

Analisis Pengaruh Kondisi Alam Pada Sistem *Hybrid* Panel Surya Dan *Thermoelectric Generator*

Denis Ayu Puspita Sari¹, Triwahju Hardianto², Supriyadi Prasetyono³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

*E-mail : denisayups@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki sumber energi baru terbarukan yang sangat melimpah, salah satunya adalah cahaya matahari. telah banyak orang yang melakukan penelitian mengenai pemanfaatan energi cahaya matahari dengan menggunakan perangkat sel surya dan beberapa penelitian menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG). Dalam penelitian terdahulu dilakukan dengan tujuan membandingkan tegangan keluaran dari sel surya itu sendiri dengan tegangan keluaran dari rangkaian *hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) tanpa memperhatikan faktor alam dan juga konfigurasi *Thermoelectric Generator* (TEG). Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan energi cahaya matahari sebagai sumber energi baru terbarukan dengan menggunakan sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) dalam upaya optimalisasi *harvesting energy* dengan memperhatikan kondisi alam dan konfigurasi terbaik dari *Thermoelectric Generator* (TEG). Metode pengambilan data yang digunakan adalah dengan cara uji coba secara langsung. Untuk mendapatkan konfigurasi *Thermoelectric Generator* (TEG) terbaik untuk sistem *hybrid* ini akan dilakukan pengujian pada rangkaian *Thermoelectric Generator* (TEG) seri dan parallel. Pada saat pengujian tunggal *Thermoelectric Generator* (TEG) dan sistem *hybrid* secara bersamaan akan dilakukan pengambilan data terhadap kondisi alam untuk di analisis pengaruh kondisi alam terhadap tegangan keluaran sistem *hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG). Metode analisis akan menggunakan regresi linear ganda. Kondisi alam yang akan di ambil sampelnya adalah intensitas cahaya, kecepatan angin dan kelembanan udara. Hasil dari penelitian ini adalah pengaruh dari masing masing variabel kondisi alam terhadap tegangan *hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) serta diketahuinya konfigurasi terbaik dari *Thermoelectric Generator* (TEG) untuk dilakukan *hybrid* dengan sel surya.

Kata kunci: Sel Surya, *Thermoelectric Generator* (TEG), Regresi Linear Ganda

Indonesia has abundant new renewable energy sources, one of which is sunlight. Many people have conducted research on the use of solar energy using solar sel and several studies using *Thermoelectric Generators* (TEG). In previous research, it was carried out with the aim of comparing the output voltage from the solar sel themselves with the output voltage from a hybrid series of solar sel and *Thermoelectric Generator* (TEG) without taking into account natural factors and also the configuration of the *Thermoelectric Generator* (TEG). Therefore, this research was carried out with the aim of maximizing the use of sunlight energy as a new, renewable energy source by using solar cells and a *Thermoelectric Generator* (TEG) in an effort to optimize energy harvesting by paying attention to natural conditions and the best configuration of the *Thermoelectric Generator* (TEG). The data collection method used was direct testing. To get the best *Thermoelectric Generator* (TEG) configuration for this Hybrid system, tests will be carried out on series and parallel *Thermoelectric Generator* (TEG) circuits. During a single test of the *Thermoelectric Generator* (TEG) and the Hybrid system, data will be collected simultaneously on natural conditions to analyze the influence of natural conditions on the output voltage of the hybrid solar sel and *Thermoelectric Generator* (TEG) system. The analysis method will use multiple linear regression. The natural conditions that will be sampled are light intensity, wind speed and air humidity. The results of this research are the influence of each natural condition variable on the hybrid voltage of solar sel and *Thermoelectric Generator* (TEG) and the best configuration of the *Thermoelectric Generator* (TEG) to be hybridized with solar sel.

Kata kunci: Solar Sel, *Thermoelectric Generator* (TEG), Multiple Linear Regression

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan adalah sumber energi alam yang dapat terbaru dengan sendirinya secara terus menerus. Pengembangan energi terbarukan harus ditingkatkan sebagai salah satu bentuk optimalisasi *harvesting energy*. Sel surya merupakan perangkat yang diciptakan untuk dapat mengubah energi matahari berupa cahaya menjadi energi listrik. Sel surya dibuat sedemikian rupa untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik menggunakan prinsip kerja photovoltaic. Efek photovoltaic adalah fenomena munculnya tegangan listrik yang terjadi ketika dua elektrode terhubung dengan padatan atau cairan saat cahaya matahari terkena atau mendapatkannya. Penelitian mengenai sel surya telah banyak dilakukan sebelumnya. Salah satunya yaitu penelitian 2 jenis panel surya yang berbeda yaitu poli crystalline dan mono crystalline dengan kapasitas daya masing – masing panel 20 wp dan tanpa menggunakan sistem pendingin. Pada penelitian tersebut dilakukan dengan melakukan pengujian yang mengukur 4 parameter yaitu kondisi cuaca, intensitas cahaya, temperature dan sudut kemiringan yang berbeda (Harahap, 2020). *Thermoelectric Generator* (TEG) adalah suatu perangkat yang bekerja dengan efek seebeck, yaitu perubahan suhu yang menghasilkan perbedaan potensial listrik di antara dua sisi material semikonduktor (Artoto Arkundato, 2020). Komponen termoelektrik bekerja dengan mengubah energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik) atau menghasilkan dingin dari listrik (pendingin termoelektrik) (Muhammad Ady Pradana, 2020). Teknologi ini sangat efisien dan dapat menghasilkan energi dalam skala besar maupun kecil, dan itu juga cukup ramah lingkungan.

2. KERANGKA TEORITIS

A. Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan referensi penulis dalam melakukan penelitian ini. penelitian tersebut antara lain yaitu penelitian yang dilakukan oleh Wahyu dengan judul Desain dan Analisis Sistem *Hybrid* Panel Surya dan Termoelektrik yang menggunakan sumber energi 2 Panel surya 10 WP dan 6 *Thermoelectric Generator* (TEG), tanpa menggunakan sistem pendingin. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Partaonan Harahap yang berjudul Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya yang menggunakan sumber energi panel surya poli crystalline dan mono crystalline dengan kapasitas daya masing – masing panel 20 wp dan tanpa menggunakan sistem pendingin, dengan memperhatikan 4 parameter yaitu kondisi cuaca, intensitas cahaya, temperature dan sudut kemiringan yang berbeda. Terakhir adalah penelitian

yang dilakukan oleh Muhammad Ady Pradana yang berjudul Prototipe Pembangkit Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan dan Seng dengan sumber energi 16 *Thermoelectric Generator* (TEG) dan pendingin cold sink.

B. Sel Surya

Sel Surya atau panel surya adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui proses yang disebut efek fotovoltaiik. Teknologi photovoltaic (PV) mengubah radiasi matahari menjadi energi langsung. Besarnya energi yang dihasilkan akan sebanding dengan jumlah sel surya yang digunakan. Besar radiasi yang diterima oleh panel surya tidak hanya dipengaruhi oleh sudut kemiringan panel, tetapi juga oleh indeks kecerahan dan gerak semu harian dan tahunan matahari. (Samsurizal, 2021)

C. *Thermoelectric Generator* (TEG)

Thermoelectric Generator (TEG) seperti yang tertera pada gambar 2.3 adalah alat yang menggunakan efek seebeck untuk mengubah perbedaan suhu langsung menjadi energi listrik. Termoelektrik adalah salah satu teknologi solid state yang lebih ramah lingkungan karena tidak ada bagian yang bergerak atau fluida yang mengalir. Setiap elemen *Thermoelectric Generator* (TEG) memiliki dua sisi satu berfungsi sebagai bagian panas (*hot side*) dan yang lain sebagai bagian dingin (*cool side*).

Berikut ini adalah model matematis yang digunakan untuk menggambarkan efek Seebeck pada termoelektrik:

$$V = \alpha \times \Delta T \quad (1)$$

V = tegangan yang dihasilkan (volt)

α = koefisien seebeck ($V/^{\circ}C$)

ΔT = perbedaan temperature pada sisi panas dan sisi dingin ($^{\circ}C$)

Perhitungan nilai koefisien seebeck :

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

α = koefisien seebeck ($V/^{\circ}C$)

ΔT = perbedaan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin ($T_h - T_c$) ($^{\circ}C$)

V = tegangan ujung terminal (Volt)

Rumus berikut digunakan untuk menghitung perbedaan suhu di *Thermoelectric Generator* (TEG):

$$\Delta T = H_s - C_s \quad (3)$$

Keterangan :

H_s = Suhu panas ($^{\circ}C$)

C_s = Suhu dingin ($^{\circ}C$)

ΔT = Perbedaan suhu ($^{\circ}C$)

D. Baterai

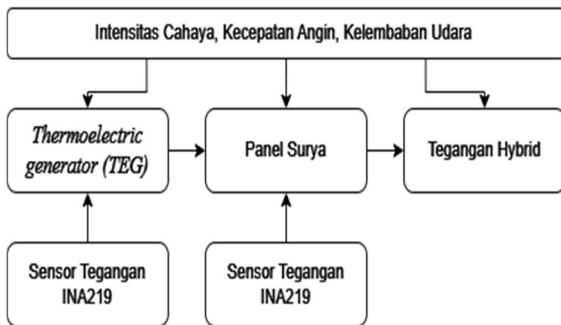
Baterai terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia dengan dua elektroda (anoda dan katoda) dan elektrolit yang memungkinkan ion bergerak antara kedua elektroda. Tegangan minimum pengosongan baterai adalah tegangan terendah yang dapat diterima sebelum baterai dianggap habis dan harus diisi ulang. Melebihi tegangan minimum ini dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai dan mengurangi masa pakainya. Tegangan minimum (V_{min}) pengosongan adalah 80% dari tegangan penuh baterai. Sehingga untuk mengetahui berapa tegangan minimum baterai dapat digunakan rumus berikut (SILVANA, 2019) :

$$V_{min} = \frac{80}{100} \times V_{max} \quad (4)$$

3. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Penelitian

Pada penelitian ini terdapat *output* keluaran yang diukur, *output* tersebut berupa tegangan masing – masing dari sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) dan tegangan dari rangkaian secara *hybrid*. Pengukuran tegangan menggunakan sensor INA219 yang dihubungkan dengan Arduino Uno sebagai control. Selain itu juga digunakan sensor suhu untuk mengukur suhu dari *Thermoelectric Generator* (TEG). Sensor BH1750 digunakan untuk mengukur cahaya matahari dan anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin.



Gambar 1. Diagram Blok Penelitian

B. Metode Analisis Data

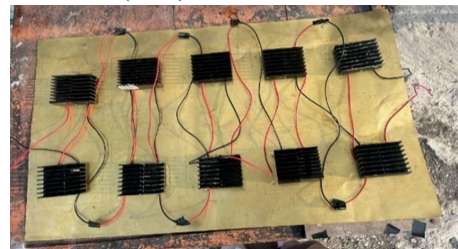
Pengujian dilakukan pada pukul 10.00 WIB – 15.00 WIB dengan mencatat kecepatan angin, suhu udara, dan intensitas cahaya matahari. Terdapat beberapa pengujian yang akan dilakukan dalam pengambilan data. Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui konfigurasi seri paralel TEG. Terdapat beberapa tahap pengambilan data, pertama yaitu pengujian tegangan pada sel surya, kemudian pengujian tegangan pada *Thermoelectric Generator* (TEG), pengujian pada rangkaian *hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) tanpa beban. dan terakhir yaitu pengujian pada rangkaian *hybrid* sel

surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) dengan beban baterai NI-MH AAA 1,2 Volt dengan kapasitas 450 mAh. Metode analisis data yang digunakan adalah Regresi linear ganda. Regresi linear ganda digunakan untuk mengetahui pengaruh variable bebas (intensitas Cahaya, kecepatan angin dan kelembaban udara) terhadap variable terikat (tegangan sel surya, tegangan TEG dan tegangan *Hybrid*)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tanpa Beban *Thermoelectric Generator* (TEG) Rangkaian Seri

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh rangkaian *Thermoelectric Generator* (TEG) yang di rangkai secara seri. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 10 *Thermoelectric Generator* (TEG) yang rangkai secara seri dibawah sebuah kuningan, kuningan yang digunakan memiliki panjang 60 cm dan lebar 36 cm dengan ketebalan 3 mm, penggunaan kuningan bertujuan agar penyebaran panas pada *Thermoelectric Generator* (TEG) dapat lebih merata. Pada pengujian ini digunakan sistem pendingin berupa heatsink yang terpasang pada masing – masing *Thermoelectric Generator* (TEG) dan juga air es yang di tempatkan dibawah heatsink pada masing - masing *Thermoelectric Generator* (TEG). Tujuan digunakannya sistem pendingin adalah untuk menjaga agar suhu sisi dingin (Cs) tetap rendah sehingga perbedaan suhu antara sisi panas (Hs) *Thermoelectric Generator* (TEG) dan sisi dingin (Cs) *Thermoelectric Generator* (TEG) akan semakin meningkat. Setelah pengujian, akan dilakukan analisis regresi linear berganda untuk mengetahui sejauh mana variable bebas (intensitas Cahaya, kecepatan angin dan kelembapan udara) mempengaruhi tegangan keluaran *Thermoelectric Generator* (TEG).



Gambar 2. Rangkaian Seri *Thermoelectric Generator* (TEG)

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN TANPA BEBAN THERMOELECTRIC GENERATOR
(TEG) RANGKAIAN SERI

Waktu	Intensitas Cahaya (LUX)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara (%)	Hs (°C)	Cs (°C)	ΔT (Hs-Cs)	α (V/°C)	Tegangan (V)
10.00	40309.4	0.92	50	39.21	22.8	16.41	0.074954	1.23
10.10	21309.46	0.9	50.21	39.77	24.82	14.95	0.073579	1.1
10.20	37309.49	0.84	57.77	41.79	25.78	16.01	0.07995	1.28
10.30	54309.16	0.8	60.58	39.33	6.02	33.31	0.05704	1.8
10.40	49309.71	1	46.43	37.56	13.34	24.22	0.053675	1.3
10.50	40009.46	0.9	44.2	36.74	19.08	17.66	0.051529	0.91
11.00	30309.45	1.32	57.57	38.07	22.93	15.14	0.050859	0.77
11.10	18109.33	0.8	65.9	39.71	25.89	13.82	0.050651	0.7
11.20	5430946	1	47.77	39.14	11.78	27.36	0.062135	1.6
11.30	44309.78	0.81	42.78	40.72	17.55	23.17	0.060423	1.4
11.40	39309.46	1.56	52.12	40.4	23.13	17.27	0.057904	1
11.50	50309.06	1.61	42.25	41.1	21.47	19.63	0.058584	1.15
12.00	53000.46	0.84	52.83	38.32	5.95	32.37	0.058696	1.7
12.10	54000.02	1.06	40.78	40.78	9.3	31.48	0.057179	1.7
12.20	41177.54	0.95	53.74	41.48	14.85	26.63	0.056327	1.45
12.30	51309.46	1.19	41.64	42.04	19.17	22.87	0.053345	1.22
12.40	40909.96	1.19	48.19	38.01	23.49	14.52	0.055096	0.8
12.50	39954	1.73	44.46	37.56	8.95	28.61	0.055575	1.59
13.00	26312.14	1.64	46.68	35.04	14.34	20.7	0.057971	1.2
13.10	45309.46	1.19	40.67	38.38	20.91	17.47	0.055524	0.97
13.20	18309.41	1.64	73.39	38.18	24.54	13.64	0.054985	0.75
13.30	52907.46	1.51	60.33	38.01	13.78	24.23	0.05943	1.44
13.40	31402.49	1.53	56.06	33.65	8.35	25.3	0.06087	1.54
13.50	38430.61	1	51.22	34.91	12.96	21.95	0.059226	1.3
14.00	36935.52	1.61	47.69	32.45	17.44	15.01	0.053298	0.8
14.10	34309.46	2.07	59.25	36.24	20.59	15.65	0.065815	1.03
14.20	17744.89	2.17	50.62	33.51	8.61	24.9	0.068273	1.6
14.30	15055.26	2.83	55.65	32.88	14.93	17.95	0.064624	1.16
14.40	15300.3	1.77	79.94	31.82	16.68	15.14	0.063408	0.96
14.50	19618.14	0.9	83.17	31.18	17.46	13.72	0.062682	0.86
15.00	19966.66	1.61	83.77	33.44	19.69	13.75	0.063273	0.87
Rata - Rata	209929.13	1.32	54.44	37.47	16.99	20.48	0.059899	1.20

TABEL 2
HASIL PENGUJIAN REGRESI LINEAR BERGANDA PADA TANPA BEBAN THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG) RANGKAIAN SERI

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1 (Constant)	.644	.519		1.242	.225		
X1 (Cahaya)	1.416E-5	.000	.579	2.513	.018	.482	2.074
X2 (Angin)	.091	.125	.139	.730	.472	.707	1.414
X3 (Kelembapan)	-.002	.005	-.058	-.286	.777	.621	1.610

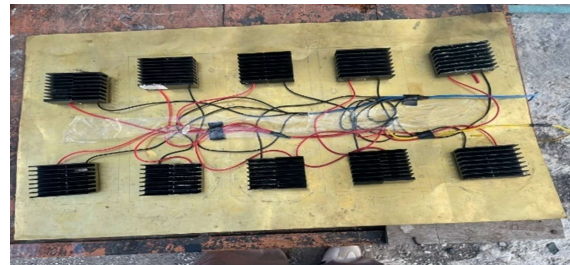
a. Dependent Variable: Y (Tegangan)

pada tabel __ dapat diketahui bahwa rata – rata tegangan yang diperoleh oleh *Thermoelectric Generator* (TEG) seri tanpa beban adalah sebesar 1,20 Volt. Berdasarkan tabel __ tersebut dapat diketahui bahwa variable intensitas cahaya (X1) sangan berpengaruh pada variable dependent (tegangan), Dimana nilai signifikasi intensitas Cahaya kurang dari probabilitas 0,05. Sedangkan untuk kecepatan angin dan kelembapan udara yang memiliki nilai signifikasi lebih dari probabilitas 0,05 dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin dan kelembapan udara tidak berpengaruh terhadap tegangan *Thermoelectric Generator* (TEG). Dewi Ari Sandy dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin banyak atau semakin tinggi intensitas cahaya matahari menyinari suatu tempat maka suhu udara di sekitar tempat tersebut akan semakin panas (Sandy, 2017). Artinya semakin tinggi intensitas Cahaya matahari yang diterima oleh kuningan menyebabkan suhu udara di sekitar kuningan meningkat. Peningkatan suhu udara di sekitar kuningan menyebabkan meningkatnya suhu kuningan dimana hal ini akan menyebabkan peningkatan suhu sisi panas (Hot Side) *Thermoelectric Generator* (TEG), yang dapat menyebabkan selisih suhu antara sisi hot side dan cool side *Thermoelectric*

Generator (TEG) meningkat. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dimana semakin besar selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin *Thermoelectric Generator* (TEG) maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar (Muhammad Ady Pradana, 2020) .

B. Pengujian Tanpa Beban *Thermoelectric Generator* (TEG) Rangkaian Parallel

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh rangkaian *Thermoelectric Generator* (TEG) yang di rangkai secara parallel dan mengetahui pengaruh variable bebas terhadap variable terikat tegangan melalui selisih suhu *Thermoelectric Generator* (TEG).



Gambar 3. Rangkaian Parallel *Thermoelectric Generator* (TEG)

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN TANPA BEBAN THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG) RANGKAIAN PARALEL

Waktu	Intensitas Cahaya (LUX)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara (%)	Hs (°C)	Cs (°C)	ΔT (Hs-Cs)	α (V/°C)	Tegangan (V)
10.00	48309.46	0.9	49.6	39.01	16.5	22.51	0.006219	0.14
10.10	28309.6	0.84	53.6	41.1	22.8	18.3	0.006011	0.11
10.20	30309.76	0.86	47.59	41.46	25.42	16.04	0.004988	0.09
10.30	54309.46	0.82	49.89	44.82	8.96	35.86	0.00502	0.25
10.40	49609.6	0.92	46.58	46.14	16.36	29.78	0.004701	0.14
10.50	44309	1.17	50.55	44.19	20.49	23.7	0.004219	0.01
11.00	32309.46	0.89	52.83	43.43	25.18	18.25	0.003836	0.07
11.10	49309.46	0.71	45.27	39.96	10.54	29.42	0.006118	0.18
11.20	47309.56	0.95	54.14	38.19	14.03	24.16	0.005795	0.14
11.30	35309.51	0.79	50.48	40.4	24.44	15.96	0.005639	0.08
11.40	20309.46	1.45	52.43	39.01	25.41	13.6	0.003676	0.05
11.50	50228.35	1.05	48.26	35.61	9.29	26.32	0.004939	0.13
12.00	44309.46	0.9	56.96	34.6	11.29	23.31	0.004719	0.11
12.10	40132.5	1.3	50.83	35.73	15.68	20.05	0.004489	0.09
12.20	25133.06	0.89	50.18	36.05	19.25	16.8	0.004167	0.07
12.30	21970.89	1.25	57.77	37.98	23.98	14	0.003571	0.06
12.40	18174.54	1.1	52.12	38.79	25.32	13.47	0.00297	0.05
12.50	49309.16	1.22	49.05	40.21	16.78	23.43	0.005548	0.13
13.00	21083.54	1.38	61.2	34.16	20.72	13.44	0.005208	0.07
13.10	23097.41	1.5	57.00	39.74	25.26	14.48	0.005525	0.08
13.20	44091.66	1	55.9	30.37	9.03	21.34	0.007498	0.14
13.30	27547.87	0.98	61.71	31.19	14.05	17.14	0.007001	0.12
13.40	19367.45	1.15	59.38	32.2	18.5	13.7	0.006569	0.09
13.50	21279.74	2.05	51.22	34.59	21.35	13.24	0.006042	0.08
14.00	18213.38	1.48	60.69	36.02	23.05	12.97	0.003084	0.04
14.10	31074.21	1.17	55.25	38.26	24.12	14.14	0.003536	0.05
14.20	38870.61	2.46	50.62	34.52	11.16	23.36	0.003853	0.12
14.30	32454.2	2	48.13	33.27	13.83	19.44	0.002572	0.08
14.40	24723.08	1.27	54.49	32.38	15.14	17.24	0.00464	0.08
14.50	25220.6	1.63	53.84	31.75	17.27	14.48	0.004144	0.06
15.00	18002.08	1.52	87.16	31.25	18.16	13.09	0.002292	0.04
Rata - Rata	33354.46	1.21	53.92	37.30	18.17	19.13	0.004793	0.095

pada tabel __ dapat diketahui bahwa rata – rata tegangan yang diperoleh oleh *Thermoelectric Generator* (TEG) parallel tanpa beban adalah sebesar 0,095 Volt. Dari hasil pengujian regresi linear ganda diketahui bahwa hanya variable intensitas Cahaya yang mempengaruhi tegangan output *Thermoelectric Generator* (TEG). Sama seperti pada pengujian *Thermoelectric Generator* (TEG) seri.

HASIL PENGUJIAN REGRESI LINEAR BERGANDA PADA SEL
SURYA TANPA BEBAN

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1 (Constant)	-.030	.381		-.079	.938		
X1 (Cahaya)	2.266E-5	.000	.849	6.588	.000	.498	2.008
X2 (Angin)	-.069	.063	-.108	-1.089	.286	.842	1.187
X3 (Udara)	.000	.005	.003	.026	.979	.534	1.871

a. Dependent Variable: Y (Tegangan)

Hasil ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh (Muhammad Ady Pradana, 2020) yang menyatakan bahwa rangkaian paralel *Thermoelectric Generator* (TEG) dapat meningkatkan arus, sehingga arus dari *Thermoelectric Generator* (TEG) yang dirangkai paralel cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan arus pada rangkaian *Thermoelectric Generator* (TEG) seri dan campuran.

C. Pengujian Tanpa Beban Sel Surya

Pengujian sel surya seperti dilakukan tanpa menggunakan beban, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari intensitas Cahaya, kecepatan angin dan kelembapan udara terhadap tegangan sel surya.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN SEL SURYA TANPA BEBAN

Waktu	Intensitas Cahaya (LUX)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara (%)	Tegangan (V)
10.00	48309.46	0.78	46.6	1
10.10	39309.6	0.84	60.6	0.8
10.20	31309.76	0.76	61.59	0.89
10.30	50309.46	0.82	46.89	0.95
10.40	41609.6	1	49.58	0.89
10.50	44309	0.87	50.55	0.9
11.00	39309.46	0.82	54.83	0.87
11.10	50809.46	0.71	45.27	0.9
11.20	47309.56	0.8	52.14	1.09
11.30	51409.51	0.76	51.48	1.01
11.40	49979.46	2.45	47.43	1.07
11.50	37228.35	1.35	50.26	0.57
12.00	54309.46	0.85	45.96	1.06
12.10	40132.5	1.25	47.83	0.9
12.20	25133.06	0.92	56.18	0.5
12.30	21970.89	1.35	57.77	0.5
12.40	18174.54	1.13	56.12	0.57
12.50	49309.16	1.43	45.05	1.1
13.00	26083.54	1.51	55.2	0.61
13.10	23097.41	1.09	57	0.32
13.20	44091.66	1.04	49.9	0.9
13.30	27547.87	0.98	61.71	0.4
13.40	25367.45	1.13	59.38	0.58
13.50	26279.74	2.05	51.22	0.66
14.00	30213.38	1.48	50.69	0.4
14.10	31074.21	2.17	55.25	0.3
14.20	33870.61	1.46	47.62	0.6
14.30	32454.2	2.18	49.13	0.52
14.40	24723.08	1.27	54.49	0.21
14.50	25220.6	1.43	53.84	0.22
15.00	18002.08	1.32	87.16	0.23
Rata - Rata	35750.26	1.23	53.51	0.69

pada tabel __ dapat diketahui bahwa rata – rata tegangan yang diperoleh oleh sel surya tanpa beban adalah sebesar 0,095 Volt. Dari hasil pengujian regresi linear ganda diketahui bahwa hanya variable intensitas Cahaya yang mempengaruhi tegangan *output* sel surya. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Henny Johan yang menyatakan bahwa variabel lain seperti temperatur, kelembapan, dan kecepatan udara tidak mempengaruhi tegangan keluaran panel surya karena enkapsulasi melindungi sel surya dari gangguan cuaca. (Henny Johan, 2022).

D. Pengujian Hybrid Sel Surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) Tanpa Beban

Pada pengujian ini *Thermoelectric Generator* (TEG) di rangkai secara seri karena berdasarkan pengujian tanpa beban *Thermoelectric Generator* (TEG) yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa *Thermoelectric Generator* (TEG) dapat menghasilkan tegangan lebih besar dan mendekati tegangan maksimal sel surya ketika dirangkai secara seri.



Gambar 4. Rangkaian Hybrid Sel Surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) tanpa beban

TABEL 5

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN HYBRID SEL SURYA DAN THERMOELECTRIC
GENERATOR (TEG) TANPA BEBAN

Waktu	Intensitas Cahaya (LUX)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara (%)	ΔT (Hs-Cs)	Alpha (V/ ΔT)	Tegangan TEG (V)	Tegangan sel(V)	Tegangan Hybrid(V)
10.00	48639,46	0,82	66,34	21,6	0,07666	1,66	1,18	2,60
10.10	44309,86	0,92	62,51	19,3	0,06735	1,48	1,15	2,48
10.20	45479,13	1,21	55,65	23,4	0,06752	1,58	1,15	2,64
10.30	49909,46	1,11	47,69	22,6	0,06539	1,60	1,15	2,68
10.40	50679,85	0,84	41,74	23,39	0,07080	1,76	1,12	2,76
10.50	46589,46	1,11	37,31	20,4	0,06858	1,40	1,10	2,30
11.00	50809,86	0,84	36,9	24,6	0,07085	1,74	1,10	2,65
11.10	52731,11	1,19	47,59	23,6	0,07386	1,74	1,10	2,65
11.20	42073,26	1,22	37,81	20,3	0,07108	1,50	1,10	2,40
11.30	31005,76	1,03	35,29	14,4	0,04812	0,87	1,04	1,73
11.40	44009,46	0,84	44,71	18,9	0,07921	1,50	1,09	2,41
11.50	54309,46	0,94	44,87	25,8	0,08004	2,07	1,11	3,00
12.00	54309,46	0,9	32,27	22	0,06841	1,80	1,12	2,83
12.10	39309,46	1,06	34,89	20,01	0,05162	1,20	1,09	2,09
12.20	32309,46	0,87	32,17	23,61	0,04235	1,45	1,10	2,37
12.30	34309,46	1,03	43,76	23	0,06174	1,50	1,04	2,38
12.40	35846,5	0,95	33,58	23,5	0,07575	1,47	1,08	2,31
12.50	42999,4	0,98	34,89	22,2	0,05644	1,50	1,09	2,39
13.00	40641,44	0,78	37,31	20,8	0,05885	1,20	1,08	2,15
13.10	41441,1	0,82	40,33	26,4	0,04579	1,53	1,09	2,60
13.20	39750,87	0,9	46,48	27,6	0,04746	1,31	1,08	2,14
13.30	37193,29	1,13	49,81	23,9	0,04665	1,22	1,08	2,15
13.40	40327,89	1,27	41,94	23,78	0,05257	1,30	1,09	2,20
13.50	32045,25	1,34	41,64	21,52	0,04642	1,10	1,08	1,88
14.00	36066,88	0,98	42,55	21,2	0,04443	0,80	1,09	2,01
14.10	33558,77	0,87	42,15	18,24	0,04402	0,93	1,09	2,00
14.20	36437,48	2,2	45,88	18,4	0,05033	0,76	1,07	2,30
14.30	31863,92	1,57	45,07	15,3	0,04752	1,33	1,01	1,71
14.40	30345,58	1,35	47,49	25,9	0,05127	1,20	1,02	2,10
14.50	40901,38	1,00	51,62	20,8	0,04904	0,68	1,02	2,00
15.00	30932,46	1,40	61,6	15	0,04513	1,10	1,08	1,55
Rata - Rata	41004,39	1,12	43,99	21,66	0,05888	1,28	1,09	2,27

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN REGRESI LINEAR BERGANDA PADA
RANGKAIAN HYBRID SEL SURYA DAN THERMOELECTRIC
GENERATOR (TEG) TANPA BEBAN

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta				Tolerance	VIF
1								
(Constant)	1.179	.340		3.465	.002			
X1 (Cahaya)	3.629E-5	.000	.788	7.243	.000	.827	1.210	
X2 (Angin)	-.234	.175	-.147	-1.338	.192	.807	1.239	
X3 (Udara)	-.003	.004	-.071	-.700	.490	.954	1.048	

a. Dependent Variable: Y (Tegangan)

Dari percobaan pada tabel __ pada lampiran dapat diketahui bahwa rata – rata tegangan *hybrid* terukur adalah sebesar 2,27 Volt dengan rata – rata tegangan *Thermoelectric Generator* (TEG) sebesar 1,28 Volt dan sel surya sebesar 1,09 Volt. setelah dilakukan analisis regresi linear berganda yang dapat dilihat pada tabel __, diketahui bahwa nilai signifikansi variable intensitas Cahaya kurang dari probabilitas 0,05 Sedangkan untuk variable kecepatan angin dan kelembapan udara dengan nilai signifikansi lebih dari probabilitas 0,05 dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin dan kelembapan udara tidak berpengaruh terhadap tegangan keluaran *Hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG). Peningkatan intensitas Cahaya adalah salah satu factor penyebab peningkatan perbedaan suhu pada *Thermoelectric Generator* (TEG), dimana peningkatan perbedaan suhu ini akan menyebabkan peningkatan tegangan keluaran *Thermoelectric Generator* (TEG). Peningkatan Cahaya juga dapat menyebabkan

peningkatan tegangan keluaran sel surya, hal ini disebabkan oleh material semikonduktor di sel surya, yang menyerap cahaya dari sinar matahari dan dilapisi dengan lapisan antireflektif yang dapat mengoptimalkan penyerapan Cahaya tersebut (Henny Johan, 2022). sehingga dengan adanya peningkatan tegangan pada masing – masing sumber pembangkit tersebut akan menyebabkan peningkatan tegangan *hybrid*.

E. Pengujian *Hybrid* Sel Surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) Untuk Charging Baterai AAA 1,2 Volt

Pengujian *hybrid* ini sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) dilakukan dalam rentang waktu 2 jam sebagai uji coba. sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) akan dirangkai seri dan dihubungkan ke beban baterai jenis AAA NI-MH dengan kapasitas 1,2 Volt 450 mAh.

TABEL 8
HASIL PENGUJIAN PEMBEBANAN PADA RANGKAIAN HYBRID SEL
SURYA DAN THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG)

Jam	Tegangan keluaran <i>Hybrid</i> saklar off (V)	Tegangan keluaran <i>Hybrid</i> saklar on (V)	Arus keluaran sebelum saklar menyala (A)	Arus keluaran setelah saklar menyala (mA)	Tegangan Baterai (V)
11.30	1,7	1,21	0	0,13	1,03
11.40	1,68	1,20	0	0,12	1,03
11.50	1,69	1,15	0	0,12	1,03
12.00	1,95	1,65	0	0,15	1,03
12.10	1,9	1,54	0	0,15	1,03
12.20	2,1	1,77	0	0,16	1,03
12.30	1,7	1,46	0	0,13	1,03
12.40	1,76	1,39	0	0,13	1,03
12.50	1,75	1,48	0	0,13	1,03
13.00	2,7	2,33	0	0,19	1,03
13.10	2,23	1,87	0	0,16	1,03
13.20	2,1	1,71	0	0,16	1,03
Rata - rata	1,94	1,56	0	0,14	1,03

Dari hasil pengujian pada tabel __ di ketahui bahwa tegangan keluaran dari sistem *hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) tidak dapat digunakan untuk pengisian atau charging baterai. Terjadi jatuh tegangan keluaran yang cukup besar yaitu tegangan sebelum saklar dinyalakan sebesar 1,94 volt turun menjadi 1,56 volt setelah saklar dinyalakan dan arus yang mengalir sebesar 0,14 miliAmpere. Rendahnya tegangan untuk pengisian menyebabkan arus yang mengalir pada baterai kecil sehingga menyebabkan baterai tidak terisi. Untuk pengisian baterai sesuai dengan spesifikasi baterai diperlukan tegangan input sebesar 5 Volt, dengan tegangan tersebut baterai akan terisi penuh dalam waktu 2-3 jam sesuai dengan spesifikasi yang tertera padabaterai

5. KESIMPULAN

Vaiabel independent intensitas Cahaya berpengaruh secara signifikan terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *hybrid* sel surya dan

Thermoelectric Generator (TEG), sehingga dalam pemasangan pembangkit *hybrid* ini perlu diperhatikan tempat dengan penyinaran matahari yang optimal untuk menghasilkan tegangan yang optimal. Sedangkan kelembapan udara dan kecepatan angin tidak berpengaruh pada rangkaian *hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG) dan juga tidak berpengaruh pada rangkaian tunggal dari kedua pembangkit yaitu sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG). Besar nilai signifikansi kecepatan angin sebesar 0,634 dan kelembapan udara 0,366, dimana nilai tersebut lebih besar dari probabilitas 0,05 dalam uji T regresi linear berganda. Berdasarkan pengujian juga diketahui bahwa rangkaian seri *Thermoelectric Generator* (TEG) dapat menghasilkan tegangan lebih besar (mendekati tegangan sel surya) sehingga rangkaian *Thermoelectric Generator* (TEG) seri lebih efektif digunakan dalam system *Hybrid* sel surya dan *Thermoelectric Generator* (TEG). Dimana rata-rata tegangan rangkaian parallel sebesar 0,95 volt dan rata – rata tegangan rangkaian seri sebesar 1,20 Volt. Dengan hasil tegangan *hybrid* rata – rata 1,94 Volt sebelum charging (sebelum adanya tegangan jatuh) diperkirakan kemungkinan pengisian baterai akan berlangsung sangat lambat karena tegangan *output* dari pembangkit *hybrid* yang digunakan untuk charging terlalu kecil, dimana tegangan output rata – rata sebesar 2,27 Volt.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya". vol. II, pp. 74-78, January 2020
- [2] M. G. Artoto Arkundato, M. G, "Thermoelectric Generator Module as AnAlternative Source of Electrical Energy in Rural Area" pp. 24-25, July 2020
- [3] M. W. Muhammad Ady Pradana, "PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TERMOELEKTRIK GENERATOR MENGGUNAKAN PENGHANTAR PANAS ALUMINIUM, KUNINGAN DAN SENG," vol. IX, pp. 251-258, 2020.
- [4] Wahyu, "Desain dan Analisis Sistem Hybrid Panel Surya dan Termoelektrik". vol. IV, pp. 46-57, 2023
- [5] K. T. M. M. F. N. P. C. Samsurizal, Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), R. Hidayawanti, Ed., Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN, 2021, pp. 4-6.
- [6] A. F. SILVANA, "PENGARUH PROSES PENGOSONGAN (DISCHARGING) TERHADAP KAPASITAS DAN EFISIENSI BATERAI 110 VDC DI GARDU INDUK SUNGAI KEDUKAN PALEMBANG," pp. 25-26, 21 Juni 2019.
- [7] D. A. Sandy, "Pengaruh intensitas Cahaya matahari

- [8] N. U. R. W. W. Henny Johan, "PENGARUH TEMPERATUR UDARA, KELEMBABAN UDARA, KECEPATAN UDARA DAN INTENSITAS CAHAYA TERHADAP DAYA LISTRIK PANEL SURYA," vol. VII, Juni 2022.
- [9] M. I. Juarsa, "Pengaruh Faktor Klimatologi Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Udara, Bilangan Sinop dan Intensitas Cahaya Terhadap Daya Listrik Panel Surya. Universitas Bengkulu", 2021
- [10] Z. Andi Pawawoi, "Penambahan Sistem Pendingin Heatsink UntukOptimasi Penggunaan Reflektor Pada Panel Surya" vol. VIII, pp. 3, Maret 2019
- [11] A. N. K. Q. D. L. A. L. N. B. A. L. W. ., S. D. Hussam Jouhara, "Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications," pp. 1-18, 2 January 2021.