

Pembuatan Perangkat Monitoring Potensi Energi Surya Berbasis Mikrokontroler

Yuniawan Erwin Seloaji, Edi Leksono dan Eko Mursito Budi

Program Studi Teknik Fisika - Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Pembangunan pembangkit listrik energi surya (PLTS) akan lebih efisien jika dilakukan di tempat yang memiliki potensi energi surya yang tinggi. Potensi energi surya dapat diketahui melalui data-data irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif. Di Indonesia data-data tersebut diterbitkan oleh BMKG. Akan tetapi, data-data yang tersedia hanya untuk kota-kota besar di Indonesia. Data-data dalam lingkup yang lebih kecil diperlukan untuk analisis lebih lanjut tentang pembangunan PLTS di suatu daerah. Untuk itulah pada penelitian ini dibuat perangkat monitoring potensi energi surya berbasis mikrokontroler yang dapat mengukur irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif dalam lingkup yang kecil.

Alat yang dibuat menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler, baterai sebagai catu daya, pyranometer sebagai sensor irradiansi surya, modul SHT1x sebagai sensor temperatur dan kelembapan relatif, dan modul GPS sebagai sensor posisi dan waktu. Hasil pengukuran ditampilkan dengan LCD dan disimpan di dalam SD card.

Dari hasil kalibrasi dengan *Automatic Weather System* (AWS) diketahui bahwa alat yang dibuat memiliki *full scale error* rata-rata untuk pengukuran irradiansi surya sebesar 1,33%; temperatur sebesar 5,12%; dan kelembapan relatif sebesar 4,45%. Sedangkan standar deviasi kesalahan mutlak untuk pengukuran irradiansi surya sebesar 19,82; temperatur sebesar 0,33; dan kelembapan sebesar 1,42. Selain itu diukur juga potensi energi surya di beberapa tempat di Kota Bandung dengan nilai insolasi rata-rata di Antapani 3,79 kWh/m²/hari; di Kiaracondong 3,70 kWh/m²/hari; dan ITB 2,30 kWh/m²/hari.

Kata kunci: pengukuran, irradiansi surya, insolasi, temperatur, kelembapan relatif, Arduino

1 Pendahuluan

Sebagai negara yang dilalui garis khatulistiwa, Indonesia memiliki sumber energi surya yang melimpah. Matahari bersinar dengan durasi yang relatif sama dalam setiap hari sepanjang tahunnya. Dengan durasi penyinaran matahari rata-rata sekitar 12 jam per hari dengan energi rata-rata harian sebesar 4,5 kWh/m²/hari [1], Indonesia dapat dikatakan memiliki potensi energi surya yang tinggi.

Dari seluruh wilayah Indonesia, Lampung, Jawa Tengah, Sulawesi Tengah, Papua, Bali, NTB, dan NTT memiliki potensi energi surya rata-rata harian tertinggi, yaitu sekitar 5,7 kWh/m²/hari. Sedangkan potensi energi surya rata-rata harian di Jawa Barat, khususnya Bogor dan Bandung hanya sekitar 2,56 dan 4,15 kWh/m²/hari [1].

Meskipun potensinya cukup tinggi, pemanfaatan energi surya untuk dikonversi menjadi energi listrik belum banyak dilakukan di Indonesia. Hal ini disebabkan ketersediaan energi surya di Indonesia sepanjang tahunnya tidak merata. Indonesia yang wilayahnya terdiri atas pulau-pulau yang dikelilingi lautan memiliki kelembapan relatif yang cukup tinggi. Hal ini menyebabkan langit Indonesia hampir selalu diselubungi awan. Awan di atmosfer akan menghalangi irradiansi surya sampai di permukaan bumi. Di musim hujan awan yang terbentuk lebih banyak sehingga irradiansi surya yang diterima akan menurun drastis.

Selain itu, efisiensi konversi energi surya menjadi energi listrik masih relatif rendah, yaitu sekitar 12-20% [2]. Nilai investasi untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya juga masih cukup tinggi, yaitu sebesar US\$1.650/kW [1], sehingga harga listrik yang dihasilkan belum ekonomis, yaitu sekitar Rp8.500/kWh [3]. Untuk skala rumah tangga harga listrik ini masih jauh lebih mahal dibandingkan harga listrik yang dihasilkan sumber konvensional saat ini, yaitu Rp629/kWh untuk batas daya 1300 VA [4].

Hal inilah yang menyebabkan pembangkit listrik tenaga surya, khususnya di Indonesia, baru dibangun untuk keperluan riset atau instansi dan dalam skala kecil. Pembangkitan listrik memanfaatkan energi surya untuk skala komersial baru akan tercapai jika biaya investasinya sudah relatif rendah dan efisiensi pembangkitannya sudah cukup tinggi.

Mengingat biaya investasinya cukup tinggi, agar lebih efisien pembangkit listrik tenaga surya harus dibangun di daerah yang memiliki potensi energi surya yang tinggi. Di Indonesia data-data potensi energi surya diterbitkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Meskipun demikian data yang diterbitkan BMKG hanya tersedia untuk kota-kota besar. Sementara potensi energi surya kota-kota kecil di sekitarnya belum tentu sama. Bahkan dalam satu kota pun besarnya potensi energi surya dapat berbeda-beda. Dengan demikian, data-data tersebut belum cukup akurat untuk mengetahui potensi energi surya di suatu lokasi dan memperkirakan energi listrik yang dihasilkan jika di lokasi tersebut dibangun pembangkit listrik tenaga surya.

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan sebuah perangkat yang dapat memantau potensi energi surya dalam lingkup yang lebih kecil (kecamatan, kelurahan, atau desa). Data-data potensi energi surya dalam lingkup yang lebih kecil ini akan sangat bermanfaat guna melakukan analisis lebih lanjut apabila di daerah tersebut akan dibangun pembangkit listrik tenaga surya maupun sebagai bahan evaluasi kinerja pembangkit listrik energi surya. Meskipun demikian, perangkat tersebut diharapkan lebih terjangkau namun memiliki akurasi dan presisi yang tidak kalah dibandingkan dengan stasiun cuaca BMKG.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Irradiasi Surya

Besarnya energi surya yang sampai ke permukaan bumi dinyatakan dalam insolasi. Insolasi adalah jumlah energi matahari yang diterima sebuah luasan. Insolasi dilambangkan dengan H dan memiliki satuan standar J/m^2 atau kWh/m^2 . Meskipun demikian, dalam penelitian ini besaran yang akan digunakan untuk menyatakan besarnya energi surya adalah irradiasi. Irradiasi surya adalah jumlah energi matahari yang diterima setiap satuan waktu oleh sebuah luasan. Irradiasi surya dinyatakan dalam lambang E dengan satuan standar W/m^2 .

Irradiasi surya dapat dibedakan menjadi irradiasi ekstraterestrial dan irradiasi terestrial. Irradiasi ekstraterestrial adalah irradiasi surya di atas lapisan atmosfer bumi. Besarnya adalah $1367 W/m^2$ [5]. Sedangkan irradiasi terestrial adalah irradiasi surya di permukaan bumi. Ketika menembus lapisan atmosfer energi surya berkurang akibat mekanisme absorpsi, refleksi, dan difraksi oleh partikel-partikel di atmosfer. Hal ini menyebabkan irradiasi surya yang mencapai permukaan bumi dapat dibagi menjadi dua komponen, yaitu irradiasi langsung dan irradiasi difus. Irradiasi Jumlah dari irradiasi

langsung dan irradiasi difus disebut irradiasi global. Besarnya irradiasi global maksimum di permukaan bumi adalah 1000 W/m^2 [6].

Alat untuk mengukur irradiasi surya adalah radiometer. Radiometer dapat dibedakan menjadi pyrhelimeter dan pyranometer. Pyrhelimeter digunakan untuk mengukur irradiasi langsung, sedangkan pyranometer digunakan untuk mengukur irradiasi difus dan global. Dalam penelitian ini pengukuran irradiasi surya hanya menggunakan pyranometer.

2.2 Pengaruh Temperatur dan Kelembapan Relatif terhadap Irradiasi Surya

Besarnya irradiasi surya yang sampai ke bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain sudut elevasi matahari, durasi penyinaran matahari, jarak bumi dan matahari, dan iklim setempat [5]. Dalam penelitian ini akan parameter yang mempengaruhi besarnya irradiasi surya yang akan dibahas adalah temperatur dan kelembapan relatif.

Kelembapan relatif yang tinggi akan membuat suatu daerah cenderung selalu diselubungi awan [7]. Keberadaan awan di atmosfer akan mengurangi transmitivitas atmosfer, yaitu persentase irradiasi langsung yang sampai ke permukaan bumi tanpa mengalami penghamburan di atmosfer. Transmitivitas atmosfer yang rendah akan mengurangi komponen irradiasi langsung dan menambah komponen irradiasi difus.

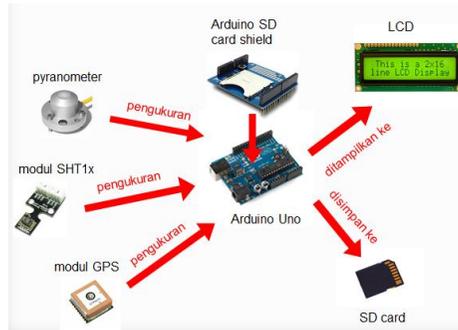
Meskipun tidak memiliki pengaruh langsung terhadap irradiasi surya, temperatur udara memiliki keterkaitan yang kuat dengan kelembapan relatif. Seiring dengan peningkatan temperaturnya, udara akan memiliki tekanan saturasi uap air yang lebih besar sehingga jumlah uap air yang dapat ditampungnya menjadi semakin banyak. Jika konsentrasi uap air tidak bertambah, maka kelembapan relatif akan berkurang [8].

Pada pengukuran temperatur dan kelembapan udara di luar ruangan, sensor harus ditempatkan di dalam sebuah pelindung bernama *Stevenson screen*. *Stevenson screen* berfungsi untuk melindungi sensor dari irradiasi matahari, hujan, dan angin, sehingga pembacaan sensor tetap akurat.

3 Perancangan Alat

3.1 Konfigurasi Sistem secara Keseluruhan

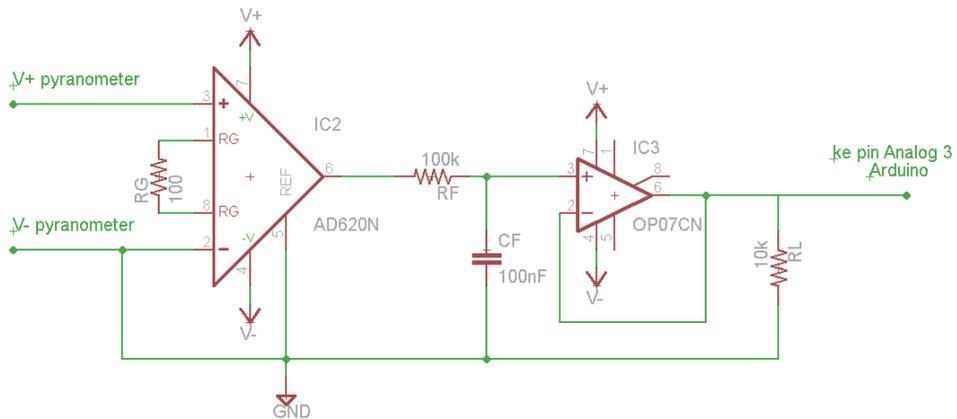
Alat yang akan dibuat terdiri atas pyranometer sebagai sensor irradiasi surya, modul SHT1x sebagai sensor temperatur dan kelembapan, modul GPS sebagai pemberi informasi waktu dan posisi, dan Arduino sebagai mikrokontroler. Hasil pembacaan sensor diakuisisi dan diolah oleh Arduino. Keluarannya ditampilkan di LCD dan disimpan di SD card. Konfigurasi sistem keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Konfigurasi sistem secara keseluruhan

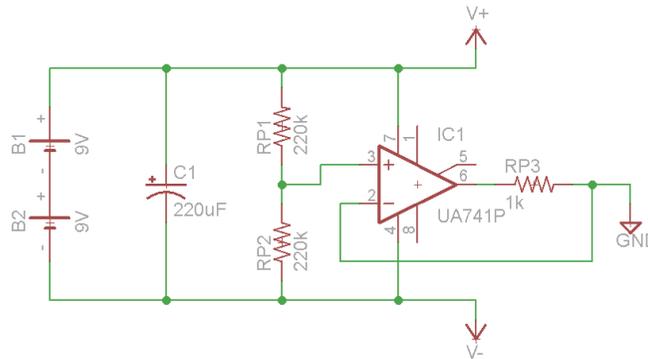
3.2 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer

Pyranometer yang digunakan memiliki sensitivitas sebesar $9,9 \mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^2$. Untuk dapat dibaca oleh masukan analog Arduino pyranometer membutuhkan penguatan sebesar 494 kali. Penguatan ini diberikan dengan rangkaian pengondisi sinyal pyranometer seperti pada Gambar 2. Rangkaian pengondisi sinyal pyranometer ini terdiri atas penguat instrumentasi dan *low pass filter* (LPF). Pada penguat instrumentasi penguatan ini diberikan oleh resistor gain sebesar 100Ω . Sedangkan frekuensi *cutoff* LPF adalah 16 Hz, yang dihasilkan oleh $R = 100\text{k}\Omega$ dan $C = 100\text{nF}$.



Gambar 2 Rangkaian pengondisi sinyal pyranometer

Selain itu dibuat juga rangkaian catu daya rangkaian pengondisi sinyal pyranometer seperti pada Gambar 3. Rangkaian catu daya ini berfungsi untuk memberikan tegangan suplai sebesar +5V, -5V, dan tegangan referensi (*ground*) bagi penguat instrumentasi.



Gambar 3 Rangkaian catu daya pengondisi sinyal pyranometer

3.3 Perancangan Program

Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini meliputi pembuatan *sketch* (program) Arduino untuk menjalankan fungsi-fungsi yang diinginkan. Pembuatan *sketch* Arduino dilakukan dengan Arduino IDE.

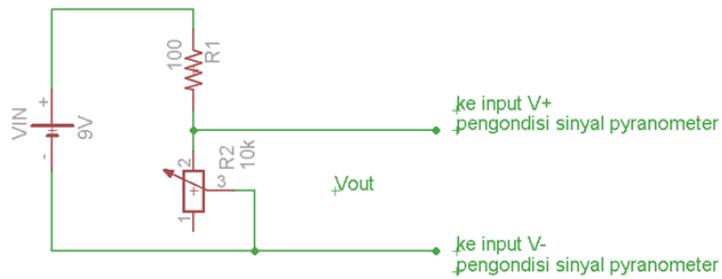
Sketch dimulai dengan mendefinisikan variabel, menyertakan library, mengatur kecepatan transfer data, dan inialisasi perangkat. Arduino kemudian akan membaca kalimat NMEA GPS dan menerjemahkannya.

Periode *sampling* pengukuran adalah 5 detik, sedangkan periode perata-rataan pengukuran adalah 1 menit. Jika waktu yang diterjemahkan merupakan kelipatan 5 detik, maka Arduino akan menjalankan perintah-perintah untuk membaca irradiasi, temperatur, kelembapan, menjumlahkannya dengan data sebelumnya, serta menampilkannya di serial monitor Arduino dan LCD. Setelah 1 menit, data-data tersebut dirata-ratakan dan disimpan di dalam SD card. Demikian perintah-perintah tersebut berulang sampai catu daya diputus.

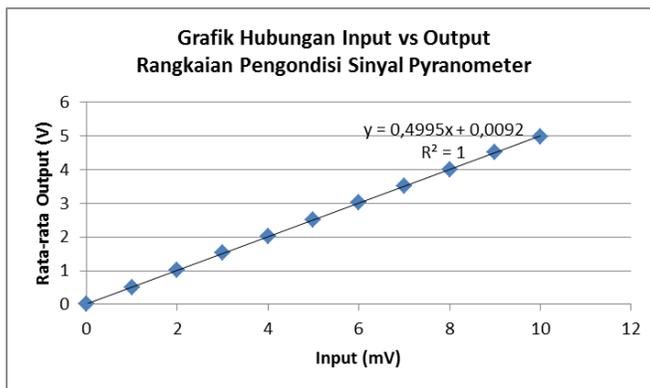
4 Pengujian, Pengukuran, dan Analisis

4.1 Pengujian Linieritas Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer

Pengujian linieritas rangkaian pengondisi sinyal pyranometer dilakukan menggunakan rangkaian pembagi tegangan sebagai pengganti pyranometer seperti pada Gambar 4. Rangkaian pembagi tegangan akan memberikan masukan dari 0-10 mV dengan kenaikan 1 mV. Hasil pengujian linieritas rangkaian pengondisi sinyal pyranometer ditunjukkan oleh Gambar 5. Dari Gambar 5 terlihat bahwa penguatan sinyal pyranometer adalah linier.



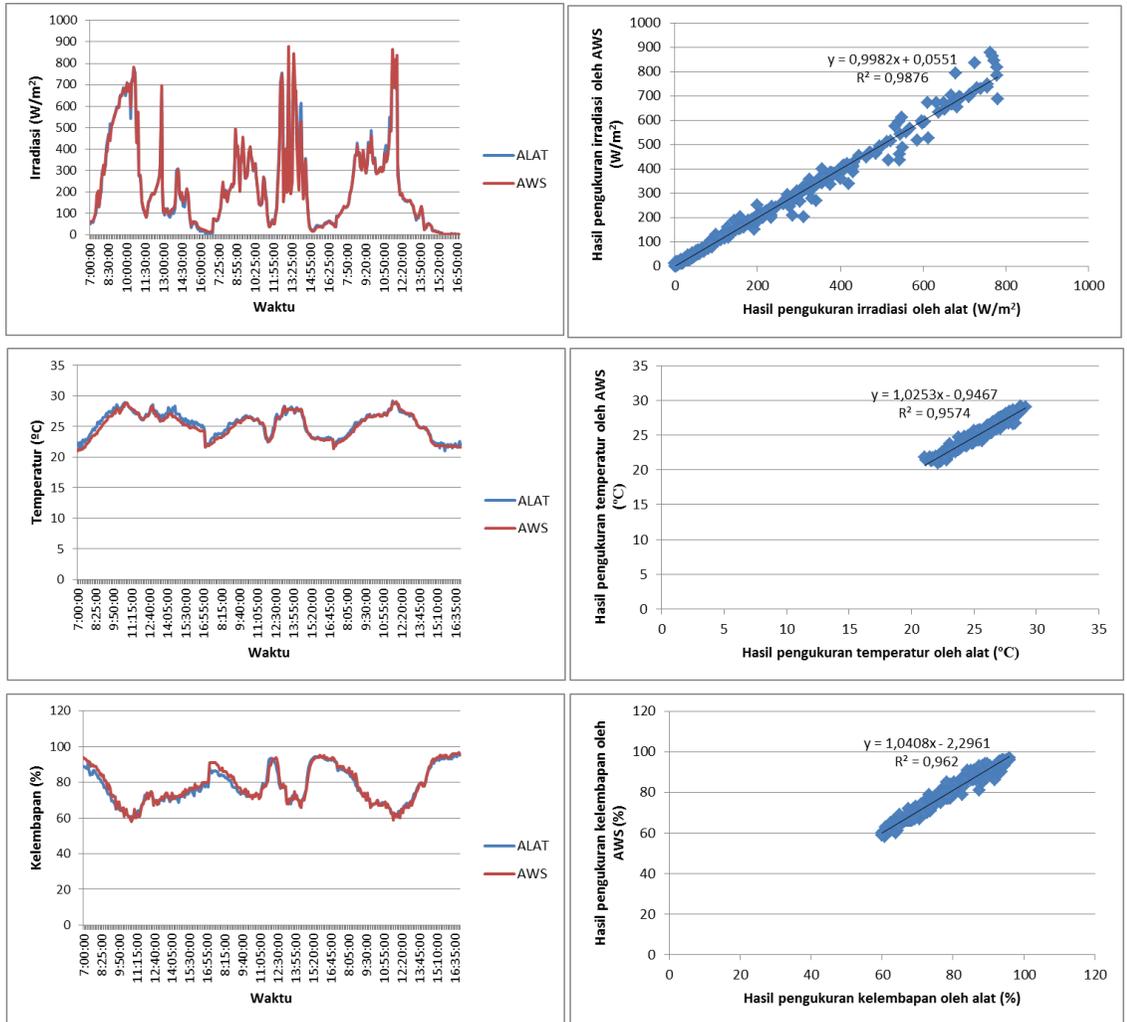
Gambar 4 Rangkaian pembagi tegangan pengganti pyranometer



Gambar 5 Grafik hubungan input terhadap output rangkaian pengondisi sinyal pyranometer

4.2 Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat dilakukan di Taman Alat Meteorologi ITB pada tanggal 11-14 Desember 2012. Alat standar yang digunakan sebagai pembanding adalah *Automatic Weather Station (AWS)*. Hasil kalibrasi alat pada tanggal 12-14 Desember 2012 ditunjukkan pada Gambar 6. Dari hasil kalibrasi didapatkan parameter akurasi dan presisi alat seperti pada Tabel 1.



Gambar 6 Hasil kalibrasi alat pada tanggal 12-14 Desember 2012

Tabel 1 Parameter akurasi dan presisi alat setelah kalibrasi tanggal 12-14 Desember 2012

Pengukuran	Rata-rata kesalahan mutlak	Rentang nilai pengukuran AWS	Full scale error (%)	Standar deviasi kesalahan mutlak
Irradiasi	11,66 W/m ²	879 W/m ²	1,33	19,82
Temperatur	0,42 °C	8,1 °C	5,12	0,33
Kelembapan relatif	1,74 %	39 %	4,45	1,42

4.3 Pengukuran Potensi Energi Surya di Kota Bandung

Pengukuran potensi energi surya di Kota Bandung dilakukan pada tanggal 27 Desember 2012-22 Januari 2013 di Antapani, Kiaracandong, dan ITB. Lamanya waktu pengukuran di masing-masing tempat adalah tujuh hari. Hasil pengukuran potensi energi surya di Kota Bandung ditampilkan pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 9 dan Tabel 2 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 2 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif di Antapani

	Irradiansi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan relatif (%)
max	952	35,2	94
min	0	21,0	48
rata-rata	315,93	28,26	69,41
Insolasi	3,79 kWh/m ² /hari		

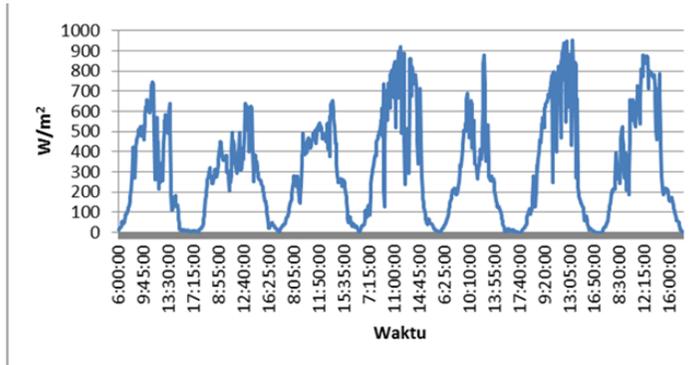
Tabel 3 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif di Kiaracandong

	Irradiansi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan relatif (%)
max	945	33,4	96
min	0	19,9	51
rata-rata	307,94	26,86	71,45
Insolasi	3,70 kWh/m ² /hari		

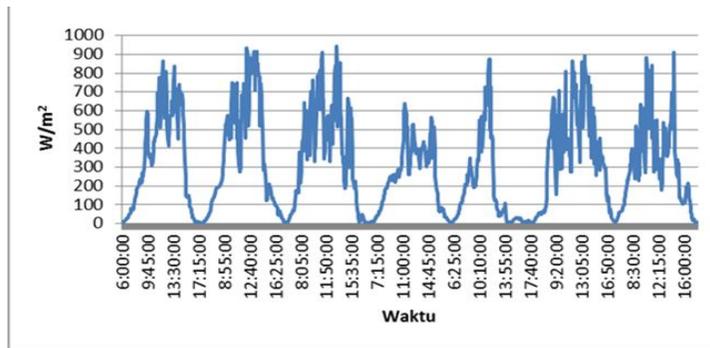
Tabel 4 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif di ITB

	Irradiansi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan relatif (%)
max	958	29,2	99
min	0	20,7	65
rata-rata	229,97	24,43	83,36
Insolasi	2,30 kWh/m ² /hari		

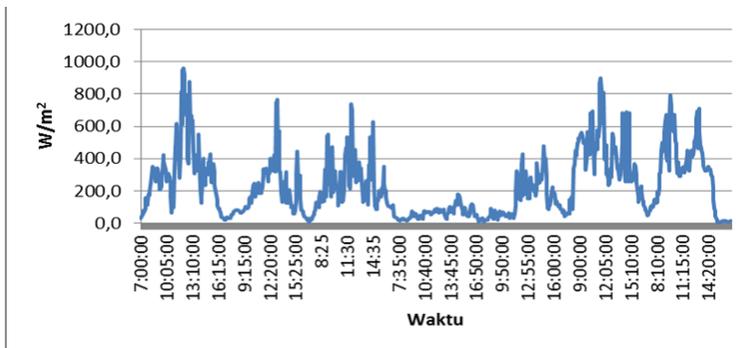
Dari hasil pengukuran potensi energi surya di atas terlihat bahwa nilai irradiansi surya yang didapatkan tidak jauh berbeda dibandingkan dengan hasil pengukuran potensi energi surya yang dilakukan BPPT untuk Kota Bandung, yaitu 4,149 kWh/m²/hari. Selisih yang terjadi disebabkan lamanya waktu pengukuran yang hanya tujuh hari. Selain itu, pada bulan Desember dan Januari, sebagian besar wilayah Indonesia, khususnya Kota Bandung mengalami musim hujan. Untuk mendapatkan data yang dapat menggambarkan potensi energi surya suatu daerah dengan lebih akurat pengukuran hendaknya dilakukan dalam rentang waktu yang lebih panjang, yaitu sekurang-kurangnya satu tahun, sehingga potensi energi surya saat musim kemarau pun dapat terpantau.



(a)

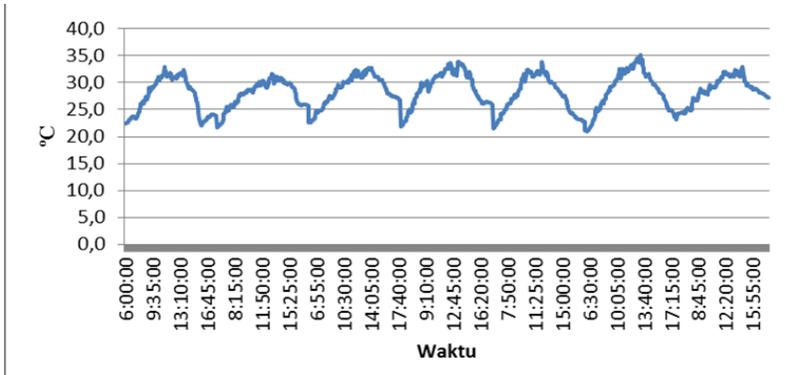


(b)

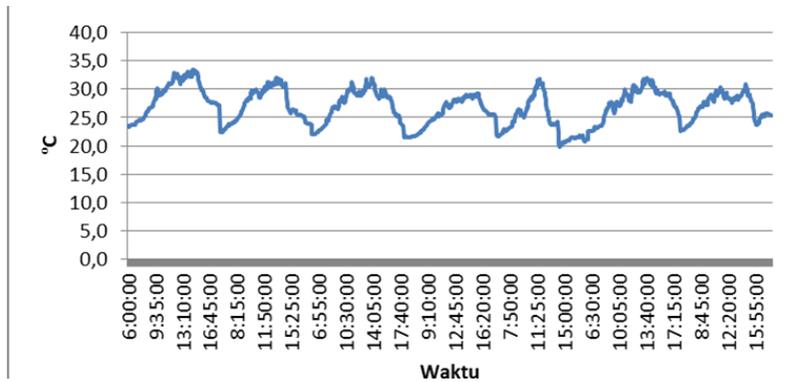


(c)

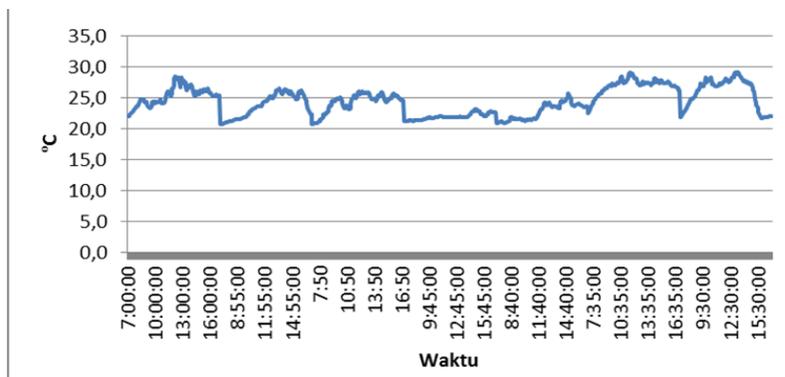
Gambar 7 Hasil pengukuran irradiansi surya di Antapani (a), Kiaracondong (b), dan ITB (c)



(a)

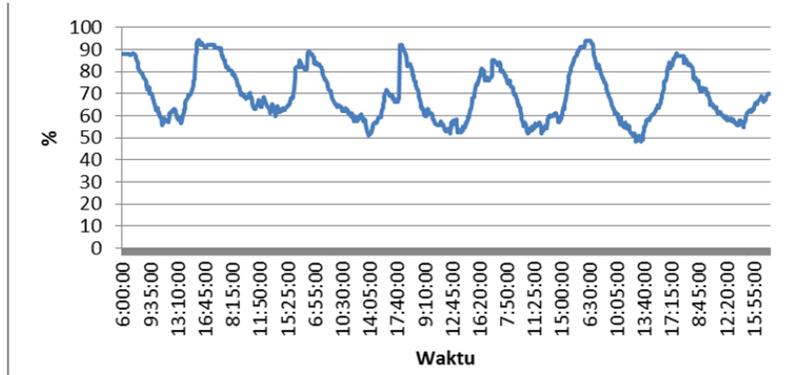


(b)

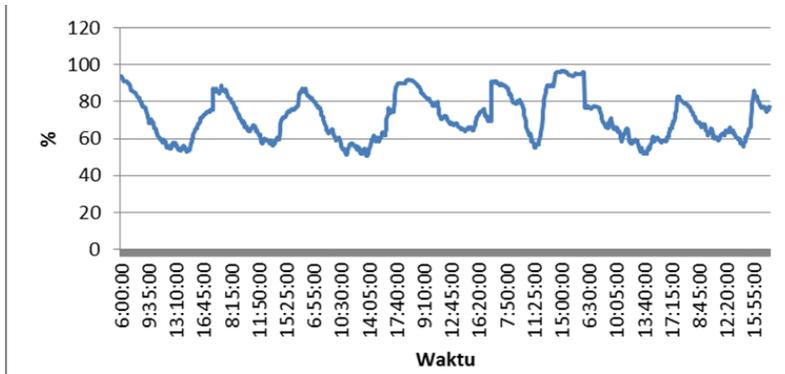


(c)

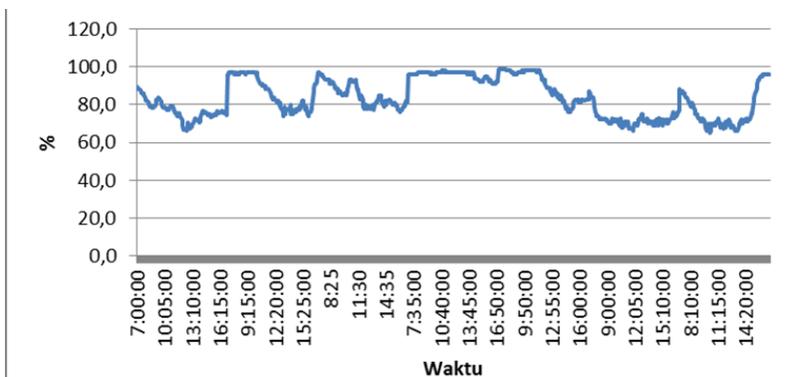
Gambar 8 Hasil pengukuran temperatur di Antapani (a), Kiaracondong (b), dan ITB (c)



(a)



(b)



(c)

Gambar 9 Hasil pengukuran kelembapan relatif di Antapani (a), Kiaracondong (b), dan ITB (c)

5 Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan perangkat monitoring potensi energi surya yang dapat mengukur irradiansi surya, temperatur dan kelembaban relatif berbasis mikrokontroler. Dari hasil kalibrasi alat dengan *Automatic Weather Station* (AWS) di Taman Alat Meteorologi ITB didapatkan *full scale error* rata-rata untuk pengukuran radiasi surya, temperatur dan kelembaban sebagai berikut 1, 33 %; 5, 12 % dan 4, 45 %. Sementara standar deviasi kesalahan mutlak untuk pengukuran irradiansi surya, temperatur dan kelembaban adalah 19, 82 ; 0, 33 dan 1, 42. Pengukuran potensi energi surya juga telah dilakukan di Kota Bandung (Antapani, Kiaracondong dan ITB) pada tanggal 27 Desember 2012 hingga 22 Januari 2013. Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh nilai insolasi rata-rata di Antapani sebesar 3, 79 kWh/m²hari, di Kiaracondong sebesar 3, 70 kWh/m²hari dan di ITB sebesar 2, 30 kWh/m²hari.

6 Daftar Pustaka

- [1] Rahardjo, Irawan, dkk., *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia*., BPPT, Jakarta, tanpa tahun. Pp. 1-8.
- [2] "Top 10 World's Most Efficient Solar PV Mono-Crystalline Cells", <http://www.solarplaza.com/top10-monocrystalline-cell-efficiency>. (Diakses pada bulan Januari 2013)
- [3] I Dewa Ayu Sri Santiari. 2011. "Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan pada Industri Perhotelan di Nusa Lembongan Bali". *Tesis*, Universitas Udayana, Denpasar.
- [4] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 30 Tahun 2012 tentang Tarif Tenaga Listrik PT PLN (Persero).
- [5] Sukhatme, S.P., et.al.. 2008. *Solar Energy, Principles of Thermal Collection and Storage 3rd Edition*, McGraw Hill, New Delhi, 71-73.
- [6] TU Delft OpenCourseWare, "Solar Radiation". http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/SolarCells/res00026/CH2_Solar_radiation.pdf. (Diakses pada bulan Januari 2013)
- [7] Walcek, Chris J. 2004. "Cloud Cover and Its Relationship to Relative Humidity during a Springtime Midlatitude Cyclone". *American Meteorological Society*, 1021-1023.
- [8] Ahrens, C. Donald, *Essentials of Meteorology, an Invitation to the Atmosphere 3rd Edition*, 79-80.