

Studi Peningkatan Energi Listrik Berbasis Simulator *Solar Panel* dengan Metode *Fix Position* dan *Tracking Position* terhadap Cahaya Matahari

Munadi*, Ismoyo Haryanto, Mochammad Ariyanto, Joga Dharma Setiawan, Dito Rahmat Aulia

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62-247460059

*E-mail: munadi@undip.ac.id

Abstract

Electrical energy from the National Electricity Company (PLN) is limited, even though it has a vital and strategic role in national development. This encourages researchers to participate in finding new alternative energy that is more efficient and environmentally friendly. One alternative energy that is being developed is solar energy. This energy is very suitable because besides being abundant, it is also environmentally friendly which does not cause air pollution. For this reason, a tool is needed to convert solar energy into electrical energy, namely solar panels. Therefore, in this study two simulators of solar panel systems were made with a fix and tracking model, along with data acquisition tools to compare the value of voltage and electric current generated by solar panels. Data acquisition tools that are made are equipped with human-machine-interfaces so as to facilitate monitoring of voltage and electric current values. Based on the results of testing the solar panel system simulator, the value of the electrical voltage generated for the fixed model and tracking model are 14,694 volts and 16,330 volts respectively. While the value of the electric current produced by solar panels with the fixed model and tracking model are 0.165 amperes and 0.193 amperes, respectively. Based on the coulomb counting and voltage measurement methods, the total energy from solar panels is obtained with the model fix and the tracking model is 28,221 Wh and 35,551 Wh. Comparing for the energy produced use the tracking model and the fixed system, there is an increase of 20.61%.

Key-words: *solar panel, solar tracking system, human machine interface*

Abstrak

Energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) jumlahnya terbatas, padahal memiliki peranan vital dan strategis dalam pembangunan nasional. Hal ini mendorong peneliti untuk berperan serta dalam mencari energi alternatif baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang sedang dikembangkan adalah energi cahaya matahari. Energi ini sangat cocok karena selain melimpah, juga ramah lingkungan yang tidak menimbulkan polusi udara. Untuk itu diperlukan alat untuk mengubah energi energi matahari menjadi energi listrik yaitu *solar panel*. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dibuat dua simulator sistem *solar panel* dengan model *fix* dan *tracking*, beserta alat bantu data akuisisi untuk membandingkan nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh *solar panel*. Alat bantu data akuisisi yang dibuat dilengkapi dengan *human machine interface* sehingga memudahkan dalam monitoring nilai tegangan dan arus listrik. Berdasarkan hasil pengujian simulator sistem *solar panel*, nilai tegangan listrik yang dihasilkan untuk model *fix* dan model *tracking* masing-masing adalah 14,694 volt dan 16,330 volt. Sedangkan nilai arus listrik yang dihasilkan *solar panel* dengan model *fix* dan model *tracking* masing-masing adalah 0,165 ampere dan 0,193 ampere. Berdasarkan metode *coulomb counting* dan pengukuran tegangan, maka diperoleh total energi dari *solar panel* dengan model *fix* dan dengan model *tracking* sebesar 28,221 Wh dan 35,551 Wh. Jika dibandingkan energi yang dihasilkan menggunakan model *tracking* dengan menggunakan sistem *fix* maka terjadi kenaikan sebesar 20,61 %.

Kata kunci: *solar panel, solar tracking, human machine interface*

1. Pendahuluan

Energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) jumlahnya terbatas, padahal memiliki peranan vital dan strategis dalam menunjang pembangunan nasional. Karena itu, ketersediaan energi listrik harus dapat diwujudkan secara andal, aman, dan ramah lingkungan. Namun pada kenyataannya begitu banyak permasalahan terjadi terkait ketersediaan sistem ketenagalistrikan nasional. Permasalahan itu diantaranya adalah biaya pokok produksi listrik yang lebih tinggi dari pada harga jual listrik, ketidakpastian pasokan sumber energi primer (terutama pasokan gas alam), masih adanya pembangkit berbahan bakar BBM sebagai sumber energi primer, serta kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari banyak pulau sehingga menyulitkan proses transmisi dan distribusi energi listrik [1]. Akibat permasalahan-permasalahan tersebut, tidak sedikit ilmuwan yang saat ini berusaha mencari energi alternatif baru yang lebih efisien dan

ramah lingkungan. Berdasarkan potensi letak geografis Indonesia yang dilalui oleh garis khatulistiwa, maka sangat cocok untuk pengimplementasian salah satu sumber energi terbarukan yaitu cahaya matahari. Selain melimpah, tidak habis dipakai, sumber energi matahari juga ramah lingkungan yang tidak menimbulkan polusi udara. Namun demikian, masih diperlukan alat untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik yaitu sel surya. Sebuah sel surya tunggal umumnya dapat membangkitkan daya 1 watt dengan tegangan 0,5 volt. Untuk menghasilkan daya dan tegangan yang lebih besar, maka sel surya disusun menjadi sebuah modul yang disebut *solar panel* [2].

Selanjutnya dalam penelitian ini, penulis tertarik mengembangkan topik tentang energi matahari untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan *solar panel*. Energi listrik tersebut didapat dari energi panas cahaya matahari yang diserap oleh *solar panel*, kemudian energi tersebut disimpan didalam baterai sebagai cadangan energi. Untuk itu diperlukan suatu alat yang dapat mengatur aliran listrik dalam pengisian ulang baterai. Kontrol pengisian baterai yang dilakukan penulis menggunakan mikrokontrol NI myRIO dan program LabVIEW. Selain itu untuk mengoptimalkan sistem kerja *solar panel*, maka peneliti berusaha mengaplikasikan sistem *solar panel* model *fix* (diam) dan model *tracking* dalam menangkap intensitas pancaran cahaya matahari. Dengan menggunakan sistem kontrol pada sistem *solar panel* model *tracking*, diharapkan dapat diketahui perbandingan prosentase kenaikan energi cahaya matahari yang diperoleh.

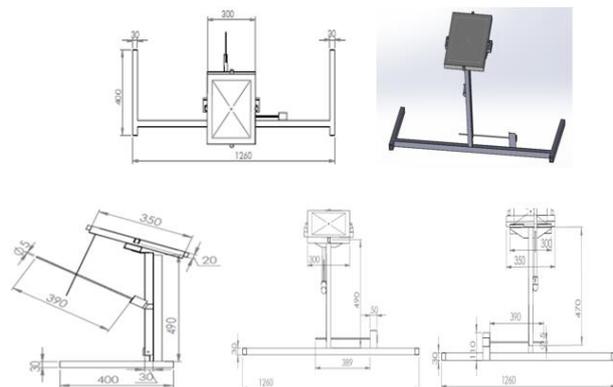
2. Desain Sistem Solar Panel Model Fix dan Tracking

2.1 Desain sistem solar panel

Solar panel adalah alat elektronik yang mampu merubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya yang mengenai *solar panel* akan menghasilkan arus dan tegangan listrik untuk memperoleh energi listrik [3]. Terkait dengan *solar panel*, penelitian ini akan merancang simulator sistem *solar panel* model *fix* (tetap/tidak bergerak) dan model *tracking* (mengarah sinar matahari), sehingga dapat membandingkan jumlah energi yang dihasilkan oleh kedua sistem tersebut. *Solar panel* model *fix* merupakan sistem *solar panel* yang dibuat tidak bergerak mengikuti arah datangnya cahaya matahari. Pada penelitian ini, *solar panel* akan diletakkan di atas bidang kayu datar yang menghadap ke atas (langit), sehingga *solar panel* hanya akan terkena cahaya matahari maksimal pada posisi tegak lurus dengan arah datangnya cahaya matahari. Gambar 1 menunjukkan desain simulator sistem *solar panel* model *fix*.



Gambar 1. Desain solar panel model fix



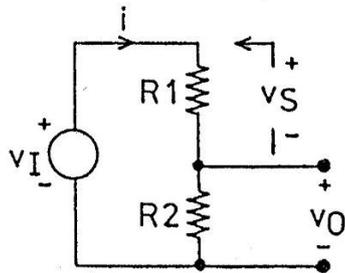
Gambar 2. Desain solar panel model tracking

Sistem *solar panel* dengan model *tracking* dirancang agar *solar panel* dapat mengikuti arah cahaya matahari. Logikanya, dengan menggunakan sistem *solar tracking* akan menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan sistem *solar panel* model *fix* [4]. Sistem *solar tracking* yang dirancang menggunakan dua motor DC dan empat sensor cahaya (sensor LDR), serta *power supply* sebagai daya untuk menggerakkan motor. Prosedur pada sistem model *tracking* yaitu motor akan bergerak apabila sensor LDR atau sensor cahaya yang berada di sekeliling *solar panel* terkena sinar matahari, sehingga sensor tersebut akan memberikan sinyal kepada mikrokontroler untuk menggerakkan motor. Adapun sistem *solar panel* model *tracking* yang dirancang pada penelitian ini adalah *dual axis tracker* dimana dapat menggerakkan *solar panel* terhadap sumbu x dan y [5]. Gambar 2 menunjukkan desain sistem *solar panel* model *tracking*.

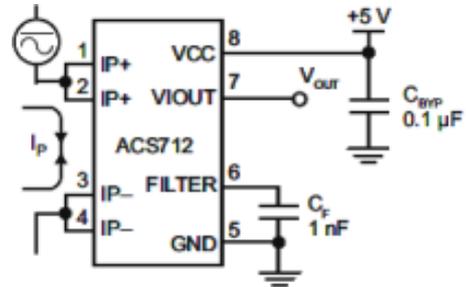
Sistem monitoring *solar panel* merupakan sistem yang memiliki fungsi untuk menunjukkan dan merekam data keluaran dari *solar panel* secara otomatis. Sistem alat ini disebut dengan data akuisisi. Parameter keluaran *solar panel* yang akan dicatat adalah intensitas cahaya matahari, arus listrik, dan tegangan listrik. Untuk data akuisisi nilai tegangan listrik, maka *solar panel* dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan. Dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan, hasil tegangan dari *solar panel* tidak boleh melebihi 5 volt. Pengurangan nilai tegangan ini bertujuan agar mikrokontroler yang digunakan pada saat pengujian tidak rusak akibat tegangan yang berlebih. Gambar 3 menunjukkan rangkaian pembagi yang digunakan pada saat pengujian dimana tegangan masukan terbagi menjadi dua bagian, dan masing-masing sebanding dengan harga resistor yang dikenai tegangan tersebut, sehingga besarnya V_o dapat dirumuskan sesuai Persamaan 1 [6].

$$V_0 = V_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \tag{1}$$

V_1 adalah tegangan keluaran *solar panel* sebelum melewati rangkaian pembagi tegangan, sedangkan R_1 dan R_2 adalah hambatan atau resistor pada rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 3. Rangkain pembagi tegangan

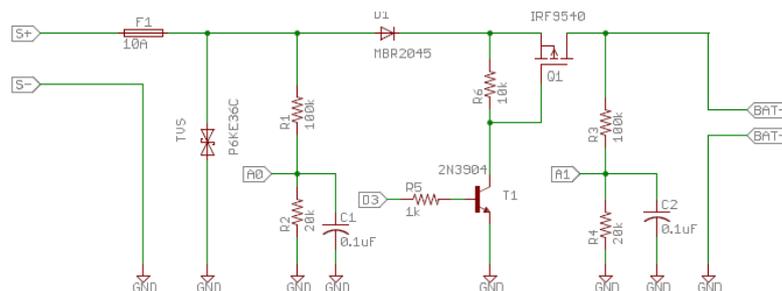


Gambar 4. Rangkaian sensor arus AC712

Selanjutnya, sensor yang digunakan untuk sistem data akuisisi arus listrik pada *solar panel* adalah sensor arus ACS712. Sensor ini memerlukan suplai daya sebesar 5V. Untuk membaca nilai tengah (nol ampere), tegangan sensor diatur pada 2,5 V yaitu setengah kali tegangan sumber daya $V_{CC} = 5V$. Pada polaritas negatif pembacaan arus -5A terjadi pada tegangan 0,5 V. Tingkat perubahan tegangan berkorelasi *linear* terhadap besar arus sebesar 400 mV/Ampere. Gambar 4 menunjukkan modul sensor arus ACS712. Hasil pembacaan dari modul sensor arus perlu disesuaikan kembali dengan pembacaan nilai arus listrik sebenarnya yang dihasilkan oleh *solar panel*. Modul ACS712 memiliki sensitifitas tegangan sebesar 66-185 mV/A. Untuk jangkauan pembacaannya mulai dari 0 (pada *input* 0V input) sampai 1023 (pada *input* 5V) dengan resolusi sebesar 0,0049V. Pembacaan sensor arus listrik pada *analog read* dirumuskan pada Persamaan 2 [7].

$$I = \frac{0,0049 \times V_{out} - 2,5}{0,185} \tag{2}$$

Sistem *charge controller* sangat diperlukan pada sistem solar panel ini, dimana merupakan komponen yang diletakkan diantara *solar panel* dan baterai, yang berfungsi mengatur jumlah pengisian baterai dari *solar panel* untuk mencegah *overcharged* pada baterai. Terdapat beberapa tipe sistem *charge controller*, diantaranya tipe PWM dan tipe MPPT. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *charge controller* dengan tipe PWM. Sistem *charge controller* tipe PWM melakukan pengisian baterai dengan tegangan listrik konstan dan arus listrik yang konstan. Pada rangkaianannya terdapat komponen MOSFET yang berfungsi seperti tombol ON dan OFF. Jika dibandingkan dengan sistem *charge controller* lain, efisiensi sistem *charge controller* tipe PWM lebih bagus yaitu memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas pengisian yang bisa diterima baterai, sehingga dapat memperpanjang umur baterai dan menghemat biaya [8]. Pada prinsipnya, cara kerja sistem *charge controller* adalah dengan membandingkan nilai tegangan listrik baterai dengan pengaturan nilai tegangan listrik pengisian yang telah disetting sebelumnya. Nilai tegangan pengisian adalah angka yang menjadi patokan kapan pengisian dilakukan secara cepat dan secara lambat sampai pengisian penuh. Berdasarkan nilai tegangan pengisian tersebut, mikrokontroler Ni myRIO akan memberikan sinyal frekuensi PWM ke MOSFET yang terdapat pada rangkaian *solar panel*. Untuk frekuensi sinyal PWM adalah sebesar 490,20 Hz dan *duty cycle* berkisar 0-100% yang disesuaikan dengan sinyal error. Gambar 5 menunjukkan rangkaian sistem *charge controller*.



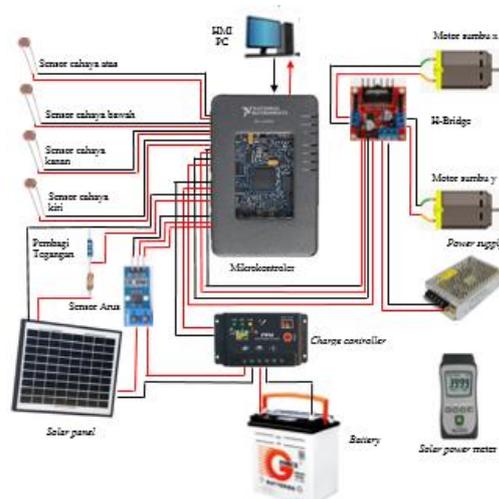
Gambar 5. Rangkaian sistem charge controller

2.2 Sistem Hardware Elektronik

Tahap berikutnya adalah assembly sistem *hardware* elektronik *solar panel* yang terdiri dari beberapa komponen elektronika. Beberapa komponen elektronika tersebut disusun membentuk sebuah diagram rangkaian *hardware* sistem *solar panel*. Diagram rangkaian *hardware* sistem *solar panel* model *fix* ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan untuk diagram rangkaian *hardware* sistem *solar panel* model *tracking* ditunjukkan pada Gambar 7.



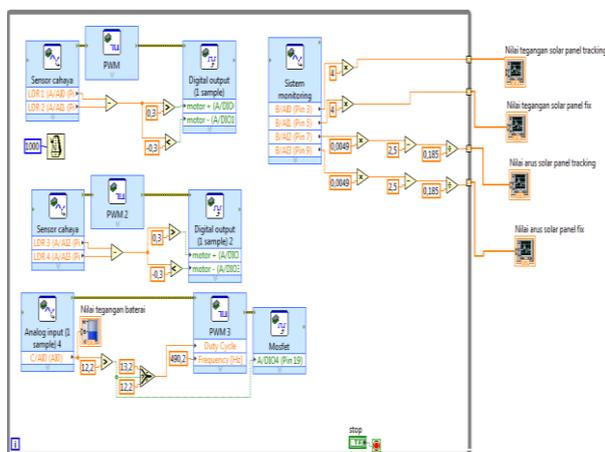
Gambar 6. Diagram desain *hardware* sistem *solar panel* model *fix*



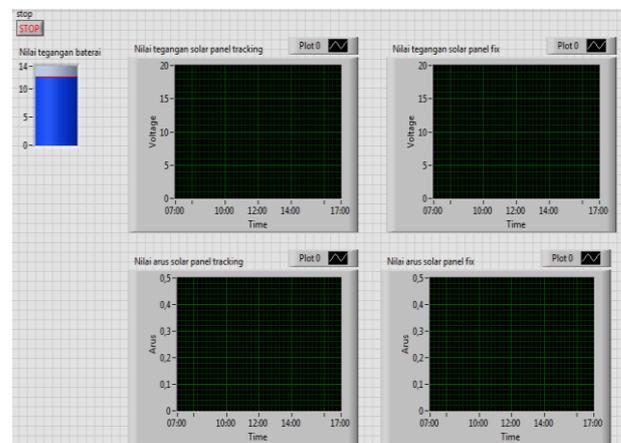
Gambar 7. Diagram desain *hardware* sistem *solar panel* model *tracking*

2.3 Pemrograman Human Machine Interface

Setelah rangkaian *hardware* dibuat, dilakukannya pemrograman menggunakan software LabVIEW 2015 yang berfungsi sebagai *human machine interface* (HMI). HMI adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin yang dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time* [9]. Berikut ini *block diagram* dan *front panel* desain HMI untuk mengontrol sistem *solar panel*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. *Block diagram* sistem *solar panel*



Gambar 9. *Front panel* sistem *solar panel*

2.4 Perhitungan Energi Listrik Solar Panel

Energi listrik yang dihasilkan oleh *solar panel* sangat berkaitan dengan daya listrik yang dihasilkan *solar panel*. Daya listrik merupakan laju dari elektron mengerjakan suatu usaha listrik. Ketika elektron bergerak dari suatu ujung bermuatan negatif ke ujung bermuatan positif pada suatu konduktor, maka telah dilakukan suatu usaha listrik. Sehingga dapat diartikan daya listrik merupakan kapasitas dimana suatu usaha listrik digunakan. Dalam penelitian ini perhitungan yang dilakukan menggunakan metode *coulomb counting* dan pengukuran tegangan listrik. Metode *coulomb counting* merupakan metode untuk menghitung muatan listrik (*coulomb*) yang masuk atau keluar melalui baterai [10]. Secara matematik energi listrik yang memiliki satuan *Watt hour* (Wh) dihasilkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = V \times I; \quad P = V \times I; \quad \text{dan} \quad I = \frac{C}{t} \quad (3)$$

dimana P adalah daya listrik, V adalah tegangan listrik, I adalah arus Listrik, t adalah selang waktu, C adalah Jumlah *coulomb* yang didapat dari grafik nilai arus.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian sistem *solar panel*

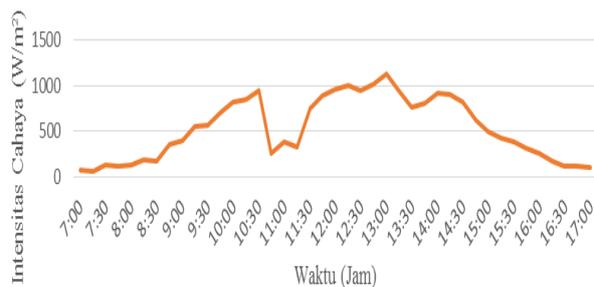
Pengujian nilai tegangan dan arus yang dihasilkan kedua sistem *solar panel* baik model *fix* maupun *tracking* dilakukan secara bersamaan untuk mengetahui energi yang dihasilkan. Pengujian ini dilakukan selama 10 jam dari pukul 07.00 sampai pukul 17.00 pada satu lokasi. Sesuai pada pembahasan di atas, nilai keluaran yang akan diukur adalah nilai intensitas cahaya, nilai tegangan listrik, dan nilai arus listrik, yang didapat dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan, sensor arus dan *solar power meter*. Berdasarkan data yang diperoleh, maka dilakukan perhitungan dan perbandingan besar energi yang dihasilkan oleh kedua sistem *solar panel*. Proses pengujian ditunjukkan pada Gambar 10.



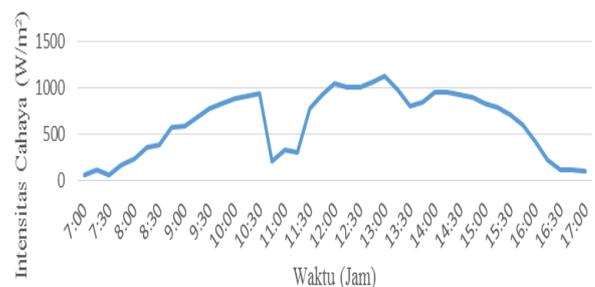
Gambar 10. Pengujian sistem *solar panel*

3.2 Data akuisisi intensitas cahaya matahari

Dalam pengujian penelitian ini, untuk membandingkan kinerja *solar panel* yang menggunakan model *fix* dan *tracking*, maka harus dilakukan pada lokasi yang sama dan jam yang sama. Salah satu parameter yang penting yang perlu diperhatikan yaitu nilai intensitas cahaya matahari. Intensitas cahaya matahari akan mempengaruhi besar arus listrik yang dihasilkan oleh *solar panel*. Gambar 11 dan 12 menunjukkan nilai intensitas matahari selama pengujian.



Gambar 11. Nilai intensitas cahaya matahari *solar panel* menggunakan model *fix*.



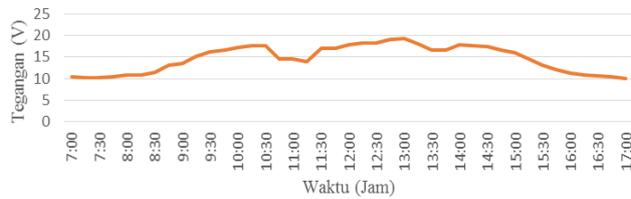
Gambar 12. Nilai intensitas cahaya matahari *solar panel* menggunakan model *tracking*.

Berdasarkan Gambar 11 dan 12 terlihat bahwa intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh *solar panel* yang menggunakan sistem *solar tracking* lebih besar dibandingkan dengan intensitas yang dihasilkan oleh *solar panel* yang menggunakan sistem *fix*. Nilai intensitas sinar matahari didata pada kedua sistem tersebut dengan periode pengukuran yang sama. Hasil rata-rata intensitas cahaya matahari yang diperoleh *solar panel* menggunakan sistem *tracking* adalah 625,292 W/m², sedangkan sistem *fix* sebesar 534,463 W/m².

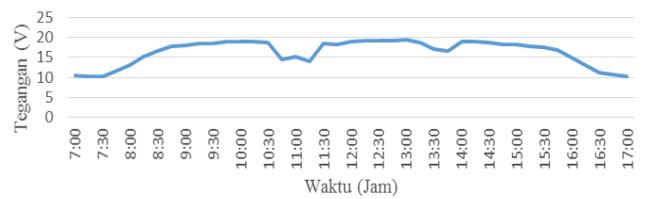
3.2 Data akuisisi tegangan listrik

Perubahan tegangan keluaran pada *solar panel* ketika pengujian merupakan salah satu nilai yang diperhatikan dalam menentukan daya yang dihasilkan. Berdasarkan data tegangan listrik dikali dengan arus listrik yang didapat, maka menghasilkan daya keluaran *solar panel*. Proses pengambilan data dilakukan selama 10 jam dari pukul 07.00 sampai 17.00. Pada rangkaian data akuisisi tegangan, digunakan pembagi tegangan atau *voltage divider*, sehingga pada

pada *block diagram*, data tegangan keluaran *solar panel* perlu dikali 4. Tujuannya agar data tegangan keluaran dari *solar panel* sesuai dengan data tegangan sebenarnya *solar panel* sebelum tegangannya dikurangi. Gambar 13 dan 14 menunjukkan data akuisisi tegangan listrik *solar panel* menggunakan sistem *fix* dan *tracking*.



Gambar 13. Data tegangan listrik *solar panel* menggunakan model *fix*.



Gambar 14. Data tegangan listrik *solar panel* menggunakan model *tracking*.

Berdasarkan hasil pengujian dan pengambilan data tegangan, terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan oleh sistem *solar panel* yang menggunakan model *tracking* lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan model *fix*. Dengan tegangan yang semakin besar akan menyebabkan daya yang dihasilkan oleh *solar panel* akan besar pula. Selanjutnya, tegangan yang dihasilkan sistem *solar panel* yang menggunakan model *tracking* maupun model *fix* akan mencapai puncak saat tengah hari (sekitar pukul 13.00). Hal ini disebabkan oleh cuaca yang cerah dan arah sinar cahaya matahari tegak lurus dengan posisi *solar panel*. Sehingga *solar panel* menghasilkan keluaran tegangan yang maksimal. Pada pukul 11.00 terjadi penurunan arus pada sistem *solar panel* model *tracking* maupun model *fix*. Ini terjadi karena pada kondisi cuaca berawan pada saat pengujian. Dengan menurunnya tegangan pada *solar panel*, akan menyebabkan daya dari *solar panel* akan ikut berkurang. Adapun perbandingan arus listrik berdasarkan hasil rata-rata yang dihasilkan tegangan *solar panel* menggunakan model *tracking* dan model *fix* adalah 16,33014 volt dan 14,69463 volt, sehingga persentase kenaikan nilai tegangan yang dihasilkan yaitu:

$$\frac{ST - SD}{SD} \times 100\% = \frac{16,33014 - 14,69463}{14,69463} \times 100\% = 11,12\%$$

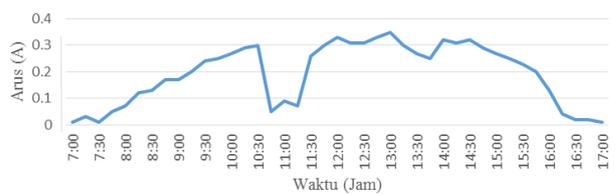
dimana ST adalah tegangan *solar panel* menggunakan model *tracking*, dan SD adalah tegangan *solar panel* menggunakan model *fix*.

3.3 Data akuisisi arus listrik

Proses perolehan data akuisisi arus dilakukan bersamaan dengan proses pengambilan data akuisisi tegangan yang listrik dilakukan pada *solar panel*. Untuk data akuisisi arus listrik menggunakan sensor arus yang dirangkai seri terhadap beban dan *solar panel*. Gambar 15 dan 16 menunjukkan grafik data akuisisi arus listrik *solar panel* menggunakan model *fix* dan *tracking*.



Gambar 15. Data arus listrik *solar panel* menggunakan model *fix*.



Gambar 16. Data arus *solar panel* menggunakan model *tracking*.

Berdasarkan hasil pengujian dan pengambilan data akuisisi arus listrik terlihat bahwa arus listrik yang dihasilkan oleh *solar panel* dengan model *tracking* lebih besar dibandingkan dengan model *fix*. Karena arus listrik yang dihasilkan semakin besar, maka akan menyebabkan daya yang dihasilkan oleh *solar panel* akan besar pula. Berdasarkan Gambar 15 dan 16, pada pukul 11.00 dan 13.30 terjadi penurunan arus listrik pada *solar panel* baik untuk model *fix* maupun *tracking*. Hal ini terjadi karena cuaca mendung dan berawan, sehingga intensitas cahaya matahari yang diterima *solar panel* mulai melemah. Dengan menurunnya arus listrik yang dihasilkan *solar panel*, maka akan menyebabkan daya dari *solar panel* akan ikut berkurang. Selanjutnya, hasil arus listrik rata-rata yang dihasilkan *solar panel* menggunakan sistem *solar tracking* dan yang menggunakan sistem *fix* adalah 0,194 ampere dan 0,165 ampere.

Selanjutnya, berdasarkan data akuisisi arus dan tegangan listrik *solar panel* setiap 15 menit, maka dapat dihitung pebandingan total energi yang dihasilkan oleh *solar panel* dengan model *fix* dan sistem *solar panel* model *tracking* sesuai dengan persamaan 3. Dalam rentang waktu 10 jam pengujian, *solar panel* dengan model *fix* menghasilkan total

energi listrik sebesar 28,221 Wh, sedangkan untuk *solar panel* dengan model *tracking* menghasilkan total energi listrik sebesar 35,551 Wh. Bila dibandingkan, maka persentase nilai energi yang dihasilkan antara kedua sistem tersebut terjadi kenaikan sebesar:

$$\frac{ST - SD}{SD} \times 100\% = \frac{35,55168 - 28,22132}{28,22132} \times 100\% = 20,61\%$$

dimana ST adalah energi yang dihasilkan *solar panel* menggunakan model *tracking*, dan SD adalah energi yang dihasilkan *solar panel* menggunakan model *fix*.

4. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kinerja *solar panel* yang menggunakan model *fix* dan *tracking*. Simulator *solar panel* ini dibuat untuk skala rumah tangga. Agar mudah dan akurat dalam pengambilan data akuisisi, maka dibuat *display panel* sebagai *Human Machine Interface* menggunakan *software* LabVIEW dengan mikrokontroler NI myRIO, sekaligus lebih mudah dalam pengoperasian sistem *solar panel*. Berdasarkan hasil pengujian, maka nilai tegangan listrik rata-rata yang dihasilkan *solar panel* dengan model *fix* sebesar 14,694 volt, sedangkan model *tracking* sebesar 16,330 volt. Untuk arus listrik rata-rata yang dihasilkan *solar panel* dengan model *fix* sebesar 0,165 ampere, sedangkan dengan model *tracking* sebesar 0,193 ampere. Adapun total energi listrik yang dihasilkan *solar panel* dengan model *fix* sebesar 28,221 Wh, sedangkan sistem dengan model *tracking* sebesar 35,551 Wh. Jika dibandingkan energi yang dihasilkan terjadi kenaikan sebesar 20,61 % antara *solar panel* model *fix* dibandingkan model *tracking*.

Daftar Pustaka

- [1] Daruzzaman, Z., 2016, "Perancangan Model Automatic Voltage Regulator (AVR) pada Generator Sinkron Skala Laboratorium Berbasis Mikrokontroler", Skripsi, Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- [2] Septina, W., 2013, "Sel Surya: Struktur dan Cara Kerja", <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>, diakses: 26 April 2018.
- [3] Jegan, T., Kumaraguru, M., 2016, "Labview Based Simulator for Solar Power Plants", *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 19, Hal. 129-132.
- [4] Tudorache, T., Kreindler, L., "Design of a Solar Tracker System for PV Power Plants", *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 7, No. 1, Hal. 23-39.
- [5] Racharla, S., Rajan, K., 2015, "Solar Tracker System - A Review", *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 2, No. 4, Hal. 2-22.
- [6] Vyas, M., Chudasama, K., Bhatt, M., and Gohil, B., 2016, "Real Time Data Monitoring of PV Solar Cell using LabVIEW", *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 6, No. 6, Hal. 2218-2221.
- [7] Fachri, M.R., Sara, I.D., Away, Y., 2015, "Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time", *Jurnal Rekayasa Elekrika*, Vol. 11, No. 4, Hal. 123-128.
- [8] Thounaojam, W., Ebenezer, V., Balekundri, A., 2014, "Design and Development of Microcontroller Based Solar Charge Controller", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 5, No. 5, Hal. 510-513.
- [9] Tello, R., Bissoli, A., Ferrara, F., Muller, S., Ferreira, A., Filho, T., 2015, "Development of a Human Machine Interface for Control of Robotic Wheelchair and Smart Environment", *IFAC (Elsevier)*, Vol. 48, No. 19, Hal. 136-141.
- [10] Isnaini, A.D., Suwandi, S., Iskandar, R.F., 2017, "Estimasi State of Charge pada Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Perhitungan Coulomb", *eProceedings of Engineering*, Vol. 4, No. 1, Hal. 650-657.