



InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer
vol. 14, no.2, Agustus 2024, 153-164
<http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/Incomtech>
P-ISSN: 2085-4811 E-ISSN: 2579-6089

Rancang Bangun *Triptonic Tracking System* pada Panel Surya *Thin Film*

Ahmad Firdausi, Abdul Malik Al-Mulki*, Diah Septiyana

*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia*

*Email Penulis Koresponden: abdulmalikalmulki27@gmail.com

Abstrak:

Era globalisasi dan kebangkitan generasi milenial ini Indonesia telah mengalami lonjakan konsumsi energi di tengah munculnya Industri 4.0. Namun, ketergantungan yang besar pada sumber energi tak terbarukan, seperti bahan bakar fosil dan batubara, telah menyebabkan penipisan yang cepat dan konsekuensi lingkungan, termasuk polusi udara dan air. Untuk mengatasi tantangan ini, integrasi sumber energi terbarukan, khususnya energi surya, telah muncul sebagai solusi mutakhir. Studi ini menyajikan pengembangan dan evaluasi prototipe Triptonic Tracking System pada Panel Surya Thin film. Tujuannya adalah untuk membuat prototipe, menilai efisiensi panel surya thin film dengan Sistem Pelacakan Triptonic, dan memaksimalkan pemanfaatan energi matahari melalui teknologi pelacakan inovatif ini. Metodologi penelitian melibatkan dua mode pengujian: Otomatis dan Manual. Selama mode Otomatis, Sistem Pelacakan Triptonik secara otomatis menyelaraskan panel surya dengan posisi matahari, sedangkan mode Manual memungkinkan penyesuaian manual berdasarkan sudut azimuth matahari. Pengukuran arus, tegangan, suhu lingkungan, dan intensitas cahaya dilakukan selama pengujian. Hasil menunjukkan bahwa Sistem Pelacakan Triptonik secara efektif mengikuti sudut matahari selama mode Otomatis, dan mode Manual memungkinkan penyesuaian manual yang fleksibel. Prototipe mencapai tegangan maksimum 4,1080 V selama mode Manual, dengan output daya rata-rata 1,351 watt dan intensitas cahaya rata-rata 123148,75 Candela. Selanjutnya, panel surya Thin film menunjukkan efisiensi 1,801% selama mode Manual. Temuan menunjukkan bahwa Sistem Pelacakan Triptonik menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi panel surya secara signifikan.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

*Energi Terbarukan;
Panel Surya;
Triptonic;
Thin Film;*

Riwayat Artikel:

Diserahkan 01 Februari, 2024
Direvisi 17 Juli, 2024
Diterima 31 Juli, 2024

DOI:

10.22441/incomtech.v14i2.25498

1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi ini, dunia sudah dihuni oleh generasi milenial dan sudah masuk pada era industri 4.0 konsumsi energi di Indonesia semakin hari semakin meningkat. Energi dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu energi terbarukan dan energi tak terbarukan. Energi tak terbarukan seperti energi fosil, energi batu bara, dan yang lainnya banyak dikonsumsi oleh masyarakat yang menyebabkan persediaanya cepat habis dan membuat masyarakat di Indonesia ketergantungan atas energi tersebut, sementara untuk produksi dan pemulihan dari produksi energi tersebut tidaklah singkat. Dampak negatif yang ditimbulkan dari konsumsi energi tak terbarukan yang terus menerus akan berdampak pada lingkungan, salah satunya udara dan iklim yang disebabkan oleh sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan karbon dioksida (CO₂) [1].

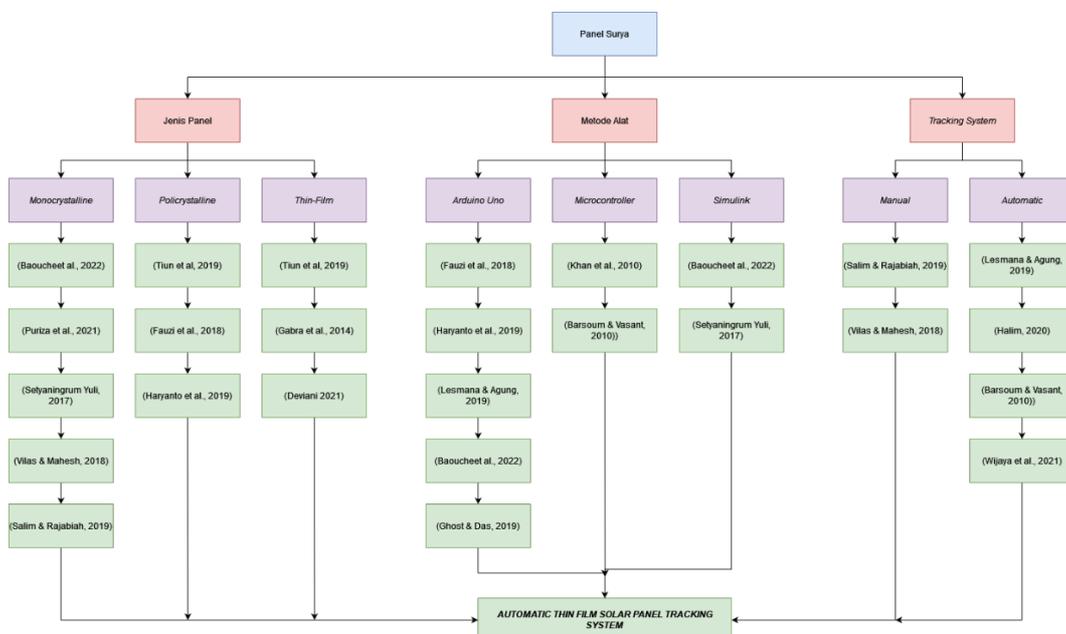
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ialah pembangkit listrik yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sumber energi dari PLTS ini adalah pancaran radiasi cahaya matahari yang tidak menimbulkan polusi udara, polusi tanah, maupun polusi air [2]. Energi cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik melalui sel surya yang mana gabungan dari beberapa sel surya dapat disebut panel surya. Panel surya sudah mulai banyak digunakan di Indonesia yang mana digunakan pada atap rumah atau perkantoran dengan tipe panel surya konvensional *monocrystalline* dan *polycrystalline* [3]. Seiring dengan majunya teknologi dibidang ini, muncul panel surya berjenis *thin film* yang dapat dengan mudah disesuaikan dengan kondisi tempat yang akan dipasang [4]. Kelebihan dari panel surya *thin film* yaitu, harganya 30% lebih murah dari *crystalline*, panel surya film tipis dapat menghasilkan listrik pada cuaca mendung, berkabut, dan hujan, dihasilkan melalui efek PV dengan menyerap cahaya ambien, inframerah, dan ultraviolet, *Low Rooftop Requirement and More Installation Flexibility*, dan Performa lebih baik dalam cuaca panas [5]. [6]

Pada penelitian ini, digunakan jenis panel surya Polycrystalline untuk meneliti pengaruh sudut kemiringan reflector. Penelitian kelima yang berkaitan dengan panel surya yaitu ditulis oleh [7]. Pada penelitian ini, membahas tentang perbandingan penggunaan panel surya dengan jenis *Polycrystalline* dan *Monocrystalline*. Berkaitan dengan beberapa penelitian tersebut masih memiliki kekurangan yaitu untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik diperlukan alat ukur yang lebih presisi dan responsive, perlunya dilakukan pengembangan agar dapat menghasilkan *output* daya yang lebih besar, maka penulis akan membuat pengembangan dengan Rancang Bangun *Triptonic Tracking System* pada Panel Surya *Thin film*. Pada pembuatan prototipe ini, panel surya *thin film* digunakan dengan metode *tracking system* agar dapat meningkatkan efisiensi panel surya dengan menjaga agar panel tetap sejajar dengan posisi matahari. Panel surya *thin film* digunakan karena harganya yang relative murah, mudah dan fleksibel untuk digunakan. Tracking system ini akan berbasis Arduino uno.

2. METODE

Pada penelitian [8] menyajikan untuk membandingkan kinerja kedua jenis panel surya mana yang lebih efisien terhadap Pengaruh variasi suhu, kelembapan udara dan intensitas radiasi matahari. Cara pengukuran yang dilakukan adalah pengambilan data terkait variasi radiasi matahari yang sedang terjadi pada kondisi intensitas cahaya yang sama, suhu dan kelembapan sama. Penelitian ini menggunakan resistor 4,7 ohm sebagai beban dan 2 buah panel sel surya dengan kapasitas daya yang sama yaitu 1 Wp dengan jenis yang berbeda yaitu jenis *Polycrystalline* dan *Thin-Film*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi Panel Surya Jenis *thin film* terjadi pada *irradiance* 618 Watt/m² Pukul 15:00 dengan efisiensi sebesar 5,781% sedangkan efisiensi tertinggi pada panel surya *Polycrystalline* justru terjadi pada *irradiance* 1129 Watt/m² Pukul 14:00 adalah 5,62%. Relevansi jurnal 1 dengan penelitian yang akan dilakukan adalah mengetahui panel surya jenis *Thin-Film* dapat digunakan untuk membuat panel surya dikarenakan nilai efisiensinya lebih tinggi dibandingkan *Polycrystalline*.

Pada penelitian [9] menyajikan dengan metode astronomi. Metode ini menggunakan sensor sudut berupa potensiometer untuk sudut elevasi dan rotary encoder sebagai sensor sudut azimuth. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah mengoptimalkan tegangan output panel surya dengan cara mengikuti arah pergerakan matahari. Maksimal tegangan output yang dihasilkan adalah 22V lebih besar daripada kondisi statik. Relevansi jurnal 3 dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penggunaan sensor sudut untuk mengoptimalkan tegangan output panel surya.

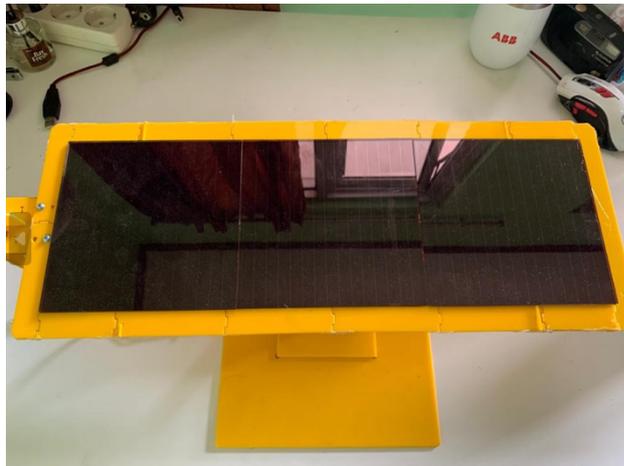


Gambar 1. Mapping Penelitian

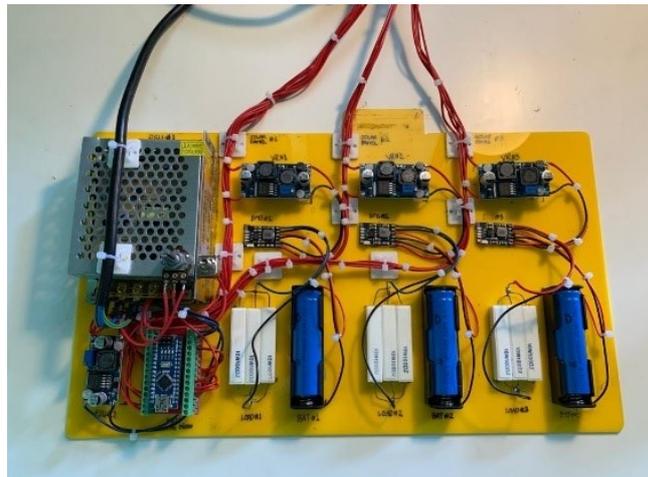
Pada Gambar 1 memperlihatkan mapping dari penelitian sebelumnya yang penulis gunakan dalam pembuatan tugas akhir. Antar jurnal satu dengan yang lainnya masih ada keterkaitan dan sudah dimodifikasi dalam tema maupun topik penelitian. Perancangan tracking system ini dilakukan dengan beberapa tahap seperti menentukan parameter solar panel, merancang desain *Tracking System* Otomatis pada Panel Surya *Thin film*. *Tracking system* ini akan menggunakan Arduino nano dengan menggunakan sensor cahaya matahari. Tahap selanjutnya melakukan fabrikasi *Tracking System* Otomatis pada Panel Surya *Thin film*. Selanjutnya dilakukan pengujian awal alat, jika alat bekerja dengan normal, maka dilanjutkan dengan pengambilan data. Jika alat bekerja tidak normal, maka dilakukan evaluasi kembali pada perancangan desain alat ini. Setelah alat bekerja dengan normal, dilakukan pengambilan data berupa data tegangan, suhu panel, suhu lingkungan, dan intensitas cahaya. Setelah semua data yang dibutuhkan telah diambil, maka dilakukan analisis data dan juga penghitungan nilai efisiensi dari panel surya *thin film*. Langkah-langkah tersebut dijelaskan pada diagram alir perancangan *Tracking System* Otomatis pada Panel Surya *Thin film* berikut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil dari perancangan triptonic solar tracking system pada panel surya thin film yang berupa sebuah prototipe dilengkapi oleh 2 mode yaitu mode otomatis dan mode manual. Untuk mode otomatis, panel surya akan bergerak mengikuti cahaya matahari berdasarkan pada cahaya yang diterima oleh sensor cahaya. Sementara itu, untuk mode manual digunakan potensiometer untuk mengatur kemiringan dari solar panel. Untuk menghidupkan alat ini, digunakan power supply 12 vdc. Purwarupa dari triptonic solar tracking system pada panel surya *thin film* dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3.



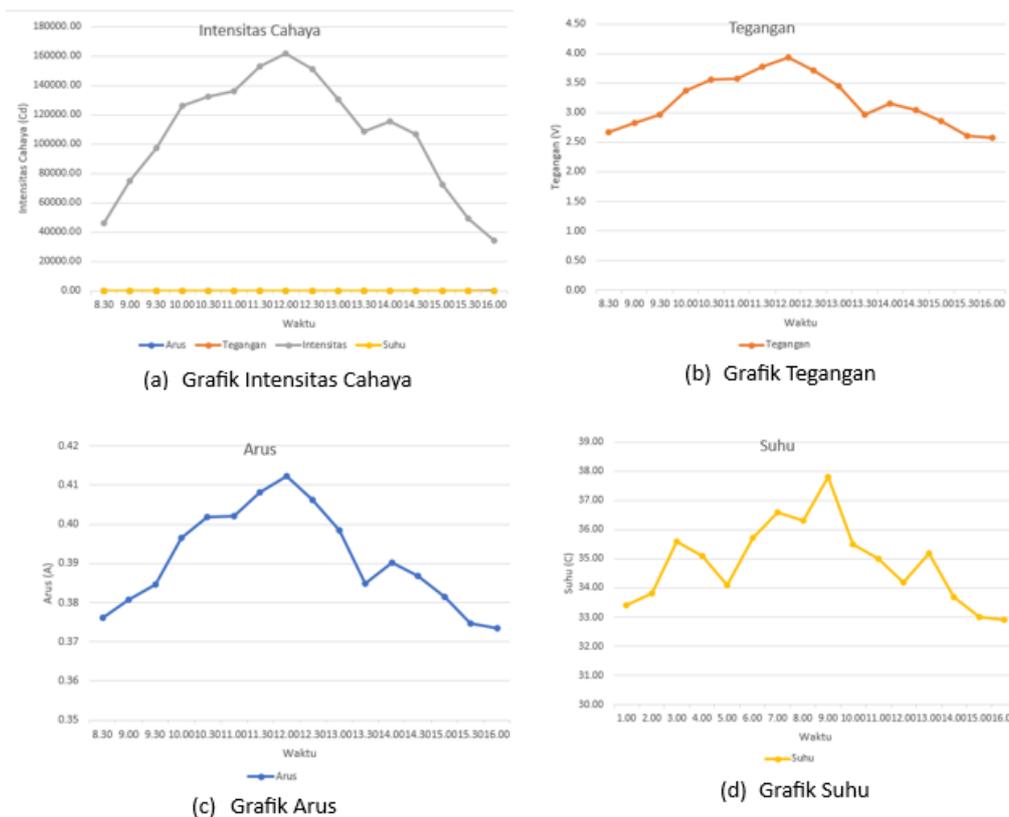
Gambar 2. Purwarupa Tampak dari Sisi Atas



Gambar 3. Modul Controller

Tabel 1. Pengujian *Mode Automatic*

Waktu	Sudut (°)	Arus (A)	Tegangan (V)	Intensitas (Cd)	Suhu (°C)	Daya (Watt)
08.30	155	0.3761	2.663	46300	33.4	1.002
09.00	159	0.3807	2.826	74800	33.8	1.076
09.30	161	0.3846	2.961	97310	35.6	1.139
10.00	163	0.3965	3.378	125800	35.1	1.339
10.30	163	0.4018	3.562	132300	34.1	1.431
11.00	174	0.4021	3.575	136100	35.7	1.438
11.30	185	0.4081	3.784	152800	36.6	1.544
12.00	189	0.4123	3.930	161500	36.3	1.620
12.30	197	0.4063	3.721	151300	37.8	1.512
13.00	213	0.3984	3.443	130500	35.5	1.372
13.30	220	0.3849	2.971	108500	35.0	1.143
14.00	224	0.3901	3.152	115700	34.2	1.229
14.30	230	0.3869	3.042	106900	35.2	1.177
15.00	240	0.3815	2.852	72180	33.7	1.088
15.30	245	0.3746	2.611	49160	33.0	0.978
16.00	245	0.3735	2.573	34300	32.9	0.961



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Mode *Automatic*

Pada Gambar 4 (a) dan (b) juga terlihat grafik intensitas cahaya (Candela) dan grafik tegangan yang mana semakin tinggi nilai intensitas cahaya (Candela) yang diterima oleh solar panel, maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan. Pengambilan data dilakukan mulai pukul 08.30 – 16.00 dikarenakan pada jam tersebut matahari sudah mulai naik dan nilai intensitas cahaya matahari sudah mulai tinggi. Selain itu, pengukuran data dilakukan setiap 30 menit dan pada saat alat beroperasi karena setiap perubahan 7,5 derajat cahaya matahari nilai intensitas yang dihasilkan cukup tinggi [10]. Nilai intensitas cahaya (Candela) terendah yaitu pada pukul 16.00 WIB dengan nilai intensitas cahaya 34300 Candela. Hal ini dikarenakan posisi matahari sudah mulai tenggelam ke arah barat dan juga keadaan langit sudah tidak terik lagi, selain itu dipengaruhi juga oleh bayangan bangunan yang mengenai solar panel.

Untuk menentukan nilai efisiensi, diperlukan nilai daya pada saat nilai tegangan maksimal. Berikut ini merupakan penghitungan daya.

Penghitungan daya :

$$P = V \times I \tag{1}$$

$$P = 3,930 \times 0,4123$$

$$P = 1,620 \text{ watt}$$

Dengan suhu panel yang dihasilkan yaitu 36,6°C, daya yang dihasilkan yaitu sebesar 1,620 watt. Dengan penghitungan daya menggunakan nilai tegangan maksimal diperoleh hasil 1,620 watt dengan nilai intensitas cahaya 161500 Candela.

Penghitungan rata-rata daya :

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{P1+P2+P3+\dots+Pn}{n} \quad (2)$$

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{20.050}{16}$$

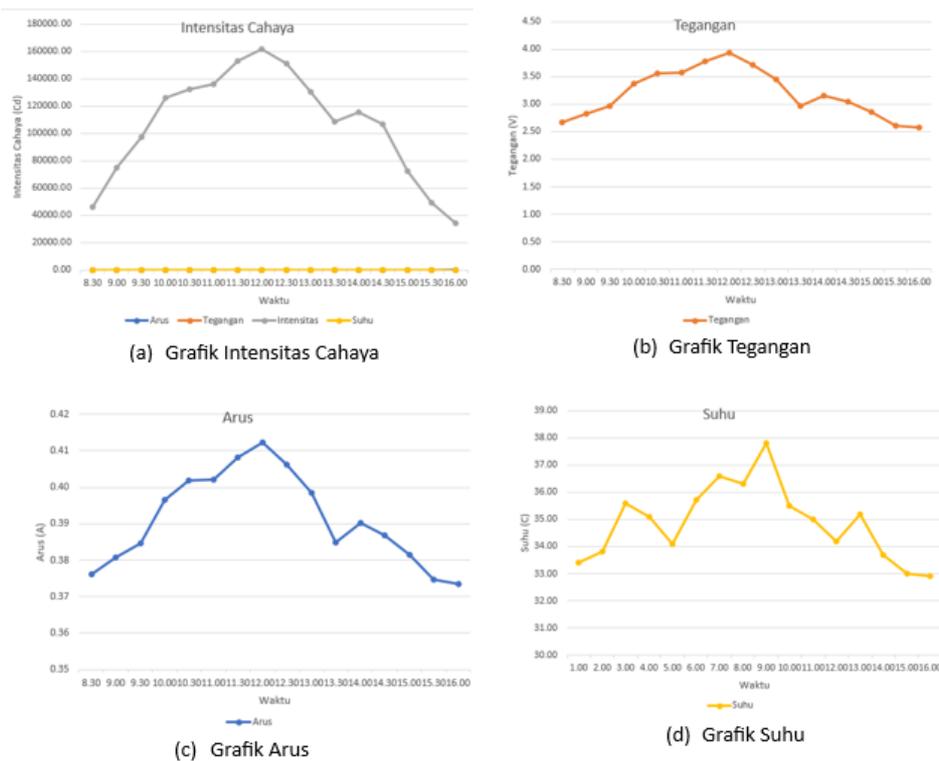
$$P_{\text{rata-rata}} = 1,253 \text{ watt}$$

Berdasarkan pada hasil penghitungan rata-rata daya, maka daya yang dihasilkan pada pengujian dengan mode automatic adalah 1,253 watt.

Berikut ini pada Table 2 merupakan hasil dari pengujian metode manual dan Gambar 5 merupakan grafik hasil pengujian.

Tabel 2. Pengujian *Mode Manual*

Waktu	Sudut (°)	Arus (A)	Tegangan (V)	Intensitas (Cd)	Suhu (°C)	Daya (Watt)
08.30	127.5	0.4022	3.5760	139300	36.05	1.438
09.00	135	0.4123	3.9300	162700	34.5	1.620
09.30	142.5	0.4126	3.9405	165900	37.6	1.626
10.00	150	0.4174	4.1080	170300	39.05	1.715
10.30	157.5	0.4150	4.0245	170000	37.3	1.670
11.00	165	0.3961	3.3625	124100	37.8	1.332
11.30	172.5	0.3987	3.4530	139000	39	1.377
12.00	180	0.4023	3.5790	146600	37.45	1.440
12.30	187.5	0.4012	3.5415	143800	36.95	1.421
13.00	195	0.3970	3.3949	127200	35.55	1.348
13.30	202.5	0.3971	3.4000	130200	35.8	1.350
14.00	210	0.3903	3.1594	117300	36	1.233
14.30	217.5	0.3826	2.8900	85800	34.9	1.106
15.00	225	0.3778	2.7240	65250	34.85	1.029
15.30	232.5	0.3748	2.6185	50180	34.2	0.981
16.00	240	0.3716	2.5055	32750	32.65	0.931

Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Mode *Manual*

Berdasarkan pada Tabel 2 diketahui bahwa intensitas cahaya tertinggi yaitu 170300 Candela pada pukul 10.00 WIB posisi matahari mengarah pada sudut azimuth 150° dengan tegangan yang dihasilkan yaitu 4,108 V serta arus yang dihasilkan yaitu 0.417 A. Pada gambar 5 (a) dan (b) juga terlihat grafik intensitas cahaya (Candela) dan grafik tegangan yang mana semakin tinggi nilai intensitas cahaya (Candela) yang diterima oleh solar panel, maka semakin tinggi pula nilai tegangan yang dihasilkan oleh solar panel. Pengambilan data dilakukan mulai pukul 08.30 – 16.00 dikarenakan pada pukul tersebut matahari sudah mulai naik dan nilai intensitas cahaya matahari sudah mulai tinggi. Selain itu, pengukuran data dilakukan setiap 30 menit dan pada saat alat beroperasi karena setiap perubahan 7,5 derajat cahaya matahari nilai intensitas yang dihasilkan cukup tinggi [10]. Nilai intensitas cahaya terendah yaitu pada pukul 16.00 WIB dengan nilai intensitas cahaya 32750 Candela. Hal ini dikarenakan posisi matahari sudah mulai tenggelam ke arah barat dan juga keadaan langit sudah tidak terik lagi, selain itu dipengaruhi juga oleh bayangan bangunan yang mengenai solar panel.

Tabel 3. Spesifikasi Panel Surya

Tipe	<i>Thin film</i>
Tegangan	9 VDC (<i>Indoor</i>) 12 VDC (<i>Outdoor</i>)
Arus Output	135 mA
Power	4,89 Watt
Berat	200 gr
Dimensi	150 x 450 x 3.5 mm

Untuk menentukan nilai efisiensi, diperlukan nilai daya pada saat nilai tegangan maksimal. Berikut ini merupakan penghitungan daya.

Penghitungan daya :

$$P = 4,108 \times 0,417$$

$$P = 1,713 \text{ watt}$$

Dengan suhu panel yang dihasilkan yaitu 39,5°C, daya yang dihasilkan yaitu sebesar 1,713 watt. Dengan penghitungan daya menggunakan nilai tegangan maksimal diperoleh hasil 1,713 watt dengan nilai intensitas cahaya 170300 Candela.

Penghitungan rata-rata daya :

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{21,616}{16}$$

$$P_{\text{rata-rata}} = 1,351 \text{ watt}$$

Berdasarkan pada hasil penghitungan rata-rata daya, maka daya yang dihasilkan pada pengujian dengan mode manual adalah 1,351 watt.

Efisiensi *Mode Automatic* [11]

Untuk menghitung nilai efisiensi, digunakan nilai hasil pengukuran tertinggi pada Tabel 1 dan pada Tabel 3 spesifikasi solar panel. Berikut ini merupakan penghitungan efisiensi dari *mode automatic*.

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}}{\text{Irradiance} \cdot A} \times 100\% \quad (3)$$

- Pmax : 1,620 watt
- Irradiance : 161500 Candela

- $$: \frac{161500}{120000} \times 1000 \frac{w}{m^2}$$
- $$: 1345,83 \frac{w}{m^2}$$
- Dimensi : p x l
: 0,45 m x 0,15 m
: 0,067 m²
- η : $\frac{P_{max}}{Irradiance \cdot A} \times 100\%$
: $\frac{1,620}{1345.83 \cdot 0,067} \times 100\%$
: 1,796 %

Berdasarkan pada hasil penghitungan, maka nilai efisiensi dari *mode automatic* adalah 1,796%.

Efisiensi Mode Manual [11]

Untuk menghitung nilai efisiensi, digunakan nilai hasil pengukuran tertinggi pada Tabel 2 dan pada Tabel 3 spesifikasi solar panel. Berikut ini merupakan penghitungan efisiensi dari *mode automatic*.

- $$\eta = \frac{P_{max}}{Irradiance \cdot A} \times 100\%$$
- Pmax : 1,713 watt
 - Irradiance : 170300 Candela
: $\frac{170300}{120000} \times 1000 \frac{w}{m^2}$
: 1419,16 $\frac{w}{m^2}$
 - Dimensi : p x l
: 0,45 m x 0,15 m
: 0,067 m²
 - η : $\frac{P_{max}}{Irradiance \cdot A} \times 100\%$
: $\frac{1,620}{1345.83 \cdot 0,067} \times 100\%$
: 1,801 %

Berdasarkan pada hasil penghitungan, maka nilai efisiensi dari *mode automatic* adalah 1,801 %.

Tabel 4. Hasil Pengamatan *Battery*

Pengujian Mode <i>Automatic</i>			
Panel Surya	Waktu <i>Charger</i>	Persentase	<i>Discharge</i>
<i>Thin film</i>	08.30 – 16.00	25%	16.20
Pengujian Mode <i>Manual</i>			
Panel Surya	Waktu <i>Charger</i>	Persentase	<i>Discharge</i>
<i>Thin film</i>	08.30 – 16.00	25%	16.30

Berdasarkan pada Table 4 yaitu hasil pengamatan pada *battery* melakukan proses *charger* pada waktu 08.30 – 16.00 WIB dengan persentase *battery* yang dihasilkan 25% dilihat pada indikator pada BMS. Hal ini tentunya kembali kepada fungsi *battery management system* (BMS) selain sebagai proteksi untuk *overcharging* pada *battery* dan untuk indikator persentase *battery*, BMS juga memiliki fungsi untuk *manage* power dari panel surya ke *battery* dalam bentuk energi kimia. Jika panel surya mampu *supply* beban resistor power sebesar 33,3 Ω dan terdapat power yang lebih, maka power tersebut akan digunakan untuk melakukan *charger battery* dan didapatkan hasil 25%. Pada tabel hasil pengamatan *battery* juga terdapat waktu *discharge* baik mode *automatic* dan mode *manual*. Setelah proses *charger* dari pukul 08.30 – 16.00 WIB dilakukan, *battery* melakukan *discharge* sampai pukul 16.20 pada mode *automatic*, sedangkan pada mode manual pukul 16.20. hal ini dipengaruhi olah daya yang dihasilkan pada masing masing mode yaitu daya pada mode manual lebih besar sehingga proses *discharge* lebih lama.

4. KESIMPULAN

Dari proses fabrikasi dan pengujian yang dilakukan didapatkan beberapa hasil yaitu sebagai berikut. *Triptonic tracking system* pada panel surya *thin film* bekerja sesuai rancangan, hal ini terbukti dari purwarupa dan cara kerja pada saat pengujian yang dilakukan yaitu pada mode *automatic*, *tracking system* bekerja dengan mengikuti sudut cahaya matahari, sedangkan pada mode manual dapat digunakan potensiometer untuk menentukan derajat kemiringan solar panel. Berdasarkan pada hasil pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian dengan mode *automatic* dan pengujian dengan metode manual diperoleh hasil nilai tegangan tertinggi pada pengujian *automatic* yaitu 3,390 V sedangkan pada pengujian mode manual diperoleh tegangan tertinggi yaitu 4,1080 V. Daya yang dihasilkan dengan pengujian yang dilakukan pada pukul 08.30 – 16.00 WIB, pengujian mode *automatic* menghasilkan daya rata-rata sebesar 1,253 watt dengan intensitas cahaya matahari rata-rata sebesar 105965.63 Cd, sedangkan pada mode manual menghasilkan daya rata-rata sebesar 1,351 watt dengan intensitas cahaya matahari rata-rata sebesar 123148.75 Cd. Besar tegangan dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari, maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Sebaliknya, jika intensitas cahaya matahari kecil, maka tegangan yang dihasilkan juga akan rendah. Efisiensi dari pengujian panel surya *thin film* dengan menggunakan mode *automatic* yaitu sebesar 1,796 %, sedangkan pada pengujian mode manual yaitu sebesar 1,801 %

REFERENSI

- [1]. Pratama, "Dampak negatif penggunaan energi fosil dari sektor transportasi dan industri," *Environment Indonesia*. <https://environment-indonesia.com/dampak-negatif-penggunaan-energi-fosil-dari-sektor-transportasi-dan-industri/Pratama>.
- [2]. N. Lechner, "Heating, Cooling, Lighting: Metode Desain untuk Arsitektur". Jakarta: RajaGrafindo Persada, 2007.
- [3]. Sumpala and A. Tenri, "Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Menggunakan Panel Monokristalin dan Polikristalin pada Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin," 2020.
- [4]. Pagliaro M, Ciriminna R, Palmisano G. BIPV: Merging the photovoltaic with the construction industry. *Prog Photovoltaics Res Appl*. 2010;18(1):61–72.
- [5]. S. Town, "Advantages Make Thin Film Solar Panels Shine," "SolarTown". <https://solartown.com/learning/solar-panels/advantages-make-thin-film-solar-panelsshine/#:~:text=Advantages%20Make%20Thin%20Film%20Panels,and%20are%20also%20much%20lighter>.
- [6]. M. D. Archer and R. Hill, Eds., "Clean Electricity from Photovoltaics". World Scientific Publishing, 2001. doi: 10.1142/p139.
- [7]. M. Y. Puriza, W. Yandi, and A. Asmar, "Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang," *J. Ecotipe (Electronic, Control, Telecommun, Information, Power Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 47–52, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034.
- [8]. Y. K. Tiun, I. Yusuf, and A. Hiendro, "PERBANDINGAN KINERJA SEL SURYA JENIS THIN-FILM DAN POLYCRYSTALLINE (Studi Kasus: Pontianak)," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjung Pura*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [9]. Y. Prasetyo, B. Triyono, and H. Kusbandono, "Penerapan Smart Relay Untuk Penentuan Posisi Sudut Panel Surya Dengan Metode Astronomi," *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 39–41, 2020, doi: 10.32486/jeecae.v5i2.624.
- [10]. K. W. Fauzi, T. Arfianto, and N. Taryana, "Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 4, no. 1, pp. 63–74, 2018, doi: 10.15575/telka.v4n1.63-74.
- [11]. D. Ambasari and S. Suhono, "Perancangan purwarupa penerapan thin film photovoltaic sebagai penghasil energi listrik pada jendela kaca dengan pemasangan secara vertikal," D3 Teknologi Listrik, Universitas Gadjah Mada, 2021.