

Optimalisasi Daya Keluaran dengan Sistem Tracking Otomatis Dua Axis pada Panel Surya

Ardhina Royan Saina¹, Ryan Putra Prananda², Wahyudi Budi Pramono³, Medila Kusriyanto⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta, Indonesia

¹20524018@students.uii.ac.id

²20524209@students.uii.ac.id

³wahyudi_budi_p@uui.ac.id

⁴medilla@uui.ac.id

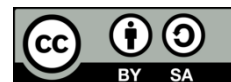
Dikirim pada 16-11-2024, Direvisi pada 23-11-2024, Diterima pada 30-11-2024

Abstrak

Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA) merupakan implementasi perancangan sistem *tracking* panel surya secara otomatis secara dua sumbu. Sistem ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu panel surya, sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), motor servo dan kontroler. Sistem ini dapat memaksimalkan daya keluaran panel surya sebab *tracking* otomatis yang mampu mendeteksi letak matahari sehingga panel surya dapat menerima cahaya matahari secara optimal. Sistem ini juga memiliki fitur yang menyimpan daya keluaran tersebut dalam bentuk data ke SD Card. Selain itu, sistem ini juga telah terintegrasi *Internet of Things* (IoT) yang membuat data tersebut ditampilkan secara *real time* pada aplikasi blynk. STADA telah melewati beberapa pengujian untuk memastikan sistem dapat berjalan dengan baik dan mencapai hasil yang diinginkan. Pengujian tersebut meliputi pengukuran akurasi sensor, pengujian efektivitas keluaran daya, pengukuran lama *charging* baterai dengan keluaran daya yang didapatkan, dan pengukuran terhadap daya yang mengalir ke beban. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa STADA mampu meningkatkan daya keluaran hingga 15,34% lebih besar dibanding panel surya statis. Dengan demikian, pengimplementasian STADA akan menjadi solusi permasalahan yang tepat bagi pengguna atau *stakeholder* dalam upaya peningkatan energi listrik.

Kata Kunci: IoT, panel surya, STADA, *tracking* otomatis

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



Penulis Koresponden:

Wahyudi Budi Pramono

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, Indonesia

Email: wahyudi_budi_p@uui.ac.id

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia di era modern ini [1]. Tanpa listrik, banyak aktivitas manusia yang tidak dapat berjalan dengan lancar, seperti penerangan, komunikasi, hiburan, dan produksi. Kebutuhan listrik manusia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan teknologi. Hal tersebut terjadi karena hampir semua kebutuhan memerlukan listrik, seperti rumah tangga, instansi-instansi pemerintah, perkantoran dan industri termasuk salah satunya yaitu Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Klimatologi DIY.

BMKG memiliki tugas, visi, dan misi yang berkaitan dengan pengamatan, pengolahan, penyampaian, dan kerja sama di bidang tersebut. Stasiun Klimatologi BMKG memiliki tanggung jawab yang luas dalam menjalankan fungsinya. Mereka aktif dalam melakukan pengamatan, pengumpulan, pengolahan, serta analisis data yang berkaitan dengan iklim, cuaca, dan kualitas udara. Selain itu, Stasiun Klimatologi juga bertugas menyediakan layanan informasi meteorologi, klimatologi, dan kualitas udara kepada masyarakat dan berbagai sektor. Untuk mendukung kinerja dan fungsinya dalam upaya mengamati dan memproses

nilai yang digunakan untuk memberikan informasi pada masyarakat mengenai cuaca dan iklim maka digunakan beberapa sensor dan alat-alat bantu elektronika. Beberapa alat diantaranya yaitu Automatic Solar Radiation Station (ASRS), Automatic Weather System (AWS), dan iklim mikro. Dengan berbagai jenis alat elektronika tersebut, BMKG sangat membutuhkan energi listrik mengingat hampir seluruh komponen yang digunakan merupakan komponen elektronika. Pada dasarnya pasokan energi listrik di BMKG Stasiun Klimatologi DIY sudah tercukupi dengan adanya listrik PLN, dan memiliki suplai cadangan generator serta energi surya. Namun penggunaan generator sebagai cadangan lebih banyak digunakan daripada penggunaan energi listrik yang berasal dari energi surya. Hal tersebut karena daya listrik dari panel surya yang terlalu kecil dan belum optimal yang disebabkan oleh pemasangan alat panel surya masih menggunakan panel surya konvensional tanpa memperhatikan efisiensi cahaya yang diterima oleh panel surya, sehingga energi matahari yang terserap tidak maksimal. Meskipun demikian tidak ada alasan dibenarkannya penggunaan energi non terbarukan karena akan berdampak pada lingkungan sekitar karena penggunaan energi tak terbarukan yang tidak ramah lingkungan.

Dalam upaya mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) poin 7 tentang energi bersih serta ungkapan presiden RI Joko Widodo yang mengamanatkan agar mempercepat pergantian energi non-terbarukan ke energi terbarukan. "Transformasi energi menuju energi baru dan terbarukan harus dimulai green economy, green technology, dan green product harus diperkuat agar kita bisa bersaing di pasar global" ungkap presiden dalam beberapa penyampaiannya [2]. Beberapa penelitian tentang optimasi daya keluaran pada panel surya dengan metode maximum power point tracking (MPPT) telah dilakukan [3,4], baik yang berbasis IoT [5], beraksis tunggal [6] maupun penggunaan database dari sudut azimuth dan sudut elevation [7]. Selain itu penggunaan sensor LDR [8] dan real time clock (RTC) [9] telah diujicobakan pada beberapa penelitian. Beberapa penelitian tentang sistem penjejak matahari dapat ditemukan di beberapa literatur. Sistem penjejak matahari dengan single axis yang bersifat portable yang dibandingkan dengan sistem yang tetap, memiliki keunggulan dalam menghasilkan energi [10], sedangkan penelitian lain menunjukkan bahwa sistem penjejak matahari memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi meskipun sistem penjejak tersebut memerlukan energi untuk menggerakannya. Single axis tracker ditujukan untuk menaikkan output energi dari solar panel. Tetapi metode single axis ini lebih cocok untuk daerah yang memiliki lintang rendah, karena posisi matahari relatif stabil sepanjang tahun. Sistem single axis hanya mampu mengikuti matahari pada satu sumbu (horizontal atau vertikal), sehingga sudut yang paling optimal tidak dapat diperoleh sepanjang hari. Hal ini menyebabkan efisiensi penyerapan energi akan lebih rendah terutama pada pagi dan sore hari [11].

Dalam penelitian ini dirancang sebuah alat Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA) berbasis IoT untuk memaksimalkan daya keluaran sehingga penggunaan energi terbarukan dapat dimaksimalkan sekaligus dapat mengurangi penggunaan energi non terbarukan yang sifatnya polutif terutama di BMKG Stasiun Klimatologi DIY.

II. METODE PENELITIAN

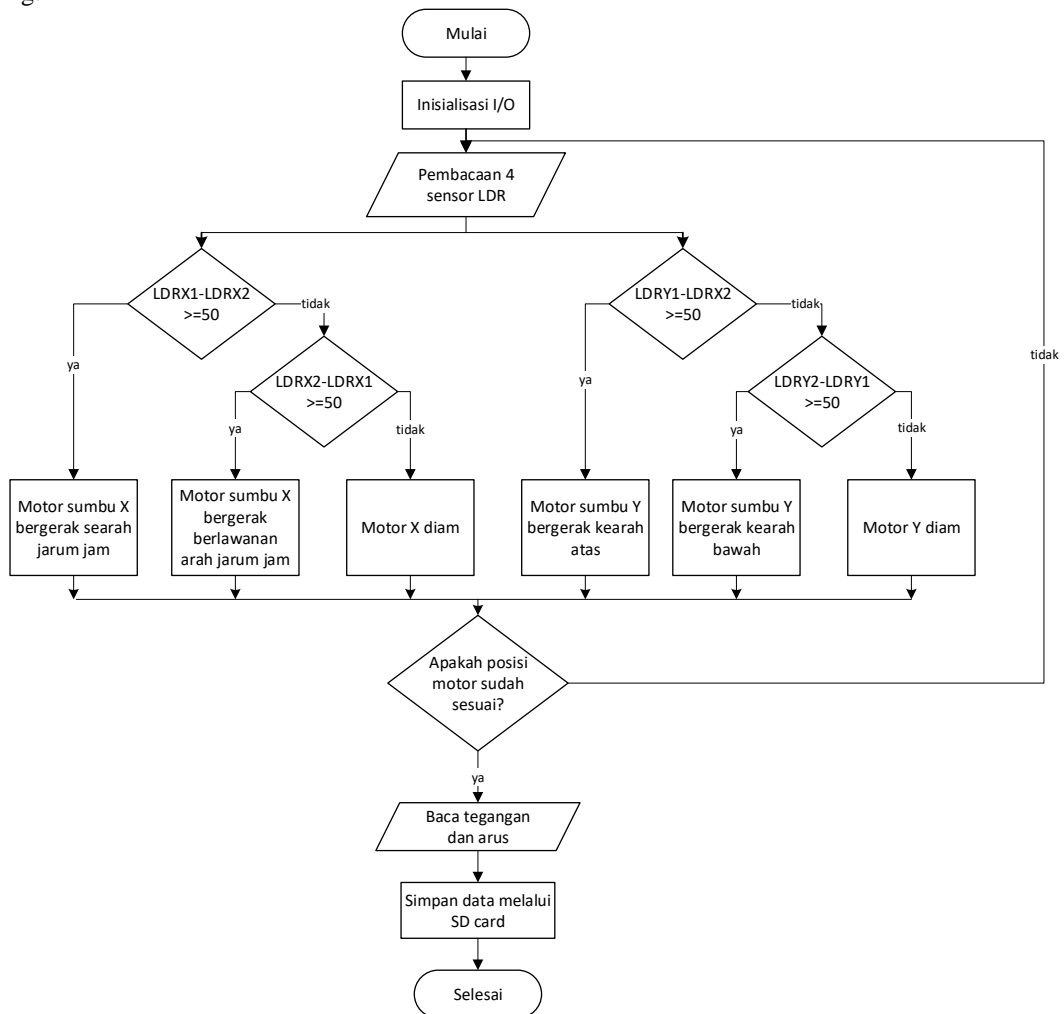
Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu perancangan sistem elektronis dan perancangan sistem mekanis.

A. Perancangan Sistem Elektronis

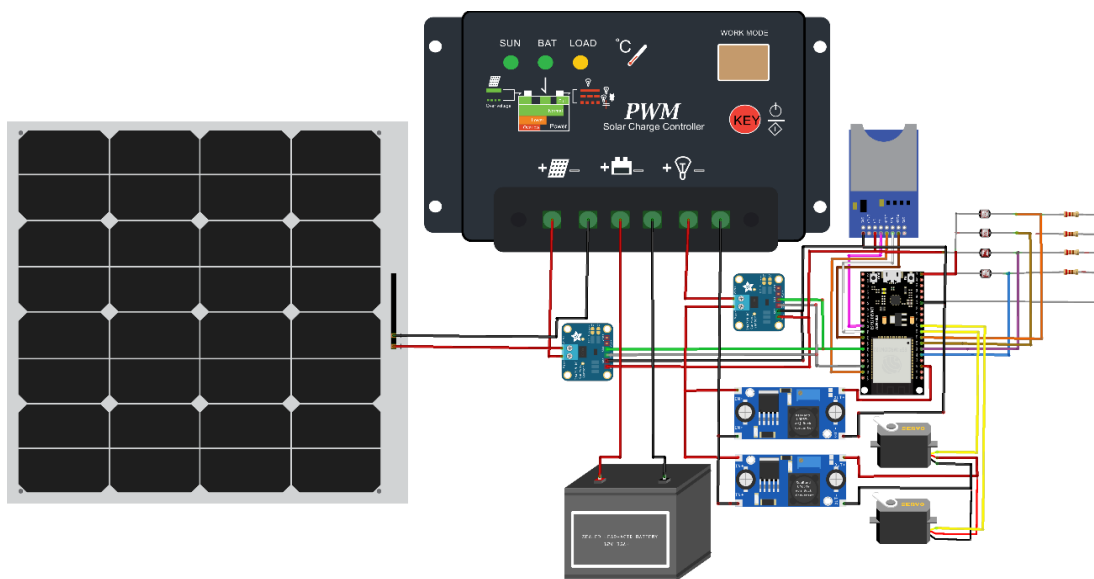
Perancangan sistem elektronis dilakukan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1 Berdasarkan algoritma pada Gambar 1. Diketahui bahwa ketika sistem telah dimulai maka sensor akan membaca intensitas cahaya matahari. Kemudian data terbaca tersebut akan diproses dan dijadikan acuan pergerakan motor atau *tracking* panel di kedua sumbu. Bersamaan dengan itu, arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan melalui kartu SD dan di tampilkan pada web server melalui modul *wifi*.

Berdasarkan algoritma tersebut, ditentukan komponen-komponen yang dibutuhkan diantaranya yaitu panel surya, *Solar charge Controler* (SCC), baterai, kontroler, sensor arus dan tegangan, sensor cahaya, regulator, aktuator, dan media penyimpanan. Panel surya digunakan sebagai media konversi cahaya matahari menjadi energi listrik. SCC digunakan untuk mengatur arus listrik yang akan masuk ke baterai. Baterai digunakan sebagai beban sekaligus catu daya bagi beban yang lainnya. Kontroler digunakan untuk mengatur kinerja *system* sekaligus media IoT yang menghubungkan antara *system* dengan web server. Sensor arus dan tegangan digunakan untuk mengukur besarnya arus dan tegangan yang mengalir. Sensor cahaya digunakan untuk mendeteksi cahaya matahari terbaik. Regulator digunakan untuk menaikkan ataupun menurunkan tegangan agar sesuai dengan tegangan yang mampu diterima oleh beban. *Actuator* digunakan sebagai penggerak atau media *tracking*. Dan media penyimpanan digunakan sebagai tempat

penyimpanan data. Komponen - komponen tersebut selanjutnya dirangkai sesuai dengan fungsi masing-masing.



Gambar 1. Diagram Alir Cara Kerja Sistem

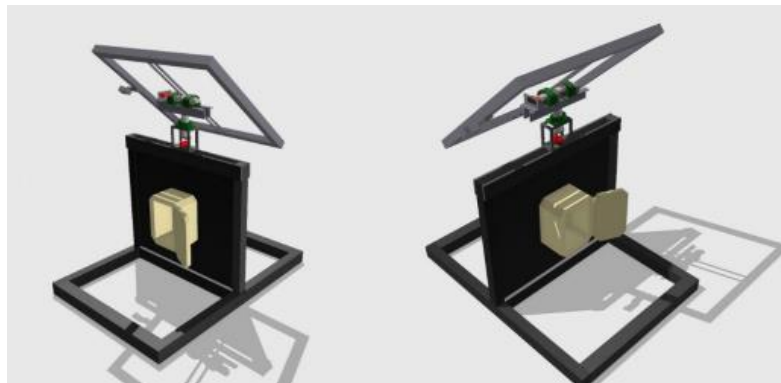


Gambar 2. Perancangan Sistem Elektronis

Gambar 2 merupakan gambar rangkaian elektronis *system* menggunakan komponen yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam rancangan ini, panel surya yang digunakan yaitu panel surya dengan kapasitas daya keluaran maksimal sebesar 50WP, SCC berjenis *Pulse Width Modulation* (PWM), baterai berkapasitas 12V12Ah, ESP 32 sebagai kontroler, sensor LDR untuk pembacaan cahaya matahari, motor servo sebagai aktuator, regulator step down sebagai penurun tegangan dari baterai menuju motor servo, INA 219 sebagai sensor arus dan tegangan, serta modul kartu SD digunakan sebagai media penyimpanan.

B. Perancangan Sistem Mekanis

Perancangan sistem mekanis dimulai dengan menentukan desain *system* yang meliputi bagaimana bentuk, ukuran, serta mekanisme pergerakan *tracking*. Setelah itu melakukan pemilihan dan penentuan bahan yang akan digunakan. Kerangka penyangga secara keseluruhan menggunakan besi hollow, pemilihan tersebut didasarkan karena besi hollow memiliki kekuatan dan ketahanan yang cukup kuat dalam menopang beban. Adapun untuk bracket mounting, besi yang digunakan yaitu besi siku, hal tersebut karena besi siku mampu menahan atau mengganjal sisi panel surya. Kemudian untuk *enclosure* menggunakan bahan plat, sedangkan untuk dudukan penyangganya menggunakan papan triplek. Untuk mekanisme pergerakan *tracking*, digunakan dua buah *bearing* pada bagian pergerakan vertikal, dan satu buah *bearing* pada bagian horizontal. Selain itu, pada bagian as vertikal juga dipasangkan bandul penyeimbang agar meminimalisir beban yang diampu oleh aktuator. Gambar 3 merupakan rencana sistem mekanis dengan pergerakan dua aksis.



Gambar 3. Perancangan Sistem Mekanis

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan *prototype* yang dibuat dalam memecahkan permasalahan yang ada, sehingga *prototype* dapat memenuhi tujuan dari perancangan yang diharapkan. Pengujian ini meliputi tingkat pengukuran keakuratan sensor INA 219, pengukuran efisiensi hasil *tracking*, pengukuran lama *charging* baterai, pengukuran konsumsi energi *tracker*.

A. Hasil Pengukuran Akurasi Sensor

Pengukuran ini dilakukan bertujuan untuk melihat seberapa akurat sensor dalam membaca nilai tegangan, arus, dan daya. Pada pengujian ini diambil beberapa data dari sensor INA 219 yang dihubungkan dengan baterai 12V dan motor pompa sebagai beban. Selanjutnya diambil beberapa sampel data keluaran INA 219 sehingga didapatkan nilai akurasi. Persamaan (1) digunakan untuk perhitungan akurasi hasil pengukuran dari sensor.

$$Akurasi = \left(1 - \left| \frac{Nilai\ terukur - Nilai\ Referensi}{Nilai\ Referensi} \right| \right) \times 100\% \quad (1)$$

TABEL I. HASIL PENGUKURAN AKURASI SENSOR TEGANGAN

No	Nilai Terukur (V)	Nilai Referensi (V)	Error (%)	Akurasi (%)
1	12,94	12,97	0,23	99,77

No	Nilai Terukur (V)	Nilai Referensi (V)	Error (%)	Akurasi (%)
2	12,95	12,98	0,23	99,77
3	12,93	12,97	0,23	99,77
4	12,93	12,97	0,23	99,77
5	12,93	12,97	0,23	99,77
6	12,93	12,97	0,23	99,77
7	12,93	12,97	0,23	99,77
8	12,94	12,97	0,23	99,77
9	12,96	12,98	0,07	99,93
10	12,97	12,98	0,07	99,93
Rata - Rata			0,198	99,80

TABEL II. HASIL PENGUKURAN AKURASI SENSOR ARUS

No	Nilai Terukur (mA)	Nilai Referensi (mA)	Error (%)	Akurasi (%)
1	125,8	130	3,23	96,76
2	105,5	110	4,09	95,91
3	130,6	130	0,46	99,64
4	104,1	110	5,36	94,29
5	132	140	5,71	94,29
6	136,6	140	2,42	97,58
7	95,3	100	4,7	95,3
8	137	140	2,14	97,86
9	147,8	150	1,46	98,54
10	146,1	150	2,6	97,4
Rata - Rata			3,21	96,79

Berdasarkan data pada Tabel I dan Tabel II didapatkan bahwa hasil akurasi sensor INA 219 mencapai 99,80% ketika pengukuran tegangan, sedangkan pada pengukuran arus didapatkan 96,79%. Pada setiap pengujian dilakukan 10 kali pengujian terhadap tegangan dan arus yang bervariasi pada setiap pengukurannya, berdasarkan pengujian tersebut didapat rata-rata *error* sebesar 0,198% untuk tegangan terbaca, dan 3,21% untuk arus terbaca. Sehingga berdasar hasil pengujian ini diperoleh akurasi sensor dalam mengukur tegangan mencapai 99,80% dan untuk arus sebesar 96,79% yang mana hasil tersebut melebihi akurasi yang diharapkan yaitu 95% dengan *error* maksimal 5%.

B. Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap perbandingan efektivitas panel surya menggunakan sistem *tracking* dual axis dengan panel surya statis. Pengujian ini dilakukan dalam satu hari selama 6 jam dari pukul 09.00 hingga pukul 15.00. Data yang diambil adalah data pengukuran terhadap tegangan, arus dan daya keluaran tiap 10 menit. Adapun hasil peningkatan daya dapat dihitung dengan menggunakan (2).

$$\text{Peningkatan daya} = \frac{\text{Daya solar tracker} - \text{Daya solar statis}}{\text{Daya solar statis}} \times 100\% \quad (2)$$

TABEL III. PERBANDINGAN KELUARAN DAYA PANEL SURYA

Tanggal	Jam(WIB)	Statis			Tracker		
		Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)
07/07/2024	09:00:00	908,27	14,20	12,90	923,97	15,07	13,92
07/07/2024	09:10:00	908,14	15,52	14,09	935,23	15,17	14,19
07/07/2024	09:20:00	907,83	17,12	15,54	940,87	19,21	18,07
07/07/2024	09:30:00	897,39	16,84	15,11	845,62	18,66	15,78
07/07/2024	09:40:00	888,12	17,08	15,17	920,67	19,23	17,70
07/07/2024	09:50:00	859,78	16,44	14,13	910,23	17,25	15,70
07/07/2024	10:00:00	840,97	16,80	14,13	848,98	17,01	14,44
07/07/2024	10:10:00	837,59	16,40	13,74	999,32	17,33	17,32
07/07/2024	10:20:00	802,1	17,52	14,05	923,1	18,14	16,75
07/07/2024	10:30:00	797,2	16,72	13,33	810,11	16,51	13,37
07/07/2024	10:40:00	789,32	17,40	13,73	855,66	18,91	16,18
07/07/2024	10:50:00	787,37	17,68	13,92	857,68	18,77	16,10
07/07/2024	11:00:00	783,77	17,60	13,79	859,7	18,11	15,57
07/07/2024	11:10:00	781,39	17,96	14,03	961,73	18,91	18,19
07/07/2024	11:20:00	787,11	17,20	13,54	963,21	18,73	18,04
07/07/2024	11:30:00	784,85	17,96	14,10	965,82	19,06	18,41
07/07/2024	11:40:00	791,74	18,24	14,44	988,91	19,51	19,29
07/07/2024	11:50:00	795,64	18,44	14,67	986,08	19,9	19,62
07/07/2024	12:00:00	819,65	16,84	13,80	891,5	17,22	15,35
07/07/2024	12:10:00	843,14	16,84	14,20	1211,1	17,55	21,25
07/07/2024	12:20:00	844,78	17,08	14,43	956,34	18,2	17,41
07/07/2024	12:30:00	839,19	17,40	14,60	907,41	18,27	16,58
07/07/2024	12:40:00	841,1	17,64	14,84	900,55	17,55	15,80
07/07/2024	12:50:00	847,04	18,16	15,38	1123,2	18,58	20,87
07/07/2024	13:00:00	850,5	18,60	15,82	1009,17	19,66	19,84
07/07/2024	13:10:00	852,28	19,12	16,30	1321,34	19,44	25,69
07/07/2024	13:20:00	846,39	18,60	15,74	982,22	19,02	18,68
07/07/2024	13:30:00	845	18,84	15,92	880,14	18,21	16,03
07/07/2024	13:40:00	853,36	18,28	15,60	878,72	18,23	16,02
07/07/2024	13:50:00	860,08	18,04	15,52	961,98	17,71	17,04

Tanggal	Jam(WIB)	Statis			Tracker		
		Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)
07/07/2024	14:00:00	857,65	17,68	15,16	994,21	17,89	17,79
07/07/2024	14:10:00	859,3	17,60	15,12	874,61	16,31	14,26
07/07/2024	14:20:00	857	17,00	14,57	873,6	16,55	14,46
07/07/2024	14:30:00	861,99	16,80	14,48	870,07	16,21	14,10
07/07/2024	14:40:00	867,23	16,76	14,53	895,81	16,55	14,83
07/07/2024	14:50:00	870	16,76	14,58	877,08	16,78	14,72
07/07/2024	15:00:00	869,57	17,08	14,85	863,58	17,9	15,46
Rata-Rata		841,45	17,36	14,6	939,71	17,92	16,84

Tabel III merupakan data hasil pengukuran daya keluaran antara panel surya yang menggunakan *tracker* dengan panel surya statis. Berdasarkan tabel tersebut diperoleh nilai selisih daya rata-rata hasil pengujian tersebut. Berdasarkan Tabel III, ditemukan perbedaan nilai daya yang signifikan di beberapa titik waktu tertentu, hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu penggunaan jenis komponen yang berbeda, sudut penerimaan cahaya matahari, dan intensitas cahaya matahari yang sewaktu-waktu berubah drastis.

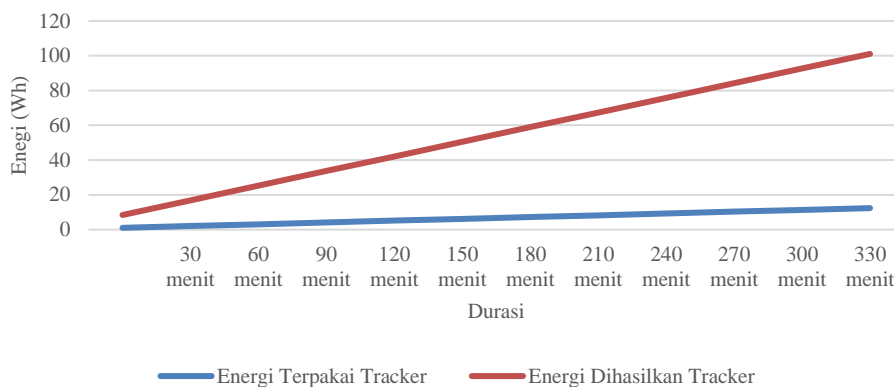
Berdasarkan (2) dan Tabel III, maka nilai peningkatan daya yang dihasilkan oleh STADA sebesar 15.34%. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya dengan *tracking* memiliki efektivitas lebih baik terhadap keluaran daya yang dihasilkan daripada panel surya statis.

C. Pengukuran Energi *Tracker*

Pengukuran dilakukan selama 3 jam dan data diambil tiap 30 menit. Adapun komponen yang terhubung di jalur beban yaitu 2 motor servo, ESP 32 dan dua modul step down. Tabel merupakan hasil pengukuran terhadap daya konsumsi *tracker*. Didapat rata-rata arus sebesar 0,2A, tegangan sebesar 12,88V dan daya sebesar 2,06W. Berikutnya data tersebut dibandingkan dengan daya hasil *tracking* selama 6 jam.

TABEL IV. KONSUMSI DAYA OLEH TRACKER

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya(W)
11.00 – 11.30	0.15	13,11	1,96
11.30 – 12.00	0.14	12,92	1,80
12.00 – 12.30	0.16	12,81	2,04
12.30 – 13.00	0,21	12,64	2,65
13.00 - 13.30	0.18	12,83	2,30
13.30 – 14.00	0.17	13	2,21
Rata-Rata	0,16	12,88	2,06



Gambar 4. Grafik Konsumsi Energi oleh Tracker dan Energi yang dihasilkan oleh STADA

Gambar 4. merupakan kurva konsumsi energi *tracker* dan energi yang dihasilkan oleh *tracker*. Data tersebut menunjukkan minimnya konsumsi energi yang digunakan untuk *tracking*, sehingga hal ini berbanding lurus dengan tujuan sistem yaitu memaksimalkan daya keluaran dengan konsumsi energi *tracking* seminimal mungkin.

IV. KESIMPULAN

Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA) adalah alat yang difungsikan untuk memaksimalkan daya keluaran dari solar panel. Fitur utama STADA otomatis terhadap cahaya matahari adalah mampu mendeteksi posisi arah sinar matahari secara optimal dan tersedianya penyimpanan data logger yang berisi tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Selain itu sistem STADA telah terintegrasi dengan *Internet of Things (IoT)* memungkinkan pengguna untuk memantau *output* panel surya secara jarak jauh dan *real time*. Penerapan STADA dapat meningkatkan efektivitas daya keluaran panel surya hingga 15,34% lebih besar dibanding panel surya statis. Hal tersebut menunjukkan bahwa penerapan STADA lebih efektif dibandingkan dengan panel surya statis. Secara keseluruhan, STADA yang dibuat mampu memecahkan tantangan yang ada karena sistem ini mampu melakukan *tracking* otomatis sehingga menghasilkan daya keluaran yang maksimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kantor BMKG Stasiun Klimatologi Yogyakarta yang telah membantu menyediakan data dan dukungan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Zuddin and S. I. Haryudo, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Instalasi Solar Tracking Dual Axis Untuk Optimasi Panel Surya," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 8 no. 3, pp. 563-570, 2019
- [2] E. S. Kurniawan, "Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda," *EBTKE*, 2 Sep. 2021
- [3] Kabalci, E., "Development of a feasibility pre diction tool for solar power plant installation analyses". *Applied Energy*, 88 (11), 2011.
- [4] Bialasiewicz, J.T. "Renewable Energy Sys tems With Photovoltaic Power Generators: Operation and Modeling". *IEEE Transactions on Industrial Elec tronics*, 55 (7), 2008.
- [5] C. Jalaludin and T. Pangaribowo, "Optimasi Daya Keluaran Pada Solar Panel Dengan Metode Tracking Berbasis Internet Of Things," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 6, Jan. 2021.
- [6] A. Mandala Putra, "Sistem kendali solar tracker satu sumbu berbasis Arduino dengan sensor LDR," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2019
- [7] I. Nugrahanto, Sungkono, Khairuddin, and Muhammad, "Solar Cell Otomatis dengan Pengaturan Dual Axis Tracking System Menggunakan Arduino Uno 1)," *J. Teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 11-16, Jan. 2021.
- [8] R. Fernandes and M. Yuhendri, "Implementasi Solar Tracker Tanpa Sensor pada Panel Surya," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 2, no. 2, pp. 1-6, Dec. 2019
- [9] W. Sutaya and K. U. Ariawan, "Solar tracker cerdas dan murah berbasis mikrokontroler 8 bit ATmega8535," *J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 1-8, 2016

- [10] Vieira, R.G., Guerra, F.K.O.M.V., Vale, M.R.B.G., and Araujo, M.M. "Comparative performance analysis between static solar panels and single-axis tracking *system* on a hot climate region near to the equator". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 2016.
- [11] Lazaroiu, G.C., Longo, M., Roscia, M., and Pagano, M. "Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV *systems* considering energy consumption". *Energy Conversion and Management*, 92, 2015.
- [12] Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar *systems* output." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 13(8) pp 1800-1818, 2009
- [13] M. A. Prasetyo and H. K. Wardana, "Rancang bangun monitoring solar tracking *system* menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 berbasis IoT," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2017.