

## **Wireless sensor system untuk pengukuran daya listrik panel surya**

*Yurixa Sakhinatul Putri, Suryono dan Jatmiko Endro Suseno*  
Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang  
E-mail: [yurixa@st.fisika.undip.ac.id](mailto:yurixa@st.fisika.undip.ac.id)

### **ABSTRACT**

*In this research, wireless sensor system is used to electrical power of solar cell measurement with wirelessly through of WiFi as data transmission. This system is required to monitoring and measuring electrical power of solar cell with long distance. This system also very helpful personil to do measurement because could be solving a problem in personnel limitations and instrument limitations. So, wireless sensor system become a solution in measurement. The system is made from voltage sensor circuit and current sensor circuit. Sensors are connected to ADC ATSAM3X8E microcontroller. Microcontroller reads voltage and current values by converting the analog scale to digital for sent to computer. Then, the data was saved in database and was sent to central station. Data has sent wirelessly by WiFi which is could be shown via web browser on computer. The result of calibration voltage sensors has correlation 0.9885 to standard gauge and average error 0.013 volts. The result of calibration current sensor has correlation 0.9881 to standard gauge and average error 0.012 ampere. The result of comparison beetween data which is sent from the field and received data has 0% error. So, it could be say that there is no placement data error.*

**Keywords:** *Wireless Sensor System, Electrical Power, Solar Cell, Measurement, WiFi*

### **ABSTRAK**

*Didalam penelitian ini, wireless sensor sytem telahdigunakan untuk melakukan pengukuran daya listrik solar sel dengan pengiriman data menggunakan WiFi. Sistem ini diperlukan untuk pemantauan dan pengukuran daya listrik jarak jauh pada solar. Sistem ini juga sangat membantu personil karena dapat menyelesaikan permasalahan keterbatasan personil dan keterbatasan instrument. Sehingga, wireless sensor system menjadi sebuah solusi dalam melakukan pengukuran. Sistem yang dibuat terdiri dari rangkaian sensor tegangan dan sensor arus. Sensor-sensor tersebut dihubungkan pada ADC mikrokontroler ATSAM3X8E. Mikrokontroler membaca nilai tegangan dan arus dengan mengubah besaran analog menjadi digital untuk dikirimkan ke komputer. Data tersebut kemudian disimpan di dalam basis data dan dikirim ke stasiun pusat. Pengiriman data ini secara nirkabel menggunakan WiFi yang dapat diakses melalui web browser pada komputer. Hasil kalibrasi pembuatan sensor tegangan diperoleh korelasi 0.9985 terhadap alat ukur standar dan error rata-rata 0.013 volt. Pada pengujian sensor arus diperoleh korelasi 0.9881 terhadap alat ukur standar dan error rata-rata 0.012 ampere. Hasil perbandingan data yang dikirim dengan data yang diterima memiliki error 0% sehingga dapat dipastikan bahwa tidak ada kesalahan penempatan data.*

**Kata kunci:** *Wireless Sensor System, Pengukuran, Daya Listrik, Solar Sel, WiFi*

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi dunia terus mengalami peningkatan disetiap tahun sehingga menyebabkan terjadinya kekrisisan energi dunia. Sejauh ini, sebagian besar pasokan energi dunia masih berasal dari bahan bakar fosil dimana bahan bakar tersebut ialah *non renewable energy* [1]. Penggunaan bahan bakar yang *non renewable* harus beralih ke

sumber energi terbarukan (*renewable energy*). Salah satu sumber energi terbarukan ialah energi surya [2]. Energi surya merupakan pemilihan sumber energi yang beralasan mengingat suplai energi surya yang diterima bumi mencapai  $3 \times 10^{24}$  Joule pertahun [3]. Jumlah tersebut setara dengan 10.000 kali konsumsi energi diseluruh dunia saat ini. Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki potensi energi surya terbesar dengan

insolasi harian rata-rata 4,5-4,8 KWh/m<sup>2</sup> per hari [4]. Melihat potensi tersebut maka energi surya di Indonesia dapat dimanfaatkan untuk dijadikan sumber energi listrik yang baru. Pengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dapat digunakan dengan bantuan teknologi sel surya [5].

Pengukuran daya listrik yang dihasilkan pada sel surya perlu dilakukan terutama jika ingin membuat pembangkit listrik tenaga surya pada skala besar. Namun, pengukuran daya listrik sel surya yang dilakukan secara manual dapat mempengaruhi ketersediaan data pengukuran. Hal ini dikarenakan faktor keterbatasan personil, instrument pendukung dan lokasi medan yang menyulitkan sehingga menyebabkan ketidakefisiensian manusia dalam bekerja [6]. Penyediaan data dari pengukuran tersebut perlu didukung dengan teknologi informasi khususnya teknologi pengukuran data jarak jauh (telemetry). Sistem ini dapat membantu pekerjaan manusia dan meningkatkan efisiensi kinerja karena data-data yang di ukur oleh sistem telemetry dapat menampung *history* data secara *real time* [7].

Saat ini telah banyak dikembangkan sistem telemetry tanpa kabel yang tersebar di beberapa titik terhubung dalam satu jaringan yang biasa kita sebut *wireless sensor network* atau *WSN* [8]. Pemakaian sistem telemetry secara nirkabel ini begitu penting untuk diaplikasikan dalam studi kasus ini melihat beberapa faktor yang menyulitkan manusia dalam melakukan pengukuran [9]. Penggunaan *WSN* dapat diterapkan untuk melakukan pengukuran dan monitoring daya listrik pada panel surya secara jarak jauh dengan bantuan *web browser*. Hasil dari pengukuran yang berupa data dapat disimpan didalam basis data pada komputer *client* secara *real time* [10]. Kemudian pengiriman data dilakukan dengan bantuan *WiFi* sebagai media pengirim dan penerima data. Monitoring daya listrik sangat berguna untuk keperluan-keperluan lainnya seperti mengetahui seberapa besar energi listrik yang dihasilkan pada panel surya. Maka

dari itu perlu dilakukan studi penelitian mengenai *wireless sensor system* untuk pengukuran daya listrik panel surya.

## DASAR TEORI

### Arus Listrik, Beda Potensial dan Pengukurannya

Arus listrik pada kawat didefinisikan sebagai jumlah total muatan yang melewatinya per satuan waktu pada suatu titik. Aarus rata-rata  $I$  dituliskan pada Persamaan (1).

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

dengan,  $\Delta Q$  adalah jumlah muatan yang melewati konduktor pada suatu lokasi selama jangka waktu  $\Delta t$ . Tegangan atau beda potensial merupakan pengukuran dari berapa banyak energi yang bisa didapatkan muatan listrik pada situasi tertentu [11].

Pengukuran arus dan tegangan menggunakan galvanometer diterapkan hubungan seri dan paralel. Untuk mengukur arus yang melalui rangkaian, ammeter harus tersusun secara seri dengan elemen-elemen lain agar arus yang melewati sama besar., sedangkan untuk pengukuran tegangan, voltmeter dihubungkan secara paralel dengan elemen rangkaian yang tegangannya akan diukur agar tegangan diantaranya akan sama besar [11].

### Daya Listrik dan Energi Listrik

Daya listrik ( $P$ ), dalam watt, yang dihasilkan oleh sebuah sumber energi saat mengalirkan muatan  $q$  (dalam Coulomb) melewati kenaikan potensial  $V$  (dalam volt) dalam waktu  $t$  (dalam detik) dituliskan pada Persamaan (2).

$$P = \frac{Vq}{t} \quad (2)$$

karena  $q/t = I$  maka, Persamaan (2) dapat ditulis menjadi Persamaan (3).

$$P = VI \quad (3)$$

dengan  $I$  adalah arus yang melewatinya dan  $V$  adalah beda potensial yang melintasinya [12].

Usaha listrik yang dibutuhkan untuk mengalirkan suatu muatan  $q$  (dalam Coulomb) melewati suatu beda potensial  $V$  (dalam Volt) ditentukan oleh Persamaan (4).

$$W = qV \quad (4)$$

Jika  $q$  dan  $V$  diberi tanda yang sesuai (sebagai contoh, potensial naik sebagai positif, dan potensial turun sebagai negatif), usaha akan memiliki tanda yang tepat. Jadi, untuk mengalirkan muatan positif melewati kenaikan potensial, sejumlah usaha positif harus dilakukan terhadap muatan tersebut. Banyaknya muatan  $q$  (Coulomb) yang mengalir melewati kenaikan potensial  $V$  (Volt) dalam satuan waktu  $t$  (detik) dinamakan energi listrik dan dirumuskan oleh Persamaan (5).

$$W = VI \Delta t \quad (5)$$

### Solar sel

Solar sel adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik [13]. Solar sel terbuat dari dua lapisan tipis berbahan semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (negatif) yang tersambung (*junction*). Semikonduktor jenis-N dibuat dari kristal silikon dan terdapat juga sejumlah material lain (umumnya fosfor) di mana material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan elektron bebas. Semikonduktor jenis P juga terbuat dari kristal silikon yang didalamnya terdapat sejumlah kecil materi lain (umumnya boron) di mana material tersebut menyebabkan kekurangan satu elektron bebas biasa disebut *hole*. Jika bagian P dan bagian N dihubungkan dengan rangkaian listrik eksternal maka terjadi hubungan yang dinamakan "*forward bias*". Dalam keadaan *forward bias*, di dalam rangkaian timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam PN junction disebabkan oleh gerakan hole dan gerakan

elektron. Arus listrik itu mengalir searah dengan gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor dapat menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan arah gerak elektron [14].

### Sensor arus Efek Hall

Sensor arus merupakan sensor yang mengubah besaran arus menjadi tegangan listrik dengan menerapkan prinsip efek *Hall*. Efek *Hall* terjadi ketika sebuah medan magnet diletakkan tegak lurus terhadap pelat konduktor atau semikonduktor yang dialiri arus listrik, maka akan terjadi perbedaan potensial ujung – ujung pelat. Besarnya perbedaan potensial atau tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan arus yang mengalir dan kuat medan magnet pada pelat tersebut. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar pula kuat medan magnet yang dihasilkan dan perbedaan potensial atau tegangan juga semakin besar [15].

Prinsip kerja efek *Hall* dipengaruhi oleh gaya Lorentz yaitu suatu muatan listrik yang bergerak dalam suatu medan magnet. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui sebuah pelat konduktor dialiri arus listrik yang mengalir dari kutub positif (atas) ke kutub negatif (bawah) sedangkan pada sisi kanan dan kiri pelat konduktor dihubungkan dengan voltmeter. Medan magnet yang bekerja pada pelat akan membelokkan pergerakan elektron di pelat konduktor tersebut, sehingga elektron bergeser ke sisi kanan pelat yang menyebabkan sisi pelat di bagian kanan lebih negatif daripada sisi pelat di bagian kiri. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan potensial pada sisi kanan dan kiri pelat semikonduktor. Besar tegangan yang dihasilkan sebanding dengan kuat medan magnet dan arus yang mengalir pada pelat tersebut [15].

## Mikrokontroler

Mikrokontroler dapat dikatakan sebagai sistem komputer yang dikemas pada sebuah *chip* yang berfungsi mengendalikan rangkaian elektronik sesuai dengan perintah yang diberikan oleh user atau pengguna. Bahasa pemrograman yang digunakan merupakan bahasa *assembly* dan bahasa *C*. Mikrokontroler umumnya terdiri dari beberapa kebutuhan minimum yaitu *CPU (Central Processing Unit)*, unit memori (*RAM & ROM*), *Input – Output*, juga beberapa fungsi lain seperti *Counter/Timer*, sebuah *ADC (Analog to Digital Converter)* dan *clock internal*[16].

## Wireless Sensor Network

*Wireless Sensor Network (WSN)* secara umum dapat diartikan sebagai jaringan node yang secara bersama merasakan dan memungkinkan untuk mengendalikan lingkungan melalui interaksi antara orang atau komputer dan lingkungan sekitarnya. WSN biasanya terdiri dari sejumlah besar node-node sensor daya rendah yang dipasang dalam area pengawasan. Sensor mengubah data analog ke data digital yang kemudian data tersebut dikirimkan ke suatu node melalui media komunikasi yang digunakan, seperti *bluetooth*, *infrared*, dan *WiFi*. Setiap node WSN umumnya berisi sistem *sensing*, *processing*, *communication*, dan *power*. Sistem *processor* merupakan bagian sistem yang terpenting dalam WSN, yang dapat mempengaruhi konsumsi energi [17].

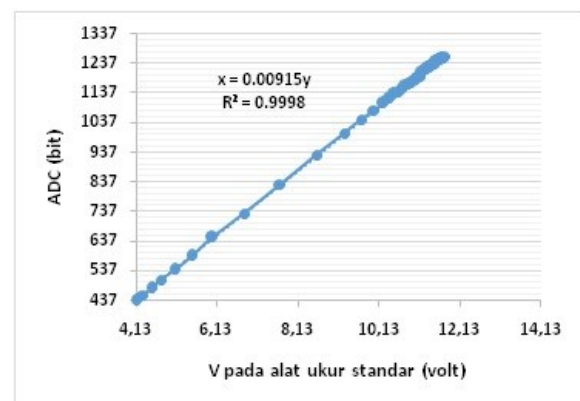
## METODE PENELITIAN

Perancangan dan implementasi *hardware* dan *software wireless sensor system* untuk pengukuran daya listrik panel surya dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: merancang perangkat keras dan perangkat lunak, membuat basis data dan pengujian sistem komunikasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

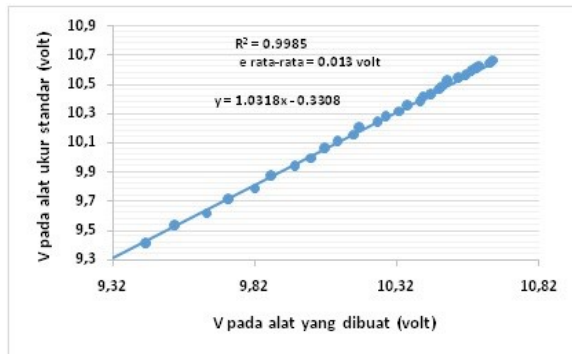
### Hasil karakterisasi dan kalibrasi rangkaian sensor tegangan

Pengukuran data karakterisasi dilakukan agar didapatkan nilai persamaan regresi linier, yakni  $x = 0.00915y$  dengan nilai korelasi 0,9998. Pada sumbu- $x$  merupakan variabel nilai tegangan yang dibaca dengan alat ukur sedangkan pada sumbu  $y$  merupakan variabel nilai ADC yang diperoleh dari pembacaan mikrokontroler. Persamaan yang didapat ini digunakan untuk proses sistem akuisisi data yang dimasukkan kedalam *listing program*. Setelah itu hasil perhitungan ini akan ditampilkan pada antarmuka. Hasil karakterisasi sensor tegangan terhadap ADC pada rangkaian sistem akuisisi data ditunjukkan Gambar 1.



**Gambar 1.** Grafik karakterisasi sensor tegangan terhadap ADC

Pengkalibrasian rangkaian sensor tegangan dilakukan dengan cara *settingcoding* alat yang dibuat dengan membandingkan nilai tegangan yang dibaca pada komputer terhadap nilai tegangan yang dibaca pada alat ukur standar. Grafik kalibrasi tegangan ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil kalibrasi diperoleh nilai korelasi 0,9985 dan error rata-rata 0,013 volt.



Gambar 2. Grafik kalibrasi sensor tegangan

### Hasil karakterisasi dan kalibrasi rangkaian sensor arus

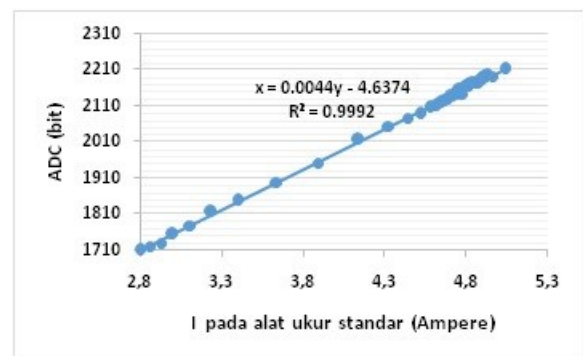
Pengukuran arus menggunakan sensor arus ACS712. Nilai yang ditampilkan dari keluaran sensor ini berupa tegangan yang mengindikasikan nilai arus. Sensor arus ACS712 yang bersifat linier ini sebanding dengan nilai arus yang dibaca dengan alat ukur standar. Perbandingan antara hasil keluaran sensor dengan alat ukur standar menghasilkan sebuah persamaan baru. Persamaan ini dinamakan persamaan karakterisasi. Pada pembacaan ini, keluaran sensor langsung dibaca oleh mikrokontroler sehingga hasil nilai pembacaan berupa nilai digit biner (bit). Pengambilan data karakterisasi tersebut menggunakan sebuah beban lampu dan catu daya aki 12 volt sebagai pengganti panel surya. Hubungan dari hasil keluaran sensor ACS712 terhadap arus panel surya yang terbaca pada alat ukur ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil perbandingan dari setiap perubahan nilai arus terhadap nilai digit biner (bit) ditunjukkan pada Gambar 4. Dari hasil pengukuran data karakterisasi ini didapatkan nilai persamaan regresi linier yakni:  $x = 0.0044y - 4.6374$  dan korelasi 0.9992. Pada sumbu- $x$  merupakan variabel nilai arus yang dibaca dengan alat ukur standar dan pada sumbu- $y$  merupakan variabel nilai ADC yang dibaca melalui mikrokontroler. Dari persamaan ini akan digunakan untuk proses

sistem akuisisi data yang akan dimasukkan kedalam *listing program*. Setelah itu hasil perhitungan ini akan ditampilkan pada antarmuka.

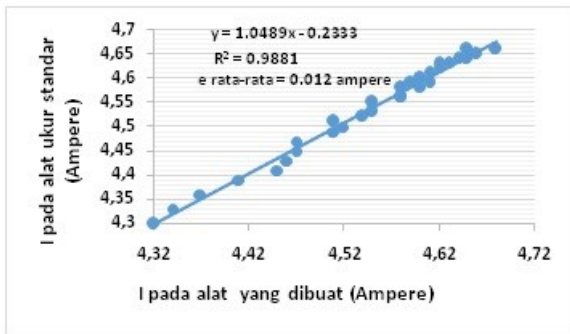


Gambar 3. Grafik hubungan  $V_{out}$  ACS712 terhadap alat ukur arus



Gambar 4 Grafik karakterisasi sensor arus terhadap ADC

Pengkalibrasian sensor arus dilakukan dengan cara mensetting *coding* alat yang dibuat dengan memacu pada alat ukur sebenarnya. Grafik kalibrasi ditunjukkan pada gambar 5. Pada Gambar 5 ditunjukkan nilai korelasi adalah 0,9881 dan error rata-rata 0,012 Ampere. Hal ini menandakan hubungan kedekatan data sangat kuat antara arus pada alat ukur dan arus yang dibaca dari komputer (alat yang dibuat). Error rata-rata yang dihasilkan juga sangat kecil. Dimana hal ini menandakan bahwa keakuratan suatu data sangat baik yang jika nilai error semakin kecil maka data semakin akurat.



Gambar 5. Grafik kalibrasi sensor arus

Setelah melakukan pengujian sistem selanjutnya data dikirim dan disimpan didalam *database Mysql*. Hasil kiriman yang tersimpan pada *database MySql* dapat dilihat melalui *localhost/phpMyAdmin* dan ditampilkan seperti pada Gambar 7.

### Hasil pengujian komunikasi data *Wireless Sensor Network*

### Hasil pengujian sistem akuisisi data

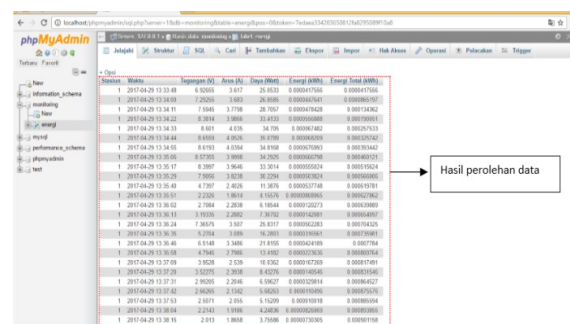
Pengujian sistem akuisisi data ditampilkan dengan menggunakan *software Borland Delphi 7* yang berfungsi sebagai *interface* atau antarmuka terhadap pengguna atau *user*. Tampilan pengujian sistem akuisisi data dapat ditujukan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil tampilan pengujian sistem akuisisi data

Pengujian *wireless sensor network* dilakukan dengan menggunakan 2 buah *TP-Link* yang memiliki IP *default* 192.168.1.1 pada RTU dan IP default 192.168.1.6 pada CTU. Setelah data yang tersimpan didalam basis data *MySql* maka data akan dikirimkan ke stasiun pusat atau CTU dengan cara mengkoneksikan antara *Wi-Fi* melalui *setting TP-Link*.

Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan data yang dikirim dari RTU dengan data yang diterima pada CTU. Dalam pengaksesannya yaitu melalui *web browser* dengan mengakses alamat IP *address* 192.168.1.1 sesuai pada Gambar 8. Kemudian untuk mengetahui apakah data yang dikirim sesuai ialah dengan cara membandingkan data dari RTU dengan data yang diterima pada CTU.



Gambar 7. Hasil penyimpanan *database MySql* pada tampilan *phpMyadmin*



Gambar 8. Hasil kiriman data pada *web*

**Tabel 1** Hasil data pengukuran *wireless sensor system*

	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Energi (kWh)	Energi Total (kWh)
Data yang dikirim dari RTU	2017-04-29 13:33:48	6.92655	3.617	25.0533	0.0000417556	0.0000417556
	2017-04-29 13:34:00	7.29255	3.683	26.8585	0.0000447641	0.0000865197
	2017-04-29 13:34:11	7.5945	3.7798	28.7057	0.0000478428	0.000134362
	2017-04-29 13:34:22	8.3814	3.9866	33.4133	0.0000556888	0.000190051
	2017-04-29 13:34:33	8.601	4.035	34.705	0.000067482	0.000257533
Data yang diterima pada CTU	2017-04-29 13:33:48	6.92655	3.617	25.0533	0.0000417556	0.0000417556
	2017-04-29 13:34:00	7.29255	3.683	26.8585	0.0000447641	0.0000865197
	2017-04-29 13:34:11	7.5945	3.7798	28.7057	0.0000478428	0.000134362
	2017-04-29 13:34:22	8.3814	3.9866	33.4133	0.0000556888	0.000190051
	2017-04-29 13:34:33	8.601	4.035	34.705	0.000067482	0.000257533

**KESIMPULAN**

Rangkaian sensor tegangan dan sensor arus panel surya telah berhasil dibuat. Rangkaian sensor tegangan dibuat dengan menggunakan rangkaian resistor pembagi tegangan dan menghasilkan karakteristik  $y = 108,19x - 6,5924$  ( $y$  adalah variabel nilai ADC dan  $x$  adalah variabel nilai tegangan pada alat ukur standar) sedangkan rangkaian sensor arus menggunakan tipe ACS712 menghasilkan karakteristik  $y = 224,76x + 1079,80$  ( $y$  adalah variabel nilai ADC dan  $x$  adalah variabel nilai arus pada alat ukur standar). Hasil kalibrasi sensor tegangan dan sensor arus diperoleh koefisien korelasi linear 0,9985 pada sensor tegangan dan 0,9992 pada sensor arus. Pembuatan sensor dan sistem akuisisi data dapat diintegrasikan dengan menggunakan antarmuka komputer dan bahasa pemrograman *Delphi*, hasil dari akuisisi data disimpan pada *file* yang

ditunjukkan dengan tabel stasiun, waktu, tegangan, arus, daya, energi dan total energi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] IEO (2016) *International Energy Agency's World Energy Outlook 2016*, USA.
- [2] Wang, Z.H., Li, Y, Wang, K. dan Huang, Z. (2017) *Environment-Adjusted Operational Performance Evaluation Of Solar Photovoltaic Power Plants: A Three Stage Efficiency Analysis*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 76, Hal. 1153-1162.
- [3] Asy'ari, H., Jatmiko dan Angga (2012) *Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya*, Simposium Nasional RAPI XI FT UMS.
- [4] Yuliananda, S., Sarya, G. dan Hastijanti, R.A.R. (2015) *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari terhadap Daya Keluaran Panel Surya*, Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, Vol. 01 No.02, Hal. 193-202.
- [5] Hefley, G. (2010) *Maximum Power From A Solar Panel*, UJMM, Vol.3.
- [6] Wicaksono, A.N. (2010) *Pembuatan Software Telemetry Sistem Monitoring Daya Listrik Panel Sel Surya Menggunakan Jaringan Wi-Fi*, Tugas Akhir DIII Instrumentasi dan Elektronik UNDIP, Semarang.
- [7] Visconti, P., Primiceri, P. dan Orlando, C. (2016) *Solar Powered Wireless Monitoring System Of Environmental Conditions Forearly Flood Prediction Or Optimized Irrigation In Agriculture*, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 7.
- [8] Davis, A. dan Chang, H. (2012) *A Survey Of Wireless Sensor Network Architectures*, International Journal of Computer Science and Engineering Survey, Vol. 3, No.6, Hal. 1-22.
- [9] Jun, C., Shun-Zheng, Y.U. dan Jing-li, L. (2009) *The Design of a Wireless Data*

- Acquisition and Transmission System*, Journal of Networks, Vol.4, No.10.
- [10] Suryono, S., Suseno, J.E., Mashuri, C., Sabila, A.D., Nugraha, J.A.M., dan Primasiwi, M.H. (2017) *RFID Sensor For Automated Prediction Of Reorder Point (ROP) Values In A Vendor Management Inventory (VMI) System Using Fuzzy Time Series*, Advanced Science Letters, Vol. 23, No. 3, Hal. 2398-2400.
- [11] Giancoli, D.C. (2001) *Fisika Edisi Lima*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [12] Bueche, J. F. dan Hecht, E (2006) *Schaum's Outlines Teori dan Soal-Soal Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [13] Shodiqin A. dan Yani, A. (2016) *Analisa Charging Time Sistem Solar Cell Menggunakan Pencari Arah Sinar Matahari yang Dilengkapi dengan Pemfokus Cahaya*, Jurnal Turbo Teknik Mesin UMM, Vol.5 No.1.
- [14] Swami, R. (2012) *Solar Cell*, IJSRP Journal, Vol. 2.
- [15] Fraden, J. (2010) *Handbook of Modern Sensors: Physics, Design, and Applications Fourth Edition*, New York: Springer.
- [16] Susilo, D. (2010) *40 Jam Kupas Tuntas Mikrokontroler MCS51 & AVR*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [17] Priyambodo, T.K. dan Heriadi, D. (2005) *Jaringan Wi-Fi Teori dan Implementasi*, Yogyakarta: Penerbit Andi.