

SISTEM SENSOR NIRKABEL UNTUK MONITORING EFISIENSI PANEL SURYA

Ahlan Pakradiga dan Suryono Suryono

Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: suryono@fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Solar panels are devices consist of several solar cells that convert light into electrical energy. In order to work optimally, a monitoring system to electrical current, voltage, and light intensity in solar cells is needed. The monitoring system can be wirelessly carried out, so that solar panels can be remotely monitored without having to go to the field. The solar panel monitoring system used a wireless sensor system that uses sensors, System on Chip (SoC) Wi-Fi Microcontroller, and computers. The sensors used were ACS712 current sensor, voltage sensor, and BH1750 light intensity sensor module. Before it was used, the current sensor and voltage sensor should be characterized and calibrated. Data stored in the database can be processed to calculate savings on solar panels in real time using php programming, then it was transferred to the web. The characterization equation for the current sensor is $y = 944.9x + 13597.0$, the average error for calibrating the current sensor is 3.39%. The characterization equation for the voltage sensor is $y = 471.2x - 206.2$ and the average error for the voltage sensor calibration is 0.77%. Sensor calibration is obtained by an average error of 1.10%. The efficiency of solar panels at bright times is 12.49%. In this study, it has been found that the efficiency of solar panels is influenced by the intensity of sunlight.

Keywords: *solar panel, monitoring system, remotely, sensor, efficiency of solar panels*

ABSTRAK

Panel surya merupakan alat yang terdiri dari beberapa sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi energi listrik. Agar panel surya bekerja secara optimal, diperlukan sebuah sistem monitoring yang dapat menampilkan kinerja yang dihasilkan panel berupa arus, tegangan, dan intensitas cahaya secara nirkabel, sehingga efisiensi panel surya dapat dipantau dari jarak jauh tanpa harus ke lapangan. Pada sistem monitoring digunakan sebuah sistem wireless sensor network dengan memanfaatkan sensor, System on Chip (SoC) Wi-Fi Micronroller, dan komputer. Sensor yang digunakan yaitu sensor arus ACS712, sensor tegangan, dan modul sensor intensitas cahaya BH1750. Sebelum digunakan, sensor arus dan sensor tegangan dilakukan karakterisasi dan kalibrasi. Data yang disimpan pada database dapat diolah untuk menghitung efisiensi panel surya secara real time dengan menggunakan pemrograman php, kemudian ditampilkan pada web. Persamaan karakterisasi untuk sensor arus adalah $y = 944,9x + 13597,0$, error rata-rata untuk kalibrasi sensor arus adalah 3,39 %. Persamaan karakterisasi untuk sensor tegangan adalah $y = 471,2x - 206,2$ dan error rata-rata untuk kalibrasi sensor tegangan adalah 0,77 %. Error kalibrasi sensor cahaya sebesar 1,10%. Efisiensi panel surya pada kondisi cerah yaitu 12,49%. Pada penelitian ini dapat diperoleh bahwa nilai efisiensi panel surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari.

Kata Kunci: *panel surya, sistem monitoring, jarak jauh, sensor, efisiensi panel surya*

PENDAHULUAN

Krisis energi merupakan masalah yang dihadapi oleh berbagai negara di dunia. Krisis ini dapat terjadi akibat semakin menipisnya cadangan minyak dunia. Saat ini, produksi energi di dunia didominasi oleh berbagai jenis bahan bakar karbon fosil. Hal ini dapat berdampak pada berbagai sektor, khususnya perekonomian. Dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, pemanfaatan energi alternatif non-fosil harus lebih ditingkatkan. Ada beberapa energi alam yang bersih, tidak berpolusi, aman dan persediaannya tidak terbatas yang dikenal dengan energi terbarukan, diantaranya adalah energi surya [1].

Panel surya dapat menghasilkan energi listrik searah pada dua kabel konduktor keluarannya. Energi tersebut biasanya diatur untuk menghasilkan tegangan keluaran yang stabil sehingga mutunya baik untuk digunakan ke beban atau disimpan dalam akumulator. Banyak faktor yang mempengaruhi keluaran daya listrik panel surya. Secara eksternal besar daya keluaran tersebut dipengaruhi oleh faktor lingkungan, diantaranya intensitas cahaya dan arah datangnya sinar matahari. Jika kondisi lingkungan tersebut mengalami fluktuasi, maka daya keluaran panel surya juga akan berubah-ubah [2].

Penggunaan panel surya memiliki beberapa keuntungan, yaitu biaya operasional yang sangat rendah, berbeda dengan harga bahan bakar fosil, yang rentan terhadap perubahan harga. Selain itu, panel surya tidak memiliki bagian yang bergerak secara mekanis, sehingga membuatnya bebas dari polusi suara dan tahan lama, dengan sedikit perawatan yang dibutuhkan [3].

Salah satu indikator kinerja penting dari panel surya adalah daya keluarannya yang dapat diukur dari arus dan tegangan keluaran saat panel surya tersebut melakukan konversi energi. Pengukuran

besaran arus dan tegangan keluaran dapat dijadikan rujukan produktivitas panel surya sekaligus sebagai besaran untuk *monitoring* panel surya tersebut. Penempatan panel surya relatif praktis tidak tergantung kepada jaringan lainnya sehingga sel surya dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik suatu daerah terpencil [4].

Energi surya sangat potensial dan melimpah terutama di negara tropis. Pada setiap luasan tertentu, energi radiasi matahari dapat mencapai rata-rata 4,5 kWh/m² [5]. Agar pemanfaatan teknologi sel surya dapat digunakan secara maksimal, maka diperlukan pemantauan keluaran daya secara teratur dan berkala agar efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya dapat diketahui sehingga teknologi sel surya bekerja secara optimal [6].

Dengan semakin berkembangnya teknologi, kondisi panel surya dapat dipantau secara nirkabel dengan menggunakan *System on Chip (SoC)* Wi-Fi Microcontroller tipe ESP8266, sehingga dapat mempermudah *monitoring* tanpa harus ke lapangan. Mikrokontroler tipe ESP8266 digunakan dalam berbagai keperluan, seperti untuk memperoleh data tingkat permukaan air dan sebagai antarmuka untuk mengirim data ke *server host* melalui Wi-Fi. Mikrokontroler Tipe ESP8266 dapat digunakan sebagai *node* yang terdiri dari sensor cahaya, sensor arus, sensor tegangan dan komputer untuk *monitoring* kondisi panel surya [7]. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem instrumen yang dapat menghitung efisiensi panel surya secara *online* menggunakan jaringan wifi.

DASAR TEORI

Panel Surya

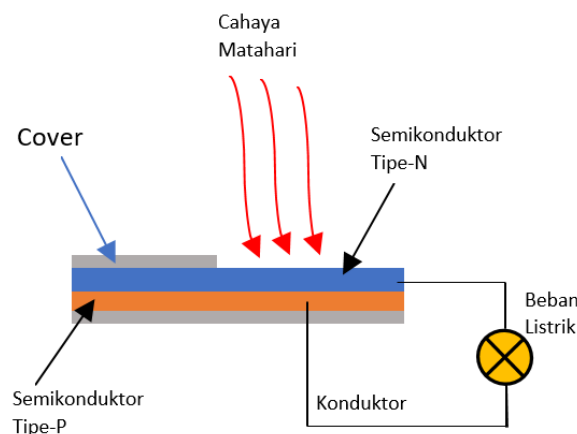
Panel surya adalah sekumpulan sel surya pada luasan panel tertentu yang bekerja secara bersamaan. Sebuah sel surya hanya dapat menghasilkan listrik yang kecil, sehingga untuk menghasilkan listrik yang

besar, sel surya saling dihubungkan terhadap sel surya lainnya dan ditempatkan pada bingkai yang menahan sel atau disebut juga panel surya [8].

Cahaya matahari memiliki spektrum panjang gelombang polikromatik. Panjang gelombang yang dipancarkan memiliki rentang yang besar mulai dari ultraviolet, cahaya tampak dan inframerah [9]. Cara kerja panel surya ditunjukkan pada Gambar 1. Pada panel surya tersebut berlaku persamaan (1).

$$\eta = \frac{V \times I}{E \times A} \quad (1)$$

Dimana V adalah tegangan listrik (Volt), I adalah arus listrik (Ampere), E merupakan intensitas energi radiasi matahari (W/m^2), dan A adalah luas panel surya (m^2).



Gambar 1. Cara kerja sel surya *p-n junction*.

Energi dan Daya Listrik

Energi dalam rangkaian listrik terjadi ketika arus listrik berada di dalam konduktor, pada persamaan (2). Energi listrik diubah secara kontinu menjadi energi panas di dalam konduktor. Energi listrik merupakan energi akhir yang dibutuhkan peralatan listrik.

$$W = V \times I \times t \quad (2)$$

Dengan W adalah energi listrik, V adalah tegangan listrik, I adalah arus listrik, dan t adalah waktu. Daya merupakan usaha atau kerja yang dilakukan per satuan waktu.

Persamaan (3) menunjukkan hubungan daya listrik P dengan arus dan tegangan listrik. Dapat diketahui bahwa semakin besar arus dan tegangan maka semakin besar daya yang dihasilkan. Daya listrik dapat didefinisikan sebagai laju energi listrik dalam rangkaian listrik.

$$P = V \times I \quad (3)$$

Dengan P adalah daya, diukur dalam watt atau joule per detik, I adalah arus listrik, diukur dalam ampere, dan V adalah perbedaan potensial sepanjang komponen, diukur dalam volt [10].

Sensor Cahaya

Sensor cahaya merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Prinsip kerja dari sensor cahaya adalah mengubah energi foton menjadi elektron. Ketika sebuah sumber cahaya memancarkan radiasi menuju bahan sensor, maka terjadi lompatan elektron. Lompatan ini yang menghasilkan aliran listrik karena ketika energi yang diterima oleh bahan sensor cukup, terjadi lompatan elektron yang menyebabkan sifat resistansi bahan menurun [11].

Secara fisis, kerja sensor cahaya dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



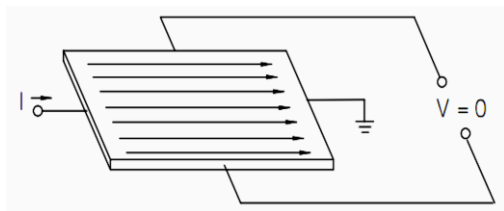
Gambar 2. Proses eksitasi dan de-eksitasi elektron pada fotodiode [11].

Proses fisis sensor cahaya menggunakan efek fotolistrik. Efek fotolistrik adalah peristiwa terjadinya pengeluaran elektron dari suatu permukaan (biasanya logam) ketika dikenai atau

menyerap radiasi elektromagnetik yang berada di atas frekuensi ambang yang nilainya tergantung pada jenis permukaan [11].

Sensor Arus

Sensor arus bekerja sesuai dengan efek Hall yaitu peristiwa timbulnya potensial listrik pada bahan semi-konduktor akibat plat tersebut dialiri arus listrik. Potensial tersebut terjadi akibat pengaruh medan magnet yang ditimbulkan oleh konduktor berarus dan menginduksi plat bahan semikonduktor. Besar beda potensial berkorelasi terhadap arus listrik yang mengalir. Konfigurasi plat semi-konduktor pada efek Hall ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip dasar efek Hall [11].

Pada Gambar 3, beda potensial yang terjadi berkorelasi terhadap kuat medan magnet dan besar arus listrik yang melintasi plat tersebut. Semakin besar arus yang melintasi plat semi-konduktor, maka semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan. Besar beda potensial yang dihasilkan merupakan keluaran sensor tersebut [11].

Sensor Tegangan

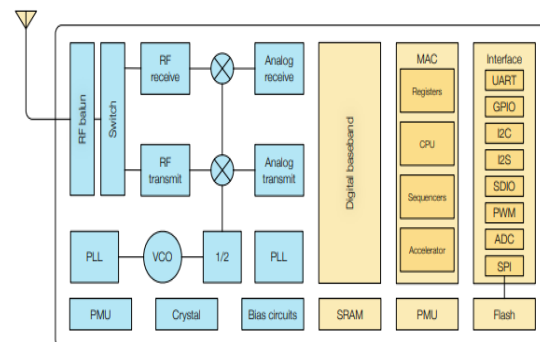
Tegangan listrik dapat diukur dengan menggunakan *voltmeter* dan osiloskop. *Voltmeter* bekerja dengan cara mengukur arus dalam sirkuit ketika dilewatkan melalui *resistor* dengan nilai tertentu. Sesuai dengan hukum Ohm, besar tegangan sebanding dengan besar arus dengan nilai resistansi yang sama. Sensor tegangan menerapkan prinsip rangkaian pembagi

tegangan. Rangkaian ini digunakan untuk menurunkan tegangan panel yang tinggi menjadi lebih rendah agar dapat masuk ke dalam rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC) mikrokontroler [9].

System on Chip (SoC) Wi-Fi Microcontroller

System on Chip (SoC) Wi-Fi Microcontroller merupakan sebuah modul yang terdapat dalam *chip* dan berintegrasi dengan *Wi-Fi* tanpa menggunakan mikrokontroler tambahan. *SoC Wi-Fi Microcontroller* dapat mengoperasikan dan menyimpan instruksi. *SoC Wi-Fi Microcontroller* dapat diprogram menggunakan Arduino IDE. Arduino IDE dapat digunakan untuk menulis program dan mengunggah program menuju *board* mikrokontroler [12].

Salah satu *SoC Wi-Fi Microcontroller* adalah mikrokontroler tipe ESP8266. Arsitektur mikrokontroler ESP8266 ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Arsitektur ESP8266 [13].

ESP8266 adalah *SoC Wi-Fi Microcontroller* berbiaya rendah dengan kemampuan TCP/IP yang diproduksi oleh pabrikan Espressif Systems. Modul ESP8266 memiliki ukuran yang kecil, namun modul ESP8266 sangat kokoh. Modul ESP8266 memiliki beberapa *pin GPIO* (*Pin input dan output*). Sebagian besar modul ESP8266 memerlukan catu

daya khusus yang dapat memberikan setidaknya 300mA. Modul ESP8266 memiliki *Port Micro USB* yang dapat digunakan untuk mengirim program dan memberikan arus yang dibutuhkan modul ESP8266. Modul ESP8266 mampu berfungsi dengan konsisten di lingkungan industri, karena rentang suhu untuk beroperasi sangat besar [12].

Analog to Digital Converter

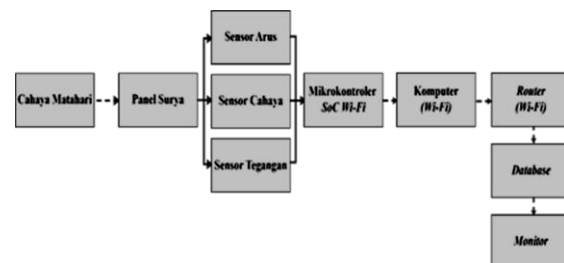
Salah satu *ADC microcontroller* yang digunakan adalah mikrokontroler ADS1115, dengan spesifikasi 16-bit daya rendah, kompatibel dengan I2C, dan memiliki fitur *programmable gain amplifier (PGA)*. Mikrokontroler ADS1115 dapat melakukan konversi dengan kecepatan data hingga 860 sampel per detik (SPS). PGA menawarkan rentang *input* kurang lebih 256 mV hingga 6144 mV, sehingga memungkinkan pengukuran sinyal besar dan kecil secara presisi. Mikrokontroler ADS1115 memiliki fitur *Multiplexer (MUX)*, yang memungkinkan dua pengukuran hingga empat pengukuran sekaligus [11].

Wireless Sensor Network (WSN)

Jaringan sensor nirkabel atau *Wireless Sensor Network (WSN)* merupakan sebuah jaringan yang menghubungkan perangkat-perangkat seperti sensor *node*, *router*, dan komputer. Banyak yang bisa dilakukan menggunakan *WSN*, seperti pengumpulan data kondisi lingkungan, melakukan *monitoring* kondisi lingkungan, dan *monitoring* keamanan. Sensor *node* yaitu *node* yang berfungsi untuk membaca data lingkungan atau objek yang dipantau, untuk keperluan pembacaan atau penginderaan variabel yang diinginkan, *node* dilengkapi dengan satu atau beberapa perangkat sensor. *Router* merupakan *node* yang berfungsi untuk meneruskan paket data dari sebuah *node* ke *node* lain.

METODE

Rancangan sistem terdiri dari *hardware* dan *software* yang ditunjukkan pada Gambar 6. Kerja sistem ini adalah ketika sinar matahari memancarkan cahaya, kemudian energi dari cahaya ditangkap oleh panel surya. Intensitas cahaya yang ditangkap dapat diukur dengan menggunakan sensor cahaya BH1750. Energi dari cahaya yang ditangkap oleh panel surya menghasilkan *output* berupa tegangan dan arus. Tegangan dan arus pada keluaran panel surya diukur dengan menggunakan sensor tegangan dan sensor arus ACS712.



Gambar 6. Diagram blok sistem *monitoring*.

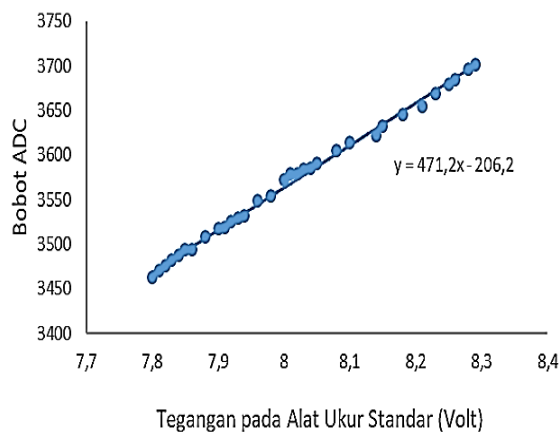
Output dari kedua sensor merupakan sinyal analog yang dibaca oleh mikrokontroler dengan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital terlebih dahulu, menggunakan *analog to digital converter (ADC)*. Setelah itu mikrokontroler ESP8266 mengirim data yang diterima oleh sensor menuju komputer melalui *Wi-Fi router* yang telah terkonfigurasi untuk melakukan komunikasi data yang dapat diakses menggunakan *web browser* yang memiliki alamat *IP Address* yang telah dikonfigurasi. Komputer berfungsi untuk menyimpan dan mengolah data pada *database*.

Untuk menghitung efisiensi panel surya digunakan persamaan (1). Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman php, dan ditampilkan pada monitor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi dan Kalibrasi Sensor Tegangan

Hasil karakterisasi pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan terhadap ADC ditunjukkan oleh Gambar 7. Pengukuran data karakterisasi didapatkan nilai persamaan regresi linier yaitu $y = 471,2x - 206,2$. Pada Gambar 7 sumbu-x adalah variabel nilai tegangan yang terbaca pada alat ukur standar dan sumbu-y merupakan variabel nilai ADC yang didapatkan pada pembacaan mikrokontroler.



Gambar 7. Grafik karakterisasi sensor tegangan.

Persamaan yang didapat dimasukkan ke dalam program dan digunakan untuk menyesuaikan nilai keluaran sensor tegangan dengan nilai pada alat ukur standar melalui perhitungan, dan ditampilkan pada antarmuka.

Setelah dilakukan karakterisasi sensor tegangan maka tahap selanjutnya adalah kalibrasi sensor tegangan. Kalibrasi sensor tegangan dilakukan dengan cara membandingkan nilai tegangan yang dibaca pada komputer terhadap nilai tegangan yang terbaca oleh alat ukur standar. Tabel kalibrasi sensor tegangan ditunjukkan pada Tabel 1, dengan nilai *error* rata-rata 0,77%. *Error* kalibrasi yang

didapatkan disebabkan oleh beberapa faktor, yakni faktor suhu lingkungan, *noise* pada mikrokontroler atau sensor, dan sensitivitas sensor tegangan.

Tabel 1. Kalibrasi sensor tegangan.

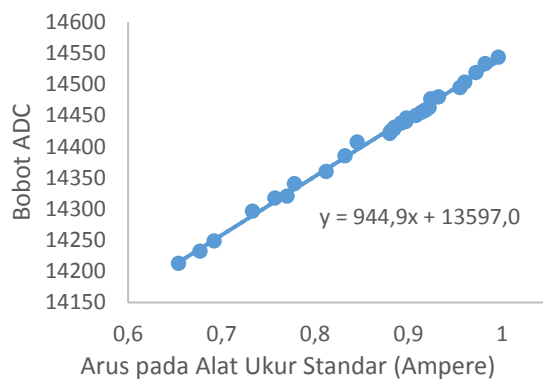
No	Tegangan pada sistem yang dibuat (Volt)	Tegangan referensi (Volt)	Error (%)
1	12,520	12,650	1,038
2	12,570	12,690	0,955
3	12,570	12,670	0,796
4	12,590	12,700	0,874
5	12,600	12,690	0,714
6	12,620	12,740	0,951
7	12,650	12,730	0,632
8	12,700	12,840	1,102
9	12,740	12,810	0,549
10	12,750	12,880	1,020
11	12,810	12,910	0,781
12	12,840	12,920	0,623
13	12,910	13,010	0,775
14	12,940	13,040	0,773
15	12,980	13,070	0,693
16	13,010	13,120	0,846
17	13,060	13,160	0,766
18	13,090	13,200	0,840
19	13,110	13,210	0,763
20	13,120	13,220	0,762
21	13,160	13,260	0,760
22	13,170	13,260	0,683
23	13,210	13,310	0,757
24	12,650	12,730	0,632
25	12,620	12,740	0,951
26	12,600	12,690	0,714
27	12,590	12,700	0,874
28	12,570	12,690	0,955
29	12,570	12,670	0,796
30	12,520	12,650	1,038

$Error$ rata-rata = 0,770 %

Hasil Karakterisasi dan Kalibrasi Sensor Arus

Hasil karakterisasi sensor arus ACS712 terhadap ADC pada sistem akuisisi data

ditunjukkan pada Gambar 8. Pengukuran data karakterisasi dilakukan untuk mendapatkan nilai persamaan regresi linier yaitu $y = 944,9x + 13597,0$. Sumbu-x adalah variabel nilai arus yang dibaca oleh alat ukur standar dan sumbu-y adalah variabel nilai ADC yang diperoleh dari pembacaan mikrokontroler. Persamaan yang didapat dimasukkan ke dalam program dan digunakan untuk menyesuaikan nilai keluaran sensor arus dengan nilai pada alat ukur standar melalui perhitungan, dan ditampilkan pada antarmuka.



Gambar 8. Grafik karakterisasi sensor arus.

Kalibrasi sensor arus dilakukan dengan membandingkan nilai arus yang dibaca pada komputer dengan nilai arus yang dibaca pada alat ukur standar atau arus referensi. Hasil kalibrasi arus ditunjukkan pada Tabel 2, dengan nilai *error* rata-rata 3,39%.

Hasil Kalibrasi Sensor Cahaya

Kalibrasi sensor cahaya dilakukan dengan membandingkan nilai intensitas cahaya pada sistem yang dibuat dengan intensitas cahaya alat ukur standar. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Kalibrasi sensor arus.

No	Arus pada sistem (Ampere)	Arus referensi (Ampere)	Error (%)
1	0,705	0,687	2,553
2	0,727	0,697	4,127
3	0,749	0,719	4,005
4	0,777	0,797	2,574
5	0,783	0,755	3,576
6	0,797	0,824	3,388
7	0,807	0,777	3,717
8	0,830	0,797	3,976
9	0,832	0,798	4,087
10	0,836	0,821	1,794
11	0,851	0,879	3,290
12	0,872	0,850	2,523
13	0,909	0,893	1,760
14	0,934	0,906	2,998
15	0,938	0,902	3,838
<i>Error rata-rata = 3,394 %</i>			

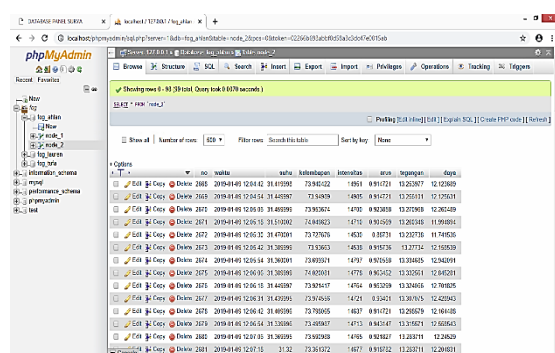
Tabel 3. Kalibrasi sensor cahaya.

No	Lux pada Sistem yang dibuat (lx)	Lux referensi (lx)	Error (%)
1	0	0	0,000
2	227	229	0,881
3	425	430	1,176
4	593	597	0,675
5	765	753	1,569
6	935	921	1,497
7	1113	1125	1,078
8	1456	1474	1,236
9	1823	1839	0,878
10	2675	2689	0,523
11	2921	2967	1,575
12	3151	3143	0,254
13	3722	3771	1,316
14	4350	4376	0,598
15	5510	5591	1,510
16	6143	6213	1,470
17	7336	7412	1,140
18	8227	8331	1,036
19	9588	9622	1,264
20	10773	10923	1,264
<i>Error rata-rata = 1,10%</i>			

Error rata-rata yang dihasilkan sangat kecil yaitu 1,10 %. Jika nilai *error* semakin kecil maka data pengukuran semakin akurat. Dari *error* rata-rata yang didapat, menandakan kedekatan data sangat kuat antara intensitas cahaya yang terbaca pada komputer (sistem yang dibuat) dengan intensitas cahaya pada alat ukur standar.

Hasil Pengujian Sistem Akuisisi Data

Pengujian sistem akuisisi data ditampilkan dengan menggunakan *software* XAMPP yang berfungsi sebagai *interface* dalam bentuk *web*. Pengujian diawali dengan melakukan akuisisi data menggunakan sensor arus, sensor tegangan, dan sensor cahaya. Setelah mengakuisisi data arus, tegangan, dan intensitas cahaya, data disimpan ke dalam *database* menggunakan MySQL melalui jaringan Wi-Fi.



Gambar 9. Akuisisi data yang tersimpan ke dalam *database*.

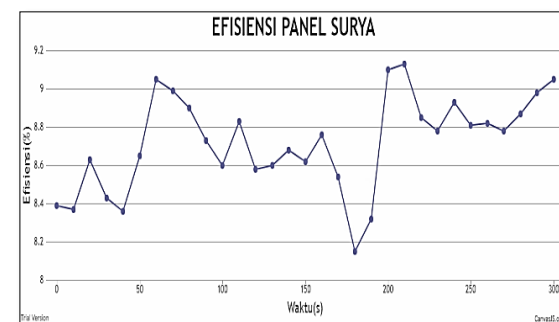
Data yang telah tersimpan ke dalam *database* dapat dilihat melalui *web* dengan membuka localhost/ahlanpakradiga.php dan ditampilkan. Pada Gambar 9, data yang telah terkirim dan tersimpan ke dalam *database* dilakukan secara otomatis. Hasil penyimpanan pada *database* dan penempatan data sesuai dengan tabel yang dibuat. Setelah proses akuisisi data, selanjutnya adalah pengujian *interface*. Data yang ditampilkan pada *interface* menggunakan bahasa pemrograman php (*Hypertext preprocessor*) ditunjukkan pada Gambar 10. Data yang didapat tersebut

dimasukkan ke dalam pemrograman php untuk dilakukan perhitungan efisiensi pada keluaran panel surya.



Gambar 10. Tampilan *interface* pada *web*.

Perhitungan daya dan efisiensi panel surya menggunakan bahasa pemrograman php menggunakan parameter tegangan, arus, intensitas cahaya, dan luas panel, yang kemudian ditampilkan pada antarmuka. Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai efisiensi menurun disebabkan oleh cuaca mendung, dan nilai efisiensi meningkat ketika cuaca cerah. Nilai efisiensi panel surya saat kondisi cerah adalah 12,49%, saat kondisi mendung nilai efisiensi sekitar 6,83% dan saat kondisi malam nilai efisiensi sekitar 0,11%.



Gambar 11. Grafik tampilan efisiensi panel surya.

KESIMPULAN

Akuisisi data pada panel surya dapat dilakukan dengan menggunakan sensor arus ACS712, sensor tegangan dengan model rangkaian pembagi tegangan, dan sensor cahaya BH1750, sehingga dapat

mengukur intensitas cahaya, tegangan, dan arus keluaran pada panel surya. Dari hasil eksperimen diperoleh *error* rata-rata sebesar 0,77% untuk pengukuran tegangan, 3,39 % untuk pengukuran arus, dan 1,10% untuk intensitas cahaya. Sistem komunikasi data pada pengukuran panel surya dapat ditransmisikan dengan menggunakan *System on Chip* (SoC) Wi-Fi Microcontroller secara *online* dan *real time* dengan menggunakan pemrograman berbasis *web*. Efisiensi panel surya dapat diidentifikasi pada kondisi tertentu. Pada kondisi cerah, nilai efisiensi panel surya adalah 12,49%, pada kondisi mendung nilai efisiensi panel surya adalah 6,83%, dan pada kondisi malam efisiensi panel surya adalah 0,11%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryono S, Khuriati A. *Wireless sensor system for photovoltaic panel efficiency*. 2017.
- [2] Bachtiar M. Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system). *SMARTek*. 2006;4:176-182.
- [3] Kabir E, Kumar PA, Adelodun A, Adelodun A, Kim KH. Solar energy: Potential and future prospects. *ScienceDirect*. 2018;894-900.
- [4] Askari M, Mirhabibi M, Abadi VM. *Types of solar cells and application*. *American Journal of Optics and Photonics*. 2015;3:94-113.
- [5] Solarex. Discover the newest world power. Frederick Court, Maryland USA; 1996.
- [6] Yuliananda S, Sarya G, Hastijanti R. *Pengaruh perubahan intensitas matahari terhadap daya keluaran panel surya*. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*. 2015;1:192-202.
- [7] Suryono S, Khuriati A, Mantoro T. A fuzzy rule-based fog–cloud computing for solar panel disturbance investigation. *Cogent Engineering*. 2019;6(1):1-19.
- [8] R. Hantula, 2010, How Do Solar Panels Work?, New York: Chelsea Clubhouse.
- [9] Fachri M, Away Y, Sara I. Pemantauan parameter panel surya berbasis arduino secara real time. *Rekayasa Elektrika*. 2019;11:123-128.
- [10] Abdullah M. *Fisika Dasar I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung; 2016.
- [11] Suryono. *Teknologi sensor*. Semarang: UNDIP Press; 2018.
- [12] Suryono S, Putro SP, Widowati, Adhy S. System on chip (SOC) wi-fi microcontroller for multistation measurement of water surface level using ultrasonic sensor. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;12-29.
- [13] Expressif System. *ESP8266EX Datasheet*, Expressif System Inc; 2018.