

SISTEM KONTROL PENCATUAN DAYA PADA BEBAN LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK ANTARA SISTEM SOLAR CELL DAN JARING PLN SATU FASA

Ahmad Syamsul Hidayah¹, Akhmad Musafa²

1. Teknik Elektro, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia
Inter5y4m@gmail.com
2. Teknik Elektro, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia
akhmad.musafa@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Dalam Tugas Akhir ini telah dirancang sistem pencatuan daya arus listrik bolak-balik antara sistem solar cell dan jaring PLN satu fasa. Sistem yang dirancang terdiri dari 2 unit solar cell kapasitas 50 wp yang terhubung paralel, 1 unit buck boost converter, 1 unit inverter 300 watt, 1 unit papan kontroler Arduino MEGA 2560, 3 unit sensor tegangan, 2 unit sensor arus, 1 unit relay 4 channel, 1 unit sd card adaptor, 1 unit charge controller dan 1 unit battery. Cara kerja dari sistem ini adalah rangkaian solarcell menghasil tegangan dan arus yang terhubung dengan input DC-DC converter akan dideteksi oleh sensor tegangan dan sensor arus, sebagai input sinyal analog ke papan kontroler arduino mega 2560. Dimana algoritma mppt P&O didalam papan kontroler arduino mega 2560 akan menghasilkan sinyal output berupa duty cycle PWM untuk mengontrol output dari DC-DC converter. Output DC-DC converter yang terhubung dengan inverter untuk diubah menjadi tegangan AC, akan dideteksi kembali oleh sensor tegangan dan sensor arus sebagai input sinyal analog ke papan kontroler arduino mega 2560. Dimana algoritma switching didalam papan kontroler arduino mega 2560 akan menghasilkan sinyal HIGH atau LOW sebagai input dari rangkaian relay. Rangkaian relay akan menswitching tegangan dan arus dari DC-DC converter atau battery ke inverter atau dari sumber pln 220 volt ke beban. Hasil daya keluaran pada DC-DC converter dengan efisiensi rata-rata sebesar 44,20%. Sistem solar cell yang menggunakan sumber dari 2 unit solar cell 50wp dirangkai paralel dengan backup battery 12 volt 50Ah dengan beban 96 watt dari 4 unit lampu 24 watt dapat mensupply beban selama 40 menit dalam kurun waktu 1 jam dengan daya keluaran rata-rata dari solar cell sebesar 9,48 watt.

Kata kunci— solar cell, MPPT, P&O, DC-DC converter, modul relay 4 channel

ABSTRACT

In this Final Project, a system of alternating electric current power is designed between a solar cell system and a single phase PLN net. The system designed consists of 2 units of 50 wp solar cell capacity that are connected parallel, 1 unit buck boost converter, 1 unit 300 watt inverter, 1 unit Arduino MEGA 2560 controller board, 3 voltage sensor units, 2 current sensor units, 1 relay unit 4 channels, 1 unit up to an adapter card, 1 unit charge controller and 1 unit battery. The working method of this system is that the solarcell circuit generates voltage and current connected to the DC-DC converter input will be detected by a voltage sensor and current sensor, as analog signal input to the Arduino Mega 2560 controller board. Where is the P&O MPPT algorithm on the Arduino Mega 2560 controller board will produce an output signal in the form of a PWM duty cycle to control the output of the DC-DC converter. The DC-DC converter output connected to the inverter to be converted into AC voltage, will be re-detected by the voltage sensor and current sensor as analog signal input to the Arduino Mega 2560 controller board. Where the switching algorithm in the Arduino Mega 2560 controller board will produce HIGH or LOW as input from relay circuit. The relay circuit will switch the voltage and current from the DC-DC converter or battery to the inverter or from the pln source 220 volts to the load. The output power in the DC-DC converter with an average efficiency of 44.20%. The solar cell system that uses a source of 2 50wp solar cell units is arranged in parallel with a 12 volt 50Ah backup battery with a 96 watt load from 4 24 watt lamp units can supply a load for 40 minutes in 1 hour with the average output power of the solar cell at 9.48 watts.

Keywords— Data Transmission Management, Minimum Area, Optimal Area, Solar Cell Monitoring, Quality of Service.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan saat ini sangat diperlukan untuk menjaga kebutuhan akan energi listrik yang semakin hari semakin bertambah setiap tahunnya. Energi matahari memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik yaitu dengan mengembangkan sel surya *photovoltaic* menjadi pembangkit listrik tenaga surya.

Namun dalam pengaplikasiannya panel surya tidak dapat digunakan selama sehari penuh karena sumber energi matahari hanya tersedia pada siang hari, maka karena itu tetap dibutuhkan sumber dari PLN untuk *memback up* energi agar dapat *mensupply* energi listrik secara terus-menerus. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem *switch* otomatis yang dapat mengatur sumber yang digunakan dengan kondisi tertentu.

Ada beberapa rekayasa ilmiah yang sudah dirancang seperti pada paper [1], dibahas tentang Rancangan sistem kelistrikan PLTS *on Grid* 1500 watt dengan *back up battery* di Desa Timampu Kecamatan Towuti. Desain sistem terdiri dari *photovoltaic* (PV) atau sel surya yang digunakan berjumlah 6 buah dengan kapasitas masing-masing 250 WP, *solar charge controller* yang digunakan adalah *controller* yang menggunakan teknologi MPPT yang efisien dalam pengisian *Battery*, dan KWH meter jenis piringan yang dapat bergerak atau berputar ke kiri dan ke kanan atau maju dan mundur. Hasil yang di peroleh dari percobaan ini KWH meter berputar berlawanan arah saat *solar cell* *memback up* beban.

Pada Paper [2] dibahas tentang Konsep pengaturan aliran daya untuk PLTS tersambung ke sistem *grid* pada rumah tinggal. Pengontrolan dilakukan agar akumulasi energi yang diserap dari *grid* dalam rentang waktu tertentu adalah nol. Rancangan sistem pemodelan sistem PLTS tersambung *grid* menggunakan *simulink matlab*. Blok model sistem PLTS berdasarkan persamaan terkait rangkaian ekuivalen sel surya. Modul sel surya yang dimodelkan adalah tipe SHARP ND T060M1. Modul ini dapat untuk berdiri sendiri dan cocok untuk disambung dengan *grid*. Pemodelan modul sel surya dalam *simulink* dengan menggunakan *toolbox* dan *math operation* dalam matlab, dengan penerapan konsep ini kita hanya mengeluarkan biaya investasi dari sistem PLTS tanpa *battery* dan biaya sewa jaringan di sistem rumah tinggal dengan PLTS.

Pada paper [3], dibahas tentang Analisis desain sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya kapasitas 50 WP. Dengan tujuan penelitian untuk menghitung karakteristik pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan *Solar cell* 50 WP dan menghitung daya maksimal yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya yang dihasilkan. Hasil pengujian modul surya (*photovoltaic*) terlihat bahwa hasil daya keluaran rata-rata mencapai 38,24 Watt dan arus yang didapatkan sebesar 2,49 Ampere.

Pada paper [4], dibahas tentang Rancang Bangun Prototipe Pengatur *Supply* Daya Beban Listrik Rumah Cerdas untuk Meningkatkan kehandalan Listrik. *Relay switching* akan bekerja apabila masukan sesuai dengan parameter yang di program pada PLC. Saat sumber energi dari panel surya mencukupi syarat untuk *disupply* ke beban maka kondisi *switch* panel surya akan ON dan saat energi yang dihasilkan tidak mampu untuk *disupply* ke beban rumah tangga maka *switch* panel surya akan OFF. Sedangkan sumber dari PLN digunakan selama tidak ada pemadaman (PLN ON), jika terjadi pemadaman maka *supply* energi dari PLN akan OFF (PLN OFF). Hasil dari data yang diperoleh prototipe bekerja secara otomatis penyuplaian energi ke beban.

Pada paper [5], dibahas tentang Perancangan *rooftop off grid* solar panel pada rumah tinggal sebagai alternatif sumber energi listrik. Sistem PLTS terpusat disebut juga *Stand Alone PV System* yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic* module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan.

Berdasarkan sumber jurnal yang diatas, maka dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem kontrol pencatuan Daya pada beban listrik arus bolak-balik antara sistem *solar cell* dan Jaring PLN satu fasa. Alasan memilih judul ini karena untuk mengurangi ketergantungan sumber energi yang berasal dari PLN. Hal yang diangkat pada penulisan tugas akhir ini, sistem kontrol yang berbasis papan kontroler Arduino Mega 2560 yang bekerja mengendalikan dua sumber energi secara bersamaan untuk membaca kondisi keadaan tegangan yang dibutuhkan dan mengatur secara otomatis sumber mana yang akan disalurkan ke beban.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Solar cell

Solar cell atau *photovoltaic* adalah suatu alat yang dapat mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik. Pada umumnya, *solar cell* dikemas dan disusun secara seri ataupun paralel dalam bentuk panel yang disebut dengan solar panel. *Solar cell* dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Efek ini merupakan suatu fenomena munculnya tegangan listrik yang dikarenakan adanya kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya.

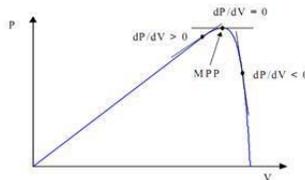
B. DC-DC Converter

DC-DC converter merupakan alat konverter yang mengubah tegangan DC tertentu ke tegangan DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Secara umum terdapat 3 jenis rangkaian dasar *DC-DC converter*, yaitu *buck*, *boost*, dan *buck-boost*. Masing-masing *converter* tersebut memiliki fungsi

yang berbeda-beda. *Buck converter* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan, *boost converter* akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan masukan, dan *buck boost converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi ataupun lebih rendah dari tegangan masukan.

C. MPPT

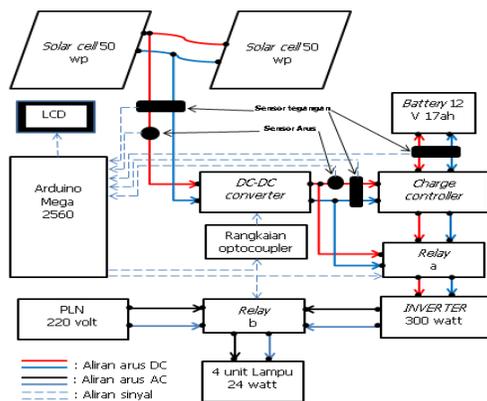
Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah suatu metode untuk melacak daya maksimum dari sebuah sistem. MPPT pada umumnya terbuat dari rangkaian elektronik berupa *DC-DC converter* yang dioperasikan pada solar panel sehingga solar panel dapat menghasilkan daya maksimum. Penggunaan MPPT pada solar panel dikarenakan sistem MPPT dapat menelusuri titik daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh solar panel. Prinsip kerja dari MPPT adalah dengan cara menaikkan dan menurunkan tegangan kerja dari *converter* dengan cara mengatur *duty cycle* pada *converter*. Perubahan tersebut akan mempengaruhi perubahan daya pada sistem.



Gambar1 Kurva MPP

III. METODELOGI PENELITIAN

A. Diagram blok sistem

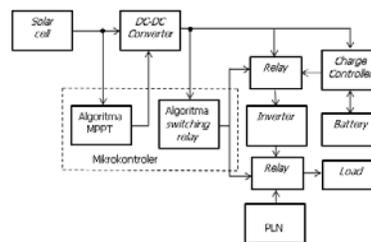


Gambar2 Diagram Blok Sistem

Komponen penyusun pada sistem pencatutan daya antara sistem solar cell dengan PLN sebagai berikut:

1. Sel surya: berfungsi mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Dengan maksimum daya yang dihasilkan 100 watt.
2. Kontroller: Sistem minimum berbasis mikrokontroller digunakan sebagai pusat kendali dari sistem switcing relay dan sistem MPPT dengan algoritma *P&O* Dalam tugas akhir ini menggunakan arduino mega sebagai sistem mikrokontroller yang digunakan.
3. DC-DC *converter*: Berfungsi sebagai pengendali tegangan keluaran, dengan memberikan sinyal PWM untuk menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan.
4. Sensor Tegangan: Berfungsi membaca tegangan sumber dari sel surya dan DC-DC *converter* dengan mengubah skala tegangan menjadi lebih kecil yaitu 0-5 Volt DC yang mampu dibaca oleh mikrokontroller sebagai nilai *analog*.
5. Sensor Arus: Berfungsi untuk membaca nilai arus dari keluaran sel surya dan DC-DC *converter*, dengan mengubah hasil pembacaan dari sensor berupa nilai tegangan menjadi nilai arus.
6. *Relay*: Berfungsi untuk *switching* sumber listrik dari *inverter* dan sumber listrik dari PLN ke beban 220 volt berdasarkan sinyal *input* dari mikrokontroller.
7. *Inverter*: Mengubah tegangan DC menjadi Tegangan AC.
8. *Charge Controller*: digunakan untuk mengatur arus listrik searah yang diisi ke baterai, diatur agar saat pengisian tidak terjadi *over charge*.
9. SD Card Reader: Menyimpan data hasil pembacaan dari sistem keseluruhan.
10. LCD: Menampilkan data nilai pengukuran aktual untuk ditampilkan di LCD MPPT controller.
11. *Battery*: Untuk menyimpan untuk menyimpan energi listrik Vdc dalam bentuk energi kimia.

B. Prinsip Kerja Sistem



Gambar3 Diagram blok sistem kontrol tegangan keluaran DC-DC converter dan switcing

Rangkaian *solarcell* menghasilkan tegangan dan arus yang terhubung dengan *input DC-DC converter* akan dideteksi oleh sensor tegangan dan sensor arus, sebagai *input* sinyal *analog* ke papan kontroler arduino mega 2560. Dimana algoritma mppt didalam papan kontroler arduino mega 2560 akan menghasilkan sinyal *output* berupa *duty cycle* PWM untuk mengontrol *output* dari DC-DC

converter. Output DC-DC converter yang terhubung dengan inverter untuk diubah menjadi tegangan AC, akan di deteksi kembali oleh sensor tegangan dan sensor arus sebagai input sinyal analog ke papan kontroler arduino mega 2560. Dimana algoritma switching didalam papan kontroler arduino mega 2560 akan menghasilkan sinyal HIGH atau LOW sebagai input dari rangkaian relay. Rangkaian relay akan men-switching tegangan dan arus dari DC-DC converter atau battery ke inverter atau dari sumber pln 220 volt ke beban.

C. Rangkaian Solar cell

Rancangan sistem hanya menggunakan 2 unit solar cell dirangkai paralel berkapasitas 50 wp yang menghasilkan tegangan dan arus tidak terlalu besar.



Gambar4 Spesifikasi Solar cell

Dengan dirangkai secara paralel maka arus dua buah solar cell dijumlahkan dan tegangannya tetap.

$$V_{mp} = 18,1 V$$

$$I_{mp} = 2,93 A$$

$$P_m = V_{mp} \times I_{mp} \\ = 18,1 \text{ Volt} \times 2,93 \text{ Ampere} = 53 W$$

Besar tegangan, arus dan daya pada rangkaian solar cell paralel sebagai berikut :

$$V_{mp}(\text{paralel}) = 18,1 V$$

$$I_{mp}(\text{paralel}) = 2,93 A \times 2 = 5,86 A$$

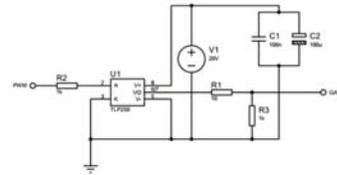
$$P_m(\text{paralel}) = V_{mp}(\text{paralel}) \times I_{mp}(\text{paralel}) \\ = 18,1 V \times 5,86 A = 106,066 W$$

Dari hasil perhitungan, nilai daya maksimum yang bisa dicapai adalah 106,066 watt .

D. DC-DC Converter

Agar pengaturan tegangan dapat dikendalikan dengan menggunakan mikrokontroler, maka potensiometer yang ada pada buck-boost converter digantikan dengan memberikan tegangan secara langsung sesuai dengan tegangan yang bekerja pada potensiometer tersebut. Hal ini dilakukan

dengan menggunakan pengukuran pada tegangan potensiometer buck-boost converter dan mendapatkan tegangan sebesar 13 Volt. Tegangan ini diberikan pada buck-boost converter melalui sebuah rangkaian optocoupler.

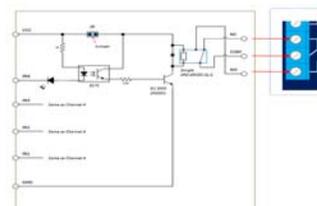


Gambar5 Rangkaian Optocoupler

Cara kerja dari Rangkaian optocoupler ini dimana bila pin input pada komponen TLP 250 yang didalamnya terdapat LED, jika diberikan tegangan max 5 Vdc akan memancarkan sinar infrared yang akan dideteksi oleh phototransistor yang terdapat pada bagian output komponen TLP250 dan menyebabkan hubungan atau switch ON pada phototransistor. Prinsip kerja pada phototransistor hampir sama dengan transistor bipolar biasa yang membedakannya pada kaki basisnya peka terhadap cahaya. Tegangan 30 Vdc yang diberikan pada kaki basis atau pin V+ akan terhubung ke kaki kolektor atau pin Vo yang akan mengalirkan arus dengan besar tegangan tergantung dari intensitas pancaran sinar infrared. Tegangan keluaran dari rangkaian optocoupler ini di hubungkan pada DC-DC converter sebagai pengganti tegangan pada potensiometer.

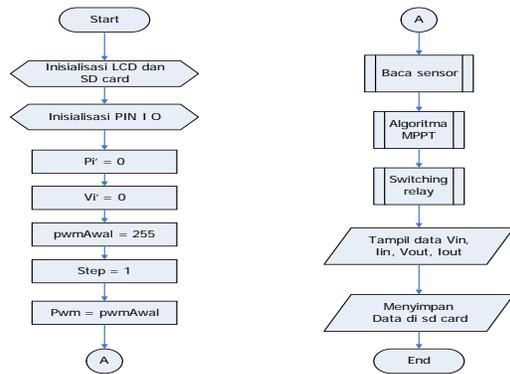
E. Rangkaian Relay

Rangkaian Relay module ini memiliki 4 channel dengan relay tipe single pole double throw (SPDT) yang memiliki lima kaki terminal pada setiap channel relay-nya, tiga kaki terminal digunakan sebagai kontak point (saklar) dan dua kaki terminal lainnya digunakan sebagai kumparan elektromagnet. Tiga terminal yang digunakan sebagai kontak point satu sebagai pole (masukan saklar) dan dua sebagai throw (keluaran saklar), yang digunakan untuk mengontrol perpindahan supply dua sumber daya yaitu dari solar cell dan PLN ke beban.



Gambar6 Rangkaian schematic relay module 4 channel

F. Algoritma Program



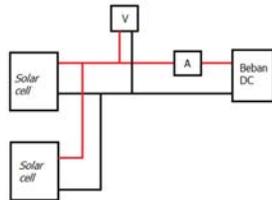
Gambar7 algoritma Program

Perancangan perangkat lunak merupakan perancangan algoritma kontrol yang diprogram pada mikrokontroler. Perancangan ini meliputi perancangan program utama, sub program sensor, sub program algoritma MPPT pada sistem dan sub program algoritma *switching relay*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

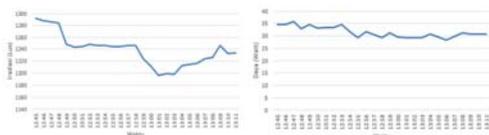
A. Pengujian Solar cell

Pengujian *solar cell* bertujuan untuk mengetahui karakteristik tegangan keluaran, arus dan daya dari *solar cell*. Terdapat dua unit *solar cell* yang berbeda tegangan yang dirangkai secara paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar.

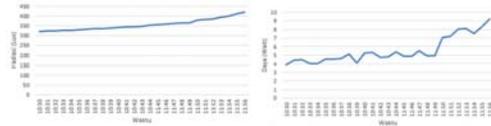


Gambar8 Rangkaian Pengujian Solar cell

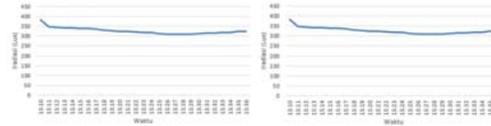
Cara pengujian *solar cell* dilakukan dengan menggunakan tahanan sebesar 18 ohm, 20 ohm, 39 ohm, 45 ohm yang terhubung pada keluaran *solar cell*.



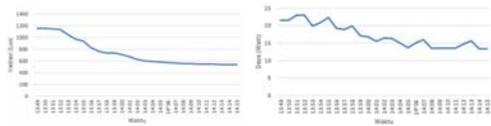
Gambar9 grafik pengujian dengan tahanan 18 ohm



Gambar10 Grafik pengujian dengan tahanan 20 ohm



Gambar11 Grafik pengujian dengan tahanan 39 ohm



Gambar12 Grafik pengujian dengan tahanan 45 ohm

Pada pengujian *solar cell*, terlihat bahwa nilai iradiasi matahari tidak stabil untuk setiap pengujian. Hal tersebut karena kondisi cuaca pada saat pengujian yang cerah, mendung, ataupun tertutup awan. Selama pengujian dilakukan, nilai iradiasi matahari tertinggi adalah 1292 lux pada saat pengujian dengan beban 18 ohm dengan daya yang dihasilkan sebesar 34,61 Watt. Nilai iradiasi matahari terendah adalah 308 lux pada saat pengujian dengan beban 39 ohm dengan daya yang dihasilkan sebesar 5,63 Watt.

Untuk melihat karakteristik keluaran *solar cell*, dapat dicari nilai iradiasi yang sama pada data hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel 4.5.

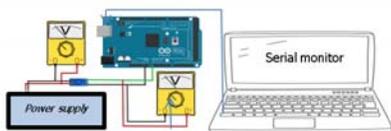
Tabell. Hasil Pengujian Dengan Iradiasi 324 Lux

Tahanan (Ohm)	Iradiasi (Lux)	(w/m2)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)
20	324	2,56	6,89	0,65	4,48
39	324	2,56	9,05	0,73	6,61

dengan iradiasi sebesar 324 lux, daya yang dihasilkan berbeda antara beban 20 ohm dan 39 ohm. Pada tahanan 20 ohm, daya yang dihasilkan adalah 4,48 watt dengan tegangan 6,89 volt. Pada tahanan 39 ohm, daya yang dihasilkan adalah 6,61 watt dengan tegangan 9,05 volt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada iradiasi yang sama, daya yang dihasilkan dapat berbeda tergantung pada besarnya nilai beban yang dipasang. Perbedaan tegangan pada *solar cell* yang di rangkai secara paralel dapat menyebabkan kondisi ini terjadi.

B. Pengujian Sensor tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk mendapatkan nilai pembacaan dari sensor tegangan dengan menggunakan papan kontroler arduino mega 2560. Rangkaian pengujian sensor tegangan adalah dengan menghubungkan sensor tegangan ke papan kontroler arduino mega 2560.



Gambar13 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Tabel2 Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No.	Nilai tegangan input sensor (Volt)	Hasil pembacaan serial monitor (Volt)	Nilai ADC	Error (%)
1	1	1,00	37	0,00
2	2	2,02	79	1,00
3	3	2,99	119	0,33
4	4	4,01	161	0,25
5	5	5,01	202	0,20
6	6	6,01	243	0,17
7	7	7,03	235	0,43
8	8	8,00	325	0,00
9	9	9,00	366	0,00
10	10	10,04	409	0,40
11	11	11,04	450	0,36
12	12	11,98	489	0,17
13	13	13,03	532	0,23
14	14	14,07	575	0,50
15	15	14,97	612	0,20
16	16	16,07	657	0,44
17	17	17,04	697	0,24
18	18	17,89	732	0,61
19	19	19,08	781	0,42
20	20	20,10	823	0,50
Rata-rata error				0,32

Dimana :

$$error = \left| \frac{\text{nilai multimeter} - \text{nilai sensor tegangan}}{\text{nilai multimeter}} \cdot 100 \% \right|$$

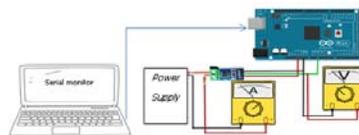
Sebagai contoh perhitungan nilai *error* pada data nomor 10 adalah sebagai berikut:

$$error = \left| \frac{10 - 10,04}{10} \cdot 100 \% \right| = 0,4 \%$$

Pada pengujian ini didapat konversi nilai ADC menjadi nilai tegangan yang diukur dengan rata-rata *error* sebesar 0,32 %.

C. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan untuk mendapatkan nilai pembacaan dari sensor arus dengan menggunakan arduino mega 2560. Rangkaian pengujian sensor arus adalah dengan menghubungkan sensor arus ke arduino mega 2560.



Gambar14 Rangkaian Pengujian Sensor Arus

Tabel3 Hasil Pengujian Sensor Arus

No.	Pengukuran multimeter (Ampere)	Hasil pembacaan serial monitor (Ampere)	Nilai ADC	Error (%)
1	0,27	0,25	513	7,41
2	0,33	0,33	514	0,00
3	0,38	0,41	515	7,89
4	0,44	0,48	516	9,09
5	0,49	0,56	517	14,29
6	0,62	0,56	517	9,94
7	0,68	0,63	518	6,68
8	0,73	0,71	519	2,63
9	0,79	0,71	519	10,03
10	0,84	0,79	520	6,31
11	0,78	0,79	520	0,90
12	0,83	0,86	521	4,00
13	0,87	0,86	521	0,78
14	0,92	0,94	522	2,11
15	0,96	0,94	522	2,15
16	1	1,02	523	1,56
17	1,05	1,02	523	3,28
18	1,09	1,09	524	0,17
19	1,13	1,09	524	3,38
20	1,17	1,17	525	0,17
21	1,21	1,24	526	2,83
Rata-rata error				4,55

Dimana :

$$error = \left| \frac{\text{nilai multimeter} - \text{nilai sensor arus}}{\text{nilai multimeter}} \cdot 100 \% \right|$$

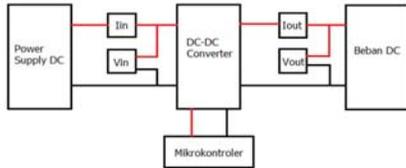
Contoh perhitungan nilai *error* pada data nomor 1 adalah sebagai berikut:

$$error = \left| \frac{0,25 - 0,27}{0,27} \cdot 100 \% \right| = 7,41 \%$$

Dari hasil pengujian ini didapat konversi nilai ADC menjadi nilai arus yang diukur dengan rata-rata *error* sebesar 4,55 %.

D. Pengujian DC-DC Converter

Pengujian *DC-DC converter* dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensinya. Cara pengujian ini dilakukan dengan merangkai *DC-DC converter* dengan *power supply* 12 volt DC dan tahanan DC berupa resistor 47 ohm pada keluaran *DC-DC converter*. Pengaturan tegangan keluaran dari *DC-DC converter* dilakukan dengan cara mengeluarkan sinyal PWM dari mikrokontroler dengan *duty cycle* tertentu. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada *input* dan *output DC-DC converter*.



Gambar15 Rangkaian Pengujian DC-DC Converter

Tabel4 Hasil pengujian DC-DC Converter

pw m	V in (V)	I in (A)	V out (V)	I out (A)	P in (W)	P out (W)	(%)
5	12,3	0,76	4,12	0,43	9,35	1,77	18,95
15	13,17	0,83	4,55	0,35	10,93	1,59	14,57
25	12,22	0,91	5,74	0,43	11,12	2,47	22,20
35	12,2	0,76	7,19	0,58	9,27	4,17	44,98
45	12,44	0,83	9,42	0,35	10,33	3,30	31,93
55	13,22	0,83	11,33	0,35	10,97	3,97	36,14
65	13,19	0,76	12,93	0,28	10,02	3,62	36,12
75	12,66	0,83	14,26	0,28	10,51	3,99	38,00
85	13,02	0,76	15,39	0,35	9,90	5,39	54,44
95	12,9	0,76	17,26	0,28	9,80	4,83	49,29
105	12,22	0,83	18,06	0,43	10,14	7,77	76,57
115	13	0,76	18,69	0,28	9,88	5,23	52,97
125	13,02	0,83	19,34	0,28	10,81	5,42	50,11
135	12,83	0,91	19,85	0,35	11,68	6,95	59,51
Rata-rata efisiensi							44,20

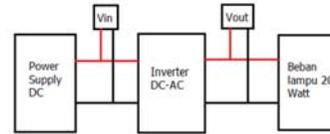
Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi terbesar terjadi pada saat PWM sebesar 105 dengan efisiensi 76,57%. Rata-rata efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata efisiensi} = \frac{\text{total efisiensi}}{\text{jumlah pengujian}}$$

Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa efisiensi rata-rata daya keluaran dari *DC-DC converter* adalah 44,20%. Artinya setiap daya masukan pada *DC-DC Converter* akan menghasilkan daya keluaran sebesar 44,20% dari daya masukannya.

E. Pengujian Inverter

Pengujian *inverter* dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai keluaran tegangan AC terhadap tegangan masukan yang diberikan pada *inverter*.



Gambar16 Rangkaian Pengujian Inverter

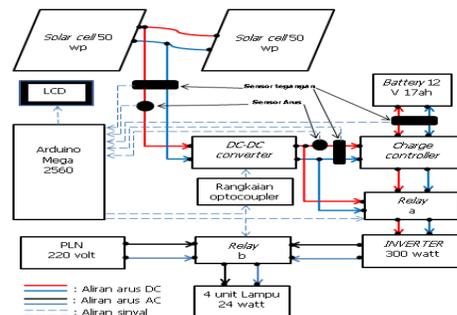
Tabel5 Hasil Pengujian Inverter

No.	Tegangan input (Volt DC)	Tegangan output (Volt AC)
1	10	60
2	10,5	67
3	11	222
4	11,5	230
5	12	238
6	12,5	245
7	13	253
8	13,5	260
9	14	265
10	14,5	273
11	15	275
12	15,5	278
13	16	0

Pada hasil pengujian yang telah dilakukan, terlihat bahwa *inverter* mulai bekerja pada tegangan DC 11 volt dengan tegangan AC keluaran *inverter* sebesar 222 volt. Namun apabila diberikan tegangan DC sebesar 16 volt, maka tidak ada tegangan keluaran yang dihasilkan. Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa tegangan kerja DC yang dapat diberikan pada *inverter* adalah 11 volt hingga 15,5 volt.

F. Pengujian Keseluruhan

Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem *switching* dari pemilihan *supply* antara *solar cell*, *battery* atau listrik PLN.



Gambar17 Rangkaian Pengujian Keseluruhan

Tabel 6 Hasil Pengujian keseluruhan

waktu	Vin	Iin	Vout	Iout	Relay a	Relay b	Pin	Pout
11:00	11,26	6,07	15,36	0,35	1	0	68,35	5,73
11:02	22,27	0,13	15,3	0,21	1	0	2,90	3,21
11:04	0,95	5,99	11,81	0,21	1	0	5,69	2,48
11:06	22,22	0,21	15,25	0,28	1	0	4,67	4,27
11:08	22,24	0,28	15,18	0,35	1	0	6,23	5,31
11:10	22,24	0,21	15,27	0,28	1	0	4,67	4,28
11:12	22,17	0,06	15,22	0,21	1	0	1,33	3,20
11:14	5,74	6,22	10,48	3,06	0	0	35,70	32,07
11:16	1,33	6,14	12,42	2,39	1	0	8,17	29,68
11:18	22,22	0,28	15,18	0,21	1	0	6,22	3,19
11:20	1,46	5,92	12,3	3,5	1	0	8,64	43,05
11:22	22,17	2,39	15,2	0,28	1	0	52,99	4,26
11:24	22,17	0,21	15,18	0,28	1	0	4,66	4,25
11:26	22,07	0,21	15,22	0,28	1	0	4,63	4,26
11:28	3,78	6,07	11,04	0,39	1	0	22,94	4,31
11:30	1,02	6,14	7,87	1,65	0	0	6,26	12,99
11:32	0,85	5,92	10,89	0,24	0	0	5,03	2,61
11:34	3,92	6,07	12,05	4,02	1	0	23,79	48,44
11:36	2,57	6,14	11,91	4,02	1	0	15,78	47,88
11:38	22,05	0,06	15,25	0,21	1	0	1,32	3,20
11:40	22,02	0,28	15,25	0,35	1	0	6,17	5,34
11:42	21,98	0,13	15,18	0,28	1	0	2,86	4,25
11:44	1,58	5,77	10	0,58	0	1	9,12	5,80
11:46	7,26	5,92	11,69	0,31	1	0	42,98	3,62
11:48	8,64	4,44	6,97	0,91	0	1	38,36	6,34
11:50	1,33	3,47	9,92	0,65	0	1	4,62	6,45
11:52	1,62	3,32	10,7	0,87	0	1	5,38	9,31
11:54	8,84	1,99	10,12	0,06	0	1	17,59	0,61
11:56	3,44	1,91	10,72	0,31	0	1	6,57	3,32
11:58	9,39	1,91	8,86	0,83	0	1	17,93	7,35
12:00	18,23	0,43	14,52	1,2	1	0	7,84	17,42
Nilai rata-rata daya keluaran								9,48

Dari data pengujian terlihat bahwa pengujian dilakukan pada pukul 11:00 hingga 12:00. Tegangan keluaran terendah dari *DC-DC converter* adalah 6,97 volt dan tegangan tertinggi yang keluar adalah 16,36 volt. Dalam pengujian ini, apabila tegangan keluaran *DC-DC converter* dibawah 11 volt dan tegangan *battery* juga di bawah 12 volt maka beban akan di-supply dari sumber listrik PLN, sedangkan apabila tegangan keluaran *DC-DC converter* diatas 11 volt maka beban akan di-supply dengan menggunakan *inverter*. Begitupun jika tegangan keluaran *DC-DC converter* dibawah 11

volt tetapi tegangan keluaran *battery* diatas 12 volt maka beban tetap akan di-supply dengan menggunakan *inverter*. *Switching* ini diatur melalui *relay* yang terhubung pada beban. Beban akan terhubung pada listrik PLN apabila sinyal *input relay b* bernilai 1, sedangkan apabila sinyal *input relay b* bernilai 0 maka beban akan terhubung pada *inverter*, dan *inverter* akan mendapatkan *supply* dari *DC-DC converter* apabila sinyal *input relay a* bernilai 1, sedangkan apabila sinyal *input relay a* bernilai 0 maka *inverter* akan mendapatkan *supply* dari *battery*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika tegangan yang dihasilkan dari *solar cell* lebih dari 11 volt, maka beban berupa lampu di-supply melalui *solar cell*. Namun cahaya lampu yang dihasilkan redup dan terkadang berkedip, hal tersebut dikarenakan daya yang dihasilkan dari *solar cell* belum dapat memenuhi kapasitas daya yang diperlukan oleh beban. Beban dapat di-supply full dari *inverter* dari pukul 11:00 hingga pukul 11:40 dan dari pukul 11:41 beban bergantian di-supply dari *inverter* dan PLN.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir mengenai sistem kontrol pencatutan daya beban listrik arus bolak-balik antara sistem *solar cell* dan jaringan PLN dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

A. Kesimpulan

1. Hasil pengujian *solar cell* menunjukkan bahwa pada iradiasi yang sama sebesar 324 lux, pada tahanan 20 ohm, daya yang dihasilkan adalah 4,48 watt dengan tegangan 6,89 volt. Pada tahanan 39 ohm, daya yang dihasilkan adalah 6,61 watt dengan tegangan 9,05 volt. Daya yang dihasilkan dapat berbeda tergantung pada besarnya nilai beban yang dipasang.
2. Hasil pengujian sensor tegangan menunjukkan nilai tegangan yang diukur memiliki rata-rata *error* sebesar 0,32 % jika dibandingkan dengan hasil nilai tegangan yang diukur dari multimeter digital.
3. Hasil pengujian sensor arus menunjukkan nilai arus yang diukur dengan rata-rata *error* sebesar 4,55 % jika dibandingkan dengan hasil nilai tegangan yang diukur dari multimeter digital.
4. Hasil pengujian *DC-DC converter* menunjukkan bahwa efisiensi rata-rata dari *DC-DC converter* adalah 44,20%. Artinya setiap daya masukkan pada *DC-DC converter* akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 40,20% dari tegangan masukannya.

5. Hasil pengujian *inverter* menunjukkan bahwa tegangan kerja DC yang dapat diberikan pada *inverter* adalah 11 volt hingga 15,5 volt.
6. Hasil pengujian keseluruhan menunjukkan *relay* a jika bernilai 1 maka *inverter* di *supply* dari *DC-DC converter*, jika bernilai 0 maka *inverter* di *supply* dari *battery*. Untuk *relay* b jika bernilai 1 maka beban di *supply* dari *inverter* jika bernilai 0 maka beban di *supply* dari PLN.
7. Dari hasil pengujian keseluruhan juga dapat dilihat *inverter* yang di *supply* dari *DC-DC converter* atau *battery* dapat mensuplai beban selama 40 menit secara terus-menerus dalam kurun waktu 1 jam, dengan rata-rata daya keluaran *DC-DC converter* sebesar 9,48 watt.

B. Saran

1. Penggunaan sistem ini di rumah tinggal tidak memerlukan ijin dari PLN atau dinas terkait. Dikarenakan penggunaannya tidak mengganggu atau merubah instalasi listrik dari PLN, yang dirubah hanya instalasi didalam rumah tinggal tersebut.
2. Penggunaan 2 unit *solar cell* dengan beda tegangan yang dirangkai paralel sangat tidak disarankan karena dapat menyebabkan tegangan keluaran dari *solar cell* menjadi tidak stabil dikarenakan bisa menyebabkan *solar cell* dengan tegangan yang lebih tinggi akan mengalirkan arus ke tegangan yang lebih rendah.

REFERENSI

- [1] S. W. Muhammad Naim1, "Rancangan Sistem Kelistrikan Plts on Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery Di Desa Timampu Kecamatan Towuti," vol. 8, no. 2, pp. 11–17, 2017.
- [2] K. Kananda and R. Nazir, "Konsep Pengaturan Aliran Daya Untuk PLTS Tersambung Ke Sistem Grid Pada Rumah Tinggal," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 65–71, 2013.
- [3] A. Ilmar Ramadhan, E. Diniardi, and S. Hari Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *Teknik*, vol. 37, no. 2, pp. 59–63, 2016.
- [4] N. Amna, M. Syukri, R. H. Siregar, and M. Gapy, "Rancang Bangun Prototipe Pengatur Suplai Daya Beban Listrik Rumah Cerdas untuk Meningkatkan Keandalan Listrik," 2015.
- [5] M. F. Hakim, "Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal," *Tek. Elektro Univ. Malang*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2017.