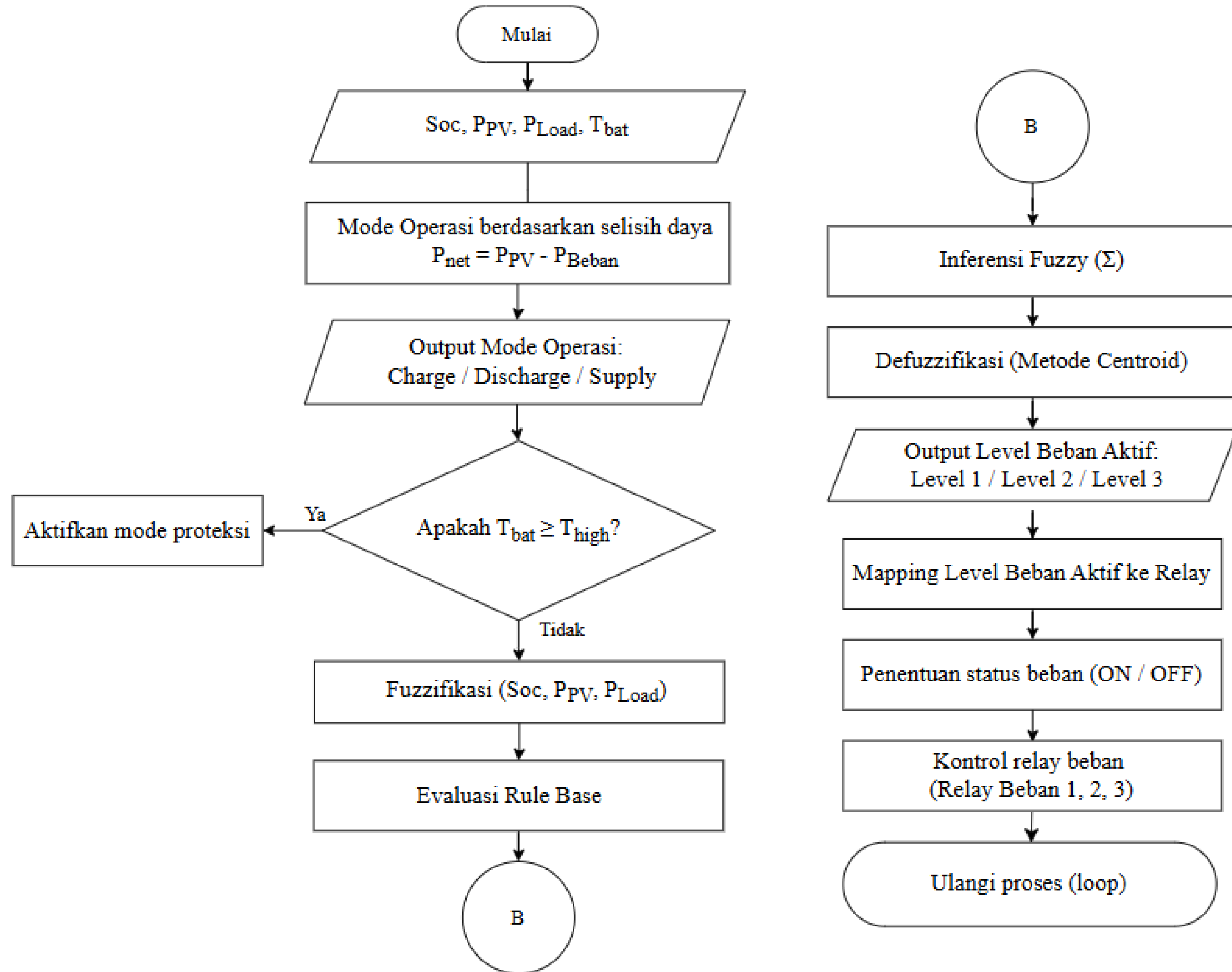
- = discharging



Karena PZEM-017 tidak membaca arah arus secara langsung, perubahan tegangan baterai digunakan untuk membantu menentukan kondisi arah arus.

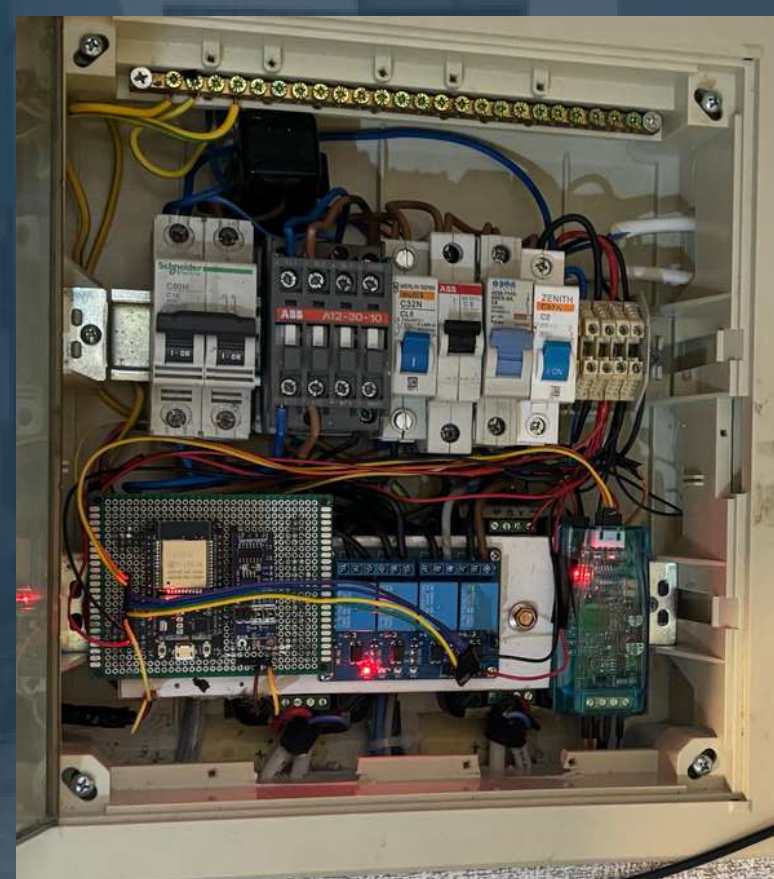
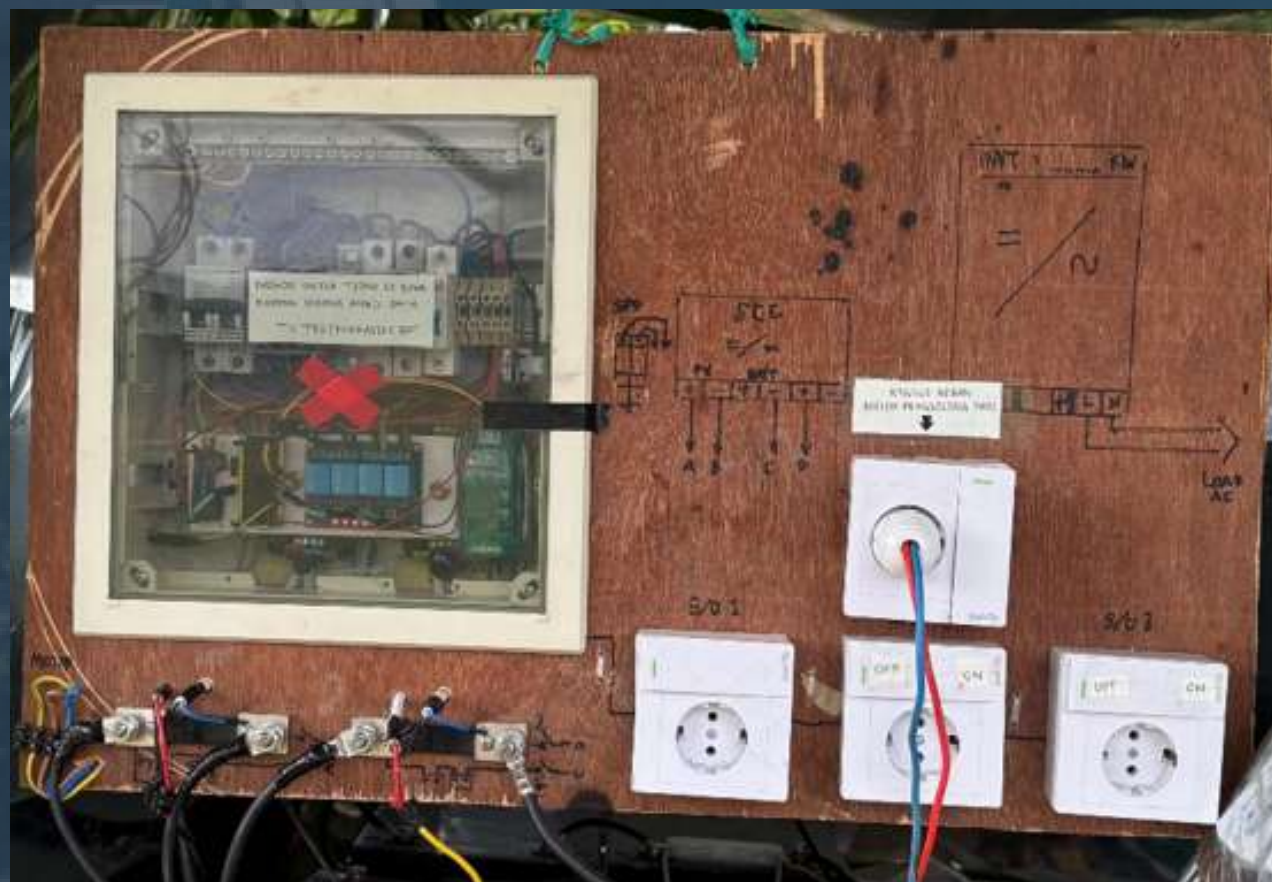
ALUR KERJA SISEM

Diagram alir Sistem Manajemen Energi PLTS Off-Grid Berbasis Fuzzy Logic dan Prioritas Beban



HASIL IMPLEMENTASI ALAT

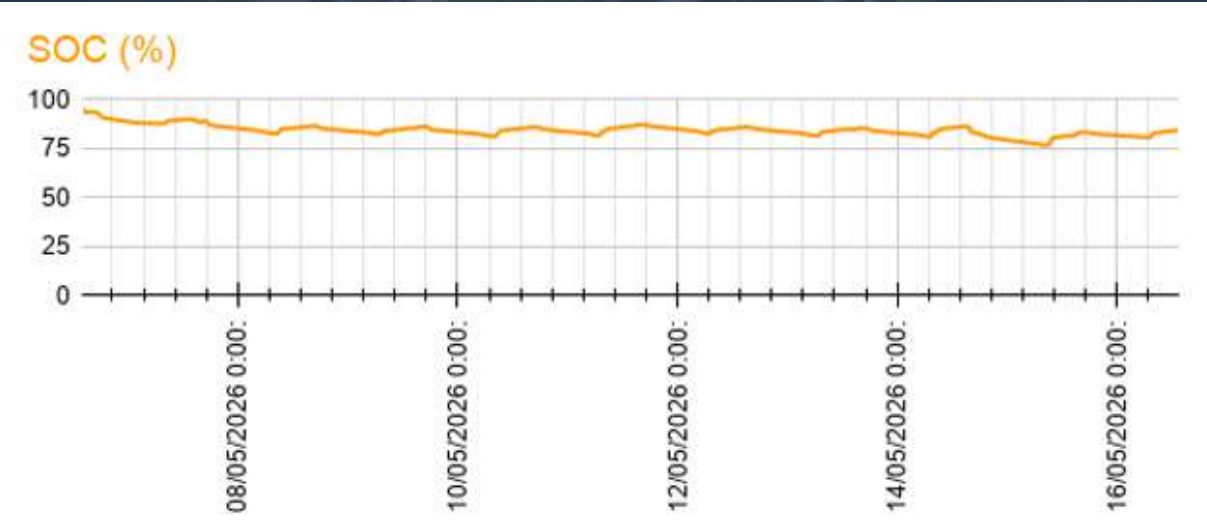
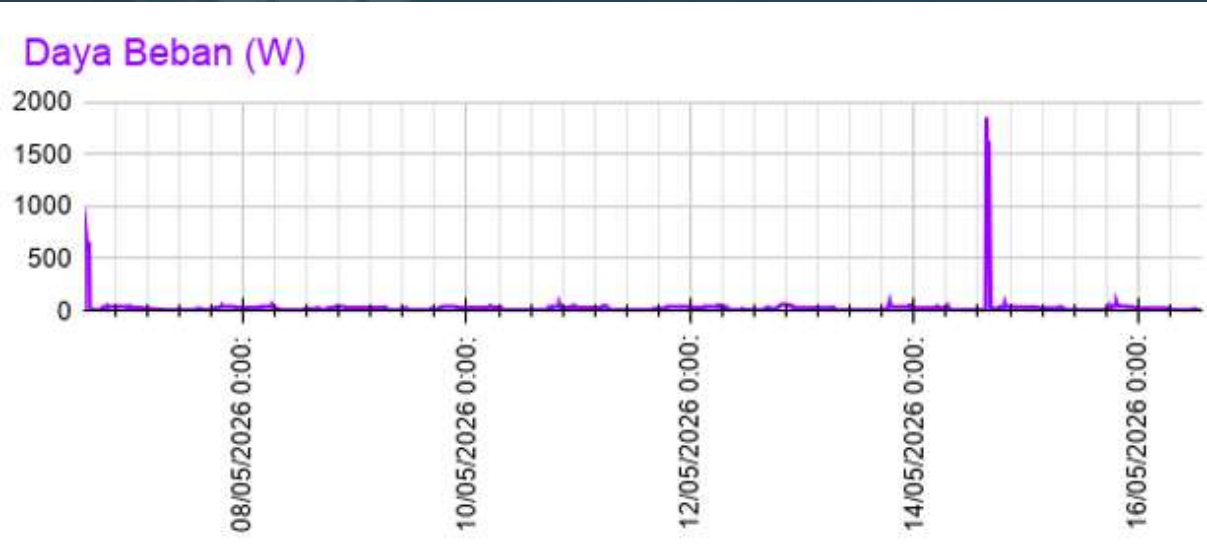
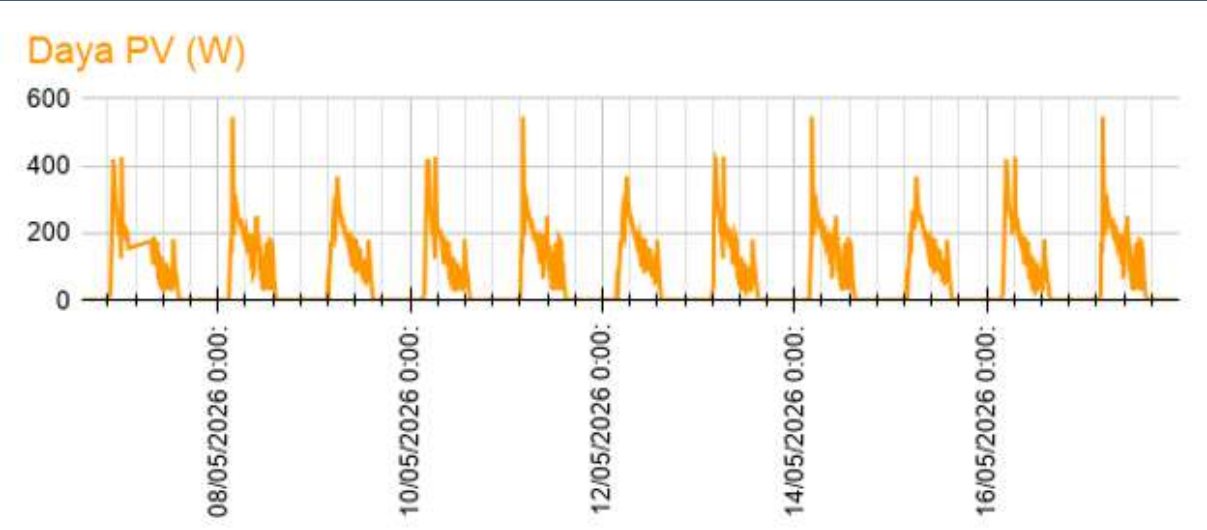
Prototipe EMS telah diimplementasikan pada sistem PLTS off-grid dengan ESP32 sebagai pusat kendali untuk membaca data sensor, memproses logika fuzzy, dan mengendalikan relay beban.



Komponen yang terintegrasi:

- PZEM-017 → membaca daya PV dan baterai
- PZEM-004T → membaca daya beban AC
- DS18B20 → membaca suhu baterai
- Relay, kontaktor, dan MCB → pengendalian serta proteksi beban

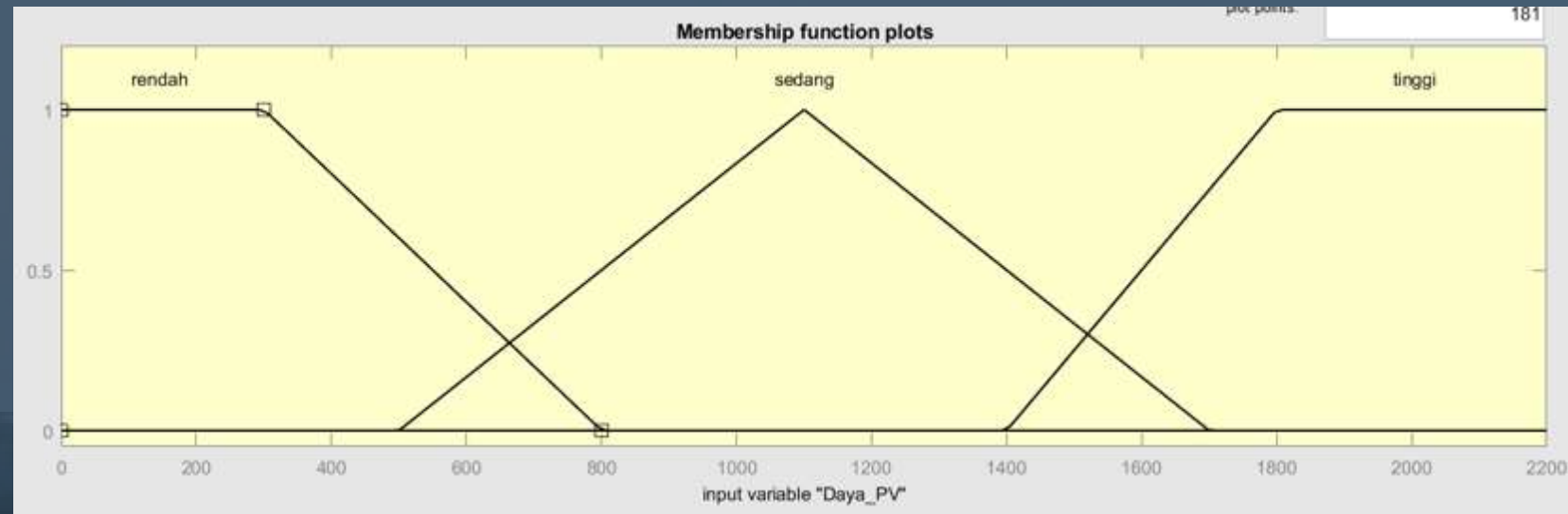
PERANCANGAN FUZZY



	AVERAGE	MAX	MIN
PV Tegangan	163,8	330,65	25,7
PV Arus	0,65	1,76	0
PV Daya	143,8	545,84	0
Baterai Tegangan	52,15208367	54,5	50,09
Baterai Arus	0,9531810137	15,31	0,02
Baterai Daya	49,97142395	769	1
SOC	83,98553084	97	76,36655
Beban Tegangan	230,2152847	230,60001	220,89999
Beban Arus	0,131080296	8,82	0,048
Beban Daya	23,77388577	1849,30005	5,3

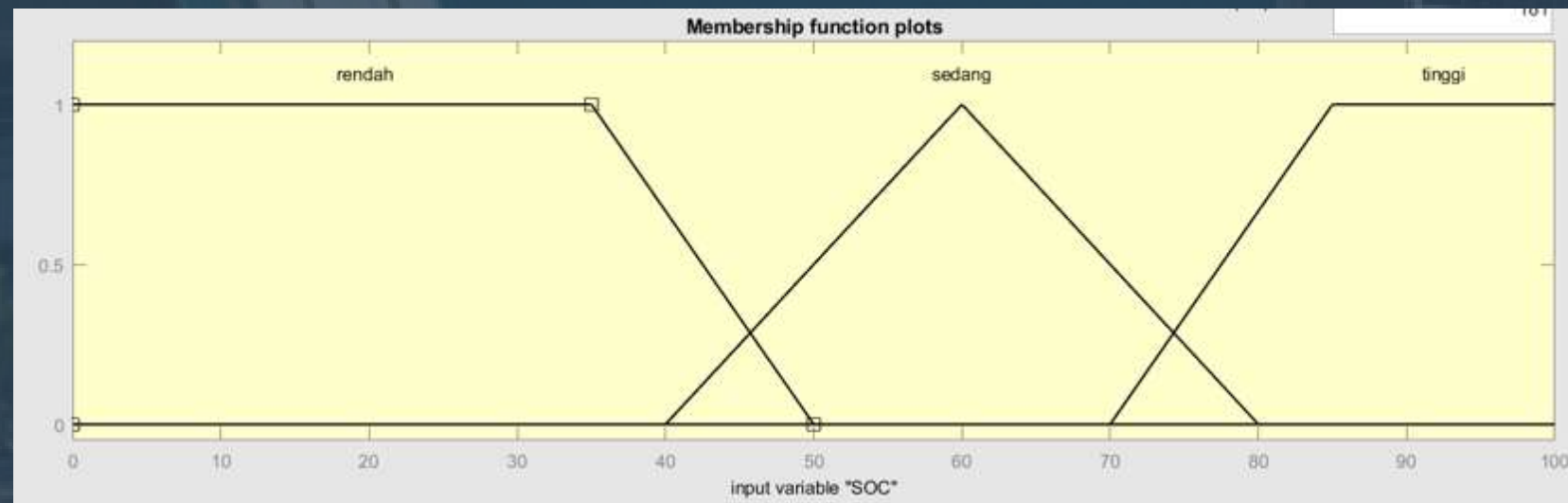
FUZZY LOGIC

Daya PV



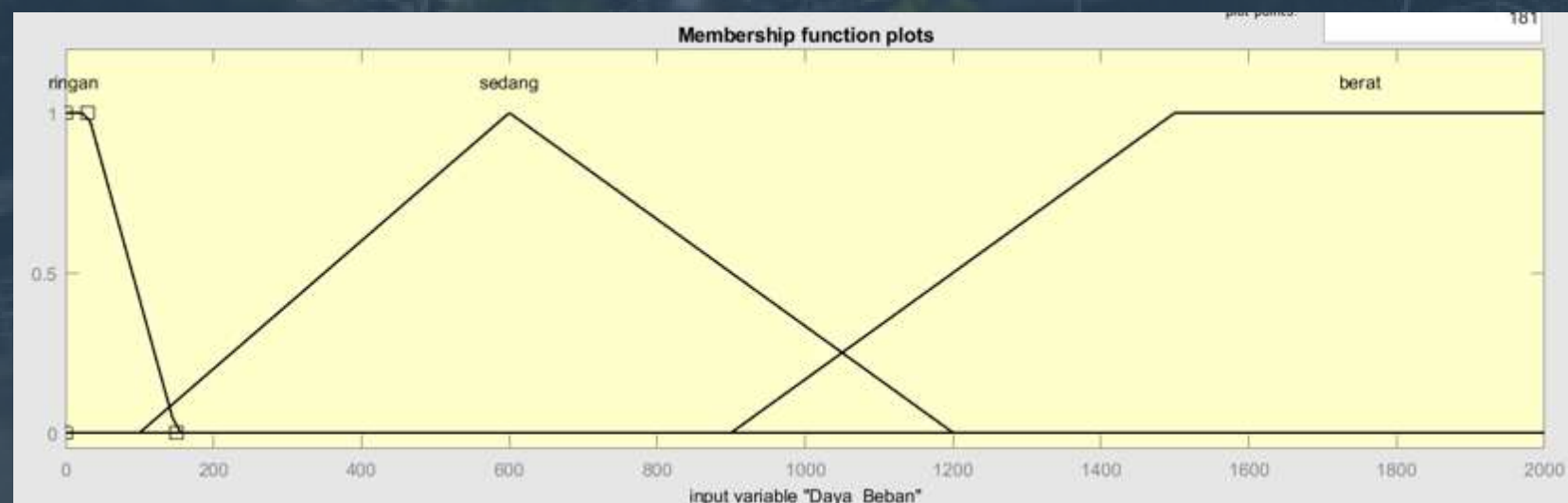
Variabel	Himpunan Fuzzy	Bentuk Fungsi	Titik Fungsi Keanggotaan
Daya PV	Rendah	Trapeسيوم	[0, 0, 300, 800]
Daya PV	Sedang	Segitiga	[500, 1100, 1700]
Daya PV	Tinggi	Trapeسيوم	[1400, 1800, 2200, 2200]

SoC Baterai



Variabel	Himpunan Fuzzy	Bentuk Fungsi	Titik Fungsi Keanggotaan
SoC	Rendah	Trapeسيوم	[0, 0, 35, 50]
SoC	Sedang	Segitiga	[40, 60, 80]
SoC	Tinggi	Trapeسيوم	[70, 85, 100, 100]

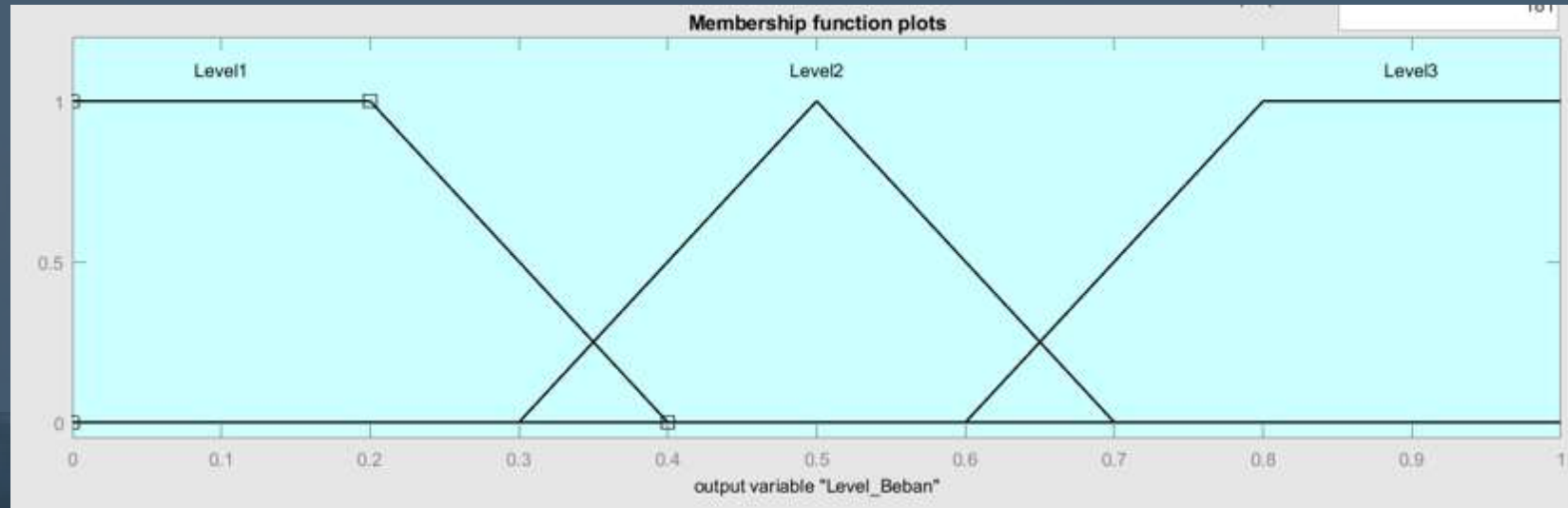
Daya Beban



Variabel	Himpunan Fuzzy	Bentuk Fungsi	Titik Fungsi Keanggotaan
Daya Beban	Ringan	Trapeسيوم	[0, 0, 30, 150]
Daya Beban	Sedang	Segitiga	[0, 0, 30, 150]
Daya Beban	Berat	Trapeسيوم	[0, 0, 30, 150]

FUZZY LOGIC

Output Level Beban Aktif



Output	Himpunan Fuzzy	Bentuk Fungsi	Titik Fungsi Keanggotaan
Level Beban	Level 1	Trapeسيوم	[0, 0, 0,20, 0,40]
Level Beban	Level 2	Segitiga	[0,30, 0,50, 0,70]
Level Beban	Level 3	Trapeسيوم	[0,60, 0,80, 1,00, 1,00]

Rule Base

No	SoC	Daya PV	Daya Beban	Level Beban
1	Rendah	Rendah	Ringan	Level 1
2	Rendah	Rendah	Sedang	Level 1
3	Rendah	Rendah	Berat	Level 1
4	Rendah	Sedang	Ringan	Level 2
5	Rendah	Sedang	Sedang	Level 1
6	Rendah	Sedang	Berat	Level 1
7	Rendah	Tinggi	Ringan	Level 2
8	Rendah	Tinggi	Sedang	Level 2
9	Rendah	Tinggi	Berat	Level 2
10	Sedang	Rendah	Ringan	Level 2
11	Sedang	Rendah	Sedang	Level 1
12	Sedang	Rendah	Berat	Level 1
13	Sedang	Sedang	Ringan	Level 2

No	SoC	Daya PV	Daya Beban	Level Beban
14	Sedang	Sedang	Sedang	Level 2
15	Sedang	Sedang	Berat	Level 2
16	Sedang	Tinggi	Ringan	Level 3
17	Sedang	Tinggi	Sedang	Level 3
18	Sedang	Tinggi	Berat	Level 3
19	Tinggi	Rendah	Ringan	Level 3
20	Tinggi	Rendah	Sedang	Level 2
21	Tinggi	Rendah	Berat	Level 2
22	Tinggi	Sedang	Ringan	Level 3
23	Tinggi	Sedang	Sedang	Level 3
24	Tinggi	Sedang	Berat	Level 3
25	Tinggi	Tinggi	Ringan	Level 3
26	Tinggi	Tinggi	Sedang	Level 3
27	Tinggi	Tinggi	Berat	Level 3

SISTEM PRIORITAS BEBAN

Penetapan Prioritas Beban

Kelompok	Beban	Prioritas
Beban 1	Mesin penggiling padi	Tinggi
Beban 2	Lampu	Sedang
Beban 3	Charger Handphone	Rendah

Mekanisme Pengendalian Relay

Level Beban	Prioritas Tinggi	Prioritas Sedang	Prioritas Rendah	
	R1	R2	R3	R4
Level 1	ON	OFF	OFF	
Level 2	ON	ON	OFF	
Level 3	ON	ON	ON	

Level beban aktif diperoleh dari output fuzzy. Semakin tinggi level, semakin banyak beban yang diizinkan aktif.

HASIL MODE OPERASI SISTEM

Mode operasi ditentukan berdasarkan selisih daya antara daya PV dan daya beban

$$P_{net} = P_{pv} - P_{beban}$$

Kondisi	Mode Operasi
$P_{pv} < P_{beban}$	Discharge
$P_{pv} \geq P_{beban}$ dan $SoC < 95\%$	Charge
$P_{pv} \geq P_{beban}$ dan $SoC \geq 95\%$	Supply

Hasil Pengujian Mode Operasi

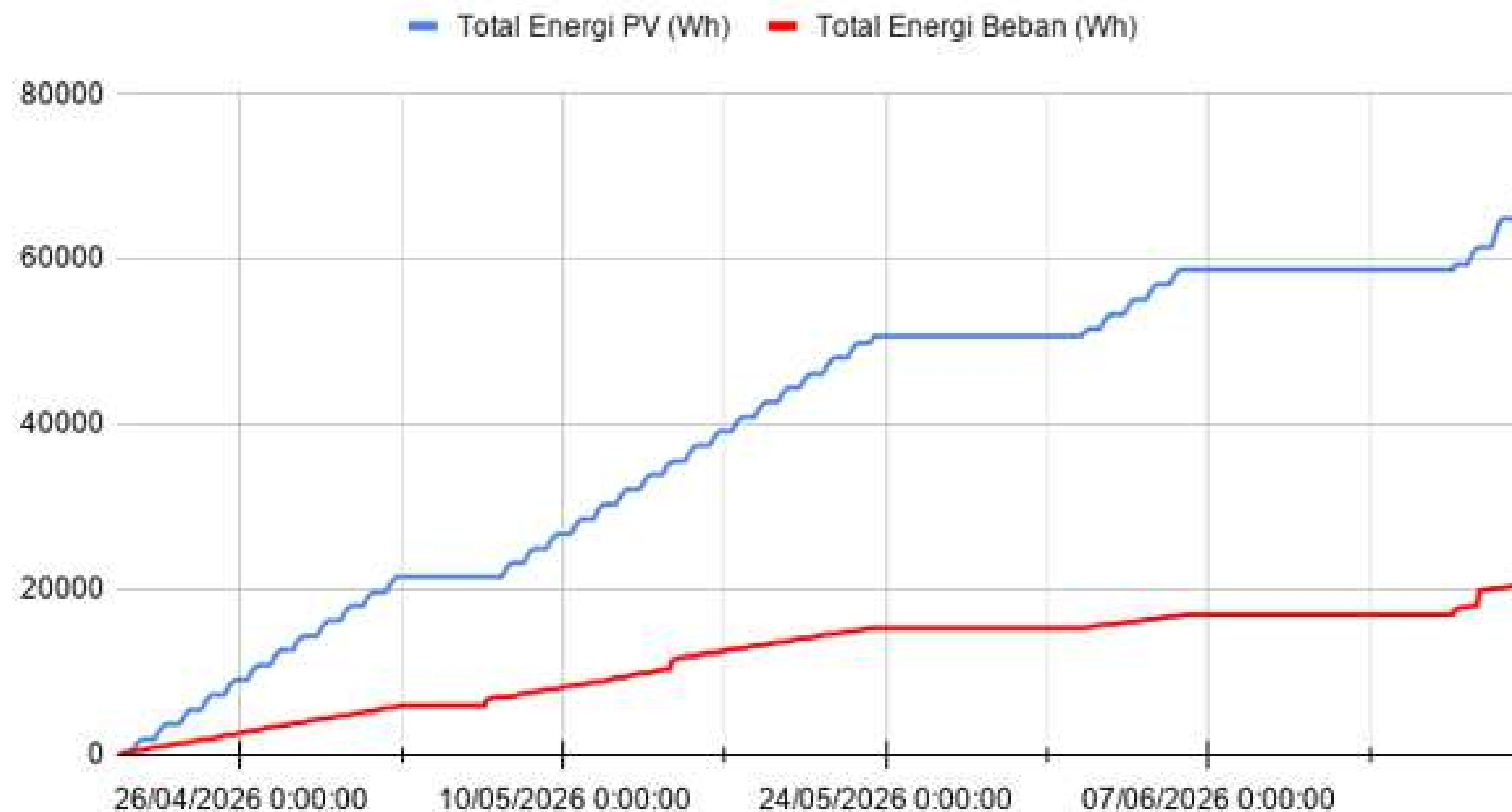
Waktu	Daya PV (W)	SoC (%)	Daya Beban (W)	Pnet (W)	Mode Operasi
03/06/2026 23:55:56	0	96,24986	18,3	-18,3	Discharge
04/06/2026 07:00:56	11,1496	94,59858	10,3	0,8496	Charge
04/06/2026 07:30:55	545,83759	94,74895	7,6	538,23761	Charge
04/06/2026 08:55:55	245,02939	95,10648	6,1	238,92938	Supply
04/06/2026 17:55:55	31,8087	96,02797	16,3	15,5087	Supply
04/06/2026 18:10:55	5,3046	95,8752	22,3	-16,9954	Discharge

HASIL FUZZY DAN KEPUTUSAN RELAY

Waktu	DayaPV (W)	SoC (%)	DayaBeban (W)	Rule Aktif	Alpha	Level	R1	R2	R3	R4
17/06/2026 14:25	125,7	100	17,6	Rule 19	1	Level 3	ON	ON	ON	ON
17/06/2026 14:30	622,9	100	658	Rule 20 Rule 23	0,354	Level 2	ON	ON	OFF	OFF
17/06/2026 14:35	603,6	100	644,7	Rule 20 Rule 23	0,393	Level 2	ON	ON	OFF	OFF
17/06/2026 14:45	0	99,3	720,7	Rule 20	0,799	Level 2	ON	ON	OFF	OFF
17/06/2026 15:00	0	98,9	698,8	Rule 20	0,835	Level 2	ON	ON	OFF	OFF
17/06/2026 15:25	234,2	98,88	632,1	Rule 20	0,947	Level 2	ON	ON	OFF	OFF
17/06/2026 15:30	243,7	98,91	5	Rule 19	1	Level 3	ON	ON	ON	ON
17/06/2026 15:45	405,9	99,07	6,2	Rule 19	0,788	Level 3	ON	ON	ON	ON
18/06/2026 16:15	133,8	94,16	1.484,90	Rule 21	0,975	Level 2	ON	ON	OFF	OFF
18/06/2026 16:35	134,1	91,34	1.751,20	Rule 21	1	Level 2	ON	ON	OFF	OFF

ANALISIS ENERGI

Energi PV v Beban



Total Energi PV → 66,68 kWh

Total Energi Beban → 20,66 kWh

Surplus (PV – Beban) → 46,02 kWh

Energi PV jauh lebih besar dari konsumsi beban — hanya $\pm 31\%$ yang langsung terpakai, sisanya ($\pm 69\%$) digunakan untuk mengisi baterai, menjaga SoC tetap tinggi sepanjang pengujian.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

- EMS PLTS off-grid berhasil dirancang & diimplementasi (ESP32 + PZEM-017, PZEM-004T, DS18B20), parameter terpantau real-time.
- Fuzzy Mamdani menentukan level beban dari SoC, daya PV, & daya beban; keputusan identik dengan acuan MATLAB.
- Sistem adaptif — Level 3 saat beban ringan, Level 2 saat beban naik; error sensor maks 2,74%.
- Energi PV 66,68 kWh > beban 20,66 kWh → surplus 46,02 kWh (pemanfaatan ~31%).

SARAN

- Pengujian lebih lama & variasi cuaca, termasuk saat SoC rendah, agar semua kategori daya PV teruji.
- Pakai sensor arus dua arah agar estimasi SoC (Coulomb Counting) lebih presisi.
- Manfaatkan surplus energi yang besar, misalnya menambah jumlah/kapasitas beban di charging station.

TERIMA KASIH