

KONTROL LAMPU PJU YANG DISUPLAI SOLAR CELL DENGAN ARDUINO

Waldy Sucipto, Julius Sentosa Setiadji, Handry Khoswanto
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia
E-Mail: m23416024@john.petra.ac.id, julius@petra.ac.id, handry@petra.ac.id

Abstrak – Solar cell berfungsi untuk menangkap cahaya matahari yang akan diubah menjadi energi listrik melalui proses photovoltaic. Listrik yang dihasilkan oleh solar cell langsung disimpan di dalam baterai. Saat solar cell bekerja (mengecas), tegangan solar cell dinaikkan maka kondisi relay dalam keadaan tertutup dan baterai dalam proses diisi. Jika proses pengisian energi dari solar cell ke baterai sudah penuh maka kondisi relay dalam keadaan terbuka secara otomatis. Sistem charging/discharging dan on / off lampu PJU menggunakan 2 relay yang dikendalikan oleh microcontroller yaitu Arduino Mega yang menerima, mengelola, dan mengirim data dari pembacaan sensor. Hasil dari pembacaan akan ditampilkan pada LCD yang telah terpasang. Pengujian dilakukan dengan melakukan beberapa percobaan yaitu dengan mengambil data pengisian menggunakan solar cell untuk sistem charge/discharge. Secara keseluruhan alat yang dibuat dapat bekerja dan berfungsi sebagaimana yang diharapkan tetapi kekurangan alat ini adalah menggunakan solar cell dimana daya pengisiannya kecil saat musim hujan. Berdasarkan perhitungan analisa kecukupan dibutuhkan minimal panel surya 135 Wp untuk dapat memenuhi kebutuhan energi lampu PJU dan membuat baterai tidak terkuras habis yang dapat merusak komponen baterai.

Kata Kunci – Solar cell, microcontroller, baterai, PJU

I. PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) yang menggunakan solar cell sebagai sumber energi, memiliki tantangan dalam menjaga kestabilan suplai energi akibat variasi intensitas cahaya matahari. Fluktuasi tegangan dan arus keluaran dari solar cell dapat mempengaruhi kinerja sistem kontrol dan lampu. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian karakteristik keluaran sistem untuk memastikan bahwa tegangan, arus, dan kinerja kontrol tetap stabil meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan misalnya cuaca mendung.

Hutauruk telah membuat prototype sistem otomatis lampu solar cell hemat energi bertenaga surya berbasis arduino uno untuk mengotomatiskan lampu penerangan yang berada di ruangan sehingga lampu dapat dimatikan atau dihidupkan secara otomatis [1]. Sedangkan Sasmito telah membuat pembangkit unit solar charge controller accu 12 Volt – 65 Ah dengan arduino uno pada lampu penerangan LED solar cell 50 Wp dan hybrid di taman Teknik Fisika [2]. Pengisian baterai secara otomatis dengan solar cell 100 WP 12 V dengan menggunakan Arduino telah dikerjakan oleh Syahadad [3]. Sedangkan Wicaksono, telah membuat kontrol otomatis solar cell berbasis Arduino Uno dengan sensor LDR untuk pengisian accu.

Pada penelitian ini akan dibuat kontrol otomatis untuk pengisian baterai lampu PJU dengan solar cell 100 WP dengan menggunakan Arduino Mega 2560 yang dilengkapi

dengan sensor tegangan dan sensor arus serta Modul RTC (Real Time Clock) untuk kontrol lampu PJU secara otomatis.

Melalui integrasi solar cell dan Arduino, penelitian ini melakukan pengujian karakteristik keluaran sistem, yaitu kestabilan tegangan, arus, dan ketahanan sistem kontrol terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga memberikan kontribusi terhadap inovasi sistem penerangan jalan umum yang berkelanjutan.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar atau referensi dalam pengembangan sistem kontrol lampu PJU berbasis energi surya dengan Arduino untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, dan mendukung pembangunan smart city berbasis energi terbarukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Penerangan Jalan Umum Berbasis Surya (PJUBS)

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan salah satu fasilitas penting untuk mendukung keamanan dan kenyamanan pengguna jalan terutama pada malam hari. Seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik secara nasional, upaya efisiensi energi pada PJU menjadi perhatian penting, khususnya dengan memanfaatkan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan seperti solar cell.

Pemanfaatan solar cell sebagai sumber energi utama PJU membawa berbagai keuntungan, terutama dalam aspek penghematan biaya listrik dan pengurangan emisi karbon. Namun, sistem berbasis solar cell sangat bergantung pada faktor lingkungan misalnya intensitas cahaya matahari. Variasi kondisi lingkungan tersebut menyebabkan fluktuasi pada output energi, yang dapat berpengaruh terhadap kestabilan tegangan dan arus system.



Gambar 1. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya

B. Solar Panel

Solar panel terbentuk dari beberapa solar cell berbahan photovoltaic. Ketika disinari, umumnya satu solar cell menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm². Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah solar cell 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. Hingga saat ini terdapat 3 jenis panel surya yaitu panel surya polycrystalline, monocrystalline, dan amorphous silicon.

Rumus yang dipakai untuk menentukan kapasitas baterai adalah sebagai berikut :

- Kebutuhan Energi per-hari = Daya beban (W) * Waktu penggunaan
- Peak Sun Hours = lamanya penyinaran matahari maksimum (dalam jam) per hari

$$\text{Kapasitas Panel Surya} = \frac{\text{Kebutuhan Energi per-hari (Wh)}}{\text{Peak Sun Hours}} \quad (1)$$

C. Baterai

Baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan solar cell sebelum dimanfaatkan untuk menyuplai beban listrik.

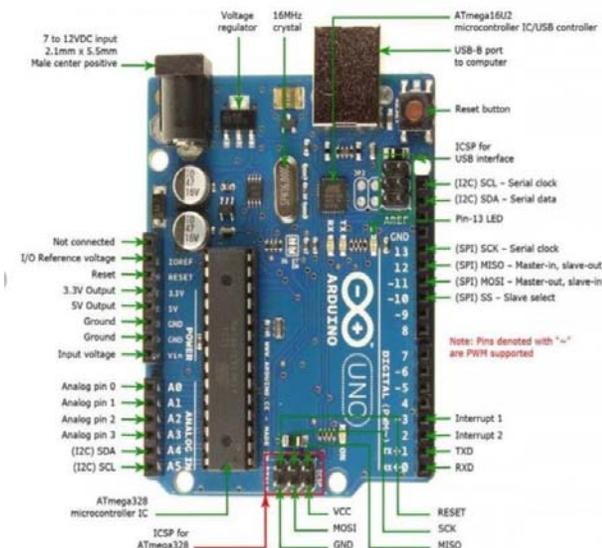
Rumus yang dipakai untuk menentukan kapasitas baterai adalah sebagai berikut :

- Kebutuhan Ah per-hari = Kebutuhan Energi Beban (Wh) / Tegangan baterai
- DOD yang dipakai = 70%-80%
- Kemampuan penyimpanan = kemampuan penyimpanan baterai pada kondisi cuaca mendung/tidak ada sinar matahari

Kapasitas =

$$\frac{\text{Kebutuhan Ah per-hari (Ah)} * \text{Kemampuan penyimpanan}}{\text{DOD (Depth Of Discharge)}} \quad (2)$$

D. Arduino ATmega328



Gambar 2. Board Arduino ATmega328

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware-nya memiliki prosesor Atmel AVR dan software-nya memiliki bahasa pemrograman sendiri.

E. Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan ini digunakan untuk mengukur tegangan DC. Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu berdasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan input berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli.



Gambar 3. Sensor Tegangan DC

F. Liquid Crystal Display (LCD)

Display elektronik ialah suatu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik.



Gambar 4. LCD 2x16

G. Modul Micro SD Card

Modul Micro SD card adalah sebuah modul yang berfungsi untuk membaca dan menulis data ke SD card.



Gambar 5. Modul Micro SD Card

H. Sensor Arus

Prinsip sensor arus yaitu dengan memanfaatkan medan magnetik di sekitar arus kemudian dikonversi menjadi tegangan yang linier dengan perubahan arus. Nilai variabel dari sensor ini merupakan input untuk mikrokontroler yang kemudian diolah sebagai set point untuk pemutusan sistem charge dari solar panel ke baterai.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Kebutuhan Bahan Perancangan

Adapun bahan perancangan yang digunakan untuk merancang sistem ini, yaitu Solar cell Polycrystalline 100 Wp, Baterai VRLA Deep Cycle 65 Ah, Arduino Mega 2560, Relay, Sensor Arus dan Tegangan DC, Modul RTC DS3231, Modul

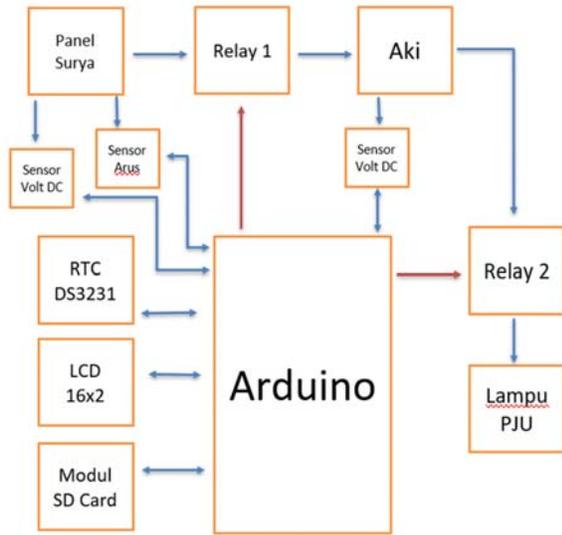
Micro SD Card, LCD 16x2, Power Supply 5 volt, Baterai 9 volt.

B. Kebutuhan Perangkat Lunak

Kebutuhan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino IDE untuk memprogram mikrokontroler.

C. Blok Diagram Perancangan Sistem

Proses charge dan discharge baterai dimulai dengan menggunakan relay yang dikontrol oleh Arduino melalui sensor tegangan DC yang terpasang pada baterai, dan proses kontrol lampu otomatis dengan menggunakan relay yang dikontrol oleh Arduino melalui modul RTC (Real Time Clock). Solar cell dilengkapi juga dengan sensor tegangan dan arus agar dapat memantau tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan.



Gambar 6. Diagram Perancangan Sistem

D. Cara Kerja Sistem

Pada Gambar 6 dijelaskan tentang diagram perancangan sistem, dimana pada Relay 1 dikontrol oleh Arduino dengan memanfaatkan sensor tegangan yang dipasang di baterai. Proses discharge pada baterai terjadi ketika arduino mengirim arus listrik pada relay 1 sehingga kondisinya berubah dari NC ke NO dengan memanfaatkan parameter sensor tegangan DC yang dipasang pada baterai sebesar 13.8 volt, sebaliknya pada proses charging baterai terjadi ketika Arduino mengirim arus listrik pada relay 1 lagi sehingga kembali ke kondisi semula yaitu NC dengan melihat tegangan sensor sebesar 11.8 volt.

Kemudian pada sistem kontrol lampu PJU, Arduino akan mengirim arus listrik ke relay 2 apabila jam menunjukkan pukul 18.00 dengan bantuan modul RTC, hasilnya kondisi relay 2 akan berubah dari NC ke NO sehingga lampu PJU dapat menyala. Selanjutnya jika jam menunjukkan pukul 06.00 pagi maka Arduino akan mengirim arus listrik ke relay 2 sehingga akan berubah kondisi dari NO ke NC dan lampu PJU akan padam.

E. Solar Cell Polycrystalline

Panel yang digunakan adalah solar cell 100 WP jenis poly. Berdasarkan persamaan 1 maka ditentukan kapasitas panel surya sebagai berikut :

- Kebutuhan energi per-hari = 30 watt (W) * 12 jam
- Peak Sun Hours = 4

$$\text{Kapasitas Panel} = \frac{\text{Kebutuhan Energi/hari (W)}}{\text{Peak Sun Hours}}$$

$$\text{Kapasitas Panel Surya} = \frac{30 * 12}{4} = 90 \text{ Wp}$$

Tabel 1. Spesifikasi Solar Cell yang digunakan

Keterangan	Spesifikasi
Maximum Power (Pmax)	100 Watt
Voltage at Pmax (Vmp)	17.6 V
Current at Pmax (Imp)	4.61 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.0 V
Short Circuit Voltage (Isc)	4.88 A
Weight	6.4 Kg
Dimension (mm)	670 x 30

F. Baterai VRLA Deep Cycle

Tabel 2. Spesifikasi Baterai yang Digunakan

Keterangan	Spesifikasi
Model	SMT1265
Voltage	12 V
Capacity	65 AH
Resistance	<= 6.1 mOhm
Product Dimension	346 x 168 x 175 x 175 mm
Weight	19 Kg

Berdasarkan rumus (2), baterai dikatakan normal apabila arus tersimpan di baterai tidak boleh terkuras lebih dari 25% sehingga DOD (deep of discharge) yang digunakan = 100% - 25% = 75%.

- Kebutuhan Ah per-hari = Kebutuhan Energi Beban (Wh)/Tegangan baterai
- DOD yang dipakai = 75%
- Kemampuan penyimpanan = 1.5 kali

$$\text{Kapasitas Baterai/Aki} = \frac{\text{Kebutuhan Ah per-hari (Ah)} * \text{Kemampuan penyimpanan}}{\text{DOD (Depth Of Discharge)}}$$

$$\text{kapasitas Baterai/Aki} = \frac{30 * 1.5}{75\%} = 60 \text{ Ah}$$

G. Arduino Mega 2560

Tabel 3. Pin Arduino yang Digunakan

Pin VCC	Pin VCC untuk semua sensor dan modul
---------	--------------------------------------

Pin GND	Pin GND untuk semua sensor dan modul
Pin Analog A0	Pin S sensor tegangan DC baterai
Pin Analog A1	Pin S sensor tegangan DC panel surya
Pin Analog A2	Pin OUT sensor arus panel surya
Pin Digital 13	Pin IN Relay 1
Pin Digital 12	Pin IN Relay 2
Pin Digital 50	Pin MISO modul micro SD Card
Pin Digital 51	Pin MOSI modul micro SD Card
Pin Digital 52	Pin SCK modul micro SD Card
Pin Digital 53	Pin CD modul micro SD Card
Pin Komunikasi 20	Pin SDA modul RTC dan modul LCD 16x2
Pin Komunikasi 21	Pin SCL modul RTC dan modul LCD 16x2

dengan LCD 16x2 jika disambungkan langsung dengan Arduino yang memerlukan 16 pin.



Gambar 7. Modul LCD 16x2

K. Modul Micro SD Card

Modul ini merupakan modul untuk mengakses micro SD untuk pembacaan maupun penulisan data dengan menggunakan sistem antarmuka SPI. Modul tersebut dalam membaca SD card maupun SDHC (high speed card) dengan tegangan operasional 5v.



Gambar 8. Modul Micro SD Card

H. Sensor Tegangan DC

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Tegangan DC

Spesifikasi	
Tegangan input	0 - 25 V
Tegangan deteksi	0.02445 – 25 V DC
Ketelitian pengukuran	0.00489 V
Ukuran	25 x 13 mm

Pemilihan penggunaan sensor tegangan ini dikarenakan sensor ini dapat digunakan pada tegangan DC hingga 5 kali input tegangan yang digunakan, input tegangan yang digunakan adalah 5v sehingga sensor ini mampu membaca hingga tegangan 25v DC.

I. Sensor Arus ACS712

Untuk memprogram sensor arus ini pada arduino menggunakan library Robojax Allegro ACS Current Sensor untuk menghasilkan pembacaan lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan tegangan offset untuk ketelitian pembacaan seperti pada umumnya dijumpai di berbagai program sensor arus acs712. Library ini memanfaatkan sistem average untuk dapat menghasilkan hasil yang akurat meskipun tegangan VCC Arduino tidak konstan.

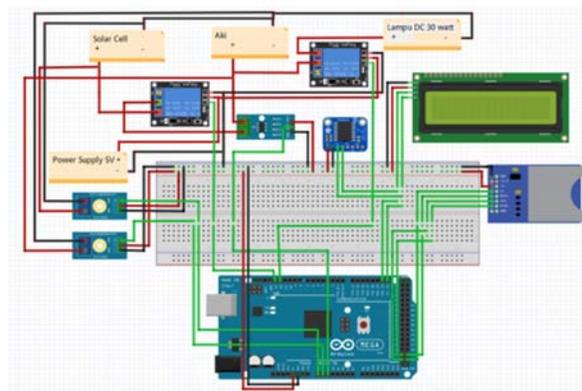
J. Modul LCD 16X2

Modul ini adalah hasil penggabungan antara modul i2C LCD dan LCD 16x2. Kelebihan menggunakan modul ini ialah dapat menghemat pin-pin pada Arduino hanya menggunakan 4 pin saja yaitu SDA, SCL, VCC, dan GND ketimbang

L. Relay

Relay yang digunakan berupa modul relay 5 volt yang support high dan low signal dari Arduino.

M. Gambar Rangkaian Keseluruhan Sistem



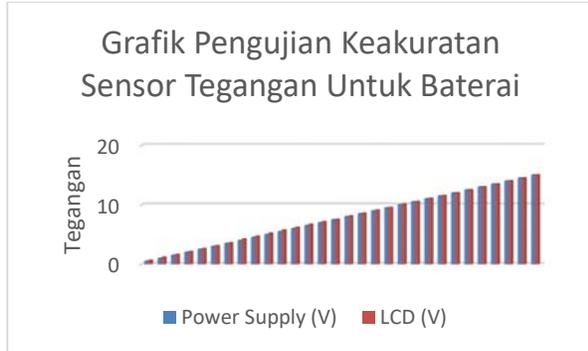
Gambar 9. Rangkaian Keseluruhan Sistem

IV. PENGUJIAN SISTEM

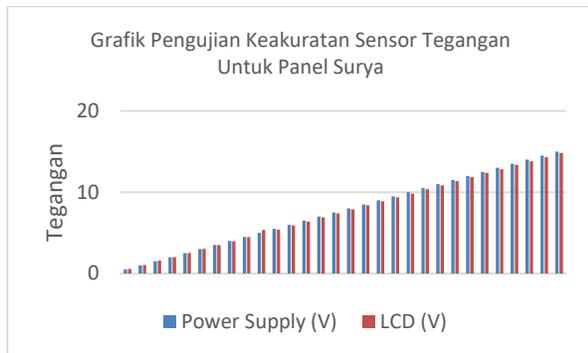
Pemasangan sistem secara keseluruhan dilakukan dengan cara menentukan lokasi pemasangan sistem dimana cahaya matahari tidak terhalang bangunan, merangkai sistem seperti Arduino dan komponen-komponen pendukungnya seperti sensor dan beberapa modul yang dipakai, dan pengujian sistem dengan mengambil beberapa data percobaan. Pengambilan data ini digunakan untuk mengetahui seberapa efektifnya sensor-sensor yang digunakan dan mengambil kesimpulan apakah sistem yang dibuat dapat bekerja secara sempurna.

A. Pengujian Sensor Tegangan di dalam Laboratorium

Pengujian yang dilakukan dengan mengambil data untuk membandingkan dan menguji keakuratan dari pembacaan sensor yang digunakan. Perbandingan yang digunakan adalah perbandingan pembacaan keluaran sumber tegangan dengan menggunakan power supply yang ada pada laboratorium dan pembacaan tegangan pada tampilan LCD Arduino. Dari hasil pengujian berikut adalah data yang didapatkan.



Gambar 10. Grafik Pengujian Keakuratan Sensor Tegangan Untuk Baterai

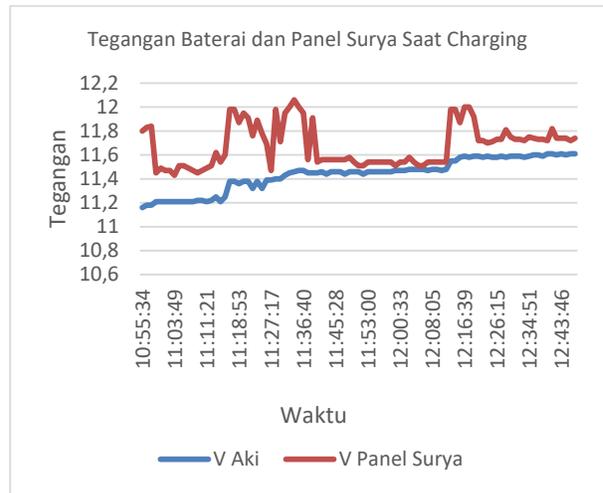


Gambar 11. Grafik Pengujian Keakuratan Sensor Tegangan Untuk Panel Surya

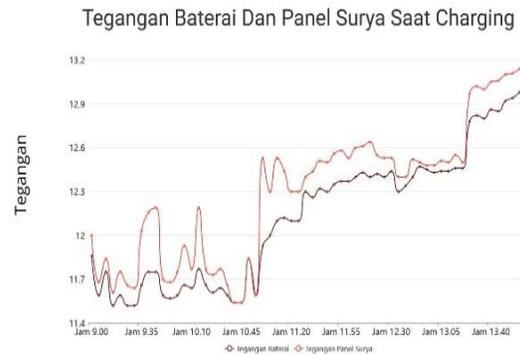
Dari gambar 10 dan 11 dapat dilihat bahwa sensor tegangan yang dipakai keakuratannya tidak sempurna melainkan memiliki selisih pembacaan berkisar antara 0.02 V dan 0.2 V. Hal ini terjadi karena tegangan pada Arduino yang digunakan tidak konstan sehingga menyebabkan sensor yang menggunakan tegangan pada Arduino sebagai acuan untuk menentukan nilai tegangan mengakibatkan selisih pembacaan.

B. Hasil Pembacaan Sensor Tegangan

Gambar 12 dan 13 menunjukkan hasil pembacaan sensor tegangan. Dari hasil gambar 12 dan 13 pembacaan sensor tegangan sangat fluktuatif dikarenakan cuaca pada musim hujan kurangnya sinar matahari dan sinar matahari cenderung ditutupi oleh awan sehingga menyebabkan grafik pembacaan yang berubah-ubah. Tetapi hasil pembacaan sensor tegangan ini pada baterai dapat disimpulkan bahwa rangkaian ini berfungsi dengan semestinya yaitu pengisian daya pada baterai yang digunakan.

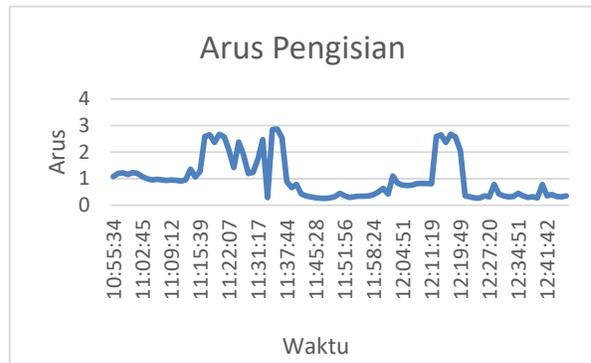


Gambar 12. Grafik Tegangan pada Baterai dan Panel Surya 21 November 2022



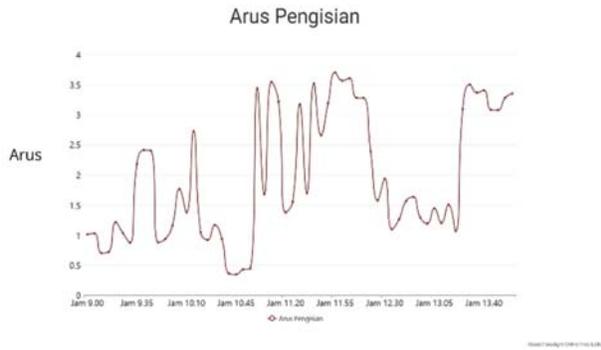
Gambar 13. Grafik Tegangan pada Baterai dan Panel Surya 30 Desember 2022

C. Hasil Pembacaan Sensor Arus



Gambar 14. Grafik Arus Pengisian 21 November 2022

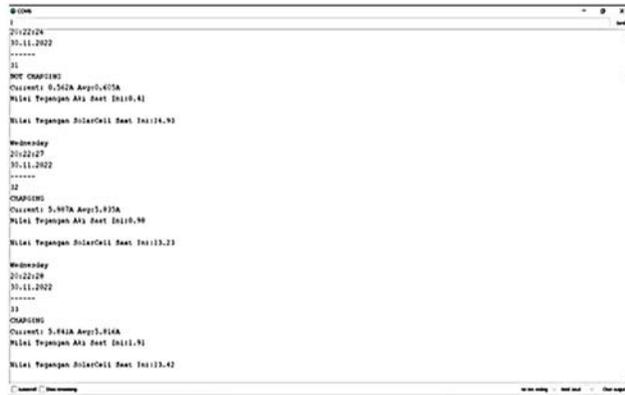
Pada gambar 14 dan 15 ini adalah hasil pembacaan dari sensor arus yang ada di solar cell. Terlihat perubahan yang sangat fluktuatif yang dipengaruhi dengan cuaca yaitu sinar matahari yang ditutupi oleh awan dan kondisi mendung secara tiba-tiba.



Gambar 15. Grafik arus pengisian 30 Desember 2022

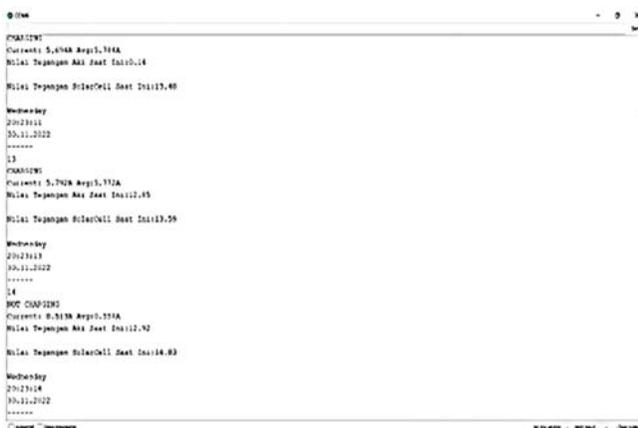
D. Pengujian Relay Charger

Untuk melakukan pengujian apakah relay berfungsi dengan baik atau tidak berfungsi, maka dibuat suatu kondisi yang tidak nyata yaitu Ketika tegangan baterai diatas 10 Volt maka proses charging akan berhenti, sebaliknya jika tegangan baterai di bawah 5 Volt proses charging akan berjalan.



Gambar 16. Hasil Pengujian Relay Charger Baterai Menyala

Pada gambar 16 terlihat proses charging menyala dikarenakan tegangan di bawah 5. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan power supply dikarenakan kondisi malam, panel surya tidak bekerja. Kemudian untuk mendapatkan tegangan di bawah 5 Volt untuk menguji relay maka rangkaian sensor tegangan baterai dilepas sehingga proses charging akan dimulai dikarenakan tegangan di bawah 5 Volt.



Gambar 17. Hasil Pengujian Relay Charger Baterai Mati

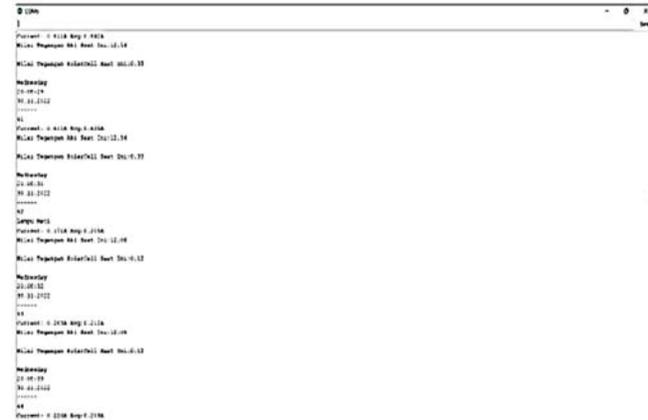
Pada gambar 17 terlihat proses charging telah berhenti dikarenakan tegangan baterai sudah di atas 11 Volt. Pengujian relay charging baterai ini dapat disimpulkan bahwa relay untuk charging baterai berfungsi dengan semestinya.

E. Pengujian Relay Lampu

Untuk melakukan pengujian apakah relay berfungsi dengan baik atau tidak berfungsi, maka lampu akan disetel untuk nyala dan mati setelah 20 detik untuk mempercepat proses pengujian relay tersebut.



Gambar 18. Hasil Pengujian Relay Lampu Saat Keadaan Menyala



Gambar 19. Hasil Pengujian Relay Lampu Saat Keadaan Mati

F. Analisa Kecukupan dari pemilihan lampu PJU, solar cell, dan battery yang digunakan

Solar cell yang digunakan 100 Wp, battery 65 Ah, dan lampu PJU 30 Watt

Lampu PJU 30 watt, waktu penggunaan 12 jam/hari

Energi yang dibutuhkan per-hari = 30 W x 12 jam = 360 Wh

Kebutuhan Baterai (Ah) :

Kebutuhan Energi Beban = 360 Wh per-hari

Kebutuhan Ah per-hari = 360 Wh / 12 V = 30 Ah

DOD yang dipakai = 75%

Kemampuan penyimpanan = 1.5

Kapasitas baterai = (30 Ah x 1.5) / 75% = 60 Ah

Kebutuhan Solar Panel (Wp) :

Kebutuhan Energi Beban = 360 Wh per-hari

Peak Sun Hours (Psh) = 4 jam

Pada kondisi cerah kapasitas solar panel = $360 \text{ Wh} / 4 = 90 \text{ Wp}$

Pada kondisi berawan kapasitas solar panel = $(1.5 \times 360 \text{ Wh}) / 4 = 135 \text{ Wp}$

Kondisi Cerah :

Kebutuhan baterai = $100 \text{ Wp} \times 4 \text{ jam} = 400 \text{ Wh}$

Kebutuhan Ah per-hari = $400 \text{ Wh} / 12 = 33.33 \text{ Ah}$

Kapasitas baterai = $(33.33 \text{ Ah} \times 1.5) / 75\% = 66.66 \text{ Ah}$

Kondisi berawan:

Kebutuhan baterai = $135 \text{ Wp} \times 4 \text{ jam} = 540 \text{ Wh}$

Kebutuhan Ah per-hari = $540 \text{ Wh} / 12 = 45 \text{ Ah}$

Kapasitas baterai = $(45 \text{ Ah} \times 1.5) / 75\% = 90 \text{ A}$

Berdasarkan analisa yang dibuat, pemilihan solar cell dan baterai sudah tercukupi untuk menghasilkan energi yang cukup untuk menyalakan lampu PJU selama 12 jam. Akan tetapi pemilihan solar cell dan baterai ini layak digunakan apabila saat kondisi cuaca cerah seharian tanpa adanya gangguan seperti cuaca mendung secara tiba-tiba. Saat musim hujan, matahari biasanya tidak nampak karena cuaca mendung/hujan untuk mengatasi masalah ini pada perhitungan analisa kecukupan di atas dibutuhkan setidaknya panel surya 135 Wp agar dapat memenuhi kebutuhan energi PJU selama 12 jam saat kondisi berawan (musim hujan).

G. Analisa Data

Pengujian alat ini diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja alat ini. Berdasarkan pengujian alat yang dilakukan untuk melakukan charging dan discharge pada baterai apakah berfungsi dengan baik, terlihat tegangan pada baterai terus naik menandakan baterai sedang dalam proses charging. Berdasarkan pengujian, semakin besar energi listrik yang dihasilkan solar cell maka semakin cepat juga baterai akan terisi penuh.

Pengujian alat ini menghasilkan data uji pengisian yang sangat baik. Grafik pengisian energi dari panel surya sesuai dengan naik turunnya intensitas cahaya matahari, dimana ketika cuaca mendung atau matahari tertutupi awan maka tegangan dan arus pada solar cell akan turun seperti pada gambar 12, 13, 14, dan 15. Untuk memaksimalkan pembacaan parameter nilai pengisian energi listrik pada sensor yang dipakai dapat dilakukan dengan memperbaiki program pembacaan ADC atau memakai eksternal ADC sehingga pembacaan nilai parameter lebih presisi. Untuk mengantisipasi tegangan berlebih atau overvoltage pada alat charging control dapat ditambah dengan buzzer.

V. KESIMPULAN

Secara keseluruhan alat yang dibuat, dapat bekerja dan berfungsi sebagaimana yang diharapkan tetapi kekurangannya adalah menggunakan solar cell sehingga daya pengisian yang kecil saat musim hujan. Dalam kondisi mendung seharian, baterai tidak mendapatkan suplai dari solar cell.

Berdasarkan perhitungan analisa kecukupan dibutuhkan minimal panel surya 135 Wp untuk dapat memenuhi kebutuhan energi lampu PJU dan membuat baterai tidak terkuras habis yang dapat merusak komponen baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutaeruk, C. *Prototype Sistem Otomatis Lampu Solar Panel Hemat Energi Bertenaga Surya Berbasis Arduino Uno*, 5-20, 2019.
- [2] Sasmito, E. P. *Rancang Bangun Pembangkit Unit Solar Charge Controller Accu 12 Volt – 65 Ah Pada Lampu Penerangan LED Solar Cell 50 Wp dan Hybrid Di Taman Teknik Fisika – ITS Surabaya*, 5-25, 2014.
- [3] Syahadad, H. & Zakri, A. A. "Perancangan Otomasisasi Pengisian Baterai Dengan Sumber Energi Surya", *Jom FTEKNIK* Volume 5 Edisi 2 Juli s/d Desember 2018, 2-6, 2018
- [4] Wicaksono, F. S. & Winardi, S. *Rancang Bangun Control Otomatis Solar Cell Berbasis Arduino Uno Dengan Penampil Tegangan Accumulator*, 3-7. 2018