

Rancang Bangun Solar Power Meter Berbasis Arduino Uno dengan Data Logger untuk Pengukuran Insolasi dan Iradiasi Sinar Matahari

Aris Kiswanto*, Hanif Caesar Rachmad, Achmad Solichan, Arief Hendra Saptadi,
Dina Mariani, Moh. Toni Prasetyo

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Semarang

*email: ariskiswanto@unimus.ac.id

Abstract

In planning the installation of solar panels at a location, it is necessary to have solar irradiance data at that location. Solar irradiance data is obtained through direct measurements using a solar irradiance meter. Solar irradiance measuring instruments usually use one of three types of sensors, including thermopile (pyranometer), solar cells, or photodiodes. Each has advantages and disadvantages. The advantages of solar cell sensors are that they have a faster response to sunlight, are more in line with the production of energy produced by solar panels and have a more economical price compared to other sensors. Solar irradiance is directly proportional to the short-circuit current of the solar cell. The aim of this research is to design an Arduino Uno-based device to measure the insolation and irradiance of sunlight, equipped with a data logger to support data analysis. The solar power meter is designed using a solar cell reference with a short circuit current of 455 mA. The microcontroller board used is Arduino UNO ATmega328 while the current sensor used is WCS2801 with a sensitivity of 2mA/mV. Irradiation, current and insolation data are recorded and stored every minute using a datalogger to SD card with a capacity of 16 GB. the average of % error when testing the comparison of readings with photodiode-based solar power meter is 1.747%. The highest point of sun insolation is 5.56.kWh/m² during three-day period of data logging and it is achieved when solar cell is positioned horizontally on the terrace.

Keywords — Irradiance, Insolation, Arduino, Data Logger.

1. Pendahuluan

Di era modern kini, perkembangan teknologi dibidang energi terbarukan kian berkembang pesat. Salah satunya adalah energi sinar matahari. Bertambahnya kebutuhan akan energi bagi kalangan masyarakat juga menjadi salah satu alasan berkembangnya teknologi energi terbarukan. Pengembangan dalam pemanfaatan energi terbarukan adalah suatu upaya untuk menghadapi krisis energi dan pemanasan global akibat pemanfaatan energi fosil [1].

Dalam proses perencanaan pemasangan panel surya diperlukan adanya data iradiasi matahari. Iradiasi (*irradiance*) adalah daya untuk tiap luas unit dalam kejadian radiasi elektromagnetik pada sebuah permukaan dengan satuan W/m² [2]. Untuk memperoleh data iradiasi matahari pada suatu lokasi perlu adanya sebuah alat yang mampu memonitoring dan melakukan pengukuran daya matahari secara berkala dan bersifat *real time*. Pentingnya informasi iradiasi matahari adalah untuk mensimulasikan dan memberikan studi kelayakan suatu lokasi atau situs apakah layak untuk menginstal panel surya sekaligus untuk memeriksa kualitas sistem yang berjalan apakah sesuai dengan nilai produksi daya yang diharapkan.

Iradiasi matahari dapat dihitung menggunakan sensor pyranometer atau berdasarkan acuan panel surya. Namun pada umumnya instrumentasi pengukuran iradiasi matahari menggunakan pyranometer, dikarenakan pemakaiannya yang cukup mudah dan tingkat akurasi yang cukup tinggi [3]. Namun harga dari pyranometer cukup mahal belum lagi memerlukan tambahan perangkat untuk menghitung serta merekam data. Sedangkan pengukuran iradiasi

matahari menggunakan acuan panel surya dapat diperoleh melalui arus hubung singkat dari panel surya dengan harga yang lebih murah [4].

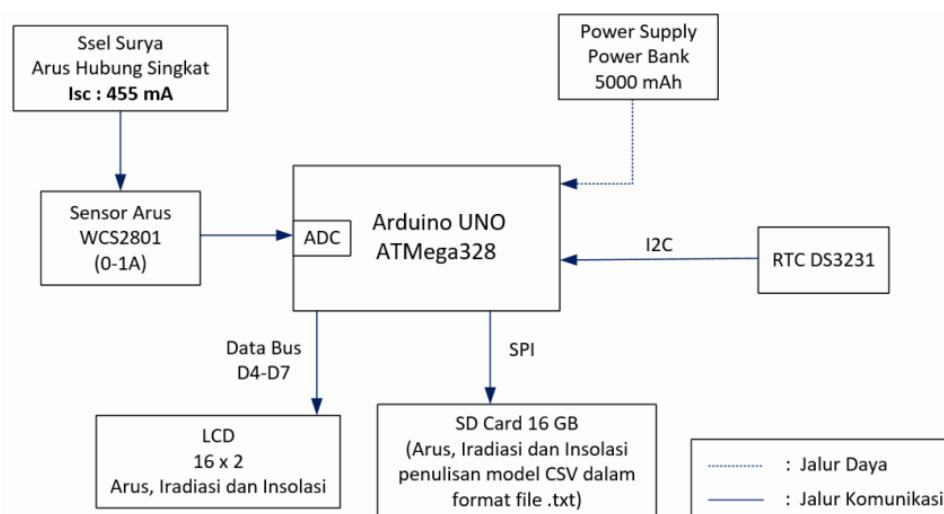
Oleh karenanya pemasangan panel surya yang tepat menjadi penting untuk diketahui, tidak semata-mata berdasarkan pengamatan secara visual, tetapi juga dengan mempertimbangkan analisis rekaman data dari beberapa kali pengukuran insolasi dan iradiasi sinar matahari. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang perangkat pengukur insolasi dan iradiasi berbasis Arduino Uno yang dilengkapi dengan Data Logger untuk mendukung analisis data.

2. Metode Penelitian

Secara umum, metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah rekayasa keteknikan berupa rancang bangun untuk menciptakan perangkat pengukur insolasi dan iradiasi sinar matahari berbasis Arduino Uno yang dilengkapi dengan Data Logger.

2.1 Rancangan Sistem

Alat ini bekerja dengan membaca arus hubung singkat dari sel surya yang telah dihubungsingkatkan melalui sensor arus WCS2801 sebagaimana Gambar 1. Arus listrik yang dihasilkan sel surya akibat terkena pancaran sinar matahari dibaca oleh sensor dan diubah menjadi sinyal digital. Sinyal digital yang diperoleh dari sensor arus lalu diolah menggunakan algoritma pemrograman pada Arduino UNO menjadi pembacaan arus dan iradiasi matahari dengan rentang pembacaan 0 – 1000 W/m².



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Hasil pembacaan iradiasi matahari kemudian diakumulasikan tiap detiknya untuk dimasukkan ke dalam perhitungan insolasi matahari dengan satuan Wh/m² lalu ditampilkan melalui LCD Data, direkam sekaligus disimpan untuk tiap menitnya pada media penyimpanan berupa SD card dengan kapasitas sebesar 16 GB. Data waktu didapatkan dari RTC DS3231 sebagai alternatif dari DS1307 untuk aplikasi yang serupa [5].

Suplai daya listrik Arduino UNO menggunakan *powerbank* dengan kapasitas 5000 mAh dan output tegangan 5V yang terhubung melalui kabel data pada Arduino UNO. Program ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Arduino melalui Arduino IDE [6].

2.2 Perencanaan Sel Surya

Pertimbangan pemilihan sel surya didasarkan atas 3 hal yaitu desain ukuran alat yang akan dibuat, arus hubung singkat yang tinggi agar dapat terbaca oleh sensor arus serta ukuran

fisik sel surya yang kecil. Oleh karenanya dipilih sel surya berspesifikasi seperti pada Tabel 1. Nilai-nilai parameter dari modul sel surya akan memengaruhi nilai iradiasi yang diperoleh [7].

Tabel 1. Spesifikasi Sel Surya

Parameter	Nilai / Jenis
Jenis Sel Surya	Polycrystalline silicon dengan epoxy plate
Daya Maksimal (P)	$1 \text{ Mx} \rightarrow 10^{-8} \text{ Wb} = 10^{-8} \text{ V} \cdot \text{s}$
Arus Maksimal (I_{max})	$1 \text{ G} \rightarrow 10^{-4} \text{ T} = 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$
Arus Hubung Singkat (I_{sc})	$1 \text{ Oe} \rightarrow 10^3/(4\pi) \text{ A/m}$
Ukuran Fisik (Dimensi)	$65 \times 35 \times 3 \text{ mm}$ atau $2.55 \times 1.37 \times 0.11 \text{ (inch)}$

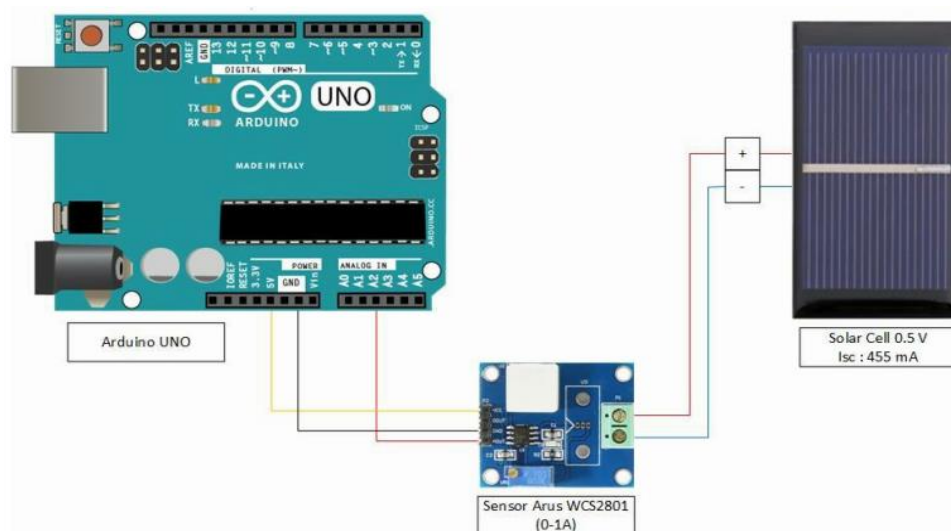
2.3 Perencanaan Sensor Arus

Berdasarkan data dari spesifikasi arus hubung singkat dari sel surya yang dipakai, maka ditentukan pemilihan sensor arus dengan rentang pembacaan 0 - 1 A. Untuk rentang pembacaan arus tersebut dipilih tipe WCS2801 yaitu salah satu sensor arus yang menerapkan Hall Effect dalam pengukuran arus [8,9]. Sensor tersebut memiliki spesifikasi seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Sensor Arus WCS2801

Parameter	Nilai / Jenis
Jenis Deteksi Arus	AC / DC
Deteksi Arus Minimum	$0 \sim 1.0 \text{ A}$ (Suplai tegangan $/V_{\text{CC}}$: 5 V)
Sensitifitas	2 mV/mA
Rentang Tegangan Operasi	$3.0 \sim 12 \text{ V}$
Arus Operasi	3 mA

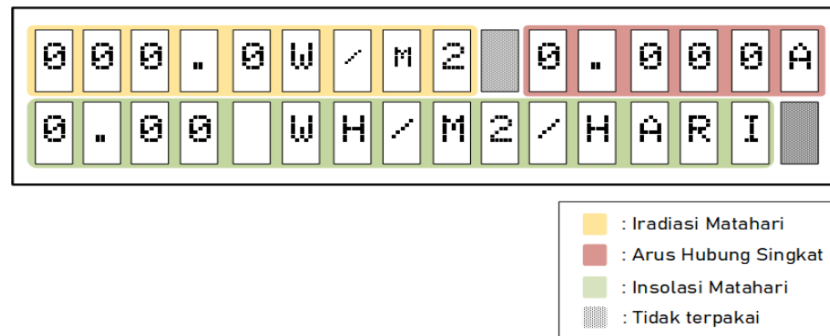
Adapun diagram pengkabelan (*wiring diagram*) sel surya, sensor arus dan *board* Arduino UNO adalah seperti pada Gambar 2. Terminal positif (+) dan Negatif (-) sel surya terhubung pada input atau masukan positif (+) dan negatif (-) sensor arus WCS2801. Sedangkan output dari sensor arus yaitu pin VCC terhubung pada pin 5V Arduino, pin GND sensor arus terhubung pada pin GND Arduino lalu yang terakhir pin AOOUT (Analog Output) dari sensor terhubung dengan pin A2 pada Arduino.



Gambar 2. Diagram Pengkabelan

2.4 Perencanaan Tampilan LCD

Penampil Liquid Crystal Display (LCD) yang digunakan adalah berjenis *dot matrix* yang terdiri dari 16 kolom dan 2 baris (16 x 2). Data yang ditampilkan pada LCD meliputi iradiasi (W/m^2), arus hubung singkat (A) dan intensitas iradiasi matahari atau insolasi matahari (Wh/m^2). Perencanaan tampilan pada LCD Display adalah seperti pada Gambar 3.

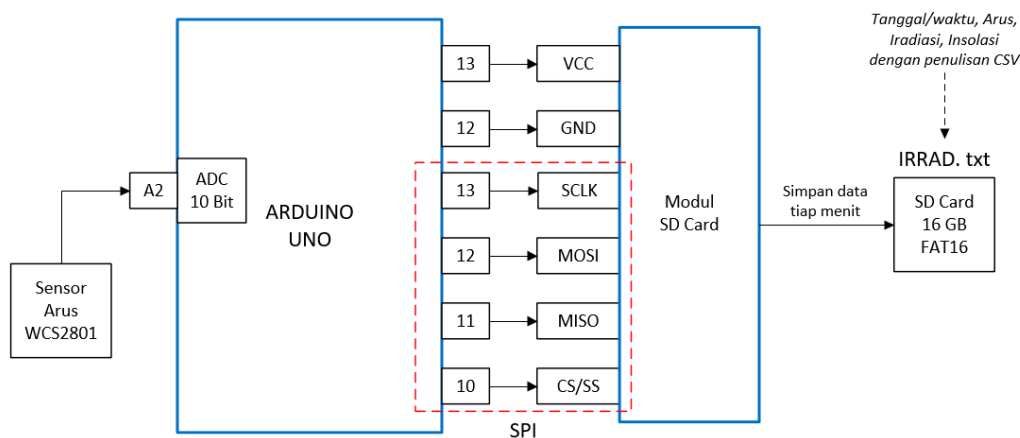


Gambar 3. Rancangan Tampilan LCD

2.5 Metode Perekaman Data pada SD Card

Parameter yang direkam meliputi tanggal dan waktu, arus hubung singkat (I_{sc}), iradiasi matahari dan insolasi matahari harian untuk tiap menit. Tanggal dan waktu yang tercatat, diperoleh dari cip *Real Time Clock* (RTC) yang dikontrol sepenuhnya oleh mikropengendali 8-bit [10], dalam hal ini adalah ATmega328P pada Arduino Uno. Seluruh data kemudian disimpan dalam bentuk teks berformat file .TXT dengan metode penulisan data *berupa Comma Separated Value* (CSV) yang merupakan format penulisan data dengan pemisah menggunakan tanda koma (,) atau titik koma (;). Tujuan metode penulisan data dalam bentuk CSV ini agar file teks tersebut dapat memudahkan proses input data secara besar ke dalam bentuk tabel yang dapat dibaca melalui aplikasi Microsoft Excel untuk didapatkan plot grafik iradiasi matahari terhadap perubahan waktu.

Pada proses perekaman data modul SD Card dihubungkan ke pin 13 (SCLK), pin 12 (MOSI), pin 11 (MISO) dan pin 10 (CS). Dalam proses ini Arduino UNO berperan sebagai SPI *Master* sedangkan modul SD Card sebagai SPI *Slave*. Diagram blok komunikasi antara Arduino UNO dengan modul SD Card adalah sebagaimana pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Pin untuk Sensor Arus dan Modul SD Card

2.6 Penghitungan Iradiasi dan Insolasi Matahari

Perubahan nilai arus hubung singkat pada sel surya berbanding lurus terhadap perubahan iradiasi matahari [3] sebagaimana persamaan berikut.

$$I_{ph} = I_{sc} \cdot G \quad (1)$$

atau:

$$G = \frac{I_{ph}}{I_{sc}} \quad (2)$$

Sedangkan insolasi matahari dengan satuan Wh/m^2 dihitung berdasarkan total jumlah energi pada jangka waktu tertentu. Nilai iradiasi matahari dijadikan sebagai acuan penghitungan insolasi tiap detiknya. Berikut adalah persamaan untuk penghitungan insolasi matahari.

$$I = \frac{G \cdot \Delta t}{3600} \quad (3)$$

dengan:

I_{ph} = arus hubung singkat terbaca (A)

I_{sc} = arus hubung singkat sesuai spesifikasi (A)

G = iradiasi matahari (W/m^2)

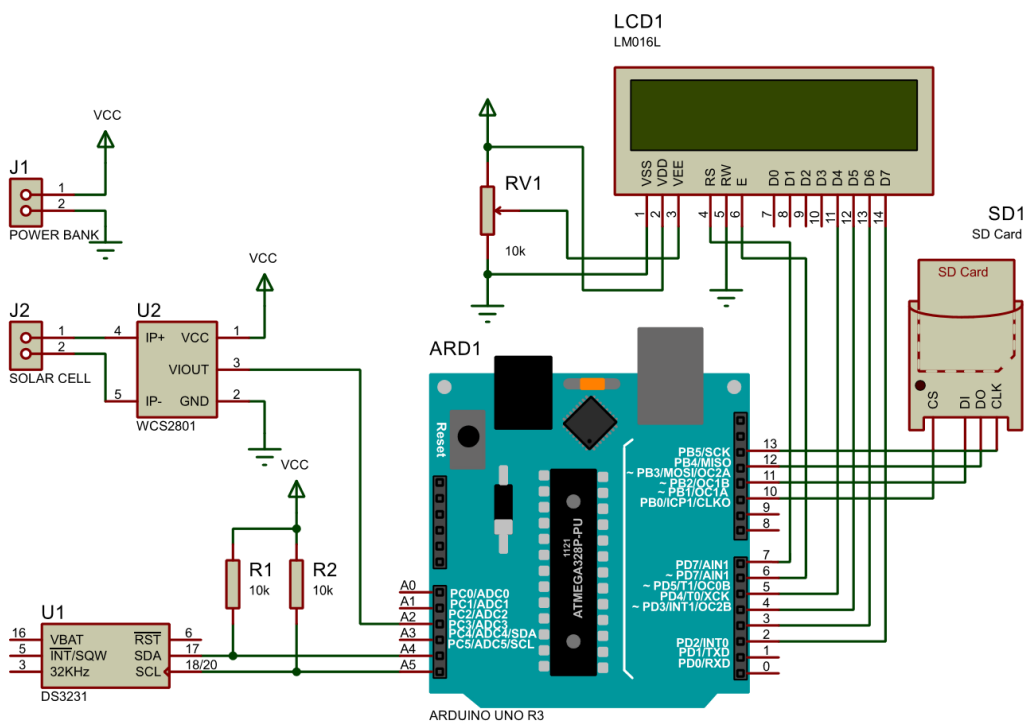
I = insolasi matahari (Wh/m^2)

Δt = perubahan waktu (detik)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Realisasi Perangkat

Secara keseluruhan, rangkaian lengkap dari perangkat yang telah direalisasikan adalah sebagaimana pada Gambar 5. Catu daya didapatkan dari Power Bank. Penggunaan Power Bank dengan tegangan masukan sebesar 5 Volt tersebut memungkinkan perangkat dioperasikan secara berpindah-pindah atau bersifat portabel [11]. Modul sel surya menghasilkan masukan menuju sensor arus WCS2801. Data direkam menuju modul SD Card dengan *timestamp* diperoleh dari RTC DS3231. LCD Alphanumerik 16 x 2 menampilkan teks data pengukuran. Adapun bentuk fisik dari alat adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



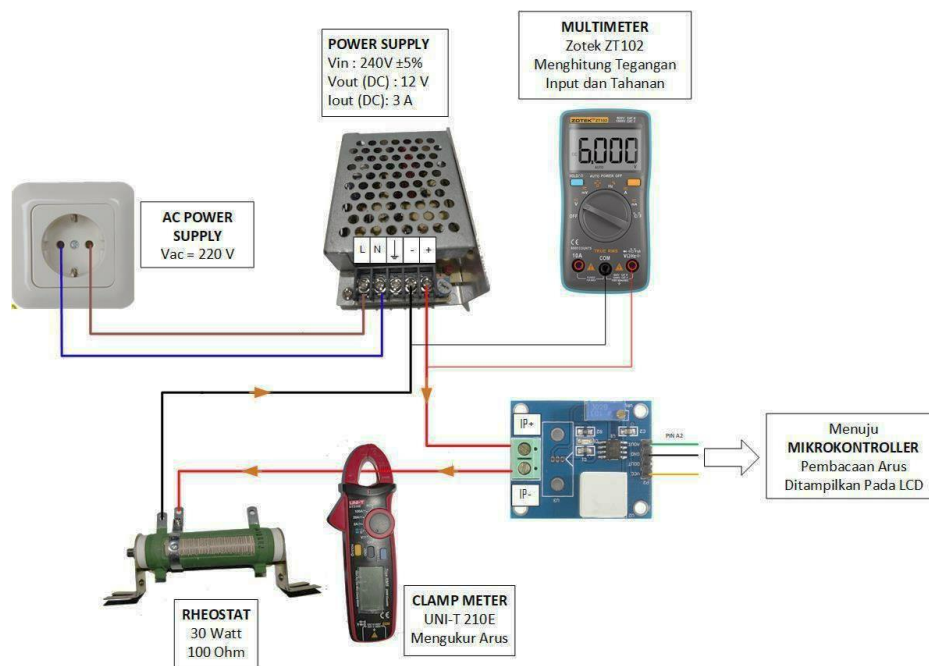
Gambar 5. Rangkaian Lengkap Perangkat



Gambar 6. Bentuk Fisik Perangkat

3.2 Pengujian Perangkat

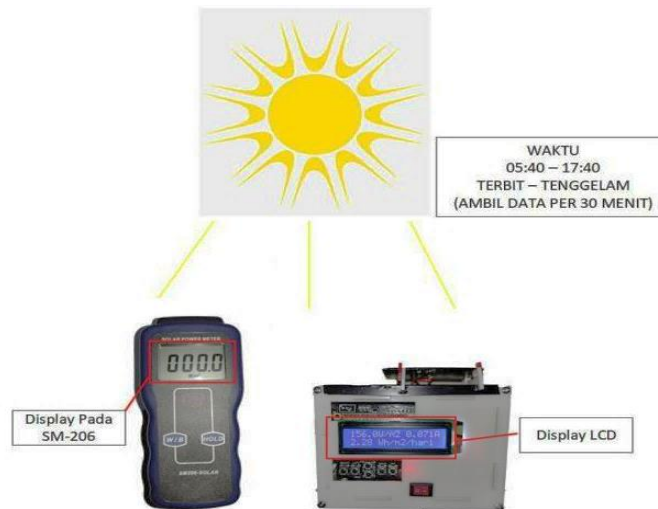
Agar alat dapat beroperasi sesuai dengan hasil yang diharapkan dan proses perekaman data dapat diperoleh secara akurat maka diperlukan beberapa tahapan pengujian. Pengujian terutama ditujukan pada sensor arus yang merupakan bagian utama dari sistem secara keseluruhan. Rangkaian pengujian sensor arus adalah seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Pengujian Sensor Arus WCS2801

3.3 Perekaman Data

Setelah pengujian alat selesai, maka dilanjutkan ke tahapan perekaman data pada lokasi yang terletak di koordinat: 6°55'30.6"S 109°48'13.5"E dengan alamat, OHC PT Bhimasena, Panjer, Wonokerso, Kec. Kandeman, Kabupaten Batang, Jawa Tengah. Proses ini dilakukan di atas teras OHC PT. Perekaman data via alat yang dibuat dan pembandingan hasilnya dengan pembacaan iradiasi *solar power meter* berbasis *photodiode* SM-206 adalah seperti Gambar 8.



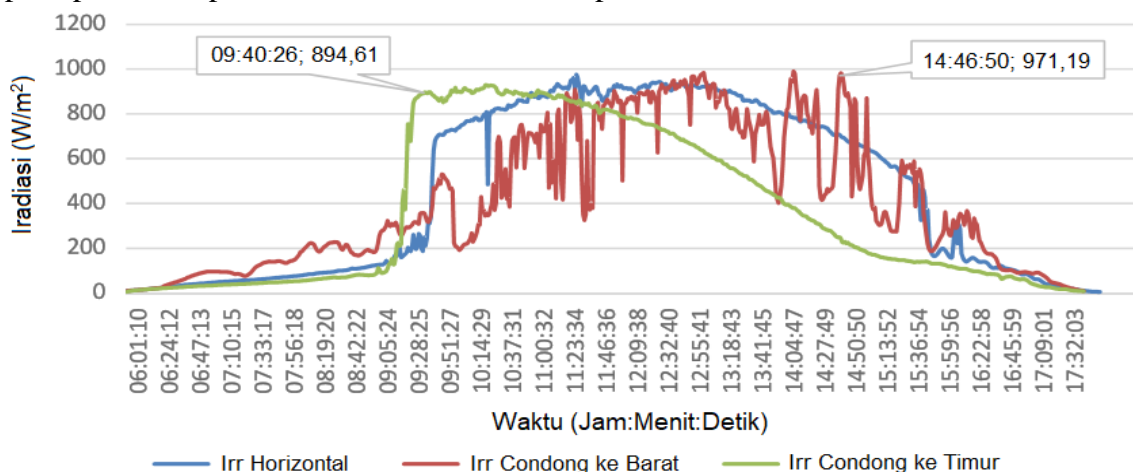
Gambar 8. Ilustrasi Perekaman Data Iradiasi

Perekaman dilakukan selama masing-masing tiga hari untuk tiga posisi sel surya yang berbeda. Sedangkan frekuensi pengambilan data adalah satu kali tiap menitnya. Pengambilan data pada *solar power meter* SM-206 yang berbasis *photodiode* dilakukan setiap 30 menit sekali dan dibandingkan dengan data di tampilan LCD. Secara keseluruhan jika dibandingkan antara hasil pembacaan pada *solar power meter* SM-206 sebagai acuan terhadap data hasil perekaman, menghasilkan % error maksimal, minimal dan rata-rata, masing-masing sebesar 8,837%, 0,14% dan 1,7474%.

3.4 Hasil Perekaman Data Iradiasi dan Insolasi

Perekaman data iradiasi dengan alat dilakukan untuk tiga posisi yang berbeda di atas teras OHC PT. Bhimasena Power Indonesia C62 selama tiga hari untuk memperoleh data insolasi yang paling optimal dari mulai terbit matahari hingga terbenam matahari yaitu mulai pukul 05:40 hingga 17:50. Ada pun kondisi awan diabaikan dan dianggap cerah untuk setiap pengambilan data.

Berikut seperti pada Gambar 9 adalah perbandingan grafik iradiasi untuk tiga posisi yang berbeda dan diambil data iradiasi maksimum masing-masing posisi dan dibandingkan pada pukul berapa iradiasi maksimum itu dicapai.

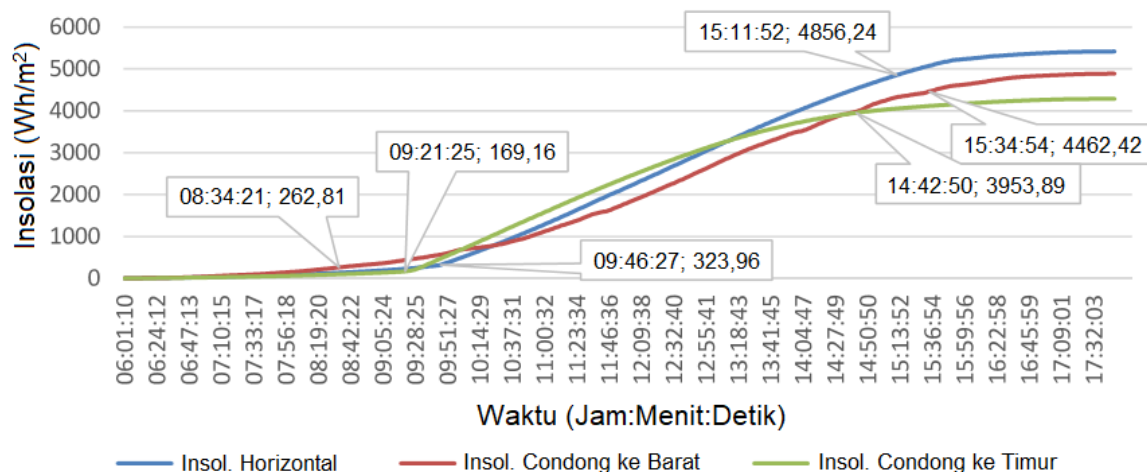


Gambar 9. Grafik Perbandingan Iradiasi untuk Tiap Posisi

Secara umum, besarnya nilai iradiasi sinar matahari dipengaruhi oleh arah dan sudut optimal dari peletakan alat ukur [12]. Garis hijau menunjukkan posisi condong ke timur

sedangkan garis merah untuk posisi condong ke barat sedangkan garis biru menunjukkan posisi horizontal terhadap teras. Pada grafik terlihat bahwa pada saat posisi condong ke timur (grafik hijau) di waktu yang sama dengan posisi lain nilai iradiasi sudah mencapai angka sekitar 900 W/m^2 pada pukul 10:00 WIB sedangkan pada posisi yang lain belum mencapai angka iradiasi 400 W/m^2 di waktu tersebut. Namun angka iradiasi pada posisi condong ke timur perlahan turun mulai pukul 11.00 berkebalikan dengan grafik iradiasi pada posisi condong ke barat yang perlahan mulai naik dan mencapai nilai maksimumnya pada pukul 14.13 WIB dengan nilai iradiasi 990 W/m^2 . Sedangkan grafik pada posisi horizontal stabil di antara kedua grafik tersebut dan mencapai nilai iradiasi maksimum pada pukul 11.32 WIB dengan nilai iradiasi 976 W/m^2 .

Gambar 10 memperlihatkan perbandingan data insolasi untuk masing-masing posisi yang berbeda. Diperoleh hasil untuk garis merah yang menunjukkan data kenaikan insolasi pada saat posisi condong ke arah barat terlebih dahulu mengalami kenaikan nilai insolasi, kemudian disusul oleh garis warna hijau yang menunjukkan data kenaikan insolasi pada saat posisi condong ke arah timur lalu yang terakhir disusul oleh garis warna biru yang menunjukkan kenaikan data insolasi pada saat posisi horizontal. Kenaikan nilai insolasi yang melambat terlebih dahulu dialami oleh data insolasi pada saat posisi condong ke timur yaitu mulai pukul 14.42 WIB, kemudian disusul oleh data insolasi pada saat posisi horizontal mulai pukul 15.11 WIB lalu yang paling terakhir yaitu pada saat posisi condong ke arah barat mulai pukul 15.34 WIB.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Insolasi untuk Tiap Posisi

3.5 Hasil Pengujian Tampilan LCD

Pada pengujian tampilan LCD diperoleh hasil bahwa karakter yang ditampilkan oleh LCD sudah sesuai dengan rancangan tampilan LCD seperti Gambar 11 berikut ini. Data yang ditampilkan mencakup iradiasi matahari, arus hubung singkat dan insolasi matahari dapat ditampilkan seluruhnya pada tampilan LCD tanpa ada satu pun karakter yang kurang atau tidak dapat ditampilkan.



Gambar 11. Tampilan Data pada LCD

3.6 Analisis Kapasitas SD Card

Dari keseluruhan perekaman data yang dilakukan, Tabel 3 memperlihatkan rincian jumlah data yang terekam dan kapasitas memori yang digunakan. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa jumlah data yang terekam pada SD Card untuk masing-masing tanggalnya sudah sesuai serta ruang penyimpanan yang digunakan untuk satu kali perekaman data membutuhkan memori penyimpanan rata-rata sebesar 28,3 KB untuk tiap file nya. Dengan kapasitas memori SD Card yang tersedia adalah 14,8 GB, maka secara teoritis itu dapat digunakan untuk perekaman data selama 1448 tahun.

Tabel 3. Analisis Kapasitas SD Card

Tanggal	Mulai	Selesai	Lama Pencatatan (Jam)	Jumlah Data Terekam	Jumlah Data (Seharusnya)	Ukuran File (KB)
17/08/2021	05:41	17:59	12:18	738	738	28
18/08/2021	05:35	17:53	12:18	738	738	30
19/08/2021	05:35	17:53	12:18	738	738	29
20/08/2021	05:46	17:46	12:00	720	720	28
21/08/2021	05:41	17:50	12:09	729	729	27
22/08/2021	05:46	17:55	12:09	729	729	27
23/08/2021	05:37	17:47	12:10	730	730	28
24/08/2021	05:51	18:00	12:09	729	729	30
25/08/2021	06:01	18:07	12:06	726	726	28

4. Kesimpulan

Perancangan dan perakitan alat ukur iradiasi matahari atau solar power meter berbasis acuan sel surya dengan Data Logger telah mendapatkan hasil sesuai dengan diagram rancangan awal. Hasil pengujian alat ukur iradiasi matahari berbasis acuan sel surya dengan spesifikasi arus hubung singkat sebesar 455 mA selama 12 jam pengukuran dengan interval pengambilan data iradiasi tiap 30 menit, diperoleh rata-rata % error sebesar 1,747 % terhadap pembacaan *solar power meter* atau alat ukur iradiasi matahari berbasis photodiode SM-206. Perekaman data iradiasi selama tiga hari untuk tiga posisi yang berbeda (horizontal, condong 30° ke barat dan condong 30° ke timur), menghasilkan perekaman insolasi matahari rata-rata tertinggi untuk tiga hari perekaman data yaitu pada saat sel surya diposisikan horizontal terhadap teras dengan nilai insolasi matahari sebesar 5,56 kWh/m² per harinya.

Daftar Pustaka

- [1] Hasibuan, A., & Pramana, R. (2013). Perancangan Sistem Monitoring Intensitas Radiasi Matahari (Final Project). Fakultas Teknik Universitas Maritim Raja Ali Haji, Riau.
- [2] Zhu, H., & Blackburn, P. (2018). *Understanding Radiance (Brightness), Irradiance and Radiant Flux*. Energetiq. Retrieved September 22, 2021, from <https://www.energetiq.com/technote-understanding-radiance-brightness-irradiance-radiant-flux>
- [3] Tan, R. H., Tai, P. L., & Mok, V. H. (2013, November). Solar irradiance estimation based on photovoltaic module short circuit current measurement. In *2013 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)* (pp. 1-4). IEEE.
- [4] Adi, A. S. (2016). Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Melalui Rancang Bangun Serta Pengukuran dengan Sensor Solar Irradiance dan Temperatur

- (Final Project). Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Suryawinata, H., Purwanti, D., & Sunardiyo, S. (2017). Sistem monitoring pada panel surya menggunakan data logger berbasis ATmega 328 dan Real Time Clock DS1307. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 30-36.
 - [6] Pauzan, M. (2020). *Bahasa Pemrograman Arduino* (1st ed.). K-Media.
 - [7] Ibrahim, H., & Anani, N. (2017). Variations of PV module parameters with irradiance and temperature. *Energy Procedia*, 134, 276-285.
 - [8] Dewi, S. D. T., Panatarani, C., & Joni, I. M. (2016, February). Design and development of DC high current sensor using Hall-Effect method. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1712, No. 1, p. 030006). AIP Publishing LLC.
 - [9] Suryono, A. R., & Suseno, J. E. (2009). Karakterisasi Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber Magnet dan Implementasinya pada Pengukuran Massa. *Berkala Fisika*, 12(1).
 - [10] Palo-Tejada, E., Campos-Falcon, V., Merma, M., & Huanca, E. (2020). Low-cost data logging device to measure irradiance based on a Peltier cell and artificial neural networks. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1433, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
 - [11] Atika, Z., Leow, W. Z., Iszaidy, I., Irwan, Y. M., Safwati, I., Irwanto, M., ... & Saw, S. X. (2021, July). Development A Portable Solar Energy Measurement System. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1962, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
 - [12] Danandeh, M. A. (2018). Solar irradiance estimation models and optimum tilt angle approaches: A comparative study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 319-330.