

PEMBANGKIT TENAGA SURYA MENGGUNAKAN RANCANGAN PANEL SURYA HYBRID DENGAN THERMOELECTRIC GENERATOR

Khusnul Maulana Ibrahim¹, Puji Slamet, ST. MT²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

E-mail: kusnuly62@gmail.com¹, pujislamet@untag-sby.ac.id²

ABSTRAK

Energi baru dan terbarukan mempunyai peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi yang ramah lingkungan. Indonesia berada di jalur khatulistiwa yang diberkahi energi matahari berlimpah. Sebagian besar pemanfaatan energi surya hanya menggunakan panel surya, pada penelitian ini pemanfaatan energi surya juga dengan menggunakan rancangan thermoelectric generator. Prinsip kerja *thermoelectric generator* yakni dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan listrik, yakni suhu panas radiasi matahari dengan suhu dingin udara. Dengan hybrid rancangan ini dapat menjadikan lebih variatif dan optimal dalam pemanfaatan tenaga surya sebagai energi baru terbarukan. Hasil pengujian dengan rangkaian seri paralel 10 buah *thermoelectric generator* tipe SP1848 27145SA menghasilkan 5,8 V dan arus 0,7 A, kemudian dikuatkan dengan boost converter hingga 13 V. Panel surya yang digunakan 100 WP tipe *polycrystalline*. Hybrid mampu *recharge* aki kapasitas 45 Ah hingga penuh dengan waktu 8,03 jam, kemudian mampu menyalakan beban lampu 400 W selama 10 jam. Pengujian *hybrid* juga menunjukkan mampu mensuplai beban lampu 10 W secara *on grid*.

Kata Kunci: Energi Surya, Panel Surya, *Thermoelectric Generator*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan sehari-hari. Semua peralatan kini membutuhkan sumber listrik, namun pembangkit listrik di Indonesia mayoritas masih mengandalkan fosil sebagai bahan bakar, kita ketahui bahwa fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Dimana ketika kita gunakan secara terus menerus maka akan habis, untuk mengatasi itu perlu adanya energi terobosan. Energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Sebagaimana kita ketahui Indonesia berada di jalur khatulistiwa yang diberkahi energi matahari yang berlimpah sepanjang tahun di seluruh wilayahnya sehingga sumber daya matahari yang melimpah ini dapat digunakan untuk menghadapi tantangan krisis energi, ramah lingkungan, mengurangi pemanasan global, dan menciptakan kemandirian energi.

Pemanfaatan dari energi matahari saat ini hanya menggunakan panel surya saja dengan mengkonversi cahaya sinar matahari menjadi listrik melalui sel *photovoltaic*. Matahari sendiri menghasilkan pancaran sinar cahaya dan radiasi panas ke bumi. Dalam hal ini untuk energi panas dari matahari tersebut masih terbuang dan kurang optimal. Disini kami bermaksud memanfaatkan pula energi panas matahari supaya lebih optimal lagi hasil daya yang dibangkitkan, yakni dengan *thermoelectric generator*. Prinsip kerja

thermoelectric generator adalah mengubah energi panas menjadi energi listrik secara langsung dengan memanfaatkan perbedaan suhu. Kita memanfaatkan energi panas matahari dengan memusatkan panas matahari ke satu titik menggunakan cermin cembung, sehingga panas lebih terfokus untuk diarahkan ke kolektor *thermoelectric generator*, kemudian untuk sisi dingin *thermoelectric generator* menggunakan *heatsink*. Dengan ini bisa dijadikan pembangkit *hybrid* panel surya dengan *thermoelectric generator* memanfaatkan tenaga surya sebagai energi terbarukan untuk mendapatkan hasil energi yang lebih optimal

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa daya maksimal yang mampu dibangkitkan panel surya, sertapada pukul berapa panel surya dapat bekerja secara maksimal ?
2. Berapa tegangan, arus, dan nilai delta T maksimum yang dapat dihasilkan dari *thermoelectric generator* ?
3. Berapa daya yang dihasilkan dari pengujian *hybrid* dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai ?

1.3 Batasan Masalah

1. Untuk pemusatan titik panas energi panas matahari dengan cermin cembung dan sisi dingin dengan *heatsink*.
2. Menggunakan panel surya *polycrystalline* 100WP dan TEG tipe SP1848-27145 SA.

3. Pengukuran hanya pada tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan dari pembangkit *hybrid* panel surya dengan *thermoelectric generator*.
4. Daya yang dihasilkan kisaran 400W, dengan beban lampu LED (AC) untuk penerangan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis optimalisasi konversi energi tenaga surya dengan panel surya *hybrid thermoelectric generator*.
2. Membuat desain dan rancang bangun pemanfaatan tenaga surya menggunakan rancangan panel surya *hybrid* dengan *thermoelectric generator*.
3. Mengetahui hasil tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan dari panel surya dan *thermoelectric generator* dalam proses *hybrid*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

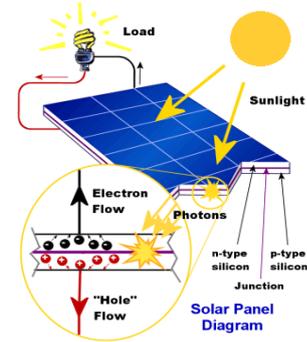
2.1 Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang berupa sinar dan panas radiasi dari matahari. Pemanfaatan teknologi surya secara umum dikategorikan menjadi 2, yaitu pemanfaatan aktif dan pasif. Pemanfaatan aktif contohnya seperti penggunaan panel fotovoltaik, sedangkan pemanfaatan pasif contohnya seperti rancangan bangunan dengan massa termal atau kemampuan mengumpulkan (*disperse*) cahaya yang baik dari matahari.

Bumi menerima 174 petawatt (PW) radiasi surya yang datang di bagian atas dari atmosfer. Sekitar 30% dipantulkan kembali ke luar angkasa, sedangkan sisanya diserap oleh awan, lautan, dan daratan. Sebagian besar spektrum cahaya matahari yang sampai di permukaan bumi berada pada jangkauan spektrum sinar tampak dan inframerah dekat. Sebagian kecil berada pada rentang ultraviolet dekat.

2.2 Panel Surya

Panel surya atau *photovoltaic cell* merupakan lapisan tipis semikonduktor *silicon* (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya yang merubah energi elektromagnetik dari matahari menjadi energi listrik. Jika cahaya matahari mencapai *cell* maka elektron akan terlepas dari atom *silicon* dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan



Gambar 2.1 Prinsip kerja panel surya

Parameter dalam Panel Surya :

1. Arus sirkuit pendek/*short circuit current* (I_{sc})
2. Tegangan sirkuit terbuka/*open circuit voltage* (V_{oc})
3. Titik daya maksimum/*maximum power point* (P_{max}). $P_{max} (W/Wp) = V_{max} \times I_{max}$
4. Faktor pengisian/*full factor* (FF)
 $FF = I_{sc} \times V_{oc}$.

5. *Efficiency* (h)

$$h = \frac{P_{max}}{PL} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{PL} \quad (1)$$

2.3 Thermoelectric Generator

Thermoelectric generator adalah modul padat dari bahan semikonduktor tipe p dan n yang mengubah *fluks* panas (perbedaan suhu) langsung menjadi energi listrik melalui fenomena efek *seebeck*.

Prinsip kerja *thermoelectric generator* yakni panas atau kalor pada salah satu sisi dialirkan dan dibuang kesisi lainnya, sehingga terjadi aliran arus, ketika terjadi arus maka terciptalah beda potensial yang memunculkan nilai tegangan listrik.

Pada termoelektrik besarnya nilai tegangan sebanding dengan perbedaan suhu yang terjadi ($T_2 - T_1$). Nilai beda potensial atau tegangan yang dihasilkan berubah sebanding dengan perubahan temperatur, semakin besar temperatur maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Konstanta kesebandingannya disebut dengan koefisien *seebeck*.

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2)$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *thermoelectric generator* :

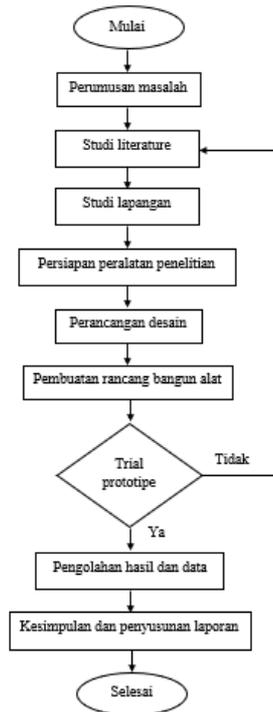
1. Lamanya waktu sinaran matahari dan besarnya intensitas radiasi termal matahari.
2. Kalor yang diserap : $Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_h - T_c)$
3. Efisiensi dengan persamaan : $h = \frac{Q_u}{IT \cdot Ac}$
4. Energi yang diterima oleh modul *thermoelectric generator* : $Q = M \cdot C \cdot \Delta T$

Tabel 2.1 Spesifikasi *temperature degree* TEG SP1848-27145 SA

Temperature	Open circuit voltage (V)	Generated current (mA)
20°C	0,97	225
40°C	1,8	368
60°C	2,4	469
80°C	3,6	558
100°C	4,8	669

3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Flowchart pelaksanaan penelitian

3.2 Perhitungan Perencanaan

1. Perhitungan beban

Tabel 3.1 Perhitungan Beban

Beban	Daya (W)	Jumlah (Buah)	Daya Total (W)	Lama Pemakaian (Jam)	Energi (W)
Lampu	10	4	40	10	400
Total Energi					400

2. Daya maksimal pada panel surya

$$\text{Fill Factor (FF)} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{17,5 \times 5,71}{21 \times 6,4} = \frac{99,925}{134,4} = 0,74$$

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF = 21,6 \times 4 \times 0,74 = 99,456 \text{ W}$$

3. Kemampuan panel surya berdasar pengukuran lapangan

$$I_{sc} = 4,1 \text{ A}$$

$$\text{Voltage} = 20 \text{ V}$$

$$P = I_{sc} \times V = 4,1 \times 20,9 = 85,65 \text{ W}$$

4. Daya input pada modul surya

$$P_{in} = \text{Intensitas cahaya} \times \text{luas modul surya} = 1000 \text{ W/m}^2 \times (1,085 \times 0,675 \text{ m}) = 1000 \times 0,73 = 730 \text{ W}$$

5. Efisiensi panel surya

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{99,456}{730} \times 100\% = 0,13\%$$

6. Kapasitas baterai

$$Ah = \frac{W_{total}}{V_{baterai}} = \frac{400}{12} = 33,3 \text{ Ah}$$

$$\text{Kapasitas baterai} = I_{total \text{ beban}} \times 1,2 = 33,3 \times 1,2 = 39,96 \text{ Ah}$$

Menyesuaikan kapasitas yang ada di pasaran, maka dibulatkan dan digunakan dengan kapasitas 45 Ah 12 V.

7. Besar arus max *baterai charger regulator* (BCR) :

$$I_{max} = \frac{P_{panel \text{ surya}}}{V_s} = \frac{85,65}{12} = 7,14 \text{ A}$$

8. Kapasitas inverter

Kapasitas inverter yang dipilih harus lebih besar dari spesifikasi daya beban total. Maka dipilih inverter 500W dengan tegangan input 12VDC dan output 220 V AC / 50 Hz.

9. Besar pengaman (MCB)

$$I = \frac{P}{V} = \frac{400 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 1,8 \text{ A (2 A)}$$

10. Arus pengisian pada panel surya

$$I = \frac{\text{Kapasitas panel surya}}{\text{Tegangan aki}} = \frac{100 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 8,3 \text{ A}$$

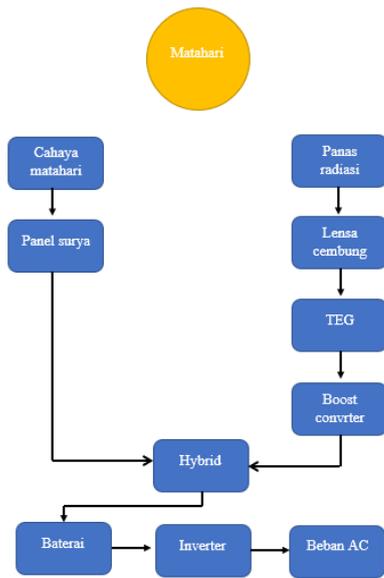
11. Tegangan pengisian baterai

$$V = 110\% \times \text{tegangan baterai} = 1,1 \times 12 = 13,2 \text{ V}$$

12. *Thermoelectric generator*

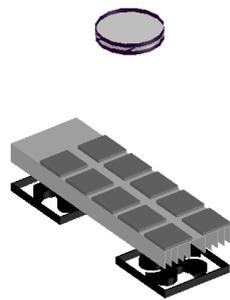
Berdasar studi lapangan terlebih dahulu, rata-rata untuk temperatur daerah Surabaya tiap 1 modul TEG menghasilkan tegangan sebesar 0,5 V (pengambilan data dengan kondisi teredup dari sinar matahari). Sehingga dengan perencanaan 10 TEG secara seri paralel akan menghasilkan tegangan sebesar $0,5 \times 10 = 5$ Volt, kemudian 5 V ini akan dikuatkan menuju *boost converter* hingga 13 V menyamai panel surya.

3.3 Diagram Blok Sistem Hybrid

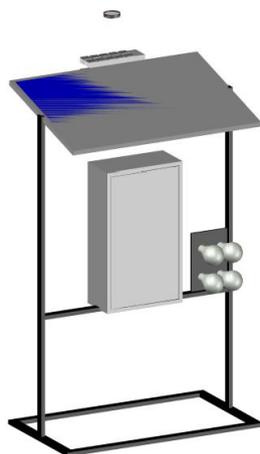


Gambar 3.2 Blok diagram sistem hybrid

3.4 Desain perencanaan



Gambar 3.3 Penempatan TEG



Gambar 3.4 Render alat keseluruhan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Panel Surya

Pengambilan data panel surya dilakukan selama 8 jam, terhitung mulai pukul 09.00-16.00 dengan rentang waktu 1 jam sekali diambil pengukuran.

Tabel 4.1 Hasil pengujian panel surya

No	Waktu	V out	I out	Control charge		Keadaan aki
				V out	I out	
1	09.00	19	3,43	13	4	Low
2	10.00	19,3	4	13	4,2	Low
3	11.00	19,8	4	13	4,5	Normal
4	12.00	20	4	13	4,5	Normal
5	13.00	20,5	4	13	4,5	Normal
6	14.00	20	4	13	4,3	Normal
7	15.00	19	1,6	13	1,5	Penuh
8	16.00	19	1,5	13	1,5	Penuh

4.2 Pengujian Thermoelectric Generator

Pengujian TEG dilakukan dengan perancangan 10 TEG yang dirangkai seri paralel, dengan pemfokusan titik panas menggunakan lensa cembung diameter 90 mm, pembesaran 5X. Dengan jarak lensa ke permukaan TEG sejauh 25 cm.

Pengujian menggunakan 2 bahan laminasi pada sisi panas, yakni seng (*Zink/Zn*) dan stainless. Serta 2 media pada sisi dingin, yakni air dingin dan udara.

Tabel 4.2 Pengujian TEG dengan sisi panas menggunakan laminasi Seng (*zink/Zn*) dan sisi dingin dengan air dingin

No	Waktu	Panas (°C)	Dingin (°C)	Delta T	Vout TEG	Vout boost
1	09.00	33	17	16	3,5	13
2	10.00	35,3	20	15	3,5	13
3	11.00	36,1	24	12	3,2	13
4	12.00	37,2	27	10	3,2	13
5	13.00	37,4	28	9	3,2	13
6	14.00	36,3	20	16	3,4	13
7	15.00	34	25	9	3,2	13
8	16.00	32	26	6	3,0	-

Tabel 4.3 Pengujian TEG dengan laminasi stainless dan media air dingin

No	Waktu	Panas (°C)	Dingin (°C)	Delta T	Vout TEG	Vout boost
1	09.00	38	18	20	3,8	13
2	10.00	52	20	32	5,1	13
3	11.00	59	27	32	5,0	13
4	12.00	62	28	34	4,9	13
5	13.00	72	28	44	6,5	13
6	14.00	67	26	41	5,9	13
7	15.00	50	25	25	3,9	13
8	16.00	44	26	18	3,3	13

Tabel 4.4 Pengujian TEG dengan laminasi Seng (*Zink/Zn*) dan media udara

No	Waktu	Panas (°C)	Dingin (°C)	Delta T	Vout TEG	Vout boost
1	09.00	33	30,1	3	0,9	-
2	10.00	35,3	32,3	3	0,9	-
3	11.00	36,1	33,7	3	0,9	-
4	12.00	37,2	32,9	5	2,5	-
5	13.00	37,4	31,4	6	3,1	-
6	14.00	36,3	29	7	3,3	13
7	15.00	34	29	5	2,3	-
8	16.00	32	29	3	0,9	-

Tabel 4.5 Pengujian TEG dengan laminasi stainless dan media udara

No	Waktu	Panas (°C)	Dingin (°C)	Delta T	Vout TEG	Vout boost
1	09.00	40	29	11	3,7	13
2	10.00	53	31	22	3,9	13
3	11.00	60	32	28	4,3	13
4	12.00	62	32	30	4,9	13
5	13.00	70	33	37	5,8	13
6	14.00	68	33	35	5,4	13
7	15.00	47	30	10	3,5	13
8	16.00	38	29	9	3,3	13

Tabel 4.6 Hasil pengujian pengisian aki dengan *thermoelectric generator*

No	V out TEG	V out boost converter	I
1	3,7	13	0,7
2	3,9	13	0,8
3	4,3	13	0,7
4	4,9	13	0,7
5	5,8	13	0,7
6	5,4	13	0,7
7	3,5	13	0,7
8	3,3	13	0,7

4.3 Pengujian hybrid

Tabel 4.7 Hasil pengujian *hybrid*

No	Waktu	Tegangan	Arus
1	09.00	13,0	5,6
2	10.00	13,4	5,6
3	11.00	13,4	5,6
4	12.00	13,5	5,5
5	13.00	13,4	5,5
6	14.00	13,2	5,2
7	15.00	13,0	4,8
8	16.00	12,8	4,3

Lama waktu pengisian baterai :

$$= \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Arus yang mengalir}} = \frac{45 \text{ Ah}}{5,6} = 8,03 \text{ jam.}$$

Pengujian dengan sistem *on grid*, tanpa disimpan ke baterai guna mengetahui kekuatan suplai daya yang dihasilkan untuk menyalakan beban 4 lampu masing-masing 10 W dengan total 40 W yang sudah direncanakan. Perancangan dengan *output* dari *control hybrid* sebesar 13 V langsung diarahkan ke sumber + dan - inverter.

Adapun hasil data pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.8 Pengujian beban langsung

No	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	09.00	13,0	5,6	72,8
2	10.00	13,4	5,6	75,04

3	11.00	13,4	5,6	75,04
4	12.00	13,5	5,5	74,25
5	13.00	13,4	5,5	73,7
6	14.00	13,2	5,2	68,64
7	15.00	13,0	4,8	62,4
8	16.00	12,8	4,3	55,04

5. KESIMPULAN

1. Panel surya mampu bekerja secara optimal yakni pukul 10.00-14.00, dikarenakan cuaca panas waktu jam itu merupakan optimalnya panas. Daya maksimal yang dapat dihasilkan dari panel 100WP yakni 85,65WP.
2. Akurasi tegangan yang dihasilkan TEG menunjukkan nilai maksimal yakni 6,5 V, dengan delta T 44, dan arus maksimal 0.8 A.
3. Hasil pengujian *hybrid* pada pukul 09.00-16.00 mampu *men-charge* aki hingga penuh dengan waktu 8,03 jam, yang kemudian mampu menyalakan beban lampu 400W selama 10 jam. Pengujian *on grid* juga menunjukkan mampu mensuplai beban lampu LED AC dengan beban 40W.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Y. 2016. Pengaruh Penambahan Alat Pencari Arah Sinar Matahari dan Lensa Cembung terhadap Daya *Output Solar Cell*. *Jurnal Metro Turbo Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah*. 5 (2):82-87.
- Kukuh S, Puji S, Santoso, Subekti. 2018. Optimasi Daya Panel Surya Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Berbasis Logika Fuzzy dengan Arduino sebagai Teknologi Pendukung Energi Baru Terbarukan (EBT). *Jurnal ELSAINS*. 3 (1):21-29.
- Eddy H, Rahyul A, Suwitno, Yusnita R. 2017. Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell menggunakan Teknologi *Boost Converter*. *Journal of Electrical Technology*. 2 (3):61-66.
- Bambang T, Hasbullah, Ima M. 2013. Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 dan Thermoelectric Cooler. *ELECTRANS*. 12 (2):89-96.
- Budhi P. 2016. Pembangkit Skala Kecil Dengan Sumber Energi Matahari Menggunakan Panas yang Dikumpulkan Oleh Fokus Lensa. *SENTRA 2016 UMM*. 4 (2):15-20
- Bachtera I, Hasto S, Shanti C. 2017. Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 13 (2):84-87.

- Rudhiyanto, Soni H, Wisnu A. 2015. *Exhaust System Generator: Knalpot Penghasil Listrik dengan Sistem Termoelektrik*. *SAINTEKNOL*. 13 (2):161-168.
- Bambang W, Muhammad A, Trias A. 2017. Perancangan *Boost Converter* Menggunakan *Voltage Fedback* pada Panel Surya. *TRANSIENT*. 6 (3):405-410.
- Ayong H, Dedy S, Ginanjar. 2019. Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik dengan Menggunakan Kompor Surya Sebagai Media Pemusat Panas. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*.
- Adhitya M, Ardian R, Bayu T, Nandy P, Raldi A. 2009. Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik untuk Kedaraan Hibrid. *MAKARA TEKNOLOGI*. 13 (2):53-58.
- Budhi Priyanto. 2013. Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya dengan Penambahan Intensitas Berkas Cahaya Matahari. *Jurnal Neutrino*. 5 (2):105-115.
- Antonius S, Maksi G, Retno W. S. 2015. Konversi Energi Cahaya Matahari Menjadi Energi Listrik Menggunakan Dioda Silikon 6A10 MIC. *Jom FMIPA UNRI*. 2 (1):315-323.
- Azridjal A, Nugrah S, Rahmat I. 2017. Pengujian Thermoelectric Generator (TEG) dengan Sumber Kalor *Electric Heater* 60 Volt Menggunakan Air Pendingin pada Temperatur Lingkungan. *Jom FTEKNIK UNRI*. 4 (2):1-5.
- Ansyori. 2017. Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana sebagai Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Metode *Seebeck Efek*. Skripsi. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Syafi'ul U. 2020. *MAXIMUM POWER POINT ESTIMATION (MPPE) PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)*. Proyek Akhir. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.