



ISSN 1412 5641

MediaTeknika

Jurnal Teknologi

Vol. 12, No. 2, Desember 2017

Karakteristik Briket Arang Sekam Padi dan Arang Kulit Bawang Putih
Mohammad Nurhilal, Roy Arias Permana Tarigan

Pelacak Matahari Dua Sumbu Menggunakan LDR untuk Meningkatkan Absorpsi Matahari
Elang Parikesit, Doddy Purwadianto, FA. Rusdi Sambada

Sistem Presensi Perkuliahan Berbasis *Radio Frequency Identification*
Iswanjono, Nana Natalianto

Pemodelan dan Analisis Termaldestilasi Air Energi Surya dengan Kaca Penutup Berpenampung Air
Doddy Purwadianto, Wibowo Kusbandono, FA. Rusdi Sambada

Kinerja *Deep Convolutional Network* untuk Pengenalan Aksara Pallawa
Wiwien Widayastuti

Operasi Motor Induksi Tiga Fasa Pada Sistem Satu Fasa
Petrus Setyo Prabowo, Second Adrian Christianto

Aplikasi *Web Service* Perbankan untuk Pembayaran Formulir Pendaftaran Mahasiswa Baru
Puspaningtyas Sanjoyo Adi

Pelacak Matahari Dua Sumbu Menggunakan LDR untuk Meningkatkan Absorpsi Matahari

Elang Parikesit^{1,*}, Doddy Purwadianto², FA. Rusdi Sambada²

¹Politeknik Mekatronika Sanata Dharma,
Jalan Jenengan Raya, Maguwoharjo, Sleman, Yogyakarta 55282,
Telp. (0274) 883037, Fax. (0274) 8722099

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma,
Kampus III Universitas Sanata Dharma, Paingan, Maguwoharjo, Depok, Yogyakarta 55282,
Telp. (0274) 883037, Fax. (0274) 886529

*Penulis korespondensi, e-mail: elang@pmsd.ac.id

Abstract

The position of the sun in the sky always changes periodically. A lot of research has been done to follow the sun's motion using a solar tracking system to increase the amount of solar energy that can be absorbed. The solar tracking system can be grouped into passive and active system. Active sun tracker system uses motor drive in following the motion of the sun. The current active tracking system is using one or two rotary axis. Active two-axis solar tracking system provides greater efficiency and effectiveness than one-axis solar tracking system. This study aims to increase the absorbable sun energy with a simple two-axis solar tracking system. This research has been done by experimental method by making a model of two-axis sun tracker and its field data retrieval. The main parts of the model in this study are (1) LDR sensor, (2) microcontroller and (3) motor drive. Initial data of field test results shows a maximum increase (269%) in absorbable solar energy on a model using a sun tracker than models that do not use a solar tracking system

Keywords: tracker, sun, two-axis rotate, simple

1. Pendahuluan

Krisis energi telah melanda di berbagai negara termasuk Indonesia. Cadangan energi fosil yang selama ini menjadi sumber pemenuhan kebutuhan energi dunia semakin menipis. Kini sumber-sumber energi lain menjadi harapan untuk menggantikan energi fosil dalam memenuhi kebutuhan energi, diantaranya adalah energi matahari. Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi matahari yang besar. Indonesia menerima energi matahari rata-rata sekitar 4,5 kWh/m²/hari di daerah barat dan 5,1 kWh/m²/hari di daerah timur. Pemanfaatan energi matahari dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar yakni pemanfaatan termal dan photovoltaik. Pemanfaatan termal adalah memanfaatkan energi panas matahari secara langsung untuk memanaskan air, memasak, mengeringkan, untuk destilasi air kotor dan sebagainya. Pemanfaatan photovoltaik adalah memanfaatkan radiasi photon matahari dan mengkonversikannya menjadi energi listrik menggunakan sel matahari. Permasalahan yang ada saat ini adalah masih rendahnya pemanfaatan energi matahari dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal tersebut disebabkan oleh posisi matahari yang berubah secara periodik sedangkan posisi peralatan yang memanfaatkan energi matahari umumnya tetap. Hal tersebut menyebabkan energi matahari yang diserap tidak maksimal. Perubahan posisi matahari terjadi secara periodik harian dan tahunan. Banyak penelitian dilakukan untuk mengikuti gerak matahari menggunakan sistem pelacak matahari.

Sistem pelacak matahari dapat dikelompokkan menjadi sistem pasif dan aktif. Sistem pelacak matahari pasif tidak menggunakan penggerak motor dalam mengikuti gerak matahari. Permasalahan pada sistem pelacak matahari pasif adalah masih rendahnya efisiensi dan

efektifitas yang dihasilkan. Sistem pelacak matahari aktif menggunakan penggerak motor dalam mengikuti gerak matahari. Sistem pelacak matahari aktif menghasilkan efisiensi dan efektivitas yang lebih baik dibandingkan sistem pasif. Sistem pelacak aktif yang ada saat ini adalah sistem pelacak matahari menggunakan satu dan dua sumbu putar. Sistem pelacak matahari aktif dua sumbu putar menghasilkan efisiensi dan efektifitas yang lebih baik dibandingkan sistem pelacak matahari satu sumbu putar. Permasalahan yang ada pada sistem pelacak matahari aktif dua sumbu putar adalah biaya investasi yang cukup besar serta teknologi pembuatan yang tidak sederhana. Hal tersebut menyebabkan sistem pelacak matahari dua sumbu putar jarang digunakan dalam pemanfaatan energi matahari di Indonesia. Penelitian ini akan mengatasi permasalahan tersebut dengan meneliti desain pelacak matahari dua sumbu putar yang murah dan sederhana.

Peningkatan energi matahari yang dapat diserap ditentukan oleh seberapa lama ketepatan posisi aplikasi yang memanfaatkan energi matahari terhadap posisi matahari. Semakin lama waktu posisi aplikasi tepat pada posisi matahari, semakin besar peningkatan energi matahari yang dapat diserap aplikasi tersebut. Lama waktu ketepatan posisi tersebut ditentukan oleh seberapa besar periode waktu pelacakan dilakukan. Semakin kecil periode waktu pelacakan (semakin sering) semakin lama waktu aplikasi berada pada posisi yang tepat terhadap posisi matahari. Disisi lain, semakin kecil periode waktu pelacakan semakin besar energi yang diperlukan untuk menggerakkan pelacak tersebut. Pada sebuah pelacak matahari energi untuk menggerakkan pelacak harus diupayakan sekecil mungkin. Pada penelitian ini, periode pelacakan akan divariasikan untuk melihat pengaruhnya pada peningkatan energi matahari yang diserap dan energi yang diperlukan untuk menggerakkan pelacak.

Penelitian ini bertujuan meningkatkan energi matahari yang dapat diserap dengan sistem pelacak matahari dua sumbu putar yang murah dan sederhana.

2. Kajian Literatur

Penelitian sel matahari dengan memanfaatkan pelacak dua sumbu putar menghasilkan efisiensi 20-30% lebih baik dibandingkan dengan pelacak matahari dengan satu sumbu putar. Efisiensi pelacak matahari satu sumbu putar mencapai 50%. Sensor pelacak matahari yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *photocell* [1]. Penelitian pelacak matahari membandingkan antara aplikasi sel matahari tanpa pelacak dengan aplikasi sel matahari menggunakan pelacak matahari satu dan dua sumbu putar. Hasil yang diperoleh menunjukkan pelacak matahari satu sumbu putar menghasilkan efisiensi 32,17% lebih tinggi dibandingkan tanpa pelacak matahari sementara pelacak matahari dua sumbu putar menghasilkan efisiensi 81,68% lebih tinggi dibandingkan tanpa pelacak matahari [2].

Penelitian beberapa jenis pelacak matahari mendapatkan kelemahan pelacak matahari yang menggunakan sensor adalah pada akurasi sensor dalam menentukan posisi matahari pada kondisi cuaca yang mendung [3]. Kriteria yang harus ada pada sebuah pelacak matahari adalah biaya investasi yang rendah, mudah dirawat, modular (mudah dikembangkan), konsumsi energi rendah dan mudah dipasang pada lokasi yang berbeda-beda [4]. Penelitian pengaruh penggunaan pelacak matahari pada aplikasi energi matahari termal di Taiwan menunjukkan peningkatan signifikan energi matahari yang dapat dimanfaatkan. Aplikasi energi matahari termal yang digunakan adalah lensa fresnel. Pelacak matahari yang digunakan adalah pelacak matahari dua sumbu putar dengan sensor LDR [5]. Penelitian penggunaan pelacak matahari dua sumbu putar pada aplikasi sel matahari menunjukkan peningkatan energi sebesar 52,7% dibandingkan tanpa menggunakan pelacak matahari. Sistem pelacak terdiri dari sensor, komparator dan mikrokontroler [6].

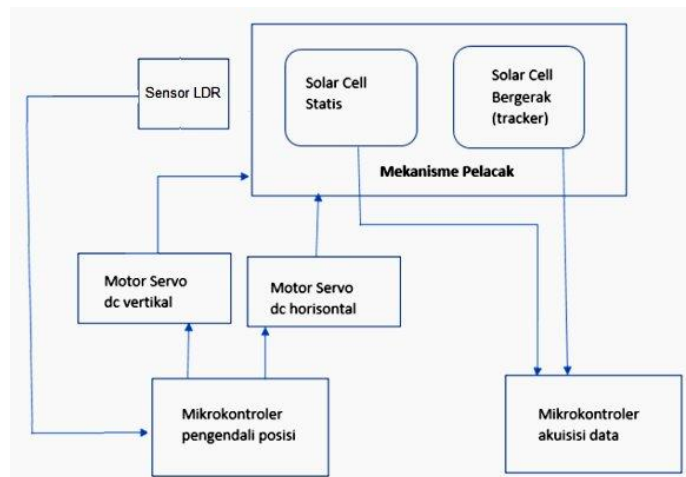
Penelitian membandingkan jenis pelacak satu dan dua sumbu putar menyimpulkan bahwa efisiensi pelacak matahari dengan dua sumbu putar menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan pelacak matahari satu sumbu putar. Permasalahan pada pelacak matahari

dua sumbu putar adalah teknologi yang tidak sederhana dan biaya investasi yang mahal dibandingkan pelacak matahari satu sumbu putar [7].

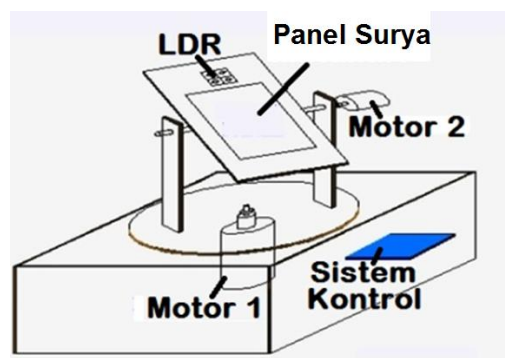
3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Blok Sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem pengendalian posisi dan sistem akuisisi data. Fungsi dari sistem pelacak dan pengendali posisi adalah mengarahkan posisi sel matahari agar berada pada posisi tegak lurus dengan arah sinar matahari. Sedangkan sistem akuisisi data berfungsi untuk membaca nilai tegangan dari sel matahari statis dan sel matahari bergerak (*tracker*). Gambar 2 menunjukkan bentuk fisik sistem yang akan dibuat.



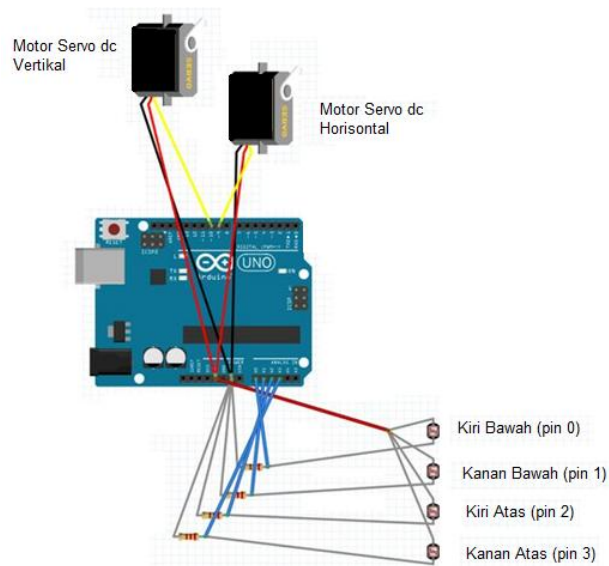
Gambar 1. Diagram blok sistem pengendalian posisi dan sistem akuisisi data



Gambar 2. Komponen utama pelacak matahari 2 sumbu

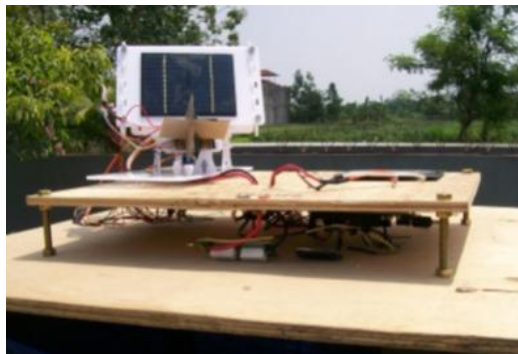
3.2. Sistem Pengendalian Pelacak Matahari Dua Sumbu

Pelacakan otomatis dilakukan oleh sistem ini dengan menggunakan sensor cahaya berupa *LDR* (*Light Dependent Resistor*), motor servo DC, dengan pengendali menggunakan mikrokontroler Atmega 328 dalam *platform* Arduino Uno [8]. Rangkaian tersebut diperlihatkan pada Gambar 3. Sedangkan konstruksi fisik dari alat yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil pembacaan dari sensor-sensor LDR yang berupa tegangan, masuk ke input-input analog dari mikrokontroler (pin A0, A1, A2, dan A3). Nilai-nilai tersebut selalu dibandingkan sehingga didapatkan nilai yang sama. Apabila nilainya belum sama maka mikrokontroler memerintahkan motor servo DC baik vertikal maupun horisontal untuk bergerak, sampai keempat nilai sensor tersebut sama.

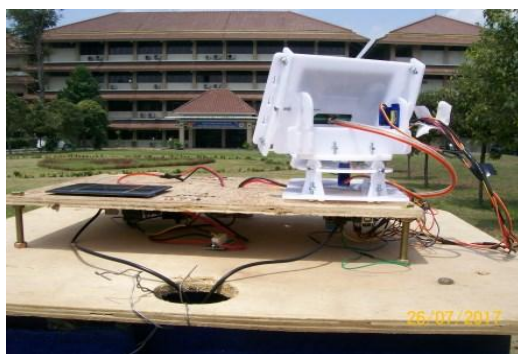


Gambar 3. Rangkaian pengendali pelacak matahari dua sumbu dengan Arduino

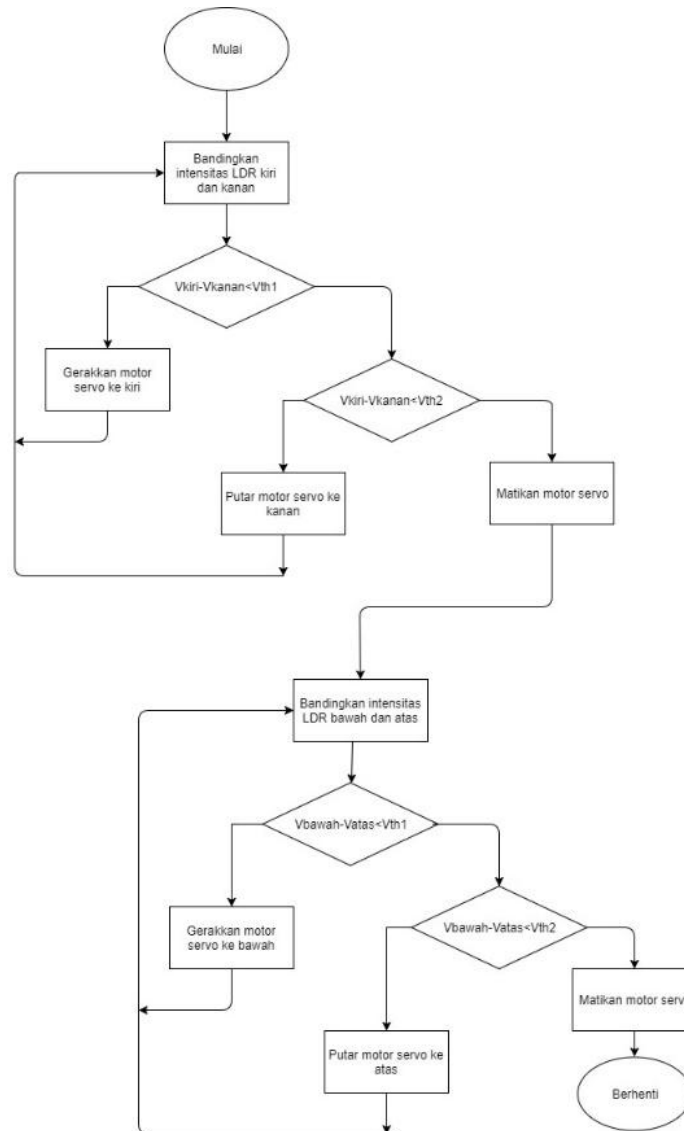
Diagram alir pada Gambar 6 menunjukkan alur kerja yang dilakukan oleh perangkat lunak pengendali yang terdapat pada mikrokontroler. Pada diagram alir tersebut terdapat dua buah proses yang selalu berlangsung yaitu perbandingan pembacaan sensor LDR horizontal dan vertikal.



Gambar 4. Konstruksi fisik pelacak matahari dua sumbu (tampak depan)

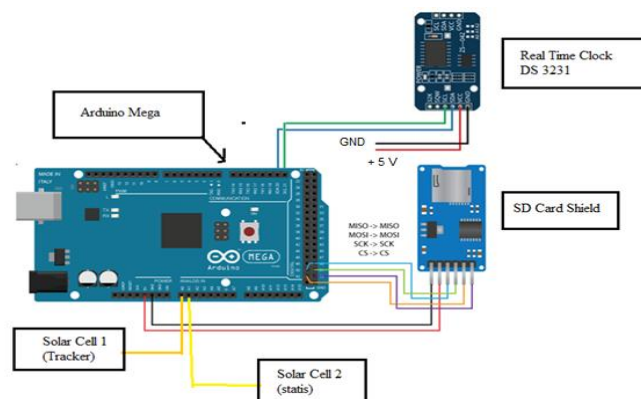


Gambar 5. Konstruksi fisik pelacak matahari dua sumbu (tampak belakang)

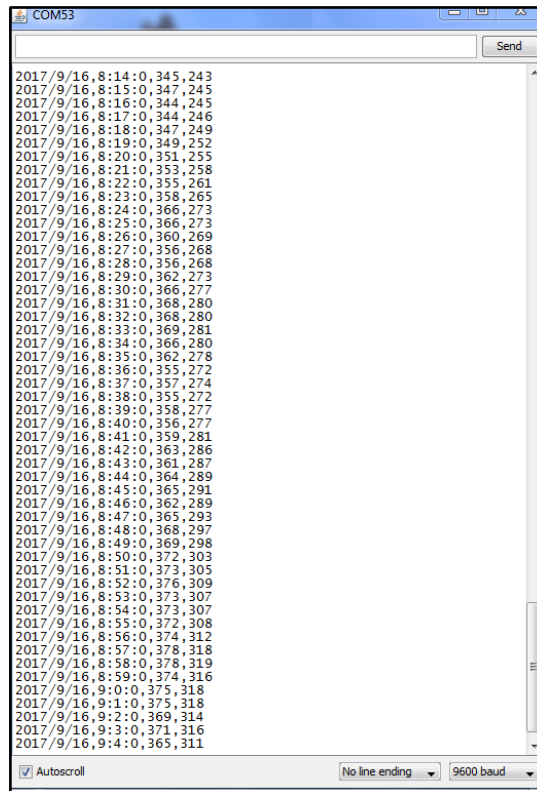


Gambar 6. Diagram alir pelacakan matahari dua sumbu

3.3. Akuisisi Data



Gambar 7. Rangkaian akuisisi data dengan Arduino Mega, RTC DS 3231 dan SD Card



Gambar 8. Monitoring dengan *Serial Monitor*

Rangkaian *data logger* diperlihatkan pada Gambar 7. Parameter keluaran sel matahari yaitu tegangan diperoleh dari hasil pembacaan sensor tegangan yang terdapat pada sel matahari yang bergerak maupun pada sel matahari statis. Hasil pembacaan sensor tegangan tersebut kemudian dikirimkan ke pin analog A0 dan A1 pada mikrokontroler Atmega 2560 (Arduino Mega). Arduino Mega 2560 mempunyai 16 buah input analog dan 54 buah input/output digital (15 buah di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM). Pertimbangan pemilihan Atmega 2560 sebagai *data logger* adalah agar dalam pengembangannya ke depan dapat diperbanyak data dari sensor-sensor yang digunakan untuk keperluan penelitian.

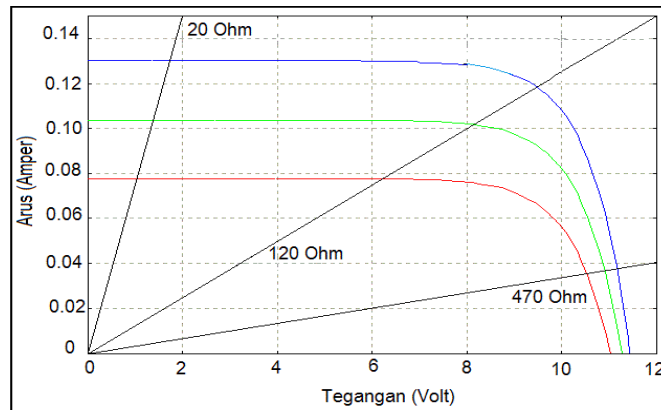
Data yang dikirimkan dapat dipantau secara langsung melalui *serial monitor* yang terdapat pada Arduino IDE seperti terlihat pada Gambar 8. Setiap dua menit data dari sensor-sensor tegangan ditampilkan di *serial monitor*. *Real Time Clock (RTC) DS 3231* berfungsi untuk memberikan data waktu yang nyata. Sedangkan memori pada *SD Card Shield* berfungsi untuk menyimpan hasil pengambilan data. *SD Card Shield* terhubung dengan pin-pin SPI pada Arduino Mega (pin 50, 51, 52, dan 53). Sedangkan RTC DS 3231 terhubung dengan pin-pin I2C yakni pin 20 dan 21 (Gambar 7). Data yang dimunculkan di *serial monitor* berturut-turut adalah Jam, Tanggal, Data Sensor1, Data Sensor 2. Karena *Analog to Digital Converter (ADC)* yang terdapat pada mikrokontroler adalah 10 bit, maka nilai maksimumnya adalah $2^{10} = 1023$. Misalkan nilai data yang muncul adalah 345 maka nilai analog sebenarnya adalah $345/1023 * 5 \text{ volt} = 1,69 \text{ volt}$.

Data yang tertampil pada Gambar 8 berturut-turut adalah tanggal, jam, sensor 1 (sel matahari bergerak), dan sensor 2 (sel matahari statis).

3.4. Sensor Tegangan

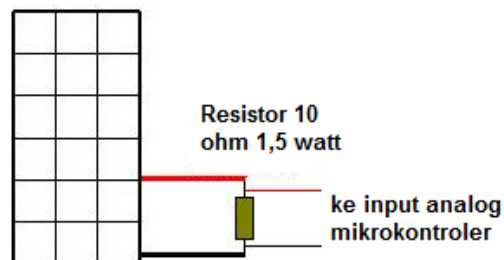
Seperti terlihat pada Gambar 9, pada daerah tertentu sel matahari bersifat sebagai sumber arus (arus dalam daerah linear). Tegangan maksimum yang diizinkan sebagai masukan input analog mikrokontroler ATmega adalah 5 volt, oleh karena itu perlu diatur agar tegangan

keluaran dari sel matahari tidak melebihi 5 volt. Sensor tegangan yang digunakan adalah berupa resistor yang dirangkai secara paralel dengan sel matahari. Nilai dari resistor ini diatur sedemikian rupa sehingga pada saat energi matahari mencapai puncaknya, tegangan yang dihasilkan tidak melebihi 5 volt. Seperti yang terlihat pada Gambar 10, pada akhirnya nilai resistor yang digunakan adalah 20 ohm 5 watt. Dengan resistor tersebut diketahui tegangan yang dihasilkan pada puncaknya adalah sekitar 2,0 volt.



Gambar 9. Grafik Tegangan-Arus pada sel matahari

Panel Surya 12 V 1.5 W



Gambar 10. Resistor sebagai sensor tegangan

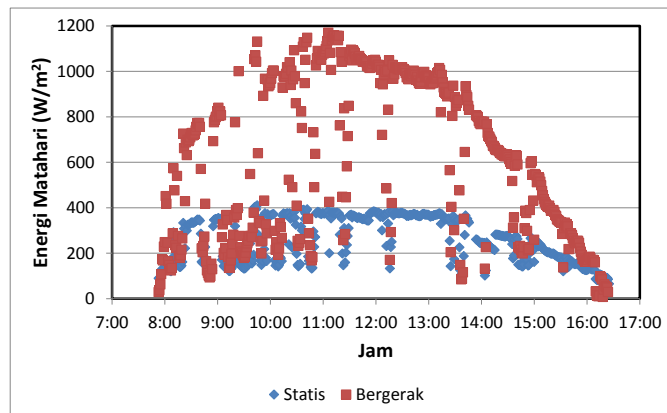
4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dan pengambilan data untuk sel matahari yang bergerak dan statis dilakukan rata-rata selama 8 jam sehari yakni dari pukul 08.00 wib hingga pukul 16.00 wib. Gambar 11, Gambar 13 dan Gambar 15 memperlihatkan hasil yang diperoleh oleh pengambilan data per dua menit. Sedangkan Gambar 12, Gambar 14 dan Gambar 16 menunjukkan hasil rata-rata setiap jamnya.

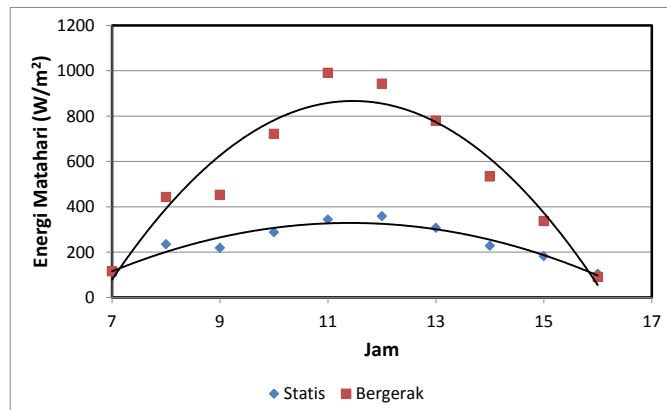
Pada Gambar 11, Gambar 13 dan Gambar 15, terdapat beberapa hasil pembacaan yang nilainya turun drastis. Hal tersebut terjadi pada saat matahari tertutup oleh awan. Apabila hasil pembacaan dari sel matahari yang statis dibandingkan dengan sel matahari yang bergerak, dari tiga kali pengambilan data tersebut diperoleh rata-rata peningkatan sebesar 252%. Peningkatan maksimum yang dicapai sebesar 269%. Besar peningkatan absorpsi energi matahari sangat ditentukan oleh besar rata-rata harian energi matahari yang datang. Perbedaan rata-rata harian energi matahari yang datang dipengaruhi oleh cuaca harian. Pada saat pengambilan data berlangsung, cuaca umumnya mendung.

Gambar 11 menunjukkan rata-rata energi matahari yang diterima sel matahari yang statis sebesar 259 W/m^2 , sedangkan rata-rata energi matahari yang diterima sel matahari yang bergerak sebesar 612 W/m^2 . Gambar 13 menunjukkan rata-rata energi matahari yang diterima sel matahari yang statis sebesar 258 W/m^2 sedangkan rata-rata energi matahari yang diterima

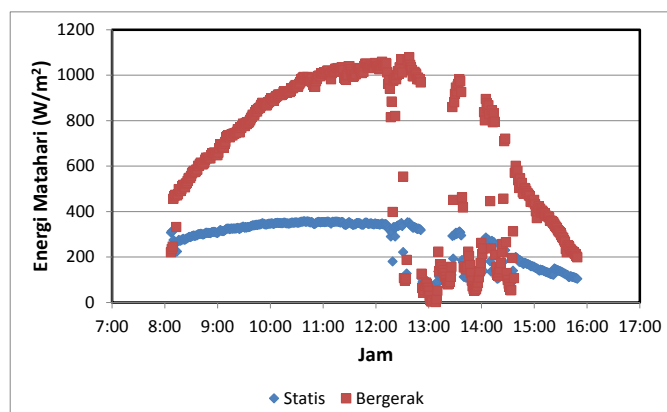
sel matahari yang bergerak sebesar 649 W/m^2 . Gambar 15 menunjukkan rata-rata energi matahari yang diterima sel matahari yang statis sebesar 219 W/m^2 sedangkan rata-rata energi matahari yang diterima sel matahari yang bergerak sebesar 591 W/m^2 .



Gambar 11. Perbandingan energi matahari yang diterima sel matahari statis dan bergerak dalam sehari sebesar 236%

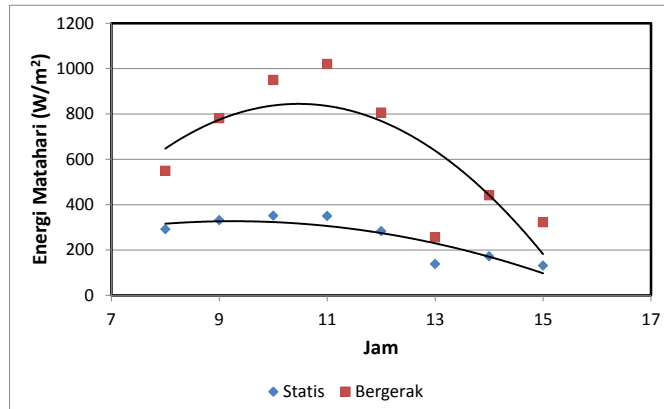


Gambar 12. Perbandingan rata-rata tiap jam energi matahari yang diterima sel matahari statis dan bergerak dalam sehari sebesar 236%

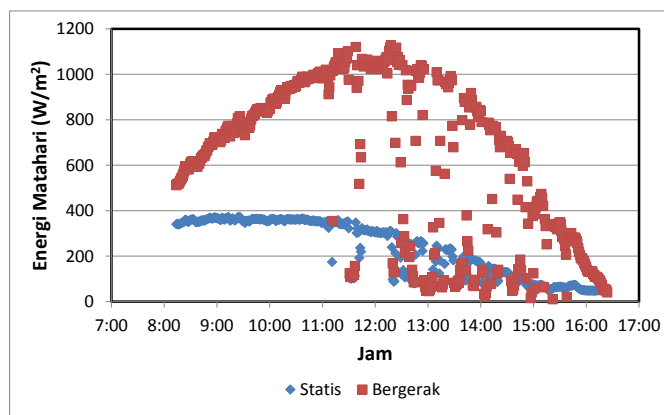


Gambar 13. Perbandingan energi matahari yang diterima sel matahari statis dan bergerak dalam sehari sebesar 252%

Kondisi mendung tidak hanya berpengaruh pada besar perbandingan energi matahari yang diterima sel matahari yang statis dan bergerak, tetapi juga pada respon dari sensor LDR. Energi matahari diterima sel matahari adalah dengan cara radiasi. Radiasi energi matahari merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang pendek.



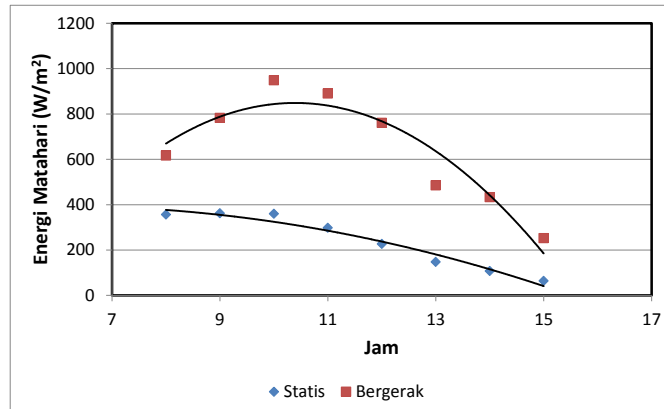
Gambar 14. Perbandingan rata-rata tiap jam energi matahari yang diterima sel matahari statis dan bergerak dalam sehari sebesar 252%



Gambar 15. Perbandingan energi matahari yang diterima sel matahari statis dan bergerak dalam sehari sebesar 269%

Radiasi matahari terdiri dari tiga macam gelombang elektromagnetik. Pertama adalah radiasi yang terlihat (visibel), kedua adalah radiasi ultraviolet dan ketiga radiasi *near infra red*. Radiasi ultraviolet dan *near infra red* merupakan radiasi yang tidak visibel karena panjang gelombangnya. Sensor LDR hanya memberi respon pada radiasi matahari yang visibel, sehingga ketika cuaca mendung atau matahari tertutup awan sensor LDR seringkali tidak dapat mengetahui posisi matahari yang benar. Sebagai ilustrasi, pada saat pengambilan data proyeksi posisi matahari sudah pada posisi barat laut dan tiba-tiba cuaca mendung, tetapi karena mendung yang terjadi tidak merata dan langit pada arah timur laut terang maka sensor LDR akan mengarahkan pelacak ke arah timur laut. Hal tersebut tentu saja merupakan arah yang salah dan dapat mengakibatkan kerugian pada energi matahari yang dapat diserap.

Kesalahan respon LDR sebagai sensor pelacak matahari tidak hanya pada karakteristiknya yang hanya dapat memberi respon pada radiasi yang visibel. Kesalahan respon LDR yang lain disebabkan nilai tegangan yang diberikan keempat LDR pada intensitas cahaya yang sama tidaklah sama. Hal tersebut disebabkan LDR yang dijual di pasaran umumnya tidak memiliki standarisasi yang baik. Pada penelitian ini masalah ini diatasi dengan memberi koreksi secara program agar respon keempat sensor LDR terhadap intensitas cahaya yang sama besarnya sama. Cara yang digunakan untuk menyamakan respon keempat sensor LDR yang digunakan adalah dengan menutup keempat sensor dan melihat luaran tiap sensor melalui *serial monitor*. Keempat luaran sensor LDR disamakan secara program dengan memberikan penambahan atau pengurangan dengan suatu besaran konstan. Hasil yang diperoleh dari cara ini adalah respon sensor LDR yang lebih baik.



Gambar 16. Perbandingan rata-rata tiap jam energi matahari yang diterima sel matahari statis dan bergerak dalam sehari sebesar 269%

Kesalahan respon sensor LDR juga dapat diakibatkan kesalahan/kerusakan komponen lain. Pada penelitian ini kesalahan/kerusakan komponen lain yang pernah terjadi adalah pada komponen resistor. Pemeriksaan terhadap kesalahan ini menunjukkan besar daya resistor yang digunakan sangat mempengaruhi ketahanan komponen resistor itu sendiri. Pada awal pengambilan data digunakan resistor 0,5 watt, ternyata ketahanan komponen resistor 0,5 watt tidak dapat bertahan lama dan menimbulkan kesalahan pada respon sensor LDR. Masalah ini telah diatasi dengan mengganti komponen resistor dengan daya yang lebih besar yakni sebesar 1 watt. Penggantian komponen resistor 0,5 watt menjadi 1 watt memberikan hasil respon sensor LDR yang lebih baik.

Selain sensor LDR komponen lain yang juga sangat mempengaruhi unjuk kerja pelacak matahari secara keseluruhan adalah struktur pendukung dan besar daya atau torsi motor servo DC. Dudukan bantalan poros putar yang tidak sentris pada struktur pendukung dapat menyebabkan pergerakan sistem pelacak matahari yang buruk, bergetar bahkan sampai terhenti. Besar torsi atau daya motor servo DC yang kurang memadai juga dapat menjadi penyebab rendahnya unjuk kerja sistem pelacak matahari ini secara keseluruhan.

Secara umum hasil penelitian ini telah sesuai dengan yang diharapkan. Beberapa efisiensi rekayasa pemanfaatan energi matahari (sel surya, destilasi air, kompor surya, dan lain-lain) berbanding lurus dengan besar energi matahari yang dapat diserap. Dengan sistem pelacak matahari ini diharapkan dapat meningkatkan hasil aplikasi tersebut. Penelitian ini masih akan berlanjut dengan menggunakan sensor selain LDR. Saat ini sedang dipersiapkan model pelacak dengan sensor *phototransistor*.

5. Kesimpulan

Sel matahari pada pelacak dua sumbu menghasilkan daya yang lebih tinggi daripada sel matahari pada sel matahari yang tidak bergerak (statis). Rata-rata peningkatan yang diperoleh adalah 252% dan peningkatan maksimum sebesar 269%

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pihak-pihak yang terkait dan ambil bagian dalam proses pelaksanaan penelitian ini: DP2M DIKTI yang telah mendanai pelaksanaan Penelitian Dosen Pemula ini, Politeknik Mekatronika Sanata Dharma dan Universitas Sanata Dharma yang telah mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Bhote, V., Singh, J., "Implementation of dual axis solar tracker model by using microcontroller, " *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 2, no. 4. 2014
- [2] Kumar, S., Mishra, S., Gupta, S., 2015. "Efficient design of solar tracking system for extracting solar energy," *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, 4(6). 2015

-
- [3] Beltrán, J.A., González Rubio, J.L. and García-Beltrán, S.Y.C.D. (2007) "Design, Manufacturing and Performance Test of a Solar Tracker Made by a Embedded Control,"in Fourth Congress of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics, 2007
- [4] Cheng, T.C., Hung, W.C., Fang, T.H., "Two-Axis Solar Heat Collection Tracker System for Solar Thermal Applications," *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, (1)2. 2013
- [5] Rahman, S., Ferdous, R.A., Mannan, M.A., Mohammed, M.A., "Design & Implementation of a Dual Axis Solar Tracking System," *American Academic & Scholarly Research Journal*, 5(1). 2013
- [6] Seal, B., Shirke, O., Shewale, S., Sirsikar, A., Hankare, P., "Comparison Between Different Solar Tracking System and Wireless Technology," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(4). 2014
- [7] ____, "Dual Axis Solar Tracker". Available : <https://www.browndoggadgets.com/pages/dual-axis-solar-tracker>
- [8] Wright, Chuck, "Measuring Solar Radiation". Available : <http://chuck-wright.com/projects/pv-measure.html>