

Uji Eksperimen Konfigurasi Lup pada Termoelektrik Generator Tipe TEG SP1848-27145 SA untuk Alat Penerangan Jalan

Vera Pangni Fahriani^{1*}, Muhamad Sahril², Reza Setiawan², Suciani Rahma Pertiwi³

^{1*}Program Studi Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

* Email: vera.pangni@ft.unsika.ac.id

Abstract

The progress of the times makes the need for electrical energy increases. Various attempts have been made to find renewable energy sources, one of them by using micro-power plants that use energy from the sun. Utilization of heat energy as an electric energy generator can be done by using thermoelectric element generator (TEG). This research studied the characteristics and performance of thermoelectric generators as power plant. This study used 8 thermoelectric pieces and 12 thermoelectric pieces and also uses a magnifying glass to collect sunlight toward a flat plate. The frequency of data collection was carried out three times in each test with a data collection error of approximately 5%. The results of this research show that 12 thermoelectric generator modules made in series using a loop could produce an output voltage of 1.54 V with a different temperature (ΔT) of 25 °C. The amount obtained was 0.437 W.

Keywords: Thermoelectric generator, Magnifying glass, Sunlight, Street lighting

Abstrak

Majunya perkembangan zaman membuat kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mencari sumber energi listrik terbarukan, salah satunya dengan pembangkit energi listrik kapasitas mikro yang memanfaatkan energi panas dari cahaya matahari. Pemanfaatan energi panas sebagai pembangkit energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan elemen Termo Eleketrik Generator (TEG). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja dari termoelektrik generator sebagai pembangkit listrik. Penelitian ini menggunakan 8 buah termoelektrik dan 12 buah termoelektrik tipe TEG SP1848-27145 SA serta menggunakan lup (lensa kaca pembesar) untuk mengumpulkan sinar matahari ke arah plat sehingga terdapat titik fokus yang dapat meningkatkan suhu pada plat yang langsung mengenai sisi panas dari elemen termoelektrik. Frekuensi pengambilan data dilakukan tiga kali pada setiap pengujian dengan eror pengambilan data kurang lebih 5%. Hasil riset ini menunjukkan bahwa dengan 12 buah modul termoelektrik generator yang disusun secara seri serta dengan menggunakan lup, dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 1,54 V dengan perbedaan temperatur (ΔT) sebesar 25°C. Sehingga diperoleh besaran daya sebesar 0,437 W.

Kata kunci: Termoelektrik generator, Lensa pembesar, Cahaya matahari, Penerangan jalan

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, seperti tenaga air (termasuk *mini hydro*), panas bumi, biomasa, angin dan surya (matahari) yang bersih dan ramah lingkungan, tetapi pemanfaatannya belum optimal. Potensi pembangkitan energi tenaga surya dinilai paling potensial untuk daerah Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa karena intensitas radiasi sinar matahari sangat besar yang diterima oleh bumi. *World Radiation Center (WRC)* mengambil nilai konstanta matahari sebesar 1.367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8 \text{ km}$ dan $1,52 \times 10^8 \text{ km}$ dan hasilnya besar pancaran naik turun antara 1.325 W/m^2 sampai 1.412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$. Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1.000 W/m^2 di permukaan bumi [1].

Panas radiasi dari cahaya matahari dapat ditingkatkan dengan menggunakan lup. Lup atau kaca pembesar adalah sebuah lensa cembung yang mempunyai titik fokus yang dekat dengan lensanya. Penggunaan lup untuk mengkonsentrasikan cahaya matahari sehingga membuat cahaya matahari menjadi lebih panas. Termoelektrik Generator (TEG) merupakan sebuah perangkat *solid state* yang melakukan konversi energi langsung dari energi panas karena perbedaan suhu menjadi energi listrik berdasarkan efek *seebeck*. Siklus listrik termoelektrik, dengan pembawa (elektron) yang berfungsi seolah-olah sebagai fluida kerja, mengikuti hukum dasar termodinamika yang kedua [2].

Struktur TEG yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur. Suhu maksimal pada sisi dingin TEG maksimal dapat menerima temperatur $350 \text{ }^\circ\text{C}$ (bahan semikonduktor

bismuth telluride), sedangkan TEG pada sisi panas maksimal 1000°C (bahan semikonduktor *silicon germanium*) [3].

Pemanfaatan TEG sebagai pengkonversi panas telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Pembuatan termoelektrik generator mini menggunakan sumber panas kondensator AC. Berdasarkan hasil percobaan, dengan suhu rata-rata $34 \text{ }^\circ\text{C}$, dihasilkan tegangan $3,14 \text{ V}$ dan daya sebesar $0,16 \text{ W}$ [4]. Pemanfaatan perbedaan panas permukaan kenalpot dengan temperatur lingkungan menggunakan termoelektrik [5]. Pembuatan kotak pendingin menggunakan termoelektrik TEC1-12706. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran massa air pendingin kurang berpengaruh terhadap unjuk kerja kotak pendingin [6].

Eksperimental dari lima TEG yang disusun secara seri dan di paralel dengan lima TEG pada media pembelajaran. Data hasil percobaan bahwa media ajar TEG dapat menghasilkan tegangan $9,20 \text{ V}$ pada kondisi fluida panas pada temperatur $64 \text{ }^\circ\text{C}$ dan fluida dingin pada temperatur $11 \text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan perbedaan temperatur $53 \text{ }^\circ\text{C}$ [7]. Pemanfaatan termoelektrik untuk pendingin pada alat transportasi ikan segar. Hasil penelitiannya menunjukkan semakin besar tegangan yang diberikan pada sistem pendingin maka suhu ruang peti insulasi semakin rendah [8].

Ide yang dimunculkan pembuatan pembangkit energi listrik alternatif dengan model sistem *hybrid* termoelektrik dengan panel sel surya mini dapat diterapkan hasil produknya ke wilayah khususnya pedesaan, gunung, pulau dan daerah terpencil untuk pemenuhan kebutuhan lampu penerangan rumah tangga, dengan menggunakan sumber energi terbarukan yang melimpah seperti tempurung kelapa, sabuk kelapa, tongkol jagung, cangkang kemiri, yang merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas [9].

Panas *jet engine* pesawat dapat dimanfaatkan menggunakan termoelektrik generator. Desain sistem dilakukan menggunakan *software* simulasi. Ketika dieksplorasi TEG pada permukaan nozel,

keluaran tenaga mencapai 1,65 kW per mesin [10]. Penerangan didefinisikan sebagai jumlah cahaya yang jatuh pada sebuah bidang permukaan. Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja, dengan bidang kerja yang dimaksud adalah sebuah bidang horizontal *imaginer* yang terletak setinggi 0,75 m di atas lantai pada seluruh ruangan [11].

Lampu penerangan jalan adalah bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat dipasang di sisi jalan dan atau di tengah (di bagian *median* jalan) untuk menerangi jalan maupun lingkungan di sekitar jalan (Departemen PU) [12]. Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) memiliki peranan sangat penting di jalan-jalan. LPJU berfungsi menghasilkan kontras antara obyek dan permukaan jalan, sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan, meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan (khususnya pada malam hari), mendukung keamanan lingkungan dan memberikan keindahan lingkungan jalan [13].

LPJU di seluruh Indonesia berjumlah 225.249 unit yang mengonsumsi energi listrik yang sangat besar yakni 3.503,47 GWh/tahun sehingga menggunakan anggaran yang cukup besar. LPJU juga menghasilkan gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global karena sumber energinya berasal dari listrik PLN. Besarnya pencemaran yang dihasilkan mencapai 0,851 kg CO₂/kWh [14]. Bali contohnya menyumbang emisi CO₂ ke udara sebesar 2,98 juta ton dan 58,98 ribu ton per tahun. Pusat Litbang Teknologi Ketenagalistrikan dan Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (EBTKE – KESDM) melakukan studi bahwa penerapan teknologi penerangan jalan yang efisien dapat menghemat 30-70 % konsumsi energi [15].

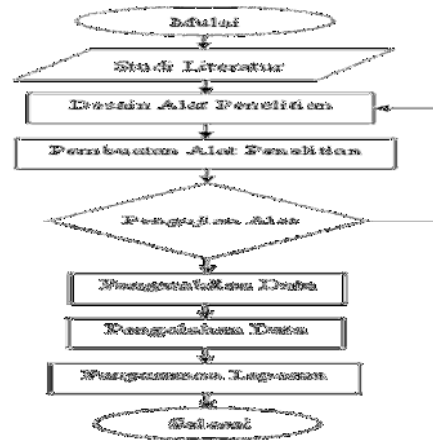
Pemerintah berkomitmen untuk mengurangi efek gas rumah kaca 26 % melalui upaya Indonesia dan 41 % melalui dukungan internasional [16]. Tenaga surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan berpotensi besar

untuk menjadi solusi penerangan jalan dan telah banyak digunakan sebagai catu daya pada berbagai aplikasi industri rumah tangga. Keuntungan dari energi surya antara lain ketersediaannya yang kesinambungan (*sustainability*), bersih tanpa polusi, kemudahan perawatan dan tanpa kebisingan sama sekali [17]. Pemanfaatan tenaga surya ditargetkan mencapai 23 % dalam bauran penggunaan energi nasional di tahun 2025 [18]. Namun solar sel yang dimanfaatkan masih memiliki banyak kelemahan yakni biaya investasi panel surya dan baterai penyimpan yang masih tinggi dan efisiensi yang masih relatif rendah.

Penggunaan aplikasi TEG telah banyak dilakukan namun dari berbagai penelitian belum adanya percobaan yang dilakukan menggunakan metode konsentrator lup. Lup digunakan sebagai media konsentrator cahaya sehingga panas dapat fokus dan terkumpul pada titik-titik TEG. Fokus panas yang diciptakan dapat membuat perbedaan temperatur TEG berubah signifikan dan *output* listrik menjadi lebih besar.

2. Metoda Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Eksperimen terhadap penggunaan lup pada TEG dilakukan pada beberapa kombinasi jumlah TEG, susunan TEG, ukuran lup dan jarak antara TEG dan lup. Alur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan dan Pengujian Alat

Tabel 1. Variabel Penelitian

Jumlah Peltier	Jumlah Lup (Ø100 mm)	Jumlah Lup (Ø60 mm)	Jarak (mm)
12	-	-	-
12	4	-	200
12	4	-	300
12	4	-	350
12	-	8	200
12	-	8	300
12	-	8	350
8	-	-	-
8	4	-	200
8	4	-	300
8	4	-	350
8	-	8	200
8	-	8	300
8	-	8	350

Tabel 1 menunjukkan variabel yang diteliti. Penggunaan peltier 8 dan 12 buah untuk perbandingan eksperimen pada alat penerangan jalan ini, manakah yang paling potensial dan paling baik. Lup dengan ukuran Ø100 mm 4 buah dan lup dengan ukuran Ø60 mm 8 buah untuk menaikan suhu dari panas matahari langsung. Serta jarak titik fokus antara lup ke peltier adalah 300 mm maka dalam penelitian ini mencoba jarak antara lup ke peltier sejauh 200 mm, 300 mm dan 350 mm sebagai perbandingan manakah yang lebih potensial.

Pada studi potensi ini, dibutuhkan alat bantu untuk dapat mengukur dan mengetahui besar nilai dari variabel-variabel yang digunakan sebagai bahan analisa hasil data potensi yang diperoleh di lokasi penelitian. Alat bantu tersebut berupa Termoelektrik Generator (TEG SP1848-27145 SA) yang disusun sedemikian rupa sehingga menjadi sebuah alat yang terhubung dengan panel indikator sebagai petunjuk hasil keluaran energi listrik yang dihasilkan dari proses konversi energi panas.

Tabel 2. Hasil Pengujian Beberapa Sistem Rangkaian dan Jumlah TEG Pada Pukul 13.00 WIB

Sisitem Pendingin	Jumlah Modul TEG	Rangkaian	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	V (V)
Heatsink	12	Seri	41,5	34,2	0,62
		Paralel	41,2	34,5	0,05
	8	Seri	41,6	34,6	0,35
		Paralel	41,5	34,5	0,04

Sebelum melakukan pengambilan data di lokasi penelitian, terlebih dahulu dilakukan percobaan untuk menguji alat bantu yang hendak digunakan. Percobaan ini sebagai penentu penggunaan sistem rangkaian TEG dan jumlah TEG yang digunakan, sehingga konversi energi yang berlangsung dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Dalam percobaan ini menggunakan beberapa rangkaian yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel, serta mencoba 12 buah TEG dan 8 buah TEG menggunakan pendingin pada sisi dingin TEG yaitu *heatsink* saja. Tabel 2. menunjukkan hasil pengujian kemampuan beberapa sistem yang telah disebutkan.

Pada tabel 2. menunjukkan karakteristik dari masing-masing variabel pengujian alat bantu. Ketika menggunakan 12 TEG pada rangkaian seri tanpa menggunakan lup, hasil konversi energi yang terjadi pada TEG terlihat cukup besar yaitu 0,62 V. Kesetabilan energi yang dihasilkan oleh alat bantu (TEG) ini tidak berlangsung lama sampai ketika suhu panas mulai menurun akibat faktor cuaca dan lingkungan, maka penurunan keluaran energi TEG juga ikut menurun. Saat diamati pada kondisi tersebut setiap terjadi penurunan suhu dari panas matahari yang terserap oleh sisi panas TEG sebesar 0,1 °C selalu dibarengi dengan penurunan tegangan keluaran TEG sebesar 0,001 V.

Berdasarkan hasil pengamatan itu, dapat dianalisa bahwasannya semakin tinggi suhu dari panas matahari yang akan dikonversi TEG maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan oleh TEG tersebut, dengan catatan perbedaan suhu kedua sisi panas dan sisi dingin TEG terjaga. Jika suhu dari panas energi matahari semakin rendah maka semakin rendah juga energi listrik yang dapat dihasilkan oleh TEG tersebut.

Setelah alat bantu pengambilan data penelitian selesai diuji coba, dan tidak terdapat kesalahan ataupun gangguan pada alat tersebut saat digunakan maka selanjutnya dapat dilakukan pengambilan data secara langsung di lokasi penelitian. Kesalahan ataupun gangguan ini dapat diketahui dengan

berlandaskan pada penelitian sebelumnya. Diantara indikasi kesalahan ataupun gangguan yang terjadi ketika uji coba pengambilan data TEG yaitu energi listrik yang dihasilkan berada pada tingkat terlalu rendah dibandingkan dengan hasil dari penelitian sebelumnya, alat ukur sebagai pemantau keluaran energi TEG belum berjalan sempurna, serta beberapa kesalahan pada proses manufaktur yang membutuhkan penyempurnaan dan penyesuaian dengan kondisi lingkungan di lokasi penelitian demi mendapatkan hasil yang optimal.

Pada tahap perencanaan, pengambilan data dilakukan selama 1 bulan (seminggu pengujian dilakukan 3 kali) di Kabupaten Karawang. Dengan menggunakan 12 buah TEG dan 8 buah TEG di rangkai secara seri untuk mendapatkan tingkat tegangan yang maksimal serta melakukan beberapa konfigurasi pada lup dengan ukuran 100 mm dan 60 mm. Pengujian alat ini dilakukan dengan beberapa variasi, antara lain:

1. Menggunakan 12 modul termoelektrik dirangkai seri dan 4 lup ukuran 100 mm dengan konfigurasi jarak.
2. Menggunakan 12 modul termoelektrik dirangkai seri dan 8 lup ukuran 60 mm dengan konfigurasi jarak.
3. Menggunakan 8 modul termoelektrik dirangkai seri dan 4 lup ukuran 100 mm dengan konfigurasi jarak.
4. Menggunakan 8 modul termoelektrik dirangkai seri dan 8 lup ukuran 60 mm dengan konfigurasi jarak.

3. Hasil Penelitian

Data hasil pengujian 12 modul termoelektrik tipe SP1848-27145 SA menggunakan rangkaian seri dan 4 lup dengan ukuran 100 mm. Data hasil pengujian 12 modul termoelektrik tipe SP1848-27145 SA menggunakan rangkaian seri dan 8 lup dengan ukuran 60 mm. Data hasil pengujian 8 modul termoelektrik tipe SP1848-27145 SA menggunakan rangkaian seri dan 4 lup dengan ukuran 100 mm. Data hasil pengujian 8 modul termoelektrik tipe SP1848-27145 SA menggunakan rangkaian seri dan 8 lup dengan ukuran 60 mm. Dari hasil pengujian berbagai variabel penelitian didapatkan data sebagai berikut.

Penelitian aplikasi TEG yang dilakukan sebelumnya diantaranya pemanfaatan panas buang kondensor AC yang dikonversi menjadi listrik [4], pemanfaatan panas kapalot kendaraan yang dikonversi menjadi listrik [5], dan digunakan sebagai pendinginan [6]. Namun belum adanya percobaan yang menggunakan konsentrator lup. Lup dapat memfokuskan cahaya sehingga didapatkan energi panas yang besar untuk dikonversi menjadi listrik pada TEG. Selain penggunaan lup, rekayasa rangkaian dan jumlah TEG juga memberikan peran mengungkap potensi untuk memaksimalkan konversi energi melalui TEG. Hasil pengujian dijelaskan pada tabel dan grafik berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian 12 TEG 4 Lup 100 mm Rangkaian Seri pada Pukul 13.00 WIB

Waktu	Modul TEG	Jumlah Lup (Diameter Lup (mm))	Jarak Lup (mm)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (W)	
Minggu ke-1	Hari ke-1	12	4 (Ø100)	Tanpa Lup	41,7	34,5	7,2	0,59	0,081	0,048
				200	47,2	35,0	12,2	0,83	0,137	0,113
				300	63,4	39,1	24,3	1,41	0,273	0,384
				350	54,0	36,8	17,2	1,10	0,193	0,212
	Hari ke-2	12	4 (Ø100)	Tanpa Lup	42,0	34,6	7,4	0,60	0,083	0,050
				200	47,8	35,1	12,7	0,88	0,143	0,126
				300	64,5	39,3	25,2	1,54	0,284	0,437

				350	55,2	37,0	18,2	1,11	0,205	0,227
				Tanpa Lup	41,8	34,5	7,3	0,57	0,082	0,047
	Hari ke-3	12	4 (Ø100)	200	46,8	35,0	11,8	0,85	0,133	0,113
				300	63,5	38,9	24,6	1,45	0,277	0,401
				350	54,2	37,0	17,2	1,08	0,194	0,209

Tabel 4. Hasil Pengujian 8 TEG 4 Lup 100 mm Rangkaian Seri pada Pukul 13.00 WIB

Waktu	Modul TEG	Jumlah Lup (Diameter Lup (mm))	Jarak Lup (mm)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (W)	
			Tanpa Lup	41,2	34,0	7,2	0,56	0,081	0,045	
	Hari ke-1	12	8 (Ø 60mm)	200 mm	44,5	34,5	10,5	0,80	0,118	0,094
				300 mm	59,8	38,6	21,2	1,35	0,238	0,321
				350 mm	51,5	36,5	15,0	1,01	0,169	0,171
			Tanpa Lup	41,7	34,2	7,5	0,55	0,084	0,046	
Minggu ke-2	Hari ke-2	12	8 (Ø 60mm)	200 mm	44,5	35,0	9,5	0,82	0,107	0,088
				300 mm	60,2	38,5	21,7	1,38	0,245	0,338
				350 mm	51,6	36,0	15,6	0,97	0,176	0,171
			Tanpa Lup	41,5	34,5	7,0	0,58	0,079	0,046	
	Hari ke-3	12	8 (Ø 60mm)	200 mm	45,0	36,2	8,8	0,79	0,099	0,078
				300 mm	60,0	39,0	21,0	1,36	0,237	0,331
				350 mm	50,9	36,0	14,9	1,02	0,168	0,171

Tabel 5. Hasil Pengujian 8 TEG 4 lup 100 mm Rangkaian Seri pada Pukul 13.00 WIB

Waktu	Modul TEG	Jumlah Lup (Diameter Lup (mm))	Jarak Lup (mm)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (W)	
			Tanpa Lup	41,7	34,5	7,2	0,32	0,081	0,026	
	Hari ke-1	8	4 (Ø100)	200	47,5	35,0	12,5	0,59	0,140	0,083
				300	65,8	39,1	26,7	1,11	0,302	0,335
				350	54,0	36,8	17,2	0,80	0,194	0,155
			Tanpa Lup	42,0	34,2	7,8	0,35	0,088	0,031	
Minggu ke-3	Hari ke-2	8	4 (Ø100)	200	46,2	35,8	10,4	0,53	0,117	0,062
				300	62,5	39,5	23,0	1,07	0,259	0,277
				350	52,8	36,2	16,6	0,78	0,187	0,146
			Tanpa Lup	41,5	33,9	7,6	0,34	0,086	0,029	
	Hari ke-3	8	4 (Ø100)	200	45,8	35,0	10,8	0,52	0,122	0,063
				300	63,7	38,5	25,2	1,05	0,284	0,299
				350	55,0	37,0	18,0	0,78	0,203	0,158

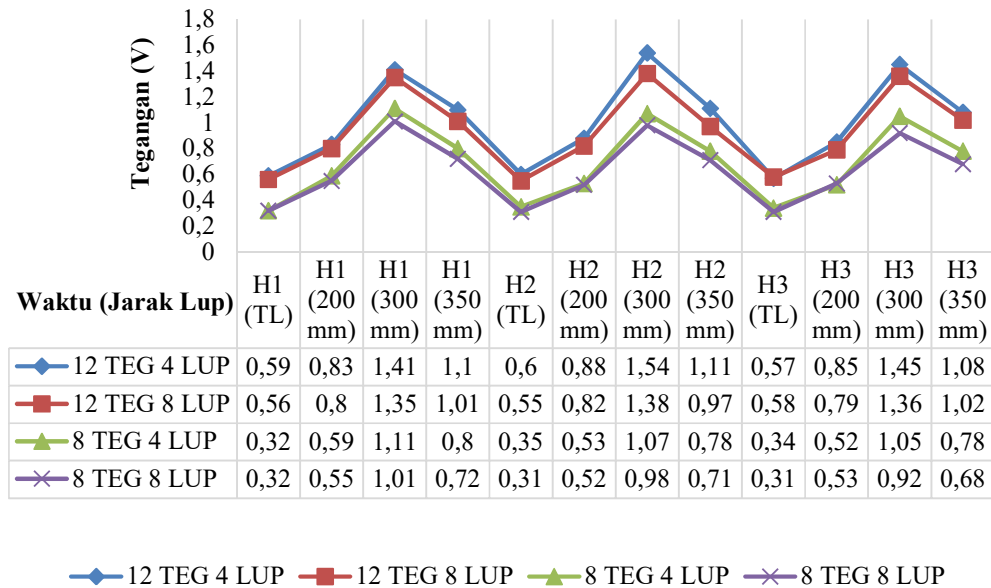
Tabel 6. Hasil Pengujian 8 TEG 8 Lup 60 mm Rangkaian Seri Pada Pukul 13.00 WIB

Waktu	Modul TEG	Jumlah Lup (Diameter Lup (mm))	Jarak Lup (mm)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (W)
Hari ke-1	8	8 (Ø60)	Tanpa Lup	41,2	34,2	7,0	0,32	0,079	0,025
			200	44,8	34,0	10,8	0,55	0,122	0,067
			300	59,8	38,1	21,7	1,01	0,244	0,246
			350	51,5	36,0	15,5	0,72	0,174	0,125
Minggu ke-4	8	8 (Ø60)	Tanpa Lup	41,5	34,5	7,0	0,31	0,079	0,024
			200	44,5	35,0	9,5	0,52	0,107	0,056
			300	60,2	38,5	21,7	0,98	0,244	0,239
			350	51,0	36,7	14,3	0,71	0,161	0,114
Hari ke-3	8	8 (Ø60)	Tanpa Lup	41,5	34,2	7,3	0,31	0,082	0,025
			200	45,2	34,5	10,7	0,53	0,120	0,064
			300	60,5	39,0	21,0	0,92	0,236	0,217
			350	51,7	37,0	14,7	0,68	0,165	0,112

Dari sejumlah data hasil pengujian yang diperoleh diatas, menunjukkan kemiripan keluaran energi yang dihasilkan TEG. Dari data-data tersebut memiliki kecenderungan yang hampir sama pada beberapa parameter data. Agar lebih jelas tren potensi yang didapat, maka data-data diatas ditampilkan

dalam bentuk grafik. Diantaranya yang ditampilkan dalam grafik yaitu grafik karakteristik tegangan terhadap jarak lup, grafik arus terhadap jarak lup dan daya terhadap jarak lup. Grafik mengenai karakteristik tegangan terhadap jarak lup ditunjukkan pada Gambar 2.

Grafik Tegangan Terhadap Waktu dan Jarak Lup

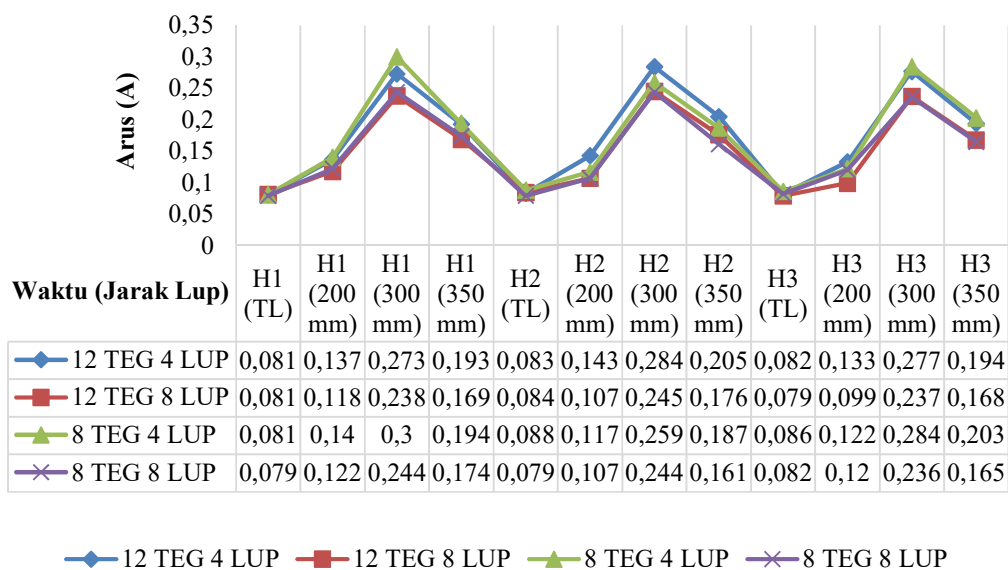


Gambar 2. Grafik Tegangan V_{TEG} Terhadap Jarak Lup

Gambar 2. menunjukkan karakteristik tegangan yang dihasilkan dari pengujian selama pengambilan data. Dari keempat pengujian konfigurasi lup tersebut memiliki tren potensi tegangan yang hampir sama. Pada konfigurasi lup jarak 300 mm memiliki kecenderungan potensi tegangan yang paling besar karena memiliki titik fokus cahaya oleh sinar matahari sehingga mampu menaikkan suhu dari panas sinar matahari. Potensi

tegangan yang paling besar terdapat pada pengujian menggunakan 12 buah modul TEG dengan 4 lup pada jarak 300 mm yaitu sebesar 1,54 V dan tegangan paling kecil terdapat pada pengujian menggunakan 8 buah modul TEG tanpa menggunakan lup yaitu sebesar 0,31 V. Bukan hanya tegangan yang diamati pada penelitian ini, melainkan juga arus yang dihasilkan juga diamati karakteristiknya, hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. .

Grafik Arus Terhadap Waktu dan Jarak Lup



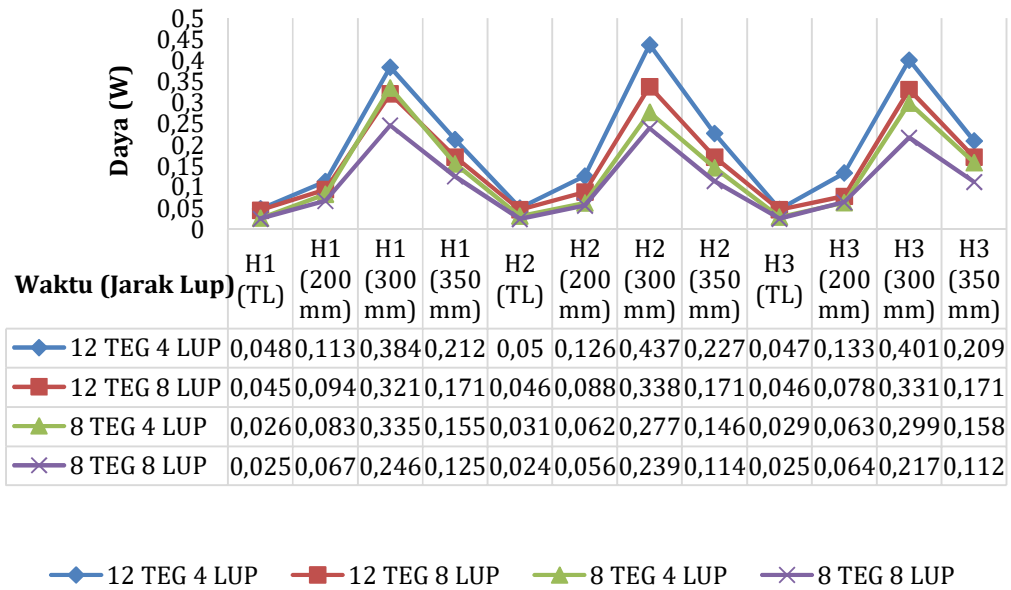
Gambar 3. Grafik Arus Terhadap Waktu dan Jarak Lup

Gambar 3. menunjukkan grafik arus yang dihasilkan selama pengambilan data potensi secara relatif perubahan besar arus dapat dikatakan tidak begitu signifikan. Variasi arus yang paling besar tercatat ada pada pengujian menggunakan 8 TEG dengan 4 lup pada jarak 300 mm yaitu 0,3 A, serta keluaran arus paling kecil terdapat pada pengujian menggunakan 12 buah TEG tanpa menggunakan lup yaitu sebesar 0,079 A. Pengukuran arus yang dihasilkan oleh TEG ini dalam kondisi terhubung dengan beban, karena arus sendiri akan muncul saat ada beban. Data arus pada setiap jumlah TEG yang digunakan dan jarak lup yang sama cenderung memiliki bentuk

grafik yang sama. Karakteristik arus yang demikian merupakan akibat dari setiap keping TEG yang semuanya disusun secara seri, sehingga arus yang dihasilkan relatif satabil tergantung dengan perbedaan suhu yang terjadi pada TEG tersebut. Berbeda jika setiap keping TEG disusun secara paralel, maka kondisi yang terjadi adalah sebaliknya.

Setelah diketahui data potensi energi yang dihasilkan oleh TEG, yakni besar tegangan dan besar arusnya. Maka melalui perhitungan dengan persamaan matematis didapatkan besar daya yang dihasilkan. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

Grafik Daya Terhadap Waktu dan Jarak Lup



Gambar 4. Grafik Daya Terhadap Waktu dan Jarak Lup

Daya disini diperoleh dengan mengkalikan V (tegangan yang dikeluarkan TEG) dengan I (arus yang dikeluarkan TEG). Perkalian terhadap V tersebut ditunjukkan agar diketahui daya sebenarnya yang tersalur pada baterai/akki (beban). Grafik diatas menunjukan karakteristik daya yang dimiliki oleh TEG. Dari beberapa pengujian yang sudah dilakukan potensi daya paling besar terdapat pada pengujian menggunakan 12 TEG 4 lup yang dirangkai secara seri yaitu 0,437 W.

Daya paling kecil terdapat pada pengujian dengan 8 TEG tanpa menggunakan lup yaitu sebesar 0,025 W. Hal tersebut merupakan dampak dari perbedaan suhu yang sangat kecil sehingga tegangan yang keluar dari TEG juga sangat kecil contohnya pada pengujian dengan tanpa menggunakan lup karena panas matahari tidak difokuskan pada satu titik pada sisi panas yang menempel dengan TEG. Dapat disimpulkan bahwa turun serta naiknya grafik daya ini mengikuti turun serta naiknya tegangan (V) yang dihasilkan oleh TEG, yakni daya (P_{TEG}) berbanding lurus dengan tegangan (V_{TEG}). Arus disini bukan faktor yang memberi pengaruh besar terhadap daya yang

dihasilkan, dikarenakan arus yang terukur relatif stabil akibat dari kepingan TEG yang disusun secara seri.

Berdasarkan hasil yang didapatkan selama pengambilan data menggunakan alat bantu (TEG), serta karakteristik kinerja yang dimiliki. Maka dapat diperhitungkan mengenai seberapa berpotensi penerapan sebuah TEG untuk manfaat energi terbarukan di suatu lokasi. Pada penelitian ini, kajian potensi penerapan TEG diperhitungkan untuk dapat menghidupkan sebuah lampu untuk penerangan jalan dengan kebutuhan daya sebesar 9 W.



Gambar 5. Alat Konfigurasi Lup pada TEG untuk Penerangan Jalan

Sebelumnya telah dijelaskan mengenai seberapa besar daya yang dapat dihasilkan oleh TEG dalam beberapa variasi. Untuk memudahkan dalam perhitungan kajian potensi penerapan TEG dan uji konfigurasi lup, maka dipilih nilai daya tertinggi yang dihasilkan oleh TEG. Hal ini dilakukan dengan alasan karena sample kinerja paling optimal dari TEG dirasa dapat mewakili potensi sesungguhnya yang dapat dihasilkan. Skala purwarupa TEG yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan 12 buah TEG berdimensi 40 x 40 mm yang disusun secara seri dengan memakai 4 lup pada jarak 300 mm di peroleh daya paling tinggi sebesar 0,437 W dengan arus 0,284 A.

Gambar 5. merupakan purwarupa TEG dalam skala penelitian, yang hanya digunakan untuk mengambil sample data potensi energi listrik yang mampu dihasilkan oleh TEG dengan pemanfaatan sumber dari panas matahari. Sehingga dapat diperhitungkan seberapa potensi penerapan TEG terhadap panas dari sinar matahari. Alat uji konfigurasi lup pada TEG yang sedang beroperasi ditunjukkan pada Gambar 5.

Keluaran daya maksimal sebesar 0,437 W dengan arus 0,284 A dan tegangan 1,54 V, agar dapat memenuhi kebutuhan daya sebesar 9 W dari sebuah lampu LED. Pada setiap purwarupa TEG terdiri dari 12 buah TEG yang tersusun secara seri, untuk mengetahui besar kenaikan tegangan yang diperlukan agar mampu mengatasi kebutuhan daya beban sebesar 9 W, maka jumlah kebutuhan daya dibagi dengan besar arus yang telah diketahui berdasarkan perhitungan secara teori, sehingga diketahui kebutuhan tegangan sebesar 12 V.

Untuk mendapatkan tegangan lebih besar purwarupa TEG tersebut ditambah sebanyak 8 kalinya dan disusun secara seri. Tanpa menghitung rugi-rugi yang terjadi, berdasarkan perhitungan teori TEG yang diterapkan pada alat penerang jalan menggunakan termoelektrik generator dengan keluaran 12 V, 0,284 A untuk mencapai energi yang dibutuhkan untuk mensuplai energi pada beban diperlukan 96 buah TEG atau 8

purwarupa TEG. Kebutuhan terhadap TEG yang cukup banyak ini merupakan efek dari kurang tingginya perbedaan suhu yang terjadi. Kapasitas Baterai (Ah) = Kapasitas Pengisian (A) x Waktu Pengisian (h)

Pengisian yang dilakukan selama 6 jam (09.00 s.d 15.00) = 0,284 A x 6 Jam
= 1,7 Ah

Beban lampu LED = 9 W

Kapasitas baterai = 1,7 Ah

Maka didapat :I = P / V

I = 9 W / 12 V

= 0,75 A

Waktu pemakaian = 1,7 Ah / 0,75 A

= 2,3 Jam atau 2 Jam 18 Menit

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan suhu dari panas matahari yang terserap oleh sisi panas TEG relatif stabil tanpa menggunakan lup sebesar 41 °C, dan ketika menggunakan lup suhu yang terserap oleh sisi panas TEG naik menjadi 20 % sampai 40 %. Perbedaan suhu (ΔT) yang tercipta diantara sisi panas TEG dan sisi dingin TEG modul termoelektrik (TEG SP1848-27145SA) mempengaruhi keluaran energi potensial yang terjadi, semakin besar perbedaan suhu yang terjadi semakin besar pula energi yang dikeluarkan oleh TEG tersebut.

Hasil pengujian menunjukkan energi yang di keluarkan oleh TEG yaitu sebesar 0,437 W, dari hasil perbedaan suhu T_1 (sisi panas) = 64,5 °C, T_2 (sisi dingin) = 39,1 °C dengan ΔT = 24,3°C, didapat V = 1,54 V dan I = 0,284 A. Dari data diatas menunjukkan bahwa modul termoelektrik tipe SP1848-27145SA mampu menghidupkan beban yang digunakan pada pengujian ini yaitu lampu led 9 W. Namun, tidak memenuhi kebutuhan voltase dan arus yang dibutuhkan untuk mengisi kembali kapasitas pada baterai.

Hasil penelitian uji konfigurasi lup pada termoelektrik generator masih belum mampu mencukupi kebutuhan pengisian baterai karena perbedaan temperatur yang terjadi

terlalu kecil sehingga TEG tidak dapat mengeluarkan energi yang maksimal. Tingkat efisiensi uji eksperimen konfigurasi lup pada TEG yang diterapkan pada penelitian ini cukup rendah.

Penerapan uji konfigurasi lup pada TEG diperhitungkan kurang ekonomis dalam segi investasi pembangunan manufaktur. Keakuratan pengujian cukup tinggi karena data yang diambil menggunakan alat *gun infrared* termometer yang cukup akurat. Selain itu frekuensi pengambilan data sebanyak tiga kali pada setiap konfigurasi pengujian dan nilai *error* hasil pengujian utamanya disebabkan alat ukur sekitar kurang lebih sebesar 5%.

5. Daftar Pustaka

- [1] B. Tjasyono, *Metorologi Indonesia Volume 1: Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer*. Jakarta: BMKG, 2007.
- [2] G. Min, D. M. Roe, *Handbook of Thermoelectrics, Peltier Devices as Generator*. Florida: CRC Press LLC., 1994.
- [3] K. M. Mahmud, S. A. Yudistirani and A. I. Ramadhan, "Model Thermoelectric Generator (TEG) Small Modular as Micro Electricity Plant at Indonesia", vol. 5, no. 9, pp. 1-6, 2016.
- [4] Ryanuargo, S. Anwar, and S. P. Sari, "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin," *Jurnal Rekayasa Elekrika*, vol. 10, no. 4, pp. 180-185, 2013.
- [5] W. A. Nugroho, M. S. Haryadi, and Rudhiyanto, "Exhaust System Generator: Knalpot Penghasil Listrik dengan Prinsip Termoelektrik," *Jurnal Sains dan Teknologi (Sainteknol)*, vol. 13, no. 2, pp. 161-168, 2015.
- [6] Mirmanto, R. Sutanto, and D. K. Putra, "Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin," *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, vol. 7, no. 1, pp. 44-49, 2018.
- [7] F. Umam, "Perancangan Thermoelectric Generator (TEG) Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Ilmiah Rekayasa*, vol. 10, no. 2, pp. 123-127, 2017.
- [8] T. N. Widiyanto, and A. R. Hakim, "Performansi Pendingin Termoelektrik Alat Transportasi Ikan Segar pada Berbagai Tegangan," *Agritech*, vol. 36. no. 4, pp. 485-490, 2016.
- [9] B. P. Asmara, dan S. Tansa, "Pembuatan Pembangkit Energi Listrik Alternatif dengan Model Sistem Hybrid Thermoelektrik dengan Panel Sel Surya Mini untuk Desa Mandiri Energi (Tinjauan Potensi)," in *Seminar Nasional Teknik Elektro Fortei*, 2018, pp. 11-13.
- [10] P. Ziolkowski, K. Zabrocki, and E. Müller, "TEG Design for Waste Heat Recovery at An Aviation Jet Engine Nozzle," *Applied Science*, vol. 8, pp. 2-21, 2018.
- [11] Fajar S, *Sistem penerangan taman berbasis WOLED (White Organic Light Emitted Diode) sebagai alternatif UGM menuju green campus. Program Studi Teknik Elektro*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, 2012.
- [12] N. T. Putri, I. Kamil, and D. Ramadian, "Perancangan Standar Penilaian Kinerja Pemeliharaan Lampu Jalan Berdasarkan Key Performance Indicators (KPI's) (Studi Kasus Di Kota Padang)," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 225-234, 2012.
- [13] Badan Standarisasi Nasional, *SN 7391:2008 Spesifikasi Penerangan jalan di Kawasan Perkotaan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [14] PT. PLN, *Electricity Energy Business Plan of PT. PLN (Persero) year 2016-2025*. Jakarta: PT. PLN, 2015.
- [15] Ditjen EBTKE, *Buku Pedoman Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, Buku II: Perencanaan Sistem PJU Efisien Energi*. Jakarta: Ditjen EBTKE-KESDM, 2014.
- [16] Ditjen EBTKE, *Buku Pedoman: Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, Buku I Pengelolaan Sistem PJU Energi Efisien*. Jakarta: Ditjen EBTKE-KESDM. 2014.
- [17] A. Jusoh, T. Sutikno, T. Guan and S. Mekhilef, "A Review on Favourable Maximum Power Point Tracking Systems in Solar Energy Application," *Journal TELKOMNIKA*, vol. 12, no. 1, . 2014.
- [18] I. B. K. Sugirianta, and I. G. N. A. D. Saputra, "Modul Praktek PLTS On-Grid Berbasis Micro Inverter," *Journal Matrix*, vol. 9, no. 1, 2019.