

INTEGRASI THERMOELECTRIC GENERATOR PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC TETAP

INTEGRATION OF THERMOELECTRIC GENERATOR ON FIXED PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Satria Rizki Fauzi¹, Wahmisari Priharti², Mohammad Ramdhani³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

satriarizki@student.telkomuniversity.ac.id¹, wpriharti@telkomuniversity.ac.id²,
mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya atau photovoltaic (PV). Namun PV memiliki kelemahan yaitu penurunan efisiensi ketika suhu permukaan semakin meningkat. Untuk mengatasi hal ini, panas terbuang pada bagian belakang PV dapat dikonversi kembali menjadi listrik dengan menggunakan Thermoelectric Generator (TEG). Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan tegangan, arus serta daya yang dihasilkan oleh system. Pada penelitian ini, dirancang suatu system yang mengintegrasikan 6 buah TEG tipe TEC1-1706 berukuran 4x4 cm pada suatu PV monocrystalline 20 Wp. TEG sisi panas dipasang di bagian belakang PV untuk membaca suhu panas yang dihasilkan selama PV bekerja dan bagian sisi dingin TEG diberikan heatsink untuk menjaga sisi dingin TEG, dari perbedaan suhu antara suhu sisi panas dan suhu sisi dingin dapat diperoleh nilai delta T, nilai perbedaan suhu tersebut yang akan dikonversi menjadi energi listrik. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa TEG dapat diintegrasikan pada fixed photovoltaic system, untuk memanfaatkan energi panas yang terbuang pada PV. Dengan nilai peningkatan pada tegangan sebesar 52.8% nilai peningkatan arus sebesar 58.88 % dan nilai peningkatan daya sebesar 37.70%.

Kata Kunci : Photovoltaic, thermoelectric generator, panas terbuang.

Abstract

Solar energy is a renewable energy that can be converted into electrical energy using solar panels or photovoltaic (PV). However, PV has the disadvantage of decreasing efficiency when the surface temperature increases. To overcome this, the wasted heat on the back of the PV can be converted back into electricity using a Thermoelectric Generator (TEG). The purpose of this research is to increase the voltage, current and power generated by the system. In this study, a system was designed that integrates 6 TEG type TEC1-1706 measuring 4x4 cm in a 20 Wp monocrystalline PV. The hot side TEG is installed on the back of the PV to read the temperature of the heat generated during PV work and the cold side of the TEG is given a heatsink to maintain the cold side of the TEG, from the temperature difference between the temperature of the hot side and the cold temperature can be obtained the value of delta T, the value of the temperature difference which will be converted into electrical energy. From the results of the research that has been done, it can be said that TEG can be integrated into a fixed photovoltaic system, to take advantage of the wasted heat energy in PV. With an increase in the voltage value of 52.8%, the current increase value is 58.88% and the power increase value is 37.70%.

.Keywords : Photovoltaic, thermoelectric generator, wasted heat.

1. Pendahuluan

Penggunaan energi listrik tidak terlepas dari permasalahan biaya pengaturan dan pengoperasian yang tertinggi dalam penggunaan di suatu sektor seperti industri, perkantoran dan di sebagian besar negara bersuhu sedang atau ekstrem [1]. Energi tersebut sebagian besar digunakan untuk pendinginan, pemanasan, ventilasi, penerangan, pompa irigasi, dan sistem otomasi. Dengan 267,7 juta penduduk di dalamnya memaksa Indonesia harus terus berputar otak untuk bisa memenuhi kebutuhan listrik setiap warganya. Hal ini membuat pengeksploitasian bahan bakar fosil semakin banyak untuk memenuhi kebutuhan energi listrik seluruh penduduk di setiap pelosok bagian negeri. Keuntungan Indonesia sebagai negara tropis dan terletak di garis khatulistiwa membuat Indonesia memiliki energi matahari yang sangat melimpah yang pada akhirnya dimanfaatkan oleh produsen produsen listrik tanah air untuk memanfaatkannya sebagai pengganti bahan bakar fosil yang cepat atau lambat akan habis dan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan hidup disekitarnya.

Pemanfaatan energi surya di tanah air sudah mulai di terapkan di beberapa daerah, untuk kebutuhan rumah tangga atau industri kecil. Teknologi yang digunakan untuk memanfaatkan energi matahari menggunakan sebuah kolektor yang biasa dikenal dengan nama photovoltaic atau solarcell. Meningkatnya kepedulian masyarakat dengan lingkungan hidup menjadi salah satu faktor yang mendorong pemanfaatan energi surya semakin banyak digunakan, karena hal itu pemanfaatan energi surya semakin menjadi trend yang berkembang dalam beberapa tahun terakhir sebagai penghasil sumber energi listrik yang bisa diandalkan untuk menggantikan bahan bakar fosil dan dianggap dapat meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan.

Tugas Akhir ini mengusulkan pendekatan teoretis dan desain konseptual photovoltaic (PV) dengan menyambungkan panel PV dengan modul generator termoelektrik (TEG). Sistem ini akan membantu menghasilkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan satu komponen saja [2]. Sistem ini memanfaatkan photovoltaic, thermoelectric generator diharapkan dapat merubah energi panas buangan yang dihasilkan selama proses photovoltaic bekerja. sehingga tidak ada energi yang terbuang. Hasil dari pembacaan cahaya matahari yang datang diproses menjadi sinyal yang dikirimkan ke photovoltaic untuk dirubah menjadi energi listrik, dan memanfaatkan thermoelectric generator untuk mengkonversi panas yang dihasilkan dari proses kerja photovoltaic menjadi energi listrik kemudian sensor akan membaca daya, tegangan, arus dan suhu yang dihasilkan, data yang terbaca oleh sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diolah dan ditampilkan pada laptop. Metode ini juga diharapkan dapat menjadi metode yang dapat digunakan dan dikembangkan di kemudian hari untuk memperoleh energi listrik yang lebih besar dan lebih efisien.

2. Dasar Teori

2.1. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang sangat melimpah, selain lebih ramah lingkungan energi surya juga memancarkan cahaya yang cukup besar untuk bumi. Pancaran cahaya ini yang dimanfaatkan panel surya untuk dirubah menjadi energi listrik. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar, sekitar 4.8Kwh/m² atau 112.000GWp dan yang baru dimanfaatkan hanya sekitar 10MWp. Pemanfaatan energi matahari dilakukan dengan mengubah sinar matahari menjadi energi panas atau energi listrik untuk memenuhi kebutuhan manusia, pemanfaatan energi surya dilakukan dengan mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik. Dengan energi yang masih melimpah di Indonesia dan potensi besar yang dapat diberikan oleh pemanfaatan energi surya untuk menjadi sumber energi alternatif yang dapat dinikmati dan dimanfaatkan oleh setiap orang menjadi alasan mengapa pemanfaatan terhadap energi surya harus dimaksimalkan.

2.2. Photovoltaic

Photovoltaic adalah komponen semi konduktor yang mampu mengubah energi panas matahari yang memanfaatkan radiasi sinar matahari lalu mengkonversinya dari energi panas menjadi energi listrik. Ketika sinar matahari diterima oleh penampang photovoltaic sebagian cahaya akan dipantulkan lagi ke sekitar dan sebagian lagi akan di serap oleh photovoltaic lalu panas yang terserap akan dikonversi menjadi energi listrik. Besarnya konversi yang dihasilkan photovoltaic ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya besarnya intensitas radiasi, efisiensi photovoltaic itu sendiri, dan panjang gelombang.

Panel photovoltaic digunakan untuk pembangkit listrik yang memanfaatkan energi cahaya matahari, yang merupakan implementasi dari efek photovoltaic yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Daya yang dapat dihasilkan oleh panel photovoltaic selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi lingkungan disekitarnya.

2.3. Thermoelectric Generator

Thermoelectric generator merupakan modul termoelektrik yang bekerja berdasarkan efek seebeck yang dapat mengubah energi panas menjadi listrik secara langsung. Termoelektrik generator terdiri dari termokopel tipe-n (bahan dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (bahan dengan kekurangan elektron), dimana keduanya merupakan bahan semikonduktor. Termoelektrik generetor terdiri dari dua sisi yaitu satu sisi panas (T_h) dan satu sisi dingin (T_c). Pada sisi panas termoelektrik dengan temperatur yang lebih tinggi, akan menggerakkan elektron pada termokopel semikonduktor tipe N menuju sisi dingin dengan temperatur yang lebih rendah dan masuk ke termokopel tipe P melalui metal connection. Sehingga akan timbul arus listrik dari pergerakan elektron tersebut.

Saat photovoltaic menangkap energi cahaya matahari kemudian mengubahnya energi listrik, membuat sisi lain dari photovoltaic menjadi panas. Karena proses kerja tersebut peran dari TEG pada penelitian ini berfungsi untuk mengkonversi panas yang dihasilkan oleh photovoltaic menjadi energi listrik

2.4 Sistem Perpindahan Kalor

Sistem perpindahan panas atau heat transfer adalah sebuah proses perpindahan energi akibat adanya perbedaan temperatur. Perpindahan ini terjadi dari temperatur tinggi ke temperatur rendah hingga mencapai temperatur yang sama. Sistem perpindahan panas ini digolongkan menjadi tiga proses, yaitu:

1. Perpindahan Panas Koveksi

Perpindaan panas konveksi adalah perpindahan energi yang terjadi dari benda padat ke fluida yang bergerak disekitarnya. Semakin cepat pergerakan aliran fluida tersebut maka perpindahan panas konveksi akan semakin tinggi.

2. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi akibat perbedaan gradien temperatur dalam media yang diam. Selain itu, konduksi juga terjadi pada liquid dan gas yang saling bertabrakan dan penyebaran dari molekul selama pergerakan acak.

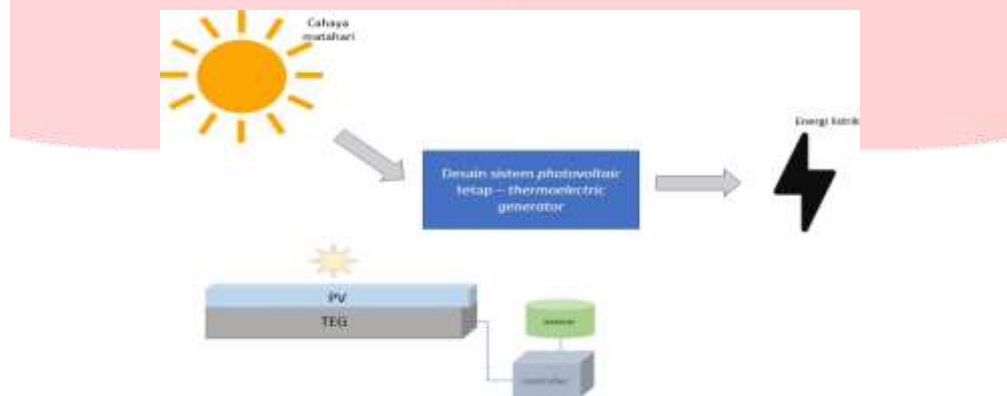
3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan energi panas yang terjadi pada antar benda. Radiasi berlangsung karena foton-foton yang dipancarkan melalui gelombang elektromagnetik dari satu permukaan ke permukaan lainnya. Suatu benda dapat memiliki pancaran energi radiasi yang intensitasnya tergantung pada temperatur dan sifat permukaannya masing-masing.

4. Pembahasan

4.1. Desain Sistem

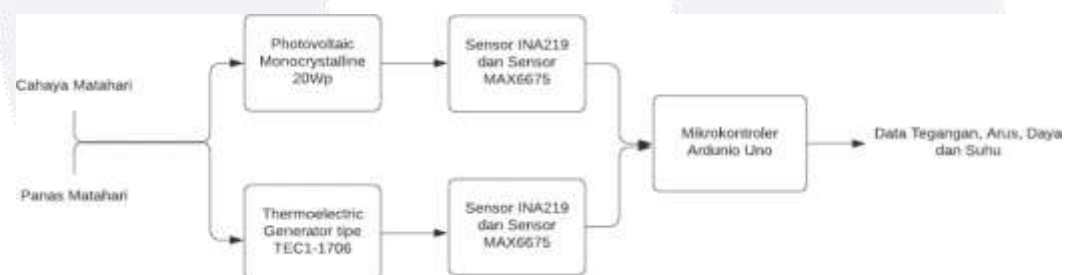
Pada Tugas Akhir ini akan dirancang suatu sistem yang dapat menghasilkan daya listrik dari input sumber energi bebas dari alam, berupa cahaya matahari, menggunakan PV dan TEG.



Gambar1 Desain Sistem

Pada Gambar 3.1 merupakan desain sistem pada tugas akhir ini, cahaya matahari akan dimanfaatkan sebagai sumber energi utama, kemudian thermoelectric generator akan di integrasikan pada sistem photovoltaic tetap, yang diharapkan dapat meningkatkan nilai output energi listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic. Bagian sisi belakang Photovoltaic akan dipasangkan thermoelectric generator untuk menyerap panas terbuang yang dihasilkan oleh PV selama bekerja untuk merubah cahaya matahari menjadi energi listrik, energi panas terbuang tersebut akan dimanfaatkan oleh TEG untuk dikonversi menjadi energi listrik, sehingga tidak ada energi yang terbuang.

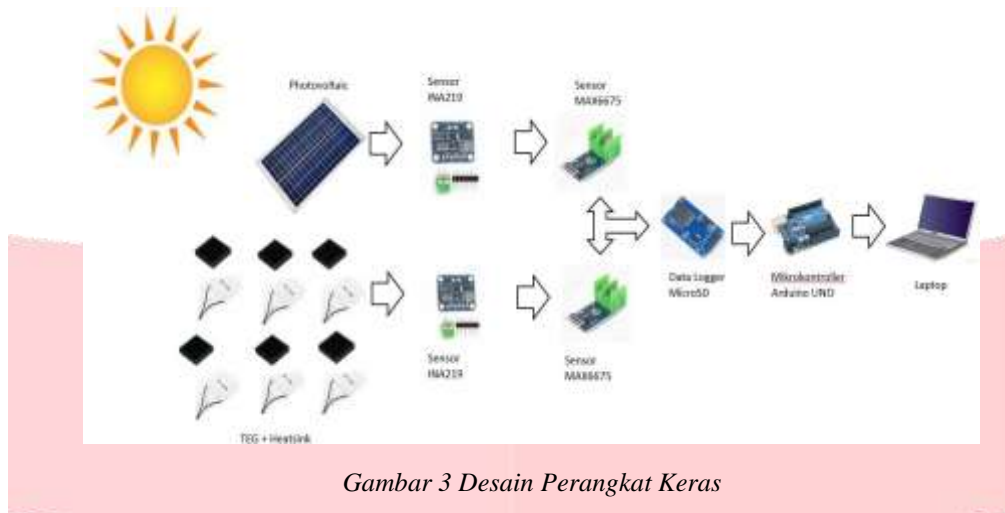
4.2. Diagram Blok Sistem



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Gambar 2 menjelaskan diagram blok pada sistem tugas akhir. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 sistem ini memanfaatkan cahaya dan panas matahari yang di gunakan oleh photovoltaic dan thermoelectric generator untuk menghasilkan energi listrik. Photovoltaic akan memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik dan thermoelectric generator memanfaatkan panas matahari yang dihasilkan selama proses photovoltaic bekerja untuk merubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Kemudian masing-masing PV dan TEG diberikan sensor tegangan INA219 dan sensor MAX6675 untuk membaca nilai tegangan, arus, daya dan suhu yang dihasilkan oleh PV dan TEG setelah nilai tegangan, arus, daya dan suhu tersebut diperoleh, kemudian dikirimkan ke mikrokontroler Arduino UNO untuk diolah untuk disajikan dalam bentuk data.

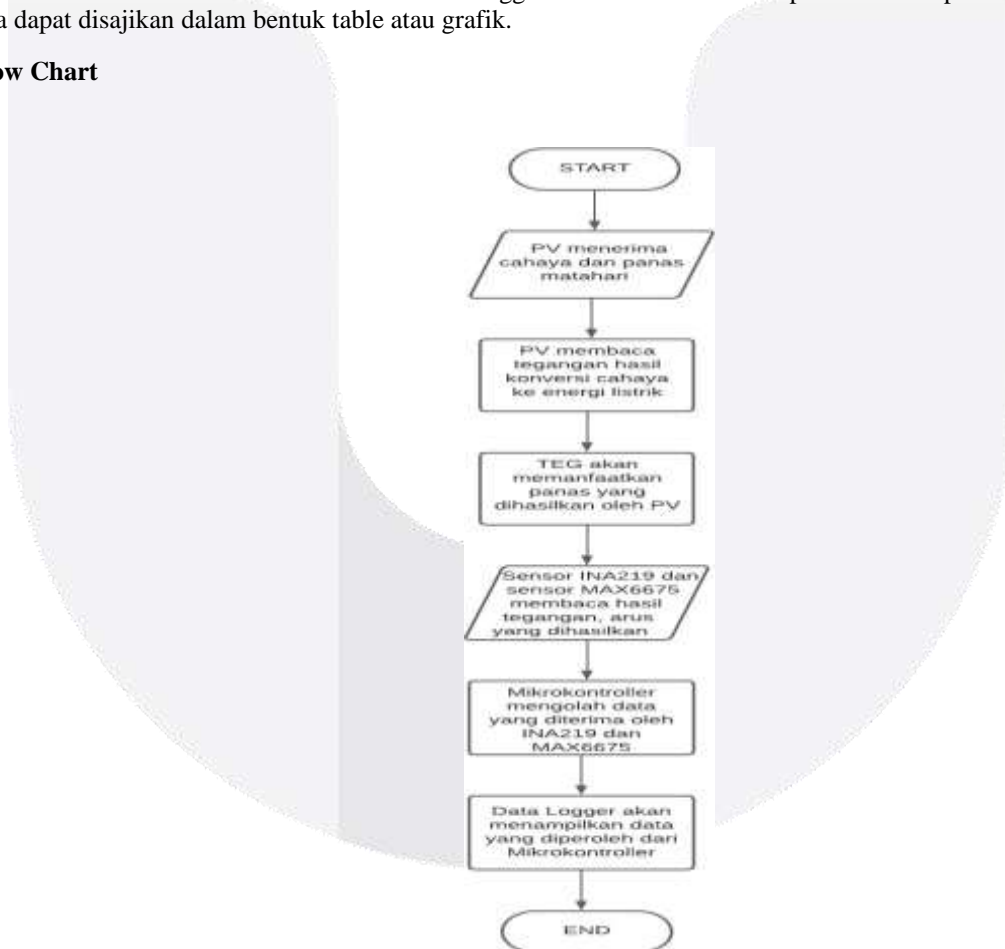
4.3. Desain Perangkat Keras



Gambar 3 Desain Perangkat Keras

Pada Gambar 3 menunjukkan desain perangkat keras sistem. photovoltaic akan memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Thermoelectric generator dipasangkan dibagian belakang photovoltaic untuk memanfaatkan panas matahari yang diterima oleh photovoltaic sebagai nilai suhu sisi panas dan suhu sisi dingin diberikan heatsink dari perbedaan suhu itu akan diperoleh nilai delta T sebagai sumber energi untuk dikonversi menjadi energi listrik. Kemudian sensor tegangan INA219 akan membaca nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh PV dan TEG, sensor suhu MAX6675 akan membaca suhu sisi panas pada bagian belakang PV dan suhu sisi dingin pada TEG yang diberikan heatsink. Setelah sensor INA219 dan sensor MAX6675 membaca nilai tegangan, arus, daya dan suhu data tersebut dikirimkan ke mikrokontroler Arduino UNO untuk diolah lalu dikirimkan ke data logger microSD untuk disimpan dan ditampilkan di laptop agar data dapat disajikan dalam bentuk table atau grafik.

4.4. Flow Chart



Gambar 4 Diagram Alir Sistem

Pada Gambar 4 menunjukkan flow chart sistem. Pengujian dimulai memanfaatkan panas matahari di rentan waktu 09.00 – 15.00 WIB. Sinar tersebut diterima oleh photovoltaic lalu mengkonversinya menjadi energi listrik, disaat yang bersamaan TEG dan heatsink menerima panas dari proses kerja photovoltaic sebagai sumber energi listrik. Perubahan suhu yang terjadi akan dibaca oleh sensor MAX6675 dan hasil tegangan, arus dan daya yang di hasilkan dari photovoltaic, fresnel dan TEG akan dibaca oleh sensor INA219, kemudian data tersebut diproses Arduino untuk mempermudah membaca hasil yang didapatkan.

5. Hasil pengujian dan analisis

5.1. Pengujian Suhu Delta T

Pada Tabel 1 menjelaskan nilai perubahan delta T yang didapat dari perbedaan suhu sisi panas pada thermoelectric generator dengan suhu sisi dingin thermoelectric generator setiap jamnya terhadap nilai tegangan yang dihasilkan oleh TEG. Nilai rata-rata suhu delta T yang tercatat sebesar 8,74°C sedangkan suhu delta T yang paling tinggi tercatat sebesar 26,5°C dan untuk nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh TEG sebesar 0,44 V dengan nilai tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 1,53 V. Semakin siang nilai tegangan yang dihasilkan oleh TEG semakin mengecil karena suhu saat sisi panas TEG meningkat suhu sisi dingin juga ikut meningkat, hal ini disebabkan karena pendingin yang di pasang pada TEG tidak cukup kuat untuk menahan sisi panas yang terjadi mengakibatkan nilai delta T semakin kecil, jika nilai delta T semakin kecil maka output tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil.

Tabel 1. Hasil pengujian nilai Delta T

Waktu	Suhu (°C)		Delta T
	Dingin	Panas	
09:00	37,75	42,75	5
09:05	42,75	49,75	7
09:10	48	58	10
09:15	53,75	60,75	7
09:20	54,25	58	3,75
09:25	52,75	62,25	9,5
09:30	52,25	63,5	11,25
09:35	48	55	7
09:40	44,5	47,75	3,25
09:45	42	42,5	0,5
09:50	41,5	41,25	-0,25
09:55	39,5	38,75	-0,75
10:00	36,5	37,25	0,75
10:05	42,75	46,25	3,5
10:10	52,75	50,25	-2,5
10:15	49,75	63,25	13,5
10:20	43	66	23
10:25	44	57,5	13,5
10:30	37,5	47	9,5
10:35	38,25	39	0,75
10:40	38,5	45,25	6,75
10:45	42,25	53,75	11,5
10:50	40,25	53	12,75
10:55	39	49,75	10,75
11:00	37	45	8
11:05	42,25	53,75	11,5
11:10	40,25	53	12,75
11:15	39	49,75	10,75
11:20	37	45	8
11:25	39	67	28
11:30	42	75,75	33,75
11:35	47,25	79,75	32,5
11:40	46,25	70,5	24,25
11:45	46,25	70	23,75
11:50	44	65	21
11:55	40,5	50,75	10,25

12:00	40,5	46	5,5
12:05	36	42,25	6,25
12:10	39	47,75	8,75
12:15	35,5	40,5	5
12:20	32,75	35,75	3
12:25	31,5	32,5	1
12:30	31	32,25	1,25
12:35	29,75	32	2,25
12:40	30,5	31,75	1,25
12:45	30,5	32,5	2
12:50	30,75	32,5	1,75
12:55	31	33	2
13:00	32,5	35,75	3,25
Rata-rata	40,68367	49,55612	8,872449
Max	54,25	79,75	33,75

5.2 Hasil Pengujian Nilai Tegangan, Arus dan Daya Photovoltaic

Pada Tabel 2 menjelaskan nilai tegangan, arus dan daya yang dapat dihasilkan oleh photovoltaic pada system ini. Dari hasil pengujian nilai tegangan rata-rata yang dapat dihasilkan oleh photovoltaic sebesar 25,99 V dengan tegangan maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 45,99 V. Sedangkan untuk nilai rata-rata arus yang dihasilkan *photovoltaic* sebesar 145,92 mA dengan arus maksimal yang dihasilkan sebesar 248,3 mA, kemudian untuk daya yang dapat dihasilkan memiliki nilai rata-rata sebesar 3,74 W dan daya maksimal yang mampu dihasilkan *photovoltaic* sebesar 9,92 W.

Tabel 2. Hasil pengujian nilai PV

Waktu	Photovoltaic		
	Tegangan	Arus	Daya
09:00	1,99	90,9	0,180891
09:05	2,99	71,7	0,214383
09:10	3,99	104,1	0,415359
09:15	4,99	100,7	0,502493
09:20	5,99	100,7	0,603193
09:25	6,99	75,6	0,528444
09:30	7,99	191,3	1,528487
09:35	8,99	188,4	1,693716
09:40	9,99	117,3	1,171827
09:45	10,99	224,1	2,462859
09:50	11,99	232,7	2,790073
09:55	12,99	215,6	2,800644
10:00	13,99	215	3,00785
10:05	14,99	225,3	3,377247
10:10	15,99	222,4	3,556176
10:15	16,99	65,4	1,111146
10:20	17,99	60,6	1,090194
10:25	18,99	70,5	1,338795
10:30	19,99	209,3	4,183907
10:35	20,99	115,3	2,420147
10:40	21,99	210,7	4,633293

10:45	22,99	238	5,47162
10:50	23,99	241,9	5,803181
10:55	24,99	223,7	5,590263
11:00	25,99	168,9	4,389711
11:05	26,99	222,8	6,013372
11:10	27,99	244	6,82956
11:15	28,99	88,6	2,568514
11:20	29,99	248,3	7,446517
11:25	30,99	75,6	2,342844
11:30	31,99	56,8	1,817032
11:35	32,99	39,5	1,303105
11:40	33,99	74,6	2,535654
11:45	34,99	75,6	2,645244
11:50	35,99	56,8	2,044232
11:55	36,99	39,5	1,461105
12:00	37,99	74,6	2,834054
12:05	38,99	120,7	4,706093
12:10	39,99	238,7	9,545613
12:15	40,99	200,4	8,214396
12:20	41,99	192,3	8,074677
12:25	42,99	121,5	5,223285
12:30	43,99	158,7	6,981213
12:35	44,99	195,9	8,813541
12:40	45,99	70,1	3,223899
12:45	46,99	101,2	4,755388
12:50	47,99	132,6	6,363474
12:55	48,99	202,6	9,925374
13:00	49,99	138,4	6,918616
Rata-rata	25,99	145,9163	3,7439327
Max	49,99	248,3	9,925374

5.3 Hasil Pengujian Nilai Tegangan, Arus dan Daya TEG

Pada Tabel 3 menjelaskan nilai output tegangan, arus dan daya yang dihasilkan pada *thermoelectric generator*. Selama pengujian TEG mampu menghasilkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0.16 V dengan nilai tegangan maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 1,53 V. Untuk arus yang dapat dihasilkan oleh TEG memiliki nilai rata-rata sebesar 0,29 mAmp dan arus maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 1 mAmp, sedangkan untuk daya yang mampu dihasilkan TEG memiliki nilai rata-rata sebesar 0,00017 W dengan nilai daya maksimal sebesar 0,00122 W.

Tabel 3. Hasil pengujian nilai TEG

Waktu	TEG		
	Tegangan	Arus	Daya
09:00	0,52	1	0,00052
09:05	1,42	0,6	0,000852
09:10	1,46	0,5	0,00073
09:15	1,53	0,8	0,001224
09:20	1,45	0,4	0,00058
09:25	1,07	0,1	0,000107

09:30	1,02	0,5	0,00051
09:35	0,69	0,4	0,000276
09:40	0,76	0,7	0,000532
09:45	0,64	0,3	0,000192
09:50	1,14	0,4	0,000456
09:55	1,11	0,6	0,000666
10:00	1	0,3	0,0003
10:05	0,94	0,2	0,000188
10:10	1,01	0,3	0,000303
10:15	0,73	0	0
10:20	0	0,3	0
10:25	0,11	0,3	0,000033
10:30	0,41	0,3	0,000123
10:35	0,47	0,3	0,000141
10:40	0,28	0	0
10:45	0,3	0,5	0,00015
10:50	0,27	0,3	0,000081
10:55	0,18	0,3	0,000054
11:00	0,15	0	0
11:05	0,15	0,4	0,00006
11:10	0,17	0,5	0,000085
11:15	0,14	0,2	0,000028
11:20	0,14	0,2	0,000028
11:25	0,11	0	0
11:30	0,06	0,5	0,00003
11:35	0,07	0,4	0,000028
11:40	0,1	0,3	0,00003
11:45	0,13	0	0
11:50	0,15	0,5	0,000075
11:55	0,17	0,4	0,000068
12:00	0,11	0,3	0,000033
12:05	0,11	0	0
12:10	0,14	0	0
12:15	0,14	0	0
12:20	0,14	0	0
12:25	0,07	0	0
12:30	0,12	0,2	0,000024
12:35	0,15	0	0
12:40	0,22	0	0
12:45	0,18	0,5	0,00009
12:50	0,17	0,5	0,000085
12:55	0,17	0	0
13:00	0,16	0,3	0,000048
Rata-rata	0,447551	0,297959	0,000178
Max	1,53	1	0,001224

5.4 Hasil Pengujian Nilai Total Photovoltaic – Thermoelectric Generator

Pada Tabel 4 menjelaskan nilai output tegangan, arus dan daya yang dapat dihasilkan Sistem PV – TEG. Nilai tersebut diperoleh dari penjumlahan masing-masing nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh PV dan TEG. Dari hasil tersebut maka dapat diperoleh nilai output total yang dapat dihasilkan pada sistem PV – TEG mulai dari pukul 09.00 – 13.00, dengan nilai tegangan total memiliki rata-rata sebesar 26,43 V dan nilai tegangan maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 50,15 V. Untuk nilai total arus yang dapat dihasilkan oleh sistem PV – TEG memiliki nilai rata-rata arus sebesar 146,21 mAmp dan nilai total arus maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 248,5 mAmp. Sedangkan untuk daya yang dapat dihasilkan oleh sistem PV – TEG memiliki nilai rata-rata sebesar 3,74 W dengan nilai daya maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 9,92 W.

Tabel 4. Hasil pengujian nilai total PV - TEG

Waktu	Nilai Total PV-TEG		
	Tegangan	Arus	Daya
09:00	2,51	91,9	0,181411
09:05	4,41	72,3	0,215235
09:10	5,45	104,6	0,416089
09:15	6,52	101,5	0,503717
09:20	7,44	101,1	0,603773
09:25	8,06	75,7	0,528551
09:30	9,01	191,8	1,528997
09:35	9,68	188,8	1,693992
09:40	10,75	118	1,172359
09:45	11,63	224,4	2,463051
09:50	13,13	233,1	2,790529
09:55	14,1	216,2	2,80131
10:00	14,99	215,3	3,00815
10:05	15,93	225,5	3,377435
10:10	17	222,7	3,556479
10:15	17,72	65,4	1,111146
10:20	17,99	60,9	1,090194
10:25	19,1	70,8	1,338828
10:30	20,4	209,6	4,18403
10:35	21,46	115,6	2,420288
10:40	22,27	210,7	4,633293
10:45	23,29	238,5	5,47177
10:50	24,26	242,2	5,803262
10:55	25,17	224	5,590317
11:00	26,14	168,9	4,389711
11:05	27,14	223,2	6,013432
11:10	28,16	244,5	6,829645
11:15	29,13	88,8	2,568542
11:20	30,13	248,5	7,446545
11:25	31,1	75,6	2,342844
11:30	32,05	57,3	1,817062
11:35	33,06	39,9	1,303133
11:40	34,09	74,9	2,535684
11:45	35,12	75,6	2,645244
11:50	36,14	57,3	2,044307
11:55	37,16	39,9	1,461173
12:00	38,1	74,9	2,834087

12:05	39,1	120,7	4,706093
12:10	40,13	238,7	9,545613
12:15	41,13	200,4	8,214396
12:20	42,13	192,3	8,074677
12:25	43,06	121,5	5,223285
12:30	44,11	158,9	6,981237
12:35	45,14	195,9	8,813541
12:40	46,21	70,1	3,223899
12:45	47,17	101,7	4,755478
12:50	48,16	133,1	6,363559
12:55	49,16	202,6	9,925374
13:00	50,15	138,7	6,918664
Rata-rata	26,43755	146,2143	3,7441108
Max	50,15	248,5	9,925374

Kesimpulan dan Saran

6. Kesimpulan

Dari hasil data pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa system hybrid photovoltaic thermoelectric generator sudah menunjukkan konsep ide dari system. Dimana photovoltaic berhasil bekerja sesuai dengan seharusnya untuk mengubah energi matahari menjadi energi panas dan thermoelectric generator mampu mengubah energi panas buangan yang terdapat pada belakang photovoltaic menjadi energi listrik. Selain itu, dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai output maksimal yang dihasilkan photovoltaic adalah tegangan sebesar 45,99V arus 248,3 mAmp dan daya sebesar 9,92 W.
2. Penambahan thermoelectric generator pada sistem photovoltaic tetap dapat menambah nilai keluaran, dengan total nilai maksimal tegangan 50,15 V, total nilai maksimal arus 248,5 mAmp dan total nilai maksimal daya 9,92 W.

7. Saran

Berikut adalah saran dari penulis, agar metode penelitian ini dapat lebih berkembang dan dapat dimanfaatkan lebih baik lagi di lain hari.

1. Cuaca dan pemilihan tempat menjadi salah satu faktor penting dalam penelitian ini. Dengan cuaca yang cerah/panas dan pemilihan tempat pengujian yang terbuka, akan membantu untuk mendapatkan nilai tegangan, arus dan daya yang lebih besar
2. Pemilihan komponen yang tepat untuk digunakan selama pengujian akan membantu dalam efisiensi kerja.
3. Penelitian selanjutnya agar dapat menggunakan motor single axle atau dua axle untuk memperoleh energi matahari yang maksimal.

REFERENSI

1. M.R. Ariffin, S. Shafie, W. Z. W. Hassan, N. Azis and M. E. Ya'acob, Conceptual design of hybrid photovoltaic-thermoelectric generator (PV/TEG) for Automated Greenhouse system, 2017 IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCORED), Putrajaya, 2017. (doi: 10.1109/SCORED.2017.8305373).
2. Narducci, Dario, et.al. Book section: Hybrid Photovoltaic– Thermoelectric Generators: Materials Issues BT - Hybrid and Fully Thermoelectric Solar Harvesting. Springer International Publishing. 2018. p103-116
3. Sahin, Ahmet Z.et.al. «A review on the performance of photovoltaic/thermoelectric hybrid generators. Int J Energy Res. 2020. (<https://doi.org/10.1002/er.5139>)
4. E.A. Chávez-Urbiola, Yu.V. Vorobiev, L.P. Bulat, Solar hybrid systems with thermoelectric generators, J. Solar Energy, 86 (1), 2012. (<https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.10.020>)
5. Asy'ari, Hasyim dkk. 2012. "Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya" (<https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/bitstream/handle/11617/3930/E08.pdf?sequence=1&isAllowed=y> , diakses pada 12 Agustus 2021 pukul 21.27)
6. Yandi, Welly dkk. 2021. "Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang" dalam Jurnal ECOTIPE Volume 8 (hlm. 47-52). Pangkalpinang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung.

(<http://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034>).

