

PERANCANGAN PENGATUR SUPPLAI DAYA LISTRIK PADA SISTEM HIBRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN JALA-JALA LISTRIK PLN

Galuh Indra Cahya^{*)}, Karnoto, and Bambang Winardi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: galuhundip12@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya konsumsi energi listrik berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar yang semakin menipis. Energi matahari yang tidak bersinar dengan maksimal pada musim hujan akan mempengaruhi daya keluaran dari PLTS. Selama ini ketika PLTS tidak dapat mensuplai beban penuh, maka akan langsung dialihkan ke PLN. Pada penelitian ini dirancang sebuah alat yang bertujuan untuk memaksimalkan pemakaian daya keluaran PLTS, saat tidak bisa mensuplai beban penuh menggunakan mikrokontroler ATmega 16. Hasil dari pengujian, untuk mendapatkan tegangan sesuai standar PLN, pada 1 beban membutuhkan minimal irradiansi 600 Watt/m² dengan tegangan 217,69 VAC, 2 beban minimal irradiansi 800 Watt/m² dengan tegangan 217,48 VAC, dan beban 3 minimal irradiansi 1000 Watt/m² dengan tegangan 217,27 VAC. PLN akan mensuplai ketiga beban ketika panel surya menerima irradiansi 100 – 500 Watt/m². Saat panel surya menerima irradiansi 600-700 Watt/m² beban 1 disuplai dari PLTS, sedangkan beban 2 dan beban 3 disuplai dari PLN. Ketika panel surya menerima irradiansi 800-900 Watt/m² beban 1 dan beban 2 disuplai dari PLTS, sedangkan beban 3 disuplai dari PLN. Pada saat irradiansi 1000 Watt/m² ketiga beban disuplai penuh oleh PLTS.

Kata kunci: PLTS, Irradiansi, Mikrokontroler, Atmega 16

Abstract

The rise of energy consumption is in contrast with the decrease in fuel reserve. Ineffectiveness of sun energy in rain season affects maximum generated energy from solar panel. When the solar power plant cannot fully supply the load, it is supplied from national electric company (PLN) instead. Through this research, utilizing Atmega 16 microcontroller, we designed a device to maximize the use of power output from solar panel when it cannot supply the load. The result is to achieve PLN voltage standard, 600 Watt/m² of minimum irradiation was needed for 1 load with 217,69 VAC, 800 Watt/m² for 2 loads with 217,48 VAC, and 1000 Watt/m² for 3 loads with 217,27 VAC. When the solar panel received 100 – 500 Watt/m² irradiation, all loads were supplied by the PLN. When the solar panel received 600 – 700 Watt/m², the first load was supplied by the solar panel, while the rests were supplied from the PLN. When the solar panel received 800 – 900 Watt/m² irradiation, the first and second loads were supplied by the solar panel, while the last was supplied by the PLN. Reaching 1000 Watt/m², all loads were supplied by the solar panel.

Keywords: solar panel, irradiation, microcontroller. Atmega16)

1. Pendahuluan

Pembangunan pembangkit listrik di Indonesia hingga saat ini masih berfokus pada penggunaan sumber energi tidak terbarukan berbahan bakar fosil seperti batu bara untuk PLTU dan solar untuk PLTD. Berdasar Kebijakan Energi Nasional Indonesia [1] ditargetkan pada tahun 2025 peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% dari total penggunaan energi nasional. Oleh karena itu, membuat banyak orang melirik kepada sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah salah satu pembangkit yang

menggunakan energi baru terbarukan berasal dari energi surya. PLTS ini bekerja dengan cara merubah secara langsung irradiansi matahari menjadi listrik. Kondisi negara Indonesia dengan letak dijalur khatulistiwa membawa manfaat maupun kerugian. Manfaat yang didapat adalah energi matahari dapat bersinar sepanjang musim kemarau, namun pada saat musim hujan mengakibatkan energi matahari tidak dapat bersinar dengan maksimal. Tidak tercapainya energi maksimal yang diterima panel surya menyebabkan daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tidak dapat mensuplai beban secara penuh. Kondisi negara Indonesia dengan letak dijalur khatulistiwa membawa manfaat maupun kerugian.

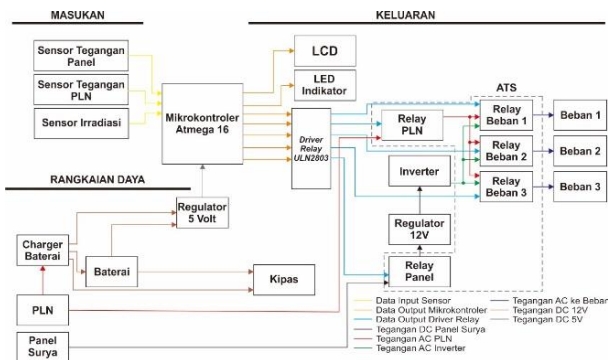
Manfaat yang didapat adalah energi matahari dapat bersinar sepanjang musim kemarau, namun pada saat musim hujan mengakibatkan energi matahari tidak dapat bersinar dengan maksimal sehingga mempengaruhi daya keluaran dari PLTS.

Pada penelitian ini penulis melakukan perancangan pengatur suplai daya listrik pada PLTS hibrid dengan jala-jala PLN untuk memaksimalkan penggunaan daya keluaran PLTS. Pengatur suplai daya listrik ini membagi beban menjadi 3 kelompok beban, sehingga ketika daya yang dihasilkan PLTS tidak dapat mensuplai beban penuh, maka akan dimanfaatkan untuk beban yang lebih rendah. Kekurangan daya pada beban akan di suplai oleh PLN

2. Metode

2.1. Pecancangan Blok Diagram

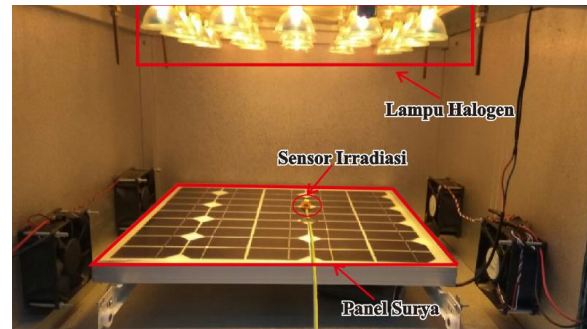
Pengatur suplai daya beban yang dirancang terdiri dari beberapa rangkaian, yaitu: modul surya, *relay*, LCD & LED indikator, *charger*, sensor irradiasi, dan sumber daya dari PLTS dan PLN, rangkaian mikrokontroler, *driver relay*, dan pemodelan PLTS. Gambar 1 merupakan blok diagram secara keseluruhan.



Gambar 1. Blok Diagram Rangkaian Keseluruhan

2.2. Perancangan Modul Surya

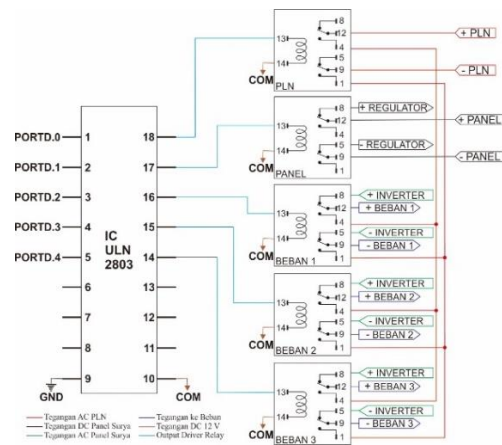
Modul surya yang digunakan untuk pengambilan data terdiri dari satu buah panel surya, lampu halogen, kipas DC, box percobaan, dan regulator AC. Kipas DC sebagai pendingin, regulator AC untuk mengatur irradiasi lampu penyinaran, dan lampu halogen sebagai simulasi matahari karena memiliki spektrum yang hampir sama[4][5].



Gambar 2. Modul tampak dari dalam

2.3. Perancangan Driver Relay

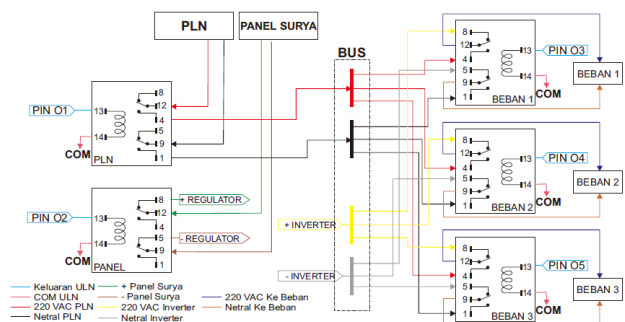
Driver relay digunakan pada penelitian ini karena berfungsi agar mikrokontroler mampu memberikan arus dan tegangan untuk mengaktifkan *relay* 12 VDC. Pembuatan *driver relay* ini menggunakan IC ULN 2803.[6]



Gambar 3. Rangkaian Driver Relay

2.4. Perancangan Konfigurasi Relay

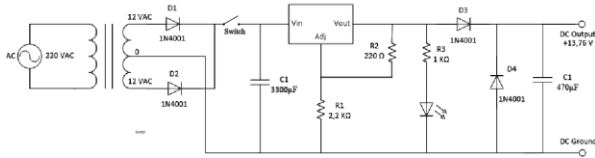
Konfigurasi *relay* ini digunakan untuk menghubungkan dan memutus beban dengan sumber listrik. Pada penelitian ini digunakan 1 buah *relay* untuk panel surya, 1 buah *relay* untuk sumber PLN, dan 3 buah *relay* untuk beban.



Gambar 4. Rangkaian Konfigurasi Relay

2.5. Perancangan Charger Baterai

Untuk membuat rangkaian *charger* pada penelitian ini digunakan IC LM317. LM 317 merupakan *chip* IC Regulator tegangan *variable* untuk tegangan DC positif. Besarnya tegangan keluaran tergantung dari variasi nilai resistor yang digunakan.



Gambar 5. Rangkaian *Charger* menggunakan IC LM317

Dari *datasheet* IC LM317 didapatkan persamaan sebagai berikut [7]

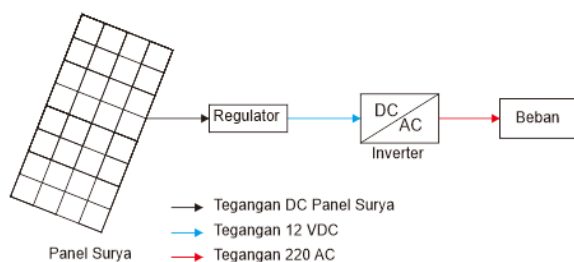
$$V_o = 1,25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2 \quad (1)$$

Dengan mengkombinasikan nilai resistor 220 ohm dan 2,2k ohm dan I_{adj} 46.10-6A yang didapatkan dari *datasheet* maka didapatkan V_{out} sebesar:

$$\begin{aligned} V_o &= 1,25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2 \\ V_o &= 1,25 V \left(1 + \frac{2200}{220} \right) + 4,6 \times 10^{-6} \times 2200 \\ V_o &= 1,25 (1 + 10) + 0,01 \\ V_o &= 13,78 \end{aligned}$$

2.6. Perancangan Pemodelan PLTS

Perancangan pemodelan ini berfungsi untuk mengkonversi tegangan DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi tegangan 220 VAC untuk mensuplai beban

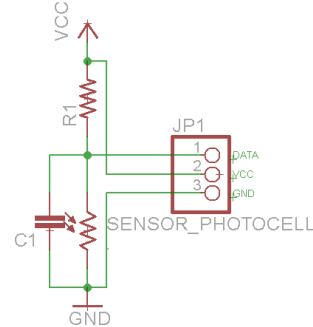


Gambar 6. Blok Diagram PLTS

Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya berupa tegangan yang sifatnya fluktuatif, sehingga harus dimasukan ke regulator (UBEC). Keluaran regulator menjadi tegangan 12 VDC dan dihubungkan ke inverter untuk dikonversi menjadi tegangan 220 VAC. Setelah menjadi tegangan 220 VAC, kemudian dihubungkan dengan beban berupa resistor batu.

2.7. Perancangan Rangkaian Sensor Irradiasi

Sensor irradiasi digunakan untuk mendeteksi besarnya nilai irradiasi. Sensor irradiasi menggunakan *photocell* dengan rangkaian pembagi tegangan menggunakan resistor 470 Ohm, yang didapatkan secara empiris. Gambar rangkaian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian sensor irradiasi

Pembacaan sensor irradiasi pada mikrokontroler yaitu dengan mengubah nilai tegangan analog yang diterima menjadi digital, kemudian data tersebut dirubah menjadi nilai irradiasi dengan menggunakan Persamaan 2 dan 3

Tabel 1. Pembacaan Nilai ADC Pada Sensor Irradiasi.

Nilai Irradiasi Alat Ukur (Watt/m ²)	Nilai ADC			Rata-rata nilai ADC
	1	2	3	
100	63	65	59	62
200	123	118	111	117
300	171	173	174	173
400	231	238	234	234
500	281	271	295	282
600	388	326	327	330
700	397	391	392	393
800	467	423	424	438
900	503	472	471	482
1000	594	471	495	520

Untuk menghitung nilai irradiasi dapat menggunakan Persamaan 2 dan Persamaan 3, dimana X merupakan nilai irradiasi alat ukur, dan Y nilai rata-rata ADC.

Perhitungan 1

Mencari X_{sum} atau jumlah nilai rata-rata ADC

$$X_{sum} = 62 + 117 + 173 + 234 + 282 + 330 + 393 + 438 + 482 + 520$$

$$X_{sum} = 3033$$

Perhitungan 2

Mencari Y_{sum} atau jumlah nilai irradiasi alat ukur

$$Y_{sum} = 100 + 200 + 300 + 400 + 500 + 600 + 700 + 800 + 900 + 1000$$

$$Y_{sum} = 5500$$

Perhitungan 3

Mencari XY_{sum} atau jumlah dari perkalian nilai irradiasi alat ukur dan nilai rata-rata ADC

Tabel 2. Perkalian nilai irradiansi alat ukur dengan nilai rata-rata ADC

Nilai Irradiansi Alat Ukur (Watt/m ²)	Nilai Rata-rata ADC	XY
100	62	6233,33
200	117	23466,66
300	173	51800
400	234	93733,33
500	282	141166,66
600	330	198200
700	393	275333
800	438	350400
900	482	433800
1000	520	520000

*XY = Hasil perkalian nilai irradiansi alat ukur dengan nilai rata-rata ADC

Berdasarkan Tabel 3.3, nilai XY_{sum} dapat diperoleh dengan menjumlahkan hasil perkalian X dan Y.

$$XY_{sum} = 6233,33 + 23466,66 + 51800 + 93733,33 + 141166,66 + 198200 + 275333 + 350400 + 433800 + 520000$$

$$XY_{sum} = 2094133,33$$

Perhitungan 4

Mencari $X_{squaresum}$ atau jumlah dari X^2

$$X_{squaresum} = 3885,44 + 13767,11 + 29813,78 + 54912,11 + 79712,11 + 109120,1 + 154711,1 + 191844 + 232324 + 270400$$

$$X_{squaresum} = 1140489,77$$

Perhitungan 5

Mencari $Y_{squaresum}$ atau jumlah dari Y^2

$$Y_{squaresum} = 10000 + 40000 + 90000 + 160000 + 250000 + 360000 + 490000 + 640000 + 810000 + 1000000$$

$$Y_{squaresum} = 3850000$$

Perhitungan 6

Mencari nilai m atau koefisien regresi menggunakan Persamaan 2

$$m = \frac{(N \times xy_{sum}) - (x_{sum} \times y_{sum})}{(N \times x_{squaresum}) - (x_{sum} \times x_{sum})}$$

$$m = \frac{(10 \times 2094133,33) - (3033 \times 5500)}{(10 \times 1140489,77) - (3033 \times 3033)}$$

$$m = 1,93025069$$

Perhitungan 7

Mencari nilai c atau nilai eror menggunakan Persamaan 3.

$$c = \frac{(x_{squaresum} \times y_{sum}) - (x_{sum} \times xy_{sum})}{(N \times x_{squaresum}) - (x_{sum} \times x_{sum})}$$

$$c = \frac{(1140489,77 \times 5500) - (3033 \times 2094133,33)}{(10 \times 1140489,77) - (3033 \times 3033)}$$

$$c = -7,447 \times 10^{-7}$$

Dari Perhitungan 6 dan 7 dapat diperoleh nilai $m = 1,93025069$ dan nilai $c = -7,447 \times 10^{-7}$, sehingga nilai $Y = 1,93025069x - 7,447 \times 10^{-7}$

2.8. Menentukan Set Point

Untuk menentukan nilai *set point* dapat dilakukan pengambilan data dengan tiga variasi beban dan variasi irradiansi. Tegangan pada beban harus sesuai standar PLN sebesar 220 VAC +5% dan -10%[9].

2.8.1. Menentukan Set Point 1

Pada *set point 1* menentukan nilai minimal irradiansi untuk mensuplai 1 beban.

Tabel 3. Data percobaan variasi irradiansi dengan 1 beban

Irradiansi (Watt/m ²)	Tegangan (V)
100	23,35
200	60,47
300	95,12
400	107,25
500	136,51
600	217,69
700	217,69
800	217,69
900	217,7
1000	217,7

Berdasarkan standar tegangan PLN sebesar 220 VAC +5% dan -10%[9], maka nilai *set point* untuk satu beban didapatkan pada irradiansi 600 Watt/m² dengan nilai tegangan 217,69 V

2.8.2. Menentukan Set Point 2

Pada *set point 2* menentukan nilai minimal irradiansi untuk mensuplai 2 beban.

Tabel 4. Data percobaan variasi irradiansi dengan 2 beban

Irradiansi (Watt/m ²)	Tegangan (V)
100	0,4
200	40,1
300	52,3
400	67,8
500	79,89
600	90,3
700	184,47
800	217,48
900	217,48
1000	217,48

Berdasarkan standar tegangan PLN sebesar 220 VAC +5% dan -10%[9], maka nilai *set point* untuk dua beban didapatkan pada irradiansi 800 Watt/m² dengan nilai tegangan 217,48 V

2.8.3. Menentukan Set Point 2

Set point 3 menentukan nilai minimal irradiansi untuk mensuplai 3 beban.

Berdasarkan standar tegangan PLN sebesar 220 VAC +5% dan -10%[9], maka nilai *set point* untuk tiga beban

didapatkan pada irradiansi 1000 Watt/m² dengan nilai tegangan 217,27 V.

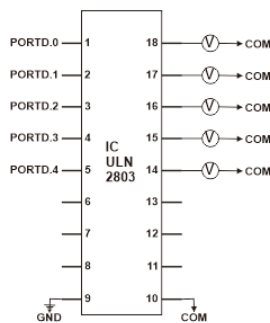
Tabel 5. Data percobaan variasi irradiansi dengan 3 beban

Irradiansi (Watt/m ²)	Tegangan (V)
100	0,37
200	29,2
300	40,2
400	49,5
500	57,4
600	64,7
700	83,48
800	93,18
900	181,14
1000	217,27

3. Hasil Dan Analisa

3.1. Pengujian Driver Relay

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dari rangkaian *driver relay* dan apakah layak digunakan sebagai suplai *relay*. Gambar 7 adalah rangkaian pengujian tegangan keluaran *driver relay* suplai DC untuk *relay*.



Gambar 7. Rangkaian pengujian tegangan keluaran *driver relay*



Gambar 8. Hasil pengujian tegangan keluaran *driver relay*

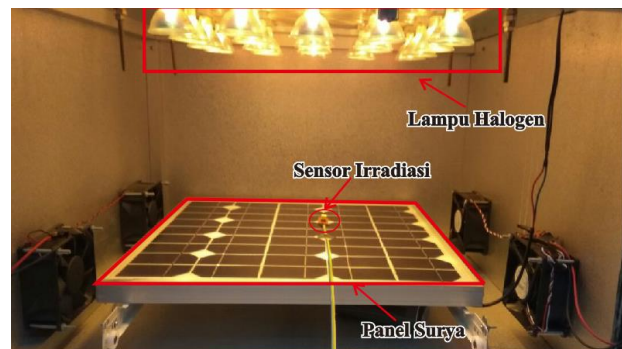
Tegangan keluaran hasil pengujian sesuai dengan rangkaian pada Gambar 7 ditunjukkan pada Gambar 8 dengan menggunakan multimeter digital SANWA PC5000.

Keluaran tegangan pada Gambar 8 menunjukkan nilai tegangan sebesar 11,75V. Nilai tegangan terukur sudah sesuai dengan tegangan suplai yang tertera pada *datasheet*

sebagai suplai *relay*. Nilai tegangan yang dapat digunakan untuk mensuplai *relay* ini berada pada nilai 10,8 V-13.8 V[7].

3.2. Pengujian Sensor Irradiansi

Pengujian sensor irradiansi dilakukan dengan mengukur irradiansi yang dihasilkan oleh lampu halogen dengan alat ukur *irradiance meter* kemudian mengukur irradiansi tersebut dengan sensor irradiansi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sensor irradiansi yang telah dibuat. Pengujian sensor irradiansi ditunjukkan pada Gambar 9.



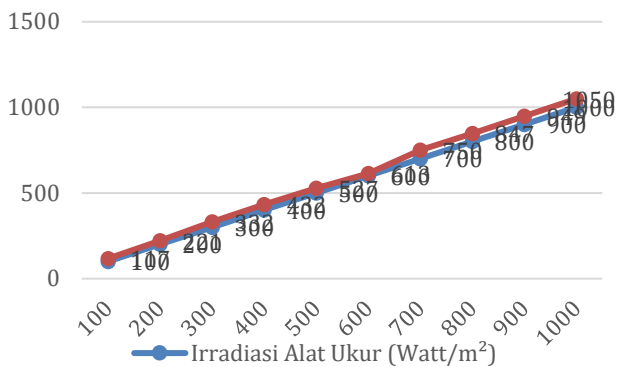
Gambar 9. Pengujian sensor irradiansi

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai irradiansi pada alat ukur dengan nilai irradiansi yang ditampilkan mikrokontroler yang kemudian akan mendapatkan *error* dari nilai selisih pembacaan. Pengujian sensor irradiansi dilakukan dengan 10 variasi irradiansi. Skala pengukuran berada diantara 0 Watt/m² sampai maksimum 1000 Watt/m². Jadi *error* yang didapatkan merupakan selisih antara irradiansi pada alat ukur *irradiance meter* dengan nilai irradiansi yang diukur dengan sensor irradiansi kemudian dikali 100%. Data dari hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6. Hasil Pengujian irradiansi alat ukur dengan sensor

Irradiansi Alat Ukur (Watt/m ²)	Irradiansi Sensor (Watt/m ²)
100	117
200	221
300	332
400	432
500	527
600	613
700	750
800	847
900	949
1000	1050

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan grafik perbandingan nilai irradiansi alat ukur dan nilai irradiansi sensor sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik perbandingan nilai irradiansi alat ukur dan sensor

Berdasarkan grafik pada Gambar 10 didapatkan *error* rata-rata pembacaan sensor irradiansi sebesar 6%. Hal ini disebabkan karena nilai dari sensor irradiansi terdiri dari resistor yang memiliki toleransi dari nilai yang tertera pada gelang resistor tersebut sebesar 5% dan pembulatan perhitungan. Perhitungan pembulatan nilai konstanta dan nilai konversi analog ke digital pada mikrokontroler yang kurang presisi menyebabkan semakin besar nilai tegangan pengukuran maka nilai pembacaan sensor semakin besar selisihnya

3.3. Pengujian Output Charger Baterai

Rangkaian *charger* baterai berfungsi untuk menjaga kapasitas baterai agar tetap terisi sampai dibutuhkannya aki untuk memberikan suplai ke sistem.



Gambar 11. Pengujian Rangkaian *Charger* baterai saat terhubung dengan beban.

Dari hasil pengukuran *charger* baterai terhubung dengan beban baterai didapatkan tegangan keluaran sebesar 13,11 VDC. Nilai tersebut masih dalam batas toleransi, karena pada saat dilakukan pengukuran baterai dalam kondisi sudah terpakai. Ketika baterai sudah mulai terisi kembali maka tegangan baterai akan naik kembali menjadi 13,80VDC[7]

3.4. Pengujian Pemodelan PLTS

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian dengan beban, dimana yang akan diukur adalah nilai tegangan *short*

circuit (V_{sc}) pada *output* inverter, dan nilai irradiansi yang masuk ke panel surya. Kemudian pengujian kedua yang diukur adalah arus *short circuit* (I_{sc}) pada *output* inverter, dan nilai irradiansi yang masuk ke panel surya. Hasil perkalian (V_{sc}) dan (I_{sc}) disebut daya maksimal (P_m). Daya maksimum yaitu daya maksimal yang dapat dikeluarkan oleh panel surya setelah melalui inverter dalam kondisi irradiansi tertentu. Pengukuran menggunakan multimeter digital SANWA PC5000, dengan variasi 1 beban, 2 Beban, dan 3 beban. Pengukuran data tegangan dan arus dilakukan pada nilai irradiansi 100-1000Watt/m², dengan selisih 100Watt/m² setiap kenaikannya.

3.4.1. Pengujian Dengan Irradiansi 100-1000 Watt/m² 1 Beban

Pengujian dengan kondisi 1 beban dilakukan pengukuran tegangan dan arus dengan variasi irradiansi dari 100Watt/m² sampai 1000Watt/m². Data dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian dengan irradiansi 100Watt/m² sampai 1000Watt/m² dengan 1 beban

Irradiansi (Watt/m ²)	Tegangan Inverter (V)	Arus Inverter (mA)	Daya Keluaran Inverter (W)
100	23,35	0,302	0,007
200	60,47	1,02	0,062
300	95,12	1,43	0,136
400	107,25	1,79	0,192
500	136,51	2,21	0,302
600	217,69	3,67	0,799
700	217,69	3,67	0,799
800	217,69	3,67	0,799
900	217,7	3,67	0,799
1000	217,7	3,67	0,799

Nilai irradiansi 100 Watt/m² sampai 500 Watt/m² tegangan keluaran dari inverter masih belum sesuai standar dari PLN sebesar 230VAC +5% -10%. Hal tersebut dikarenakan nilai tegangan DC yang masuk ke inverter belum mencapai standar minimal pada inverter sebesar 12V. Pada nilai irradiansi 600 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² keluaran tegangan dari panel surya sudah lebih dari sama dengan 12VDC, dengan dibuktikan tegangan rata-rata keluaran inverter sebesar 217,69 VAC sesuai dengan spesifikasi inverter dan standar PLN.

Nilai irradiansi 100 Watt/m² sampai 600 Watt/m² terjadi kenaikan arus yang dikarenakan tegangan pada keluaran inverter masih naik. Sedangkan pada nilai irradiansi 600 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² tegangan pada keluaran inverter sudah konstan, sehingga arusnya juga sudah konstan sebesar 3,67 mA dengan beban resistor 60K Ohm. Pada nilai irradiansi 100 Watt/m² sampai 600 Watt/m², daya keluaran pada inverter naik dari 0,007 Watt sampai 0,799 Watt yang dipengaruhi oleh kenaikan tegangan dan arus pada inverter. Sedangkan pada nilai irradiansi 600 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² sudah konstan sebesar 0,799 Watt. Hal tersebut karena tegangan dan arus pada inverter sudah stabil. Sehingga didapatkan daya sebesar 0,799 Watt pada beban resistor 60K Ohm.

3.4.2. Pengujian Dengan Irradiasi 100-1000 Watt/m² 2 Beban

Pengujian dengan kondisi 2 beban, dilakukan pengukuran tegangan dan arus dengan variasi irradiasi dari 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m². Data dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengujian dengan irradiasi 100Watt/m² sampai 1000Watt/m² dengan 2 beban.

Irradiasi (Watt/m ²)	Tegangan Inverter (V)	Arus Inverter (mA)	Daya Keluaran Inverter (W)
100	0,4	0,02	0,000
200	40,1	1,26	0,051
300	52,3	1,73	0,090
400	67,8	2,12	0,144
500	79,89	2,53	0,202
600	90,3	2,85	0,257
700	184,47	6,22	1,147
800	217,48	7,34	1,596
900	217,48	7,34	1,596
1000	217,48	7,34	1,596

Pada Tabel 8 didapatkan bahwa tegangan keluaran inverter dengan nilai irradiasi 100 Watt/m² sampai 800 Watt/m² mengalami kenaikan. Hal tersebut dikarenakan tegangan *input* pada inverter mengalami kenaikan. Pada nilai irradiasi 800 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² tegangan sudah konstan dengan rata-rata 217,48 VAC sesuai spesifikasi inverter dan standar PLN, karena tegangan pada *input* inverter sudah konstan.

Kenaikan arus pada inverter terjadi sebesar 0,02 mA sampai 7,34 mA. Hal tersebut dikarenakan adanya kenaikan pada tegangan keluaran inverter. Sedangkan pada irradiasi 800 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² nilai arus sudah konstan sebesar 7,34 mA dengan beban resistor 30K Ohm. Hal tersebut dikarenakan nilai tegangan pada inverter sudah konstan.

Pada Tabel 8, nilai irradiasi 100 Watt/m² sampai 800 Watt/m² terdapat kenaikan arus yang disebabkan karena adanya kenaikan pada tegangan dan arus keluaran inverter. Sedangkan pada nilai irradiasi 800 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² nilai daya sudah konstan sebesar 1,596 Watt dengan beban resistor 30K Ohm yang dikarenakan nilai tegangan dan arus pada inverter sudah konstan. Hal tersebut sudah sesuai teori dimana daya berbanding lurus dengan arus dan tegangan

3.4.2. Pengujian Dengan Irradiasi 100-1000 Watt/m² 3 Beban

Pengujian dengan kondisi 3 beban, dilakukan pengukuran tegangan dan arus dengan variasi irradiasi dari 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m². Data dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengujian dengan irradiasi 100Watt/m² sampai 1000Watt/m² dengan 3 beban.

Irradiasi (Watt/m ²)	Tegangan Inverter (V)	Arus Inverter (mA)	Daya Keluaran Inverter (W)
100	0,37	0,017	0,000
200	29,2	1,41	0,041
300	40,2	1,9	0,076
400	49,5	2,38	0,118
500	57,4	2,73	0,157
600	64,7	3,27	0,212
700	83,48	4,03	0,336
800	93,18	4,42	0,412
900	181,14	9,15	1,657
1000	217,27	10,99	2,388

Pada gambar Tabel 9 didapatkan kenaikan tegangan keluaran inverter pada nilai irradiasi 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m². Hal tersebut dikarenakan adanya kenaikan pada tegangan input inverter. Pada nilai irradiasi 100 Watt/m² sampai 900 Watt/m² nilai tegangan keluaran inverter masih belum sesuai dengan spesifikasi inverter dan standar PLN sebesar 230VAC +5% dan -10% yang dikarenakan tegangan *input* pada inverter masih belum sesuai dengan tegangan minimal inverter. Sedangkan pada nilai irradiasi 1000 Watt/m², nilai tegangan sudah sesuai dengan standar PLN sebesar 217,27 VAC.

Terdapat kenaikan nilai arus dari 0,017 mA sampai 10,99 mA pada irradiasi 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m². Hal ini dikarenakan adanya kenaikan nilai tegangan pada keluaran inverter. Kenaikan ini sudah sesuai dengan teori dimana dengan beban yang sama, maka nilai arus berbanding lurus dengan tegangan.

Pada Tabel 9 terdapat kenaikan daya pada nilai irradiasi 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m². Hal ini dikarenakan adanya kenaikan pada nilai arus dan tegangan keluaran inverter. Pada irradiasi 1000 Watt/m², panel surya dapat mensuplai beban resistor 20K Ohm yang membutuhkan daya sebesar 2,36 Watt.

3.5. Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian alat keseluruhan pada perancangan pengatur suplai daya beban menggunakan atmega 16 dilakukan dengan 3 variasi, yaitu : pengujian dengan sumber dari PLN, pengujian dengan sumber dari panel surya, dan pengujian dengan sumber panel surya dan PLN.

3.5.1. Pengujian Dengan Sumber PLTS

Pengujian sumber panel surya ini dilakukan untuk menguji respon pensaklaran dengan variasi irradiasi 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² dengan ketiga beban, dengan masing beban sebesar 60K Ohm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pada irradiasi berapa panel surya mampu mensuplai beban. Suplai daya dari PLN dianggap tidak ada.

Tabel 10. Pengujian alat dengan sumber dari panel surya

Irradiasi (Watt/m ²)	Tegangan AC (V)			Sumber		
	Beban 1	Beban 2	Beban 3	Beban 1	Beban 2	Beban 3
100	0	0	0	OFF	OFF	OFF
200	0	0	0	OFF	OFF	OFF
300	0	0	0	OFF	OFF	OFF
400	0	0	0	OFF	OFF	OFF
500	0	0	0	OFF	OFF	OFF
600	217,63	0	0	PLTS	OFF	OFF
700	217,67	0	0	PLTS	OFF	OFF
800	217,30	217,32	0	PLTS	PLTS	OFF
900	217,34	217,35	0	PLTS	PLTS	OFF
1000	217,15	217,15	217,15	PLTS	PLTS	PLTS

Berdasarkan Tabel 10 didapatkan pada irradiansi 100 Watt/m² sampai 500 Watt/m² ketiga beban dalam posisi OFF, karena PLTS belum bisa mensuplai beban. Hal ini dapat dibuktikan dengan tidak adanya tegangan yang masuk pada beban. Pada irradiansi 600 Watt/m² sampai 700 Watt/m² PLTS hanya dapat mensuplai beban 1 dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 1 sebesar 217,63 VAC, dan beban 2,3 tidak dapat disuplai dari PLTS. Pada irradiansi 800 Watt/m² sampai 900 Watt/m² PLTS dapat mensuplai beban 1 dan beban 2 dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 1 dan beban 2 sebesar 217,34 VAC dan 217,35 VAC. Sedangkan pada beban 3 tidak dapat disuplai oleh PLTS. Pada irradiansi 1000 Watt/m² panel surya dapat mensuplai ketiga beban dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 1 sebesar 217,15 VAC, beban 2 sebesar 217,15 VAC, dan beban 3 sebesar 217,15VAC. Tegangan tersebut masih dalam batas toleransi sesuai standar PLN sebesar 230 VAC +5% dan -10%.

3.5.2. Pengujian Dengan Sumber PLN

Pengujian dengan sumber dari PLN bertujuan untuk mengetahui respon pensaklaran pada alat dan kemampuan sumber dari PLN untuk mensuplai beban. Pada percobaan ini sumber dari panel surya dianggap tidak ada

Tabel 11 Pengujian alat dengan sumber dari PLN

Irradiasi (Watt/m ²)	Tegangan AC (V)			Sumber		
	Beban 1	Beban 2	Beban 3	Beban 1	Beban 2	Beban 3
100	233,73	233,73	233,73	PLN	PLN	PLN

Berdasarkan Tabel 11, sumber dari PLN dapat mensuplai ketiga beban dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 1 sebesar 233,73 VAC, beban 2 sebesar 233,73 VAC, dan beban 3 sebesar 233,73 VAC. Tegangan tersebut sudah sesuai dengan standar dari PLN sebesar 230 VAC +5% dan -10%.

3.5.3. Pengujian Dengan Sumber PLTS Dan PLN

Pada pengujian ini dilakukan untuk menguji respon pensaklaran pada alat dengan sumber dari PLTS dan PLN,

dimana beban dipertahankan selalu mendapatkan sumber baik dari panel surya maupun dari PLN. Pengujian ini dilakukan variasi irradiansi 100 Watt/m² sampai 1000 Watt/m² dengan kelipatan 100 Watt/m².

Tabel 12. Pengujian alat dengan sumber dari PLTS dan PLN

Irradiasi (Watt/m ²)	Tegangan AC (V)			Sumber		
	Beban 1	Beban 2	Beban 3	Beban 1	Beban 2	Beban 3
100	233,73	233,73	233,73	PLN	PLN	PLN
200	233,71	233,72	233,71	PLN	PLN	PLN
300	233,72	233,73	233,70	PLN	PLN	PLN
400	233,69	233,72	233,70	PLN	PLN	PLN
500	233,73	233,71	233,71	PLN	PLN	PLN
600	217,63	233,69	233,71	PLTS	PLN	PLN
700	217,67	233,73	233,70	PLTS	PLN	PLN
800	217,30	217,32	233,72	PLTS	PLTS	PLN
900	217,34	217,35	233,69	PLTS	PLTS	PLN
1000	217,15	217,15	217,15	PLTS	PLTS	PLTS

Berdasarkan pada Tabel 12 didapatkan pada irradiansi 100 Watt/m² sampai 500 Watt/m², ketiga beban mendapatkan suplai dari PLN dengan dibuktikan tegangan rata-rata yang mengalir pada ketiga beban sebesar 233,71 VAC.

Pada irradiansi 600 Watt/m² sampai 700 Watt/m² beban 1 disuplai oleh PLTS dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 1 sebesar 217,67 VAC, dan beban 2,3 disuplai oleh PLN dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 2 rata-rata sebesar 233,71 VAC dan tegangan rata-rata yang mengalir pada beban 3 sebesar 233,71 VAC.

Pada irradiansi 800 Watt/m² sampai 900 Watt/m² beban 1,2 mendapatkan suplai dari PLTS dengan dibuktikan tegangan rata-rata yang mengalir pada beban 1 sebesar 217,32 VAC dan pada beban 2 sebesar 217,33 VAC. Sedangkan pada beban 3 disuplai oleh PLN dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 3 sebesar 233,71 VAC.

Pada irradiansi 1000 Watt/m² ketiga beban mendapatkan suplai dari PLTS dengan dibuktikan tegangan yang mengalir pada beban 1 sebesar 217,15 VAC, beban 2 sebesar 217,15 VAC, dan beban 3 sebesar 217,15 VAC. Tegangan tersebut sudah sesuai dengan standar dari PLN sebesar 230 VAC +5% dan -10%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian keseluruhan sistem maka dapat disimpulkan bahwa perancangan pengatur suplai daya beban listrik telah berhasil dilakukan. Sistem dapat berjalan sesuai dengan perancangan yang sudah ditetapkan. Pada irradiansi 0 Watt/m² sampai 500 Watt/m², ketiga beban mendapatkan suplai daya dari PLN. Ketika irradiansi 600 Watt/m² sampai 700 Watt/m² 1 beban mendapat suplai daya dari PLTS, dan 2 beban mendapatkan suplai dari PLN. Pada irradiansi 800 Watt/m² sampai 900 Watt/m², 2

beban mendapatkan suplai daya dari PLTS dan 1 beban mendapatkan suplai daya dari PLN. Pada nilai irradiasi 1000 Watt/m², ketiga beban dapat disuplai dari PLTS. Penelitian dapat dikembagnkan dengan menambahkan sensor arus, tegangan, dan frekuensi pada beban.

Referensi

- [1]. K. ESDM, "Power Plant Installed Capacity," in *Handbook of Energy and Economics of Indonesia*, Jakarta, Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam Republik Indonesia, 2015
- [2]. P. R. Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 tentang Kebijakan Energi Nasional*, Jakarta, 2014.
- [3]. Roest., Maria, Stefanus Johannes., *International Patent Clasification*, TU Delft, Amsterdam, 2012.
- [4]. *N 1:1995 Tegangan Standar*. Jakarta: PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero), 1995.
- [5]. Karina., Satwiko., *Studi Karakteristik Arus-Tegangan (kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya*, UNJ, Jakarta, 2012.
- [6]. Texas Instrument, "ULN2803A Darlington Transistor Arrays", *Datasheet ULN2803*, 2017
- [7]. On semiconductor, "Adjustable Output, Positive Voltage Regulator", *datasheet LM317*
- [8]. Omron, 'General Purpose Relay.' *datasheet Omron LY Relay*
- [9]. *SPLN 1:1995 Tegangan Standar*. Jakarta: PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero), 1995.