

MODUL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA UNTUK APLIKASI BEBAN RENDAH (600 W)

Rahmat Hidayat⁽¹⁾, Zuraidah⁽¹⁾, Jazuli Fadil⁽¹⁾,
rahmat_hidayat@poliban.ac.id, zuraidah@poliban.ac.id, jazuli_fadil@poliban.ac.id
M. Firdaus⁽²⁾, M. Mursalin⁽²⁾, M. Ridwan⁽²⁾, dan M. Rizki⁽²⁾

⁽¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin

⁽²⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin

Ringkasan

Indonesia merupakan negara yang memiliki berbagai jenis sumber daya energi dalam jumlah yang cukup melimpah. Letak Indonesia berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan disinari matahari selama 10 sampai dengan 12 jam dalam sehari. Data ditjen listrik dan pengembangan energi pada tahun 1997, kapasitas listrik tenaga surya diindonesia terpasang mencapai 0,88 MW dari potensi yang tersedia $1,2 \times 10^9$ MW.

Energi surya melalui konversi dimanfaatkan menjadi energi listrik yang diperoleh dengan sistem fotovoltaik (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) pembangkit listrik tenaga surya diarahkan agar dapat dimanfaatkan oleh para pemakai didaerah terpencil yang tidak mungkin dijangkau oleh jaringan PLN.

Kata Kunci : sumber daya energi, sinar matahari, fotovoltaik, pembangkit listrik tenaga surya.

I. PENDAHULUAN

Sampai sekarang hasil penelitian menghasilkan beberapa sumber energi, diantaranya: energi gravitasi, energi nuklir, energi panas dan energi listrik.

Energi listrik adalah bentuk energi yang paling efektif, paling mudah dan paling efisien dalam cara penggunaannya. Energi listrik dapat diproduksi dengan berbagai cara dari sumber awal yang berbeda-beda yaitu air, minyak, gas, batubara, angin, cahaya matahari, panas bumi, dan lain-lain. Karena cadangan energi tidak terbarukan (batubara, minyak, dan gas bumi) yang kian menipis, sudah saatnya kita berpaling secara lebih intensif dan terarah pada energi alternatif terbuka yang cukup tersedia di bumi ini yang dapat diharapkan keberlanjutannya. Yang termasuk golongan energi terbarukan adalah energi matahari, angin, dan panas bumi.

Indonesia adalah negara tropis yang memiliki dua musim, panas dan hujan. Matahari akan bersinar sepanjang tahun, meskipun pada musim hujan intensitasnya berkurang. Kondisi iklim ini menyebabkan matahari dapat menjadi alternatif energi sumber energi masa depan Indonesia. Selain matahari, Indonesia juga mempunyai cadangan minyak dan gas bumi yang relatif banyak. Sebagian telah dieksploitasi. Masalahnya minyak dan gas bumi adalah energi yang tidak terbarui. Tanpa pemakaian yang bijaksana suatu saat sumber tersebut akan habis. Selain itu,

pembakaran minyak dan gas bumi menimbulkan polusi udara sehingga sumber energi yang ramah lingkungan dan terbaru menjadi aset berharga.

Energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi dan gas bumi.

Tenaga surya yang tidak akan habis mempunyai potensi yang sangat besar untuk menjadi energi alternatif sumber energi listrik. Oleh karena itu sel surya berpotensi di negara yang memiliki pancaran sinar matahari tinggi seperti daerah tropis.

Ini menjadi salah satu alasan penulis mengangkat judul penelitian yang membahas tentang Panel Surya sebagai sumber alternatif untuk menghidupkan sebuah beban listrik.

Dari kondisi latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Penggunaan *solar cell* sebagai sumber energi listrik untuk menghidupkan beban.
2. Efisiensi kerja dari penggunaan *solar cell*.
3. Merancang rangkaian dan kerja modul pembangkit listrik tenaga surya.

Agar tujuan penulisan penelitian ini sesuai dengan apa yang diharapkan serta terfokus pada judul dan bidang yang telah disebutkan

diatas, maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Modul untuk menghidupkan lampu menggunakan sel surya.
2. Peralatan pendukung yang digunakan dalam sistem ini dibahas secara umum.
3. Tidak membahas masalah kondisi cuaca.
4. Tidak ada sistem otomatis pada rangkaian pemindah energi *solar cell* dan PLN.

Modul ini bertujuan untuk aplikasi penerapan sistem kontrol untuk menyalakan lampu yang memanfaatkan sumber cahaya matahari yang sangat cocok untuk diterapkan pada iklim tropis seperti di Indonesia.

Manfaat yang didapat dari modul ini adalah

1. Memperdayakan energi matahari secara optimal sebagai sumber energi listrik pada instalasi lampu sederhana.
2. Mengurangi biaya pembayaran listrik.
3. Penghematan energi listrik.
4. Dapat membantu aktifitas sehari-hari yang memerlukan listrik tanpa mengawatirkan pemadaman listrik.

2. LANDASAN TEORI

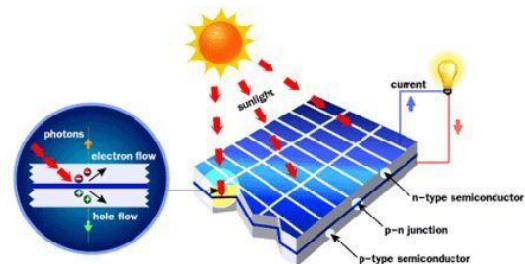
Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik adalah divais yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai kebumi, walaupun selain dipergunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem solar thermal.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu.

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana

terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom doping. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor.

Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan *hole*) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



Gambar 1. Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / *solar cell*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. *Solar charge controller* menerapkan teknologi *pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / *solar cell* 12 volt umumnya memiliki tegangan *output* 16 - 21 volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidak-

stabilan tegangan. Karena baterai umumnya *di-charge* pada tegangan 14 - 14.7 volt.

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- a. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
- b. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak '*full discharge*', dan *overloading*.
- c. Monitoring temperatur baterai
- d. *Voltage* 12 Volt DC / 24 Volt DC
- e. Kemampuan (dalam arus searah) dari *controller*. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
- f. *Full charge* dan *low voltage cut*

Ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh *solar charge controller*:

- a. PWM (*pulse wide modulation*), seperti namanya menggunakan 'lebar' *pulse* dari *on* dan *off electrical*, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*.
- b. MPPT (*maximun power point tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC (*direct current*). MPPT dapat mengambil *maximum* daya dari PV. MPPT *charge controller* dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke dalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai.

Solar charge controller, adalah komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga surya. *Solar charge controller* berfungsi untuk:

- a. *Charging mode*: Mengisi baterai (kapan baterai diisi, menjaga pengisian kalau baterai penuh).
- b. *Operation mode*: Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputus kalau baterai sudah mulai 'kosong').

Dalam *charging mode*, umumnya baterai diisi dengan metoda *three stage charging*:

- a. *Fase bulk* : baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan *setup* (*bulk* - antara 14.4 – 14.6 volt) dan arus diambil secara maksimum dari *panel surya / solar cell*. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup* (*bulk*) dimulailah fase *absorption*.
- b. *Fase absorption* : pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
- c. *Fase float* : baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13.4 - 13.7 volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya / *solar cell* pada *stage* ini.

Untuk *solar charge controller* yang dilengkapi dengan sensor temperatur baterai. Tegangan *charging* disesuaikan dengan tempera-

tur dari baterai. Dengan sensor ini didapatkan optimum dari *charging* dan juga optimum dari usia baterai. Apabila *solar charge controller* tidak memiliki sensor temperatur baterai, maka tegangan *charging* perlu diatur, disesuaikan dengan temperatur lingkungan dan jenis baterai.

Pada mode ini, baterai akan melayani beban. Apabila ada *over-discharge* atau *over-load*, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai

Inverter secara etimologi berasal dari bahasa Inggris yang berarti pembalik. Jadi menurut pengertian ini, yang dimaksud dengan inverter adalah semua alat pembalik. Dalam istilah ke-listrikan dikenal adanya *converter, rectifier*, dan inverter. *Converter* (*to convert* = mengubah) adalah alat pengubah, baik dari DC ke AC (DC to AC *Converter*) maupun dari AC ke DC (AC to DC *Converter*).

Rectifier berarti penyearah, alat ini berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC (bolak-balik) menjadi tegangan DC (searah) atau AC to DC *Converter*. Sedangkan inverter secara istilah adalah kebalikan dari *rectifier*, kerjanya adalah membalikkan dari tegangan DC ke tegangan AC atau DC to AC *Converter*. Jadi inverter adalah alat untuk mengubah sistem tegangan DC ke tegangan AC. Lebih spesifik lagi, fungsi inverter adalah mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC yang simetris dengan amplitudo dan frekuensi tertentu. Tegangan keluarannya dapat merupakan tegangan tetap maupun tegangan variabel dengan frekuensi tetap ataupun variabel pula. Pada prakteknya, lebih banyak diperlukan inverter dengan amplitudo dan frekuensi tetap. Inverter terdiri dari beberapa sirkuit penting yaitu sirkuit *converter* (yang berfungsi untuk mengubah daya komersial menjadi dc serta menghilangkan ripple atau kerut yang terjadi pada arus ini) serta sirkuit inverter (yang berfungsi untuk mengubah arus searah menjadi bolak-balik dengan frekuensi yang dapat diatur-atur). Inverter juga memiliki sebuah sirkuit pengontrol.

Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (*pulse width modulation-PWM*). Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangannya, yaitu :

1. Jika yang diatur tegangan input konstan disebut *Voltage Fed Inverter* (VFI),
2. Jika yang diatur arus input konstan disebut *Current Fed Inverter* (CFI), dan
3. Jika tegangan input yang diatur disebut *Variable dc linked inverter*.

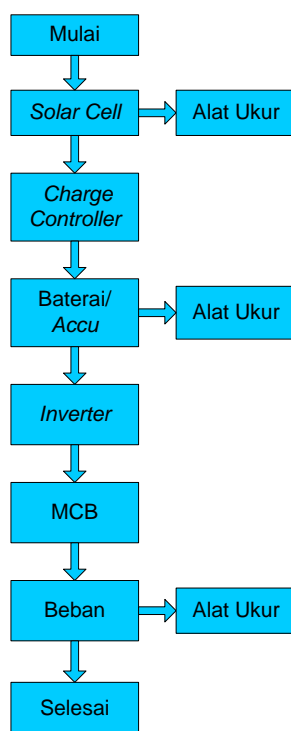
3. METODE PENELITIAN

Perancangan Rangkaian Sistem

Karena pembangkit listrik tenaga surya sangat tergantung pada sinar matahari, maka agar dapat mensuplai tenaga listrik terus menerus pada beban listrik diperlukan perancangan sistem yang baik, dimana perancangan sistem terdiri dari beberapa aspek tersebut:

1. Jumlah daya yang dibutuhkan dalam pemakaian sehari-hari (Watt).
2. Berapa besar arus yang dihasilkan *solar cell* (dalam *ampere hours*), dalam hal ini memperhitungkan berapa jumlah panel surya yang harus dipasang.
3. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan pertimbangkan penggunaan tanpa sinar matahari (*ampere hours*).
4. Menentukan alat dan bahan yang tepat.

Berikut ini adalah diagram blok sistem kontrol modul perancangan instalasi *solar cell* yang nanti akan menjelaskan perancangan sistem secara lebih jelas.



Gambar 2. Diagram blok modul pembangkit listrik tenaga surya

Sel surya berfungsi sebagai pengonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik sebagai sumber energi utama. *Solar charge controller* digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai. Baterai (*accumulator*) digunakan untuk menyimpan energi listrik dari sel surya.

Inverter digunakan untuk merubah tegangan DC menjadi tegangan AC untuk digunakan ke beban.

Panel surya mengkonversi tenaga matahari menjadi listrik. Sel *silicon* (disebut juga *solar cell*) yang disinari matahari/surya, membuat proton yang menghasilkan arus listrik. Sebuah *solar cell* mampu menghasilkan tegangan kurang lebih sebesar 0,5 volt. Jadi sebuah panel surya 12 volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17 volt tegangan maksimum). Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 4 - 5 jam. Tenaga listrik pada pagi sampai sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik bisa digunakan pada malam hari, dimana pada saat malam hari tidak ada sinar matahari.

Solar charge controller berfungsi mengatur lalu lintas dari *solar cell* ke baterai dan beban. Alat elektronik ini juga mempunyai banyak fungsi yang pada dasarnya ditunjukkan untuk melindungi baterai. *Inverter* adalah perangkat elektrik yang mengkonversi tegangan searah (*direct current*) menjadi tegangan bolak-balik (*alternating current*). Baterai (*Accumulator*) berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk menyalakan beban.

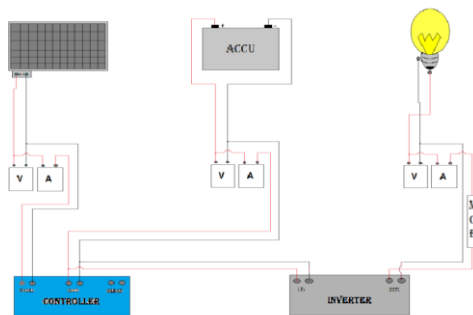
Perancangan Rangkaian Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Dalam membuat suatu alat agar kegunaan tepat dan bisa melayani kebutuhan beban dengan baik melalui tahap-tahap perencanaan/perancangan. Secara garis besarnya alat yang dibuat tentu memiliki bagian-bagian atau blok-blok rangkaian yang saling mendukung dan terkait antara blok rangkaian yang satu dengan blok rangkaian yang lain seperti pada gambar dari modul PLTS yang dibuat berikut.

Prinsip kerja dari modul PLTS yang dibuat adalah sebagai berikut: Matahari bersinar, radiasi yang dihasilkan dari matahari ditangkap oleh sel surya fotovoltaik dan jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P. sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan dalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangannya tergantung dari jumlah sel surya yang dipasang dalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut.

Keluaran dari panel surya ini dapat digunakan langsung ke beban yang memerlukan sumber tegangan DC dengan mengkonsumsi arus

yang kecil. Agar energi listrik yang dihasilkan juga dapat digunakan pada kondisi malam hari (kondisi saat panel surya tidak disinari cahaya matahari), maka keluaran dari panel surya ini harus dihubungkan ke sebuah media penyimpanan (*storage*). Dalam hal ini baterai tidak langsung dihubungkan begitu saja dari panel ke baterai, tetapi harus dihubungkan ke *solar charge controller*. Fungsi *solar charge controller* adalah untuk meregulasi keluaran tegangan dari panel surya, mengatur arus yang masuk ke baterai secara otomatis, menghubungkan dan memutuskan arus dari panel surya ke baterai secara otomatis dan juga berfungsi memutuskan aliran arus dari baterai ke beban bila terjadi hubung singkat atau beban lebih.



Gambar 3. Sistem pembangkit listrik tenaga surya.

Panel surya sebenarnya dapat digunakan langsung tanpa *charge controller* atau baterai, tetapi ini tidak dilakukan karena dapat membebani kinerja dari panel surya akibat beban berlebihan sehingga tidak terjadi kerusakan yang fatal pada panel surya tersebut. Selain itu *charge controller* juga berfungsi mengamankan dari kelebihan beban dari panel surya sehingga panel surya tidak cepat rusak.

Hubungan baterai dengan beban adalah dihubungkan paralel langsung ke beban. Jika baterai tersebut sudah terisi penuh. Untuk melindungi baterai dari beban yang berlebihan (*over load*) ataupun hubung singkat pada beban, maka sebelum baterai dihubungkan langsung ke beban harus melalui rangkaian proteksi. Dimana fungsinya sudah cukup jelas, yaitu untuk memproteksi ataupun melindungi baterai akibat adanya beban berlebih (*over load*) ataupun hubung singkat pada beban.

Jika kita menginginkan hasil keluaran listrik dari PLTS berupa listrik arus bolak-balik (AC) maka PLTS yang sudah dapat mengeluarkan listrik arus searah (DC) ini harus dihubungkan ke sebuah rangkaian elektronik/modul elektronik yang bernama *inverter* DC-AC. Dimana *inverter* DC-AC, berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC).

Setelah arus searah diubah menjadi arus bolak-balik, selanjutnya keluaran dari *inverter* yang telah berupa arus bolak-balik dapat digunakan untuk mencatu peralatan listrik dan elektronik yang membutuhkan arus bolak-balik. Besarnya tegangan dan daya keluaran yang dapat dihubungkan ke beban yang nantinya harus sesuai dengan kemampuan *inverter* yang dipakai dan besarnya sistem penyimpanan yang digunakan yang besarnya *ampere hour* (Ah) atau ampér jam dari baterai.

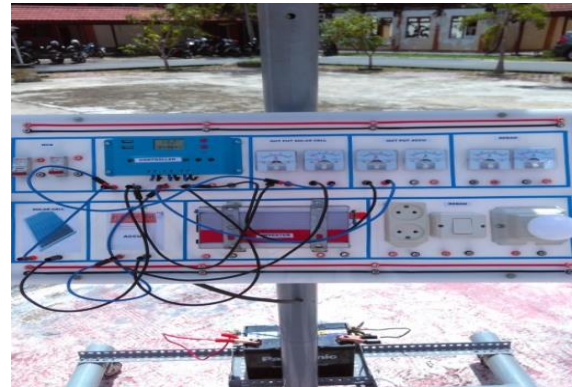
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sel Surya

Pengujian dilakukan satu hari dengan mewakili kondisi sinar matahari disiang hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberfungsian dan unjuk kerjanya. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan sumber cahaya matahari terhadap area sel surya. Hasil pengujian adalah sebagai berikut:

Kondisi *solar cell* tidak terkena sinar matahari (posisi *solar cell* terbalik), tegangan terukur adalah 262,3 mV - 263,7 mV.

Kondisi *solar cell* terkena sinar matahari, didapat hasil pengukuran selama sepuluh menit adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Modul rangkaian pengujian PLTS

Tabel 1. Hasil pengujian tanpa melewati *control* sel surya

No.	Pukul	Tegangan Terukur
1.	11:00	17,14 V
2.	11:01	17,54 V
3.	11:02	17,52 V
4.	11:03	17,39 V
5.	11:04	17,95 V
6.	11:05	18,02 V
7.	11:06	17,95 V
8.	11:07	17,97 V
9.	11:08	17,56 V
10.	11:09	17,95 V

Perubahan posisi atau kemiringan *solar cell* saat dilakukan pengujian akan berpengaruh terhadap daya serap cahaya. Nilai tegangan akan berubah ketika ada perubahan intensitas cahaya dari matahari. Dengan demikian, menempatkan area *solar cell* terkena cahaya atau tidak bertujuan untuk mengetahui *solar cell* berfungsi atau tidak berfungsi.

Berdasarkan hasil pengujian diatas yang dilakukan per satu menit selama sepuluh menit, tegangan yang didapat sesuai dengan karakteristik modul *photovoltaic* (*rated operating voltage* = 17,6 V). Tegangan kerja normal dari tegangan 17,14 V sampai dengan 17,95 V, maka dapat diketahui *solar sell* berfungsi dengan baik.

Pengujian Pengisian Baterai

Untuk modul praktikum pembangkit listrik tenaga surya kali ini menggunakan 1 buah pa-

nel surya 100 Wp dengan mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2. Karakteristik modul praktikum PLTS

a.	Tipe	: Polikristal
b.	Daya maksimum (P_m)	: 100 Wp
c.	Tegangan terbuka (V_{oc})	: 22,0 V
d.	Arus Hubung singkat (I_{sc})	: 6,06 A
e.	Tegangan maksimum (V_m)	: 17,6 V
f.	Arus maksimum (I_m)	: 5,70 A
g.	Tegangan maksimum sistem	: 700 V
h.	Ukuran panel	: 1020 x 670 x 30 mm
i.	Temperatur range	: - 45 °C ~ 80 °C

Kondisi tegangan awal pada accumulator sebelum proses *charging* adalah 11,8 volt (layak untuk dilakukan *charging*), bertujuan untuk memenuhi tegangan maksimum *accumulator* sebesar 12 volt.

Tabel 3. Proses pengujian pengisian baterai hari pertama per 5 menit menggunakan sel surya

No.	Waktu (Pukul)	Suhu (°)	Cahaya (Lux)	Tegangan (V)		Arus sel surya (A)
				Sel Surya	Accu	
1.	11.53	35	100800	19	11,8	1,2
2.	11.58	34	78200	19	11,9	1,2
3.	12.03	34	91100	19,5	11,9	1,2
4.	12.08	35	99400	20	12	1,2
5.	12.13	36	10400	19,5	12	1,2
6.	12.18	36	40000	18	12	0,4
7.	12.22	38	37900	19	12,8	0,4
ISTIRAHAT						
8.	14.30	38	50800	19,25	12,8	0,4
9.	14.35	39	51300	19,25	12,8	0,4
10.	14.40	39	55500	19,25	12,8	0,4
11.	14.45	39	60200	19	12,9	0,4
12.	14.50	40	55400	19,25	12,9	0,4
13.	14.55	39	64000	19,75	12,9	0,4
14.	15.00	39	45100	19,4	12,9	0,4
15.	15.05	39	48000	19,75	13	0,4
16.	15.10	39	36900	19,25	13	0,4
17.	15.15	38	35500	19	13	0
18.	15.20	37	37300	19,25	13	0
19.	15.25	37	38100	19,25	13	0,4
20.	15.30	36	37700	19,23	13	0,4

Tabel 4. Proses pengujian pengisian baterai hari kedua per 1 jam menggunakan sel surya

No.	Waktu (Pukul)	Suhu (°)	Tegangan (V)				Arus sel surya (A)
			Sel surya		Accu		
			Analog	Digital	Analog	Digital	
1.	08.34	28	12	12,58	11	11,61	1,03
2.	09.34	30	12	12,5	11,75	12,5	1,62
3.	10.34	30	12	12,8	11,75	12,28	2,13
4.	11.34	32	12,7	13,7	12	12,36	2,46
5.	12.34	33	13	13,5	12	12,69	2,80
6.	13.34	33	13	13,5	12,25	12,74	2,64
7.	14.34	32	12	13,0	12,25	12,84	0,67
8.	15.34	33	12	12,9	12,25	12,84	0,20

Jadi pengisian ini tergantung kondisi tingkat kecerahan. Jika *solar cell* mendapatkan sinar

matahari pada terik cuaca tinggi, maka tegangan yang didapat akan besar dan cepat diterima.

Sebaliknya, jika cuaca mendung atau *solar cell* kurang mendapatkan sinar matahari, maka tegangan yang didapat selama proses pengisian baterai akan menurun dan lambat. Hal ini teruji dari hasil pengujian proses pengisian baterai menggunakan sumber tegangan *solar cell* dan dalam percobaan ini *solar cell* mempunyai jam terbaik untuk pengisian baterai yaitu antara jam 11 sampai dengan jam 2 siang.

Pertimbangan penentuan peralatan penggunaan untuk beban rumahan :

- Penentuan beban misalkan 400 watt 220 V bisa digunakan *inverter* 500 watt dengan efisiensi : 0,8
- Sedangkan arus *solar cell* (I_{sc}) yang terukur sesuai dengan data pengujian Tabel 4. sebesar 2 A maka, diperoleh maksimal *accumulator* yang terisi selama 8 jam sebesar 16 Ah, dan arus yang ditampung saat pengisian dengan beban 1,8 A, sebesar 1,6 A dengan pertimbangan arus sisa pengisian dikali 8 jam pengisian, jadi bisa menggunakan *accumulator* dengan kapasitas minimal 16 Ah.
- Sedangkan untuk pemakaian sewaktu-waktu atau saat diperlukan saja, misalkan penggunaan setiap 5 hari sekali, bisa menggunakan *accumulator* berkapasitas minimal 80 Ah, dengan pertimbangan sebagai berikut : 5 hari x 8 jam x 2 A = 80 Ah
- Untuk *solar cell* 100 Wp dengan keluaran arus 2 A, dengan rata-rata tegangan 13 V sesuai data pengujian Tabel 4. dapat menghasilkan daya 26 W. Artinya *solar cell* tersebut tidak bekerja maksimal menghasilkan daya 100 Wp hanya bias menghasilkan 26 W apabila rata-rata keluarannya 2 A dengan tegangan 13 V.

Pengujian Charge Controller

Tabel 5. Pengujian *charge controller*

Merk <i>charge controller</i>	EP Solar EPRC
Tipe <i>charge controller</i>	
a. shunt	-
b. series	-
c. MPPT	-
d. PWM	√
Load reconnect voltage	12,6 volt
Overcharge voltage	13,8 volt
Under discharge voltage	10,7 volt
Absorp voltage	14,4 volt
Overload protection	√ OK, □ Not OK

Adapun yang dapat diperoleh dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

- Pada pengujian ini, *charge controller* berfungsi dengan baik sebagai pengatur, juga sebagai *protector* pada PLTS.
- Dari pengujian yang dilakukan *load reconnect voltage* pada saat tegangan baterai 12,6 V.
- Overcharge voltage* pada tegangan baterai

13,8V.

- Overcharge voltage* tergantung pada kapasitas baterai yang digunakan.
- Under discharging voltage* pada saat tegangan baterai 10,7 V.
- Charge controller* ini berfungsi sebagai proteksi hubung singkat.

Pengujian Inverter

Tabel 6. Data Hasil Pengujian *Inverter*

Pengujian	Input (DC)		Output (AC)	
	V	I	V	I
1	12,08 V	27,0 A	220 V	0,49 A
2	11,96 V	26,5 A	220 V	0,49 A
3	11,59 V	25,9 A	220 V	0,49 A

Jadi dari data pengukuran diatas, besar tegangan dan arus input (DC) pada *inverter* diperoleh dari hasil pengukuran yang tidak mempengaruhi daya *output inverter* kecuali baterai sudah dalam kondisi *over low*. Dan tegangan *output* adalah 220 V AC.

Pengujian Daya Tahan Baterai

Pengujian kali ini menggunakan baterai/*accumulator* 45 Ah dengan menggunakan beban sebesar 600 W.

Tabel 7. Pengujian Daya Tahan Baterai

No	Waktu	Tegangan baterai		Arus beban	Arus baterai
		manual	controller		
1.	17.30	12 V	10,9 V	0,8 A	4,5 A
2.	17.35	11,2 V	10,9 V	0,6 A	4 A
3.	17.39	11,2 V	10,8 V	0,6 A	4 A
4.	17.44	11 V	10,8 V	0,4 A	4 A
5.	17.48	11 V	10,8 V	0,4 A	4 A
6.	17.54	10,8 V	10,7 V	0,4 A	3,5 A
7.	17.58	10,5 V	10,6 V	0,4 A	3,5 A

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut:

Jumlah daya terpakai sangat mempengaruhi daya tahan atau pengurusan arus pada baterai.

5. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan dalam panel surya tersebut.
- Modul ini dapat diaplikasikan pada penerapan

sistem kontrol untuk menyalakan lampu yang yang memanfaatkan sumber cahaya matahari yang sangat cocok untuk diterapkan pada iklim tropis seperti di Indonesia.

3. Modul ini dapat juga sebagai gambaran pemanfaatan memperdayakan energi matahari secara optimal sebagai sumber energi listrik pada instalasi lampu sederhana.
4. Dari hasil pengujian proses pengisian baterai menggunakan sumber tegangan *solar cell* dan dalam percobaan ini *solar cell* mempunyai jam terbaik untuk pengisian baterai yaitu antara pukul 11.00 sampai dengan pukul 14.00.
5. Dari data hasil penelitian dapat juga disimpulkan keterangan pada *nameplate* tidak bisa sepenuhnya dikatakan benar untuk menjadi bahan acuan pemilihan pada alat tersebut, contohnya pada *solar cell* 100 Wp yang diuji tidak sepenuhnya bisa menghasilkan *maximum power* 100 W, akan tetapi hanya bisa menghasilkan *maximum power* 69,9 W sesuai pengujian dan Tabel 4.3, padahal di *nameplate* sendiri tertera *maximum power* sebesar 100 W.

Saran

1. Panel surya belum bisa menjadi energi alternatif bagi masyarakat Indonesia dikarenakan biaya alat dan instalasinya yang masih mahal. Oleh karena itu panel surya untuk saat ini lebih cocok digunakan pada instansi, kantor pemerintah, sekolah atau badan-badan pelayanan masyarakat. Dengan begitu meskipun terjadi pemadaman listrik, kegiatan masyarakat, belajar mengajar dan pemerintah tidak terganggu seperti yang sering dialami sekarang ini.
2. Berhubung modul ini tidak sepenuhnya aman terhadap air, maka sebaiknya modul ini dipasang terpisah antara *solar cell* nya yang berada diluar ruangan sedangkan untuk peralatan yang lainnya diletakkan didalam ruangan agar lebih aman.

phirin Dervatives for Dye Sensitized Solar Cell, Bull, Korean.

4. Dewi Hartati, Rini Anita Sari, 2015. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tipe Turbin Twisted Blade Savonius Vertical Axis Hybrid dengan Sel Surya*. Tugas Akhir, Politeknik Negeri Banjarmasin, Banjarmasin.
5. M. Awal Romadhon, *Jurnal Penyusun PLTS dengan 2 Beban (Lampu AC dan Lampu DC)*, Politeknik Negeri Jember.
6. Anwar Ilmar Ramadhan, *Jurnal Analisis Desain Sistem Pembangkit Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, Jakarta.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Bodiono, Chayun, 2001. *Tentang dan Perluasan Usaha Pengembangan Sistem Energi Fotovoltaik di Indonesia*, Seminar Nasional Sel Surya dan Workshop, Surabaya.
2. Manan, S., 2009. *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif yang Efisiensi Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia*, Program Diploma III Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
3. Nuay, Villary, 2009. *THOIPHENE Linked Por-*