

# RANCANG BANGUN ALAT UKUR INTENSITAS RADIASI MATAHARI

Chandra Bhuana, Marhatang<sup>1)</sup>, Andi Muh Farid Parenrengi, Irmawati<sup>2)</sup>

**Abstrak:** Studi Potensi Energi Surya pada suatu daerah bertujuan untuk mengetahui apakah daerah tersebut layak didirikan suatu pembangkit listrik tenaga surya dan untuk mengetahui besarnya energi surya yang dapat dibangkitkan pada suatu daerah tersebut. Studi potensi energi surya dilakukan dengan cara melakukan pengukuran intensitas radiasi matahari secara langsung dengan menggunakan piranometer dalam kurun waktu tertentu. Semakin lama rentang waktu pengukuran intensitas radiasi matahari tersebut maka semakin akurat pula data yang akan diperoleh namun pengukuran dalam rentang waktu yang cukup lama akan menyulitkan peneliti terutama pada daerah terpencil. Hasil dari rancang bangun piranometer pada tugas akhir ini, terdiri dari photodiode BPW34 sebagai detector intensitas radiasi matahari, Teflon sebagai pelindung/peredam radiasi matahari pada detector, arduino uno sebagai mikrokontroler, Ethernet, SD card, router dan modem sebagai alat komunikasi antara mikrokontroler dengan *google spreadsheet* (server). Piranometer hasil rancang bangun tugas akhir ini dapat mengukur intensitas radiasi matahari dengan kisaran 0 – 1500 W/m<sup>2</sup> dengan panjang gelombang yang dapat dideteksi sekitar 400 – 1100 nm, dan piranometer tersebut memiliki tingkat akurasi sekitar  $\pm 5\%$ .

**Kata Kunci:** BPW34, mikrokontroler, *google spreadsheet*.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan suatu negara kepulauan terbesar yang terletak antara dua benua dan dua samudera yakni antara benua Asia dengan benua Australia dan antara Samudera Pasifik dengan Samudera Hindia. Indonesia dikenal pula dengan sebutan zamrud khatulistiwa hal ini dikarenakan Indonesia memiliki daerah lautan yang begitu luas dan indah serta negara yang dilalui oleh garis khatulistiwa. Dengan pancaran matahari yang merata sepanjang tahunnya, Indonesia memiliki potensi pemanfaatan energi surya yang tinggi untuk dikonversi menjadi energi listrik yang dapat memenuhi kebutuhan energi listrik rakyat Indonesia.

Untuk memenuhi kebutuhan Listrik rakyat Indonesia yang semakin meningkat pemerintah telah meluncurkan program listrik pedesaan (LISDES) yakni membangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Untuk mengetahui apakah daerah tersebut layak didirikan suatu pembangkit listrik tenaga surya dan untuk mengetahui besarnya energi surya yang dapat dibangkitkan pada daerah tersebut yakni dengan cara melakukan pengukuran intensitas radiasi matahari secara langsung dengan menggunakan alat ukur intensitas radiasi matahari yang biasa disebut piranometer.

Namun pengukuran intensitas radiasi matahari dengan piranometer mempunyai banyak kendala yaitu membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat berdasarkan perubahan waktu dan musim. Disamping itu letak dan kondisi daerah yang akan dilakukan pengukuran intensitas radiasi matahari yang masih masih terpencil dan tidak teraliri aliran listrik sehingga menyulitkan peneliti untuk mengecek hasil

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

pengukuran pada daerah terpencil tersebut serta data loggers tidak dapat berfungsi karena tidak adanya pasokan energi listrik.

Untuk mengatasi permasalahan di atas diperlukannya sebuah perangkat yang dapat mengukur intensitas radiasi matahari pada suatu daerah kemudian merekam hasil pengukuran dan mengirim hasil rekaman data tersebut ke sang peneliti. Dengan kata lain sebuah perangkat pengukur intensitas radiasi matahari jarak jauh.

### **A. Energi Surya**

Energi surya adalah energi elektromagnetik baik berupa cahaya maupun panas yang dipancarkan matahari ke bumi yang berjumlah besar dan bersifat kontinyu. Energi surya merupakan energi utama bagi kehidupan di bumi yang tersedia hampir di seluruh bagian permukaan bumi dan tidak habis (terbarukan). Energi surya merupakan salah satu energi yang sangat potensial untuk dikelola dan dikembangkan lebih lanjut sebagai sumber cadangan energi terutama bagi negara yang terletak di daerah khatulistiwa termasuk Indonesia.

### **B. Piranometer**

Piranometer adalah alat untuk mengukur intensitas radiasi matahari global pada permukaan datar dalam bidang 180 derajat. Piranometer terbagi ke dalam dua jenis berdasarkan jenis detektor yang digunakan yakni piranometer *blackbody* dan piranometer *silicon – cell*.

Piranometer terdiri dari beberapa komponen utama yakni diffuser radiasi, sensor (detektor) pengkondisi sinyal, penampil data dan beberapa komponen pendukung lainnya. Adapun penjelasan dari komponen tersebut yakni sebagai berikut :

#### **a. Diffuser Radiasi**

Bahan atau komponen yang akan digunakan sebagai diffuser radiasi matahari dan sebagai elemen pelindung untuk sensor yakni teflon.

#### **b. Sensor**

Transduser atau sensor berfungsi mendeteksi fenomena fisik (baik suhu, tekanan, intensitas radiasi matahari dan lainnya) kemudian mengubahnya menjadi sinyal-sinyal listrik. Adapun transduser yang digunakan dalam tugas akhir ini ialah silicon PIN photodiode bpw34.

#### **c. Pengkondisi Sinyal**

Sebelum mikrokontroler mengolah sinyal yang diterima dari sensor, terlebih dahulu dilakukan pengkondisian dan penguatan (*amplification*) sinyal.

#### **d. ADC atau Analog to Digital Converter**

Merupakan suatu piranti yang berfungsi untuk mengubah sinyal-sinyal analog menjadi sinyal digital atau dapat disimpulkan ADC ini merubah nilai suatu masukan yang berupa arus, tegangan listrik atau sinyal analog lainnya menjadi sinyal digital.

#### **e. Alat Kontrol**

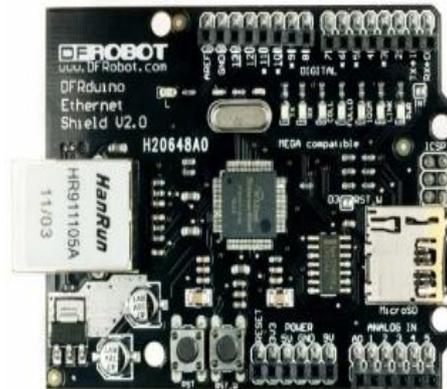
Alat kontrol yang digunakan ialah mikrokontroler. Mikrokontroler adalah sebuah system microprocessor dimana didalamnya sudah terdapat CPU, ROM, RAM, I/O, clock dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi (teralamat) dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu chip yang siap pakai.

#### **f. LCD**

*Liquid Crystal Display* (LCD) merupakan sebuah teknologi layar digital yang menghasilkan citra pada sebuah permukaan yang rata (flat) dengan memberi sinar pada kristal cair dan filter berwarna yang mempunyai struktur molekul polar, diapit antara dua elektroda yang transparan.

**g. Modul Ethernet Shield**

Ethernet shield menambah kemampuan arduino board agar terhubung ke jaringan komputer baik dengan menggunakan jalur intranet maupun dengan jalur internet ketika modul ethernet shield dihubungkan dengan modem.



Gambar 1. Modul Ethernet Shield

**h. Real time clock (RTC)**

Real time clock merupakan suatu pengukur waktu (clock) yang terdapat di dalam sebuah computer yang berfungsi memonitor waktu yang sedang berlangsung dan dapat berjalan pada daya alternatif (alternate power).



Gambar 2. RTC

**i. Router**

Router merupakan perangkat keras jaringan komputer yang dapat digunakan untuk menghubungkan beberapa jaringan yang sama atau berbeda. Router memiliki fungsi utama untuk membagi atau mendistribusikan IP address, baik itu secara statis ataupun [DHCP](#) atau Dynamic Host Configuration Protocol kepada semua komputer yang terhubung ke router tersebut. Dengan adanya IP address yang unik yang dibagikan router tersebut kepada setiap komputer dapat memungkinkan setiap komputer untuk saling terhubung serta melakukan komunikasi, baik itu pada LAN atau internet.



Gambar 3. Router

**j. Modem GSM**

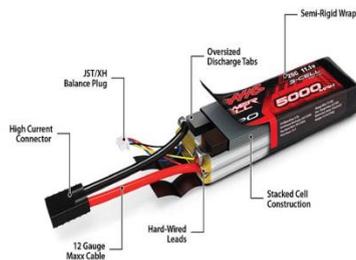
Modem GSM adalah modem wireless mobile yang bekerja pada jalur komunikasi telepon genggam GSM. Modem ini mendukung layanan GPRS/EDGE atau layanan 3G.



Gambar 4. Modem GSM

**k. Catu Daya**

Catu daya adalah suatu alat yang dapat memasok atau menyediakan energi listrik pada perangkat yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energinya. Baterai adalah jenis catu daya DC yang paling baik dalam menyediakan energi listrik pada perangkat elektronik dimana jenis catu daya ini tidak tergantung pada ketersediaan induk listrik, cocok untuk peralatan portabel dan digunakan dalam lokasi tanpa daya listrik.



Gambar 5. Baterai

**l. Perangkat Lunak**

Pada tugas akhir, perangkat lunak atau program yang digunakan terbagi ke dalam dua bagian yakni bagian pertama adalah program yang berjalan di mikrokontroler dan bagian kedua adalah program yang berjalan di server. Program yang berjalan di mikrokontroler yakni *Arduino*.

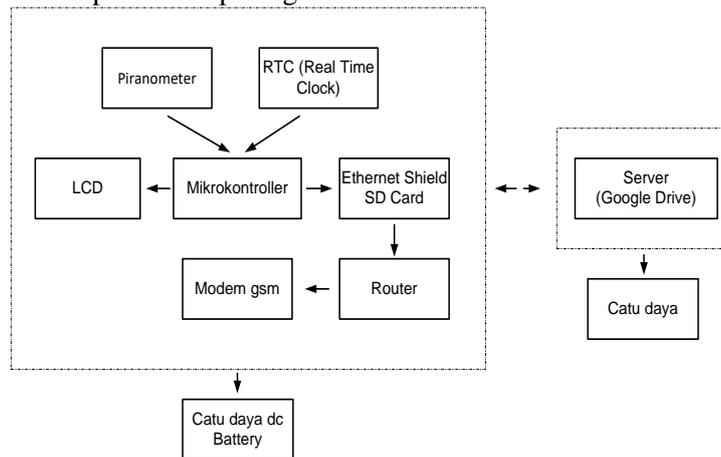
## II. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode perancangan dan eksperimental.

### A. Perancangan piranometer

#### 1. Perancangan perangkat keras

Alat ukur intensitas radiasi matahari (piranometer) berbasis mikrokontroler ini terdiri dari transduser optik tipe silicon photodiode sebagai alat pengukur intensitas radiasi matahari, RTC (*real time clock*) sebagai jam pada alat ukur, LCD sebagai keluaran untuk menampilkan hasil pembacaan, modem gsm sebagai keluaran untuk mengirim dan menerima data hasil pengukuran, sd card sebagai tempat penyimpanan data, modul ethernet shield dan router sebagai modul penghubung mikrokontroler dengan modem gsm, mikrokontroler sebagai alat kontrol utama dan komputer sebagai data loggers hasil pengukuran. Skema konfigurasi alat ukur intensitas radiasi matahari (piranometer) berbasis mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 6.



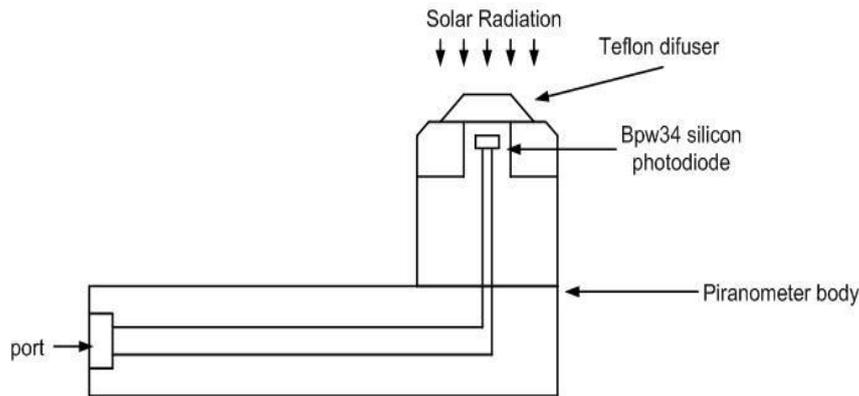
Gambar 6. Skema konfigurasi alat ukur intensitas radiasi matahari

#### 2. Perancangan Catu Daya

Alat ukur intensitas radiasi matahari ini menggunakan baterai sebagai suplai tegangan dikarenakan semua komponen alat ukur intensitas radiasi matahari berbasis mikrokontroler ini menggunakan tegangan DC dan alat ukur ini dirancang bersifat portable.

### B. Perancangan transduser optik dan difuser radiasi

Transduser optik yang digunakan ialah silicon bpw34 photodiode. Silicon bpw34 photodiode merupakan transduser optik yang dapat mengkonversi sinyal optik dalam hal ini intensitas radiasi matahari menjadi sinyal listrik berupa arus. Adapun rancangan transduser optik diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7 Rancangan transduser optik

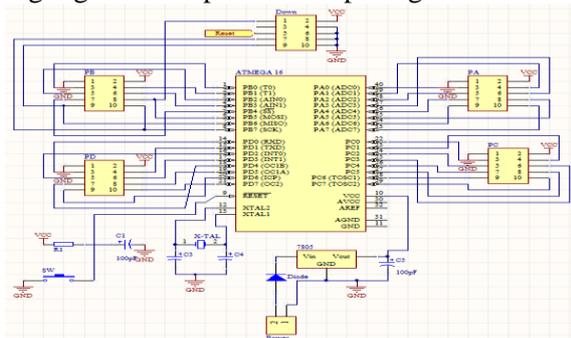
Pada Gambar 3.2 transduser optik menggunakan bahan teflon sebagai difuser radiasi matahari dengan ketebalan difuser sebesar 5 mm. Teflon berfungsi sebagai elemen pelindung pada bpw34 photodiode dan sebagai difuser (peredam) radiasi matahari.

### 1. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal piranometer

Rangkaian pengkondisi sinyal piranometer bertujuan untuk mengkondisikan sinyal keluaran transduser dengan sinyal masukan mikrokontroler dengan kisaran 0 sampai 5 Volt.

### 2. Perancangan alat kontrol

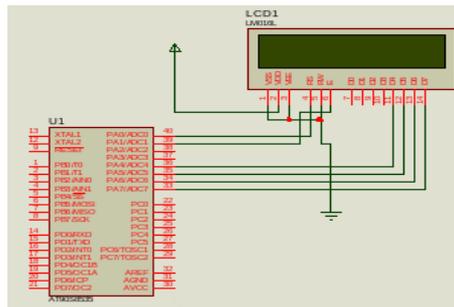
Alat ukur intensitas radiasi matahari ini menggunakan mikrokontroler sebagai alat kontrol pada alat ukur ini dimana mikrokontroler akan berfungsi menerima data masukan dari transduser optik dan *real time clock* (RTC), mengolah data yang diterima, menyimpan data yang diterima dan mengirimkan data hasil olahan tersebut ke LCD untuk ditampilkan serta ke komputer melalui modem gsm untuk di olah lebih lanjut. Mikrokontroler yang digunakan ialah mikrokontroler Arduino Uno yang berbasis ATmega328 Adapun skematik rangkaian mikrokontroler yang digunakan diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8. Skematik rangkaian mikrokontroler

### 3. Perancangan rangkaian LCD

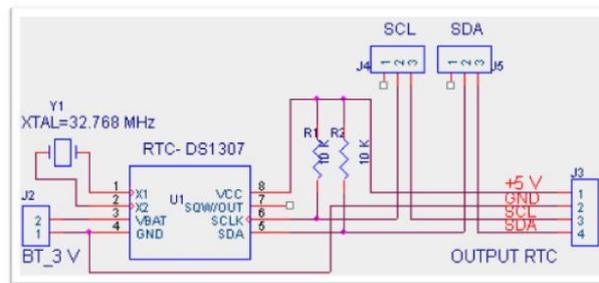
Komponen LCD pada alat ukur intensitas radiasi matahari berbasis mikrokontroler ini bertujuan untuk menampilkan hasil pengukuran intensitas radiasi matahari. Adapun skematik rangkaian LCD yang digunakan pada alat ukur intensitas radiasi matahari ini diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Skematik rangkaian LCD 16 x 2

#### 4. Perancangan RTC (Real time clock)

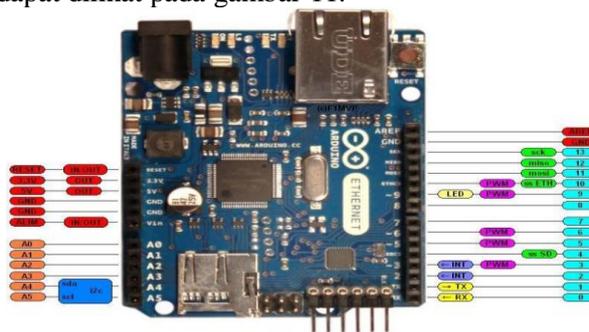
Pada alat ukur intensitas radiasi matahari berbasis mikrokontroler ini menggunakan *real time clock* (RTC) sebagai inputan waktu sebenarnya sehingga hasil pengukuran intensitas radiasi matahari sesuai dengan waktu sebenarnya. Adapun skematik rangkaian *real time clock* yang digunakan diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10. Skematik rangkaian RTC

#### 5. Konfigurasi modul ethernet shield

Modul ethernet shield pada alat ukur intensitas radiasi matahari berbasis mikrokontroler ini berfungsi untuk menghubungkan antara mikrokontroler dengan modem gsm. Adapun konfigurasi pin yang digunakan untuk komunikasi dengan mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Konfigurasi modul ethernet shield

#### C. Perancangan perangkat lunak

Selain pembuatan perangkat keras, untuk membangun sistem ini diperlukannya program yang akan menjalankan sistem tersebut. Perancangan perangkat lunak pada alat ukur intensitas radiasi matahari ini terbagi ke dalam dua bagian yakni pembuatan program untuk mikrokontroler dan pembuatan program untuk server.

## 1. Program Mikrokontroler

Program untuk mikrokontroler dibuat dengan menggunakan software compiler C yang bernama *arduino development environment*. Pembuatan program pada mikrokontroler dilakukan dalam beberapa tahap yakni sebagai berikut:

### 1). Inisialisasi fungsi dan perangkat yang digunakan



```

solarstationpnup442revisi.ino
File Edit Sketch Tools Help
solarstationpnup442revisi.ino $
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <SD.h>
#include "RTClib.h"
    
```

### 2). Pendeklarasian variabel & pemilihan tipe data

```

9 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
10 char server[] = "api.pushingbox.com";
11 IPAddress ip(192,168,137,2);
12 EthernetClient client;
13 String data;
14 float tempData1, battery, volt;
15 String tempData;
16 boolean koneksi = false;
17 RTC_DS1307 rtc; //rtc
    
```

### 3). Penentuan jalur input/output mikrokontroler

```

LiquidCrystal lcd(3, 5, 6, 7, 8, 9); // RS EN D4 D5 D6 D7
int sensor_piramo = analogRead(A0);
int sensor_batt = analogRead(A4);
    
```

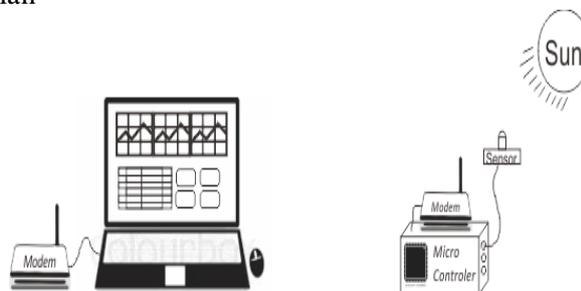
### 4). Program utama

Program utama dalam tugas akhir ini yakni melakukan pembacaan sensor dan RTC (*real time clock*), menampilkannya dalam LCD, menyimpannya ke dalam SD card dan mengirimkannya ke server melalui ethernet dan modem gsm.

## 2. Program Server (Google apps script)

Program untuk server dibuat dengan menggunakan *google apps script*. Fungsi script pada tugas akhir ini ialah sebagai datalogger dimana data yang akan dikirim oleh mikrokontroler akan disimpan dan ditampilkan dengan menggunakan aplikasi google spreadsheet.

Prosedur Pengujian



Gambar 12. Skematik diagram alat ukur intensitas radiasi matahari

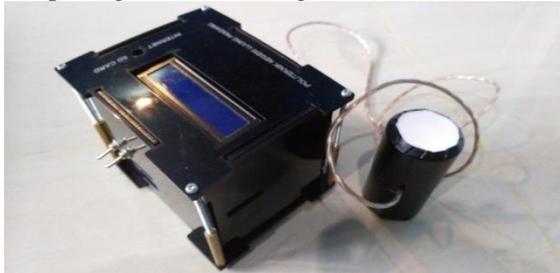
Di dalam penelitian ini pengamatan dan pengukuran data dilakukan dengan langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Memasukkan program pada mikrokontroler dan menjalankannya beserta sensornya.
- b. Sensor akan membaca data pengukuran intensitas radiasi matahari. Namun terlebih dahulu sensor dibandingkan dengan alat ukur yang valid.
- c. Mikrokontroler akan menampilkan data yang diperoleh pada LCD, menyimpan data hasil pengukuran dalam SD card dan mengirim data hasil pengukuran ke *google spreadsheet* melalui *akun google drive* yang telah ditentukan sebelumnya.
- d. Menampilkan data yang diperoleh dari hasil olahan data tersebut pada *google spreadsheet* tersebut.
- e. Membandingkan data yang diperoleh menggunakan sensor dengan alat ukur manual.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Desain Piranometer dan Pembahasan

Hasil desain piranometer pada tugas akhir ini terbagi ke dalam dua bagian yakni sensor intensitas radiasi matahari (sensor piranometer) dan perangkat akuisisi data yang terdiri dari rangkaian penguat sensor, mikrokontroler, modul ethernet, SD card, router, modem gsm dan catu daya. Adapun hasil desain piranometer tersebut dapat dilihat pada gambar 13 dan gambar 14.



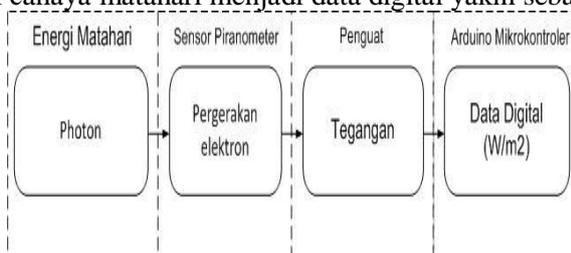
Gambar 13. Hasil desain piranometer



Gambar 14. Susunan perangkat piranometer

Sensor intensitas radiasi matahari (sensor piranometer) yang digunakan pada tugas akhir ini tersusun dari bahan semikonduktor yang dapat menerima cahaya dari sinar matahari. Sensor piranometer yang telah menerima cahaya matahari tersebut akan diubah menjadi besaran arus. Besaran arus yang dihasilkan oleh sensor, selanjutnya akan dikonversi ke besaran tegangan dan dikuatkan oleh rangkaian penguat agar mikrokontroler dapat mengolah besar tegangan tersebut.

Besaran tegangan yang diterima oleh mikrokontroler akan diolah selanjutnya oleh mikrokontroler, yakni mengubah besaran tegangan menjadi data digital (dengan satuan  $W/m^2$ ) dengan menggunakan fitur ADC pada mikrokontroler tersebut. Setelah memperoleh data digital dalam satuan  $W/m^2$ , selanjutnya data tersebut akan ditampilkan dengan menggunakan modul LCD dan dikirim melalui arduino ethernet shield dengan menggunakan modem gsm. Adapun proses perubahan energi cahaya matahari menjadi data digital yakni sebagai berikut:



Gambar 15. Skema perubahan besaran energi cahaya menjadi data digital

## B. Hasil Pengujian Piranometer dan Pembahasan

### 1. Hasil Pengujian Sensor Piranometer dan Pembahasan

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan data digital arduino dengan alat standar yang telah ditentukan sebelumnya. Pengukuran

dilakukan berdasarkan perubahan intensitas radiasi matahari. Adapun hasil pengujian rangkaian penguat piranometer dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian rangkaian penguat sensor piranometer

No.	Piranometer ( $W/m^2$ )	Pembacaan Arduino	
		Data Digital (desimal)	Tegangan (mV)
1	78	55	268.82
2	136	101	493.65
3	229	175	855.33
4	374	340	1661.78
5	493	398	1945.26
6	533	430	2101.66
7	631	502	2453.57
8	773	622	3040.08
9	819	641	3132.94
10	946	735	3592.38

Dari hasil pengujian rangkaian penguat sensor piranometer dapat disimpulkan bahwa perbandingan keluaran data digital arduino terhadap data intensitas matahari yang terbaca oleh alat ukur piranometer adalah linier.



Gambar 16. Pengujian sensor piranometer  
Tabel 2. Hasil pengujian sensor piranometer

No.	Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari ( $W/m^2$ )		Error (%)
	Piranometer Pabrik	Sensor Piranometer	
1	186	183.09	1.56
2	249	250.04	0.42
3	346	359	3.76
4	471	463	1.70
5	527	531	0.76
6	674	674.3	0.04
7	753	749.12	0.52

## 2. Hasil Pengujian Pengiriman Data dan Pembahasan

Adapun hasil pengujian pengiriman data antara microcontroller dengan server ialah sebagai berikut:

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Pengiriman Data

No.	Pengujian Ke-	Pengirim Data (Mikrokontroler)	Penerima Data (Server)	Keterangan
1	1	10	10	Berhasil
2	2	20	20	Berhasil
3	3	30	30	Berhasil
4	4	40	40	Berhasil
5	5	50	50	Berhasil
6	6	60	60	Berhasil
7	7	70	70	Berhasil
8	8	80	80	Berhasil
9	9	90	90	Berhasil
10	10	100	100	Berhasil

Keberhasilan = 100%

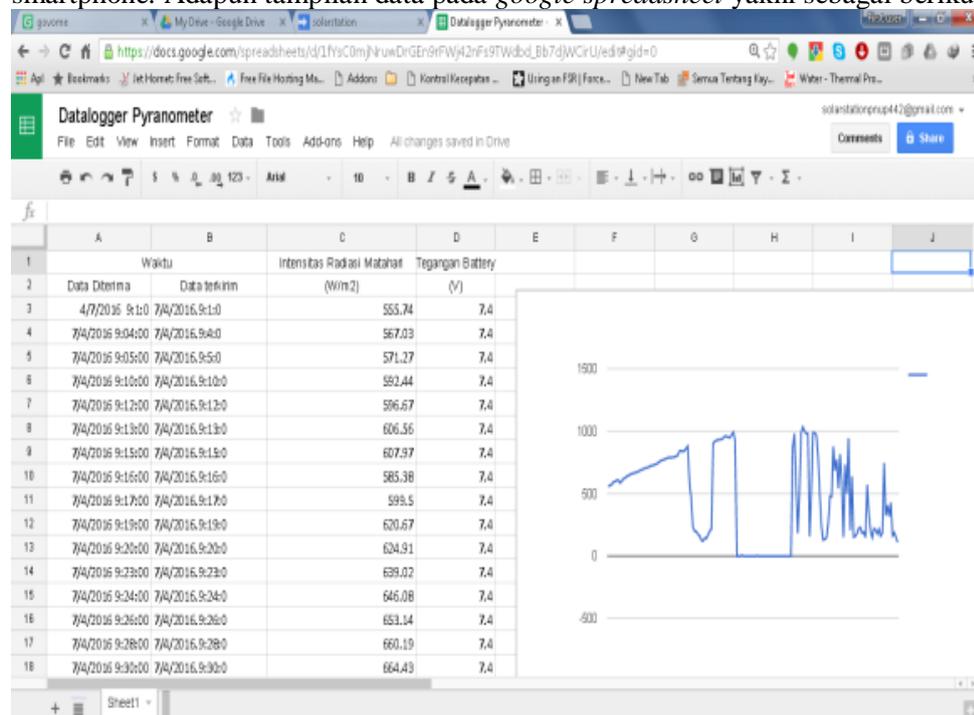
## Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan dan Pembahasan



Gambar 17. Pengujian sistem secara keseluruhan (perangkat keras)

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan di lab energi pada hari kamis tanggal 7 bulan april tahun 2016, pukul 09.00 – 15.00 dengan posisi latitude  $5^{\circ} 7'45.73''S$  & longitude  $119^{\circ}28'49.88''E$ . Sistem tersebut disuplai dengan dua buah sumber tegangan DC yakni satu sumber tegangan DC digunakan untuk keperluan alat akuisisi data dan sumber tegangan DC lainnya digunakan untuk keperluan router dan modem gsm.

Data intensitas radiasi matahari yang terbaca oleh sensor akan ditampilkan pada LCD alat akuisisi data dan setiap menitnya alat akuisisi data akan menyimpan data ke dalam SD card dan mengirimkan data pembacaan sensor tersebut ke *google spreadsheet* dengan menggunakan jalur internet. Data yang telah terkirim ke *google spreadsheet* akan disimpan dan ditampilkan dalam bentuk angka dan grafik. Data yang ada pada *google spreadsheet* dapat diakses melalui komputer dan smartphone. Adapun tampilan data pada *google spreadsheet* yakni sebagai berikut:



Gambar 18. Pengujian sistem secara keseluruhan (perangkat lunak)

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

No.	Waktu	Pengukuran Intensitas Matahari (W/m <sup>2</sup> )		Error (%)
		Alat Valid	Sensor Piranometer	
1	9:01	553	555.74	0.50
2	9:10	591	592.44	0.24
3	9:20	620	624.91	0.79
4	9:30	661	664.43	0.52
5	9:40	692	699.72	1.12
6	9:50	732	736.42	0.60
7	10:00	766	773.12	0.93
8	10:10	800	791.47	1.07
9	10:20	832	845.11	1.58
10	10:30	192	200.03	4.18

11	10:40	121	119.57	1.18
12	10:50	925	917.1	0.85
13	11:00	940	945.33	0.57
14	11:10	959	949.56	0.98

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Piranometer yang telah dirancang bangun dapat bekerja mengukur intensitas radiasi matahari. Adapun spesifikasi dari piranometer yang dirancang bangun yakni :
  - a. Detektor: Silikon fotovoltaik
  - b. Spectral range: 400 to 1100 nm
  - c. Akurasi:  $\pm 5\%$
  - d. Housing sensor: material teflon,  $d = 5$  cm,  $t=7$  cm.
  - e. Maximum G: 1500 W/m<sup>2</sup>
  - f. Field view: 1800
  - g. Fitur: Datalogger & mobile
2. Pengukuran intensitas radiasi matahari pada suatu daerah dilakukan dengan baik dengan data yang telah terukur tersimpan dalam SD card dan server.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. *Pemetaan Potensi Energi Terbarukan*. <http://www.esdm.go.id/news-archives/323-energi-baru-dan-terbarukan/6259-dukung-kebijakan-energi-nasional-dengan-pemetaan-potensi-energi-baru-terbarukan.html> (diakses bulan september 2014)
- Ion Bostan, dkk. 2013. *Resilient Energy Systems*. Springer Dordrecht Heidelberg New York: London
- Gueymard CA. 2004. *The Sun's Total and Spectral Irradiance For Solar Energy Application and Solar Radiation Models*. Sol Energy 76:423-453.
- Gueymard CA, dan Myers DR. 2008. *Solar Radiation Measurement: Progress In Radiometry For Improved Modelling*. In: Badescu V (ed) *Modelling Solar Radiation At The Earth Surface*. Springer: Berlin.
- Kirianaki, Nikolaiy Vladimirovich. 2002. *Data Acquisition And Signal Processing For Smart Sensors*. Chichester; New York: J. Wiley
- M. Paulescu et al. 2013. *Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation*. Springer: London
- Miguel Martines, dkk. 2009. *A New and Inexpensive Pyranometer for the Visible Spectral Range*. Sensors 2009,9,4615-4634.
- Medugu, D.W. dkk. 2010. *Construction Of Reliable Model Pyranometer For Irradiance Measurements*. African Journal of Biotechnology Vol 9 (12), pp.1719 – 1725.

Messenger R, Ventre J. 2004. *Photovoltaics System Engineering, 2nd edn.* CRC Press LLC, Boca Raton, 455p.

Sukhatme, S.P., et.al., 2008. *Solar Energy, Principles of Thermal Collection and Storage 3rd Edition*, McGraw Hill, New Delhi,. Pp. 71-73.

Sumardi. 2013. *Mikrokontroler Belajar AVR Mulai Dari Nol* .Yogyakarta: Graha Ilmu.