

	Vol. 4 No. 1 Mei 2024 Halaman : 05 - 17
	e-ISSN : 2809 - 9796

## Rancang Bangun Generator Termoelektrik Dengan Metode Efek Seebeck Sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik

Nurma Sari\*, Iwan Sugriwan, Nor Dewi Sari

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

Email korespondensi: [nurmasari01@ulm.ac.id](mailto:nurmasari01@ulm.ac.id)

*Submitted*: 18 Mei 2024; *Accepted*: 19 Mei 2024

**ABSTRACT**– One of the alternative technologies for generating electrical energy is a thermoelectric generator using the Seebeck effect method. This study aims to determine the effect of measuring angles and distances on the value of the Seebeck coefficient. This design consists of six peltier type TEC1-12706 in series and parallel, two digital multimeters to read voltage and current given a 10 ohm resistor, two DS18B20 sensors. *waterproof* to read the temperature from both sides of the thermoelectric with an aluminum plate on the hot side and a *heatsink* equipped with a 12 volt dc fan on the cold side, 20 x 4 character LCD, SD card module, RTC module and Arduino UNO R3 microcontroller. Tool temperature is made to get the comparison results obtained with an average error value with a range of 20°C -100 °C of 1.33°C sensor 1 and 1.15°C sensor 2 and seen from the standard error value of the statistical test comparison of measuring instruments is 0.04 and 0.06. The design that has been made uses the Arduino IDE program to program and display data on the LCD and the RTC and SD card modules are used to display data in *real time* and store temperature data in the form of a notepad. Based on measurements of the thermoelectric output value with an angle of 60<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup>, 120<sup>0</sup>, 150<sup>0</sup> and 180<sup>0</sup> and distances of 5, 10, 15 and 20 cm using the heat source of the ironing elements positioned from the top, bottom and sides. The thermoelectric can produce a voltage of 0.22910 V and a current of 0.01238 A. The heater position from the side is connected in series and 0.05450 V, the current is 0.00261 A from the bottom in parallel which is obtained from the best angle of 60<sup>0</sup> at a distance of 5 cm.

**KEYWORD** : thermoelectric generator, seebeck effect, digital multimeter, DS18B20 sensor *waterproof*

### PENDAHULUAN

Sumber energi utama yang paling dibutuhkan adalah energi listrik dari bahan bakar fosil yang digunakan untuk kebutuhan manusia. Peningkatan sumber energi yang cukup besar, memerlukan pemanfaatan sumber energi lain yaitu sumber energi alternatif. Banyak para ahli meneliti untuk menciptakan pembangkit listrik dari sumber bukan bahan bakar yaitu sumber energi alternatif. Beberapa sumber energi alternatif yang ada yaitu biomassa, biodiesel, tenaga angin dan tenaga panas. Perkembangan energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan perlu mendapat perhatian untuk dikembangkan guna memenuhi kebutuhan energi dan kelangsungan hidup bagi makhluk hidup (Saputra, dkk. 2020). Salah satu sumber energi alternatif yaitu energi panas sebagai sumber energi dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Energi panas dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik agar memperoleh sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. Energi

panas dapat berasal dari panas matahari ataupun benda yang dapat menghasilkan panas seperti pembakaran (Pradana & Widyartono, 2019). Teknologi sumber energi yang memanfaatkan energi panas untuk kebutuhan energi listrik adalah teknologi *Thermoelectric Generator* (TEG). Termoelektrik dapat menghasilkan arus listrik ketika perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin, berdasarkan efek seebeck yang mana perbedaan temperatur pada bagian panas dan dingin dihubungkan satu sama lain maka terjadi dua sambungan dalam satu *loop* akibatnya termoelektrik menghasilkan tegangan listrik (Purwanto, 2020).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bur & Pramana (2019) melakukan pembuatan pembangkit listrik alternatif dengan memanfaatkan energi panas matahari menggunakan 18 buah termoelektrik tipe SP1848 27145 SA dan *solar concentrator*. Dua buah sensor LM35 untuk membaca suhu di kedua sisi termoelektrik. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai tegangan sebesar 16,77 V DC dari sensor tegangan dan arus 0,18 A serta selisih suhu pada termoelektrik antara kedua sisi sebesar 32,72 °C pada pukul 13.00 WIB menggunakan sensor LM35 dengan perantara plat aluminium di sisi panas dan dingin serta nilai radiasi matahari yang didapat sebesar 1075 W/m<sup>2</sup>. Pada penelitian yang dilakukan oleh Purwanto (2020) memanfaatkan tungku pandai besi sebagai sumber panas dengan mendesain konversi tiga sudut pandang yaitu ukuran, bentuk serta bahan yang digunakan. Penentuan desain konversi dilakukan pada segi bentuk yaitu dengan menggunakan 4 buah model termoelektrik TEC1-17206 dirangkai secara seri. Variasi sudut plat aluminium di bengkokkan dan diletakkan berbentuk garis lurus dengan besar sudut 120°, 150°, dan 180°. Nilai tegangan konstan dengan variasi jarak 10,15 dan 20 cm. Hasil penelitian dihasilkan desain dengan besar sudut 120° yang menghasilkan tegangan rata-rata sebesar (0,95 ± 0,04) V dan jarak 10 cm serta didapat tegangan dan arus yang paling besar yaitu (3,37 ± 0,06) V dan (1,02 ± 0,07) A dengan rata-rata suhu setiap sudut sebesar (67,3 ± 46,7)°C dan rata-rata suhu setiap jarak yaitu (57,3 ± 31,3)°C..

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keluaran termoelektrik terhadap pengukuran besar sudut dan jarak terhadap nilai koefisien seebeck serta mengetahui nilai efisiensi hasil konversi panas menjadi energi listrik. Energi merupakan besaran yang tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lain. Proses perubahan itu, sebagian selalu berubah menjadi bentuk yang tidak diinginkan karena efisiensi perubahan tidak pernah mencapai 100 persen. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi akibat adanya perbedaan temperatur pada suatu permukaan dengan lingkungan sekitarnya. Perpindahan panas terbagi menjadi tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Puspita, dkk. 2017). Untuk menentukan perpindahan panas digunakan persamaan sebagai berikut:

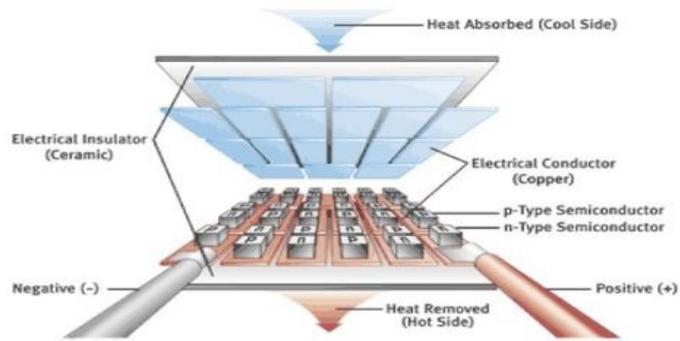
$$Q_H = \alpha T_h x + K(T_h - T_c) - \frac{1}{2} I^2 R_L \quad \dots(1)$$

Dimana:

$Q_H$	: Perpindahan panas (W)	$K$	: Koefisien perpindahan panas
$\alpha$	: Koefisien seebeck (V/°C)		(W/°C)
$I$	: Arus (Ampere)	$R_L$	: Tahanan beban (Ohm)
1.1	: Generator Termoelektrik		

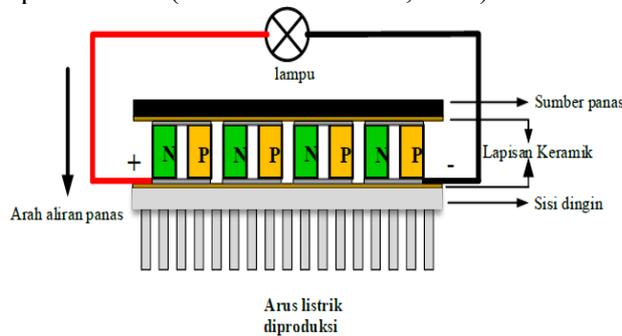
Generator termoelektrik secara langsung bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Modul generator termoelektrik dirancang sedemikian rupa pada rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Generator termoelektrik (TEG) dapat mengkonversikan perbedaan temperatur menjadi besaran listrik secara langsung. Tetapi TEG masih memiliki kekurangan nilai efisiensi yang rendah sebesar 10% mengakibatkan efisiensi berkurang dan panas yang dikonversi pada TEG tidak terserap secara sempurna (Puspita, dkk. 2017).

Generator termoelektrik (TEG) merupakan suatu perangkat listrik bersifat semikonduktor. Struktur termoelektrik tersusun atas dua elemen tipe-p material yang kekurangan elektron dan tipe-n material yang kelebihan elektron (Ryuanargo, dkk. 2013).



Gambar 1. Elemen termoelektrik generator (Duffie & Beckman, 2020)

Generator termoelektrik terdiri dari beberapa modul terhubung seri maupun terhubung paralel. Parameter-parameter pada termoelektrik yaitu koefisien seebeck, tahanan listrik dan konduktansi termal pada modul termoelektrik tergantung pada temperatur dan dapat dihitung dengan Persamaan di bawah ini. Hal ini berlaku pada temperatur  $-100^{\circ}\text{C}$  sampai  $+150^{\circ}\text{C}$  (Duffie & Beckman, 2020).



Gambar 2. Prinsip kerja termoelektrik generator (Duffie & Beckman, 2020)

1. Koefisien seebeck

$$\alpha_{MTH} \text{ atau } \alpha_{MTC} = \alpha_1 T + \frac{\alpha_2 T^2}{2} + \frac{\alpha_3 T^3}{3} + \frac{\alpha_4 T^4}{4} \quad \dots (2)$$

$$\alpha_M = \frac{\alpha_{MTH} - \alpha_{MTC}}{\Delta T} \quad \dots (3)$$

2. Tahanan listrik modul termoelektrik

$$R_{MTH} \text{ atau } R_{MTC} = R_1 T + \frac{R_2 T^2}{2} + \frac{R_3 T^3}{3} + \frac{R_4 T^4}{4} \quad \dots (4)$$

$$R_M = \frac{R_{MTH} - R_{MTC}}{\Delta T} \quad \dots (5)$$

3. Konduktansi termal modul

$$K_{MTH} \text{ atau } K_{MTC} = K_1 T + \frac{K_2 T^2}{2} + \frac{K_3 T^3}{3} + \frac{K_4 T^4}{4} \quad \dots (6)$$

$$K_M = \frac{K_{MTH} - K_{MTC}}{\Delta T} \quad \dots (7)$$

$$\alpha_{new} = \alpha_M \times \frac{N_{new}}{71} \quad \dots (8)$$

$$R_{new} = R_M \times \frac{6}{I_{new}} \times \frac{N_{new}}{71} \quad \dots (9)$$

$$K_{new} = K_m \times \frac{I_{new}}{6} \times \frac{N_{new}}{71} \quad \dots (10)$$

Termoelektrik tunggal dengan keadaan tanpa beban, tegangan dirumuskan pada persamaan berikut:

$$V = \alpha \times \Delta T \quad \dots (11)$$

Ketika beban dihubungkan tegangan keluaran turun dan terjadi tahanan dalam termoelektrik generator maka arus yang melalui beban dapat dihitung dengan persamaan

$$I = \frac{\alpha \times \Delta T}{R_c + R_L} \quad \dots (12)$$

Persamaan di atas berlaku sepasang semikonduktor dalam sebuah modul termoelektrik tetapi karena sebuah modul termoelektrik terdiri dari beberapa pasangan semikonduktor maka persamaan-persamaan di atas harus di sesuaikan dengan kenyataan sebenarnya sebagai berikut:

$$V_O = \alpha_m \times \Delta T = I \times (R_m + R_L) \quad \dots (13)$$

Perhitungan daya keluaran termoelektrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_O = R_L \times \left[ \frac{\alpha_m \times \Delta T}{R_m + R_L} \right]^2 \quad \dots (14)$$

Total masukan energi panas dari generator termoelektrik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8. Sehingga untuk menghitung efisiensi termoelektrik yang dihasilkan dari keseluruhan rangkaian menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_i = \frac{P_o}{Q_H} \times 100\% \quad \dots (15)$$

Dimana:

$\alpha_{MTH}$  : Koefisien seebeck sisi panas (V/°C)

$\alpha_{MTC}$  : Koefisien seebeck sisi dingin (V/°C)

$\alpha_{MTC}$  : Koefisien seebeck modul (V/°C)

$R_{MTH}$ : Tahanan listrik sisi dingin (Ohm)

$R_{MTC}$ : Tahanan listrik sisi panas (Ohm)

$R_M$  : Tahanan listrik modul (Ohm)

$K_{MTH}$ : Konduktansi termal sisi panas (W/°C)

$K_{MTC}$  : Konduktansi termal sisi dingin (W/°C)

$K_M$  : Konduktansi termal modul (W/°C)

$\alpha_{new}$  : Koefisien seebeck modul baru (V/°C)

$Q_{hot}$  : Perambatan panas (W)

$R_L$  : Tahanan panas gabungan (m<sup>2</sup>.°C/W)

$R_c$  : Tahanan dalam rata-rata termoelektrik (Ohm)

$V$  : Tegangan keluaran dari termoelektrik generator (Volt)

$P_o$  : Daya (Watt)

$I$  : Arus (Ampere)

$R_{new}$  : Tahanan listrik modul baru (Ohm)

$K_{new}$  : Konduktansi termal baru (W/°C)

$\eta_i$  : Efisiensi termoelektrik

Termoelektrik merupakan perangkat yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Termoelektrik terdiri dari dua macam efek termoelektrik yaitu efek seebeck dan efek peltier (Prasetyo, dkk. 2019). Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Modul termoelektrik telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi sebagai pendingin termoelektrik atau dikenal dengan TEC dengan memanfaatkan efek termoelektrik generator dan sebagai generator termoelektrik atau bisa disebut TEG yang berfungsi sebagai pembangkit listrik dengan menerapkan efek *seebeck*. Perbedaan suhu pada termoelektrik generator didapatkan rumus:

$$\Delta T = T_h - T_c \quad \dots (16)$$

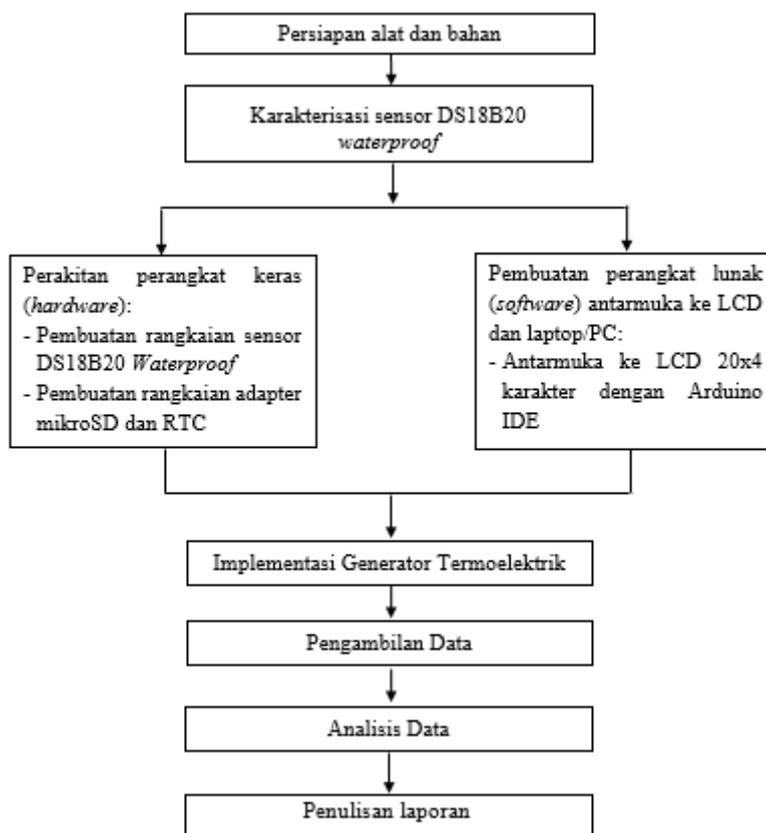
Untuk menentukan Koefisien Seebeck dari generator termoelektrik didapatkan rumus:

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} \quad \dots (17)$$

Efek peltier merupakan kebalikan dari efek seebeck. Efek peltier terjadi ketika energi panas dapat diserap pada salah satu sambungan konduktor dan dilepas pada sambungan konduktor lainnya ketika dialiri arus listrik pada sambungan rangkaian tertutup. Efek peltier mengkonversikan energi listrik menjadi perubahan suhu (Prasetyo, dkk. 2019).

### METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan untuk rancang bangun generator termoelektrik ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Penelitian

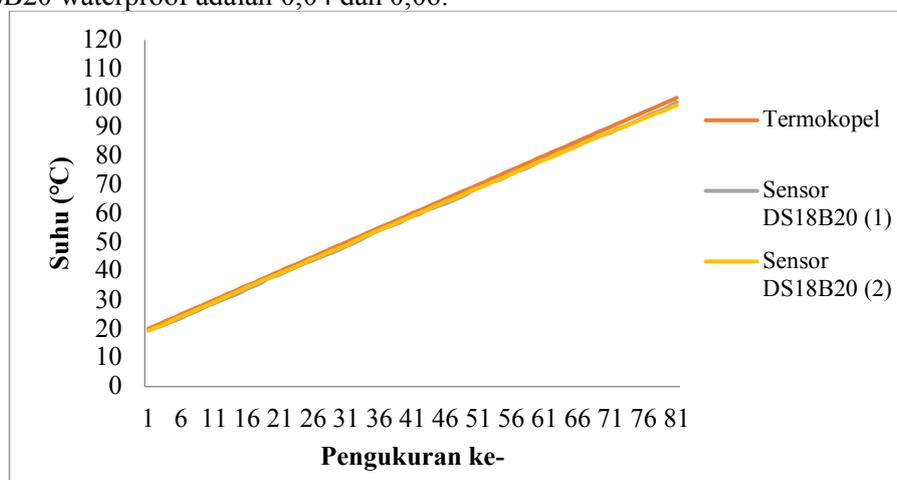
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Sensor DS18B20 *Waterproof*

Proses karakterisasi sensor DS18B20 *waterproof* yang telah dilakukan dengan mencatat suhu dari alat ukur Termokopel dengan pembacaan nilai suhu pada sensor DS18B20 *waterproof* secara bersamaan. Proses karakterisasi ini dimulai pada rentang suhu 20°C hingga 100°C dengan pembacaan setiap 1°C dengan tiga kali pengulangan. Proses karakterisasi sensor DS18B20 *waterproof* dengan memasukkan sensor DS18B20 *waterproof* dan Termokopel ke dalam wadah tertutup yang berisi air serta meletakkan wadah di atas hot plate.

Hasil karakterisasi sensor DS18B20 *waterproof* didapatkan persamaan karakteristik sensor ke-1:  $T = 0,989x + 18,08$  dengan nilai  $R^2 = 0,999$ . Sedangkan hasil persamaan karakteristik sensor ke-2:  $T = 0,98x + 18,67$  dengan nilai  $R^2 = 0,999$  dimana variabel  $x$  merupakan pengukuran ke- dan variabel  $y$  merupakan temperatur. Hasil perbandingan sensor DS18B20 *waterproof* dengan alat ukur Termokopel memiliki nilai error rata-rata dengan range 20-100°C adalah sebesar 1,33°C pada data karakterisasi sensor ke-1 dan data karakterisasi sensor ke-2 memiliki nilai error rata-rata dengan range 100-20°C adalah sebesar 1,15°C.

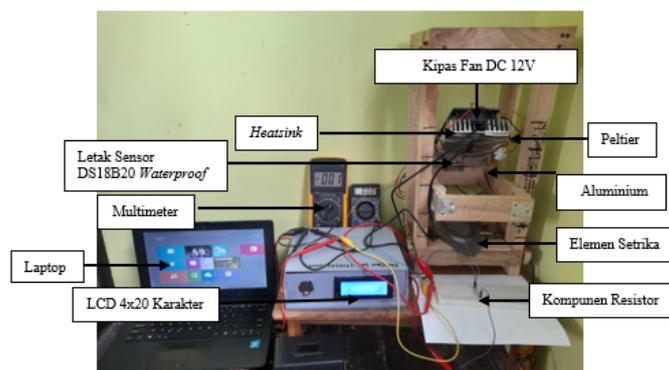
Dilakukan lagi pengujian dengan uji statistik menggunakan uji dua sampel yang berhubungan didapat nilai  $t_{hitung}$  sensor 1 = 37,76 dan sensor 2 = 19,74. Untuk mengetahui signifikansi nilai  $t_{hitung}$  yang telah dihitung, maka perlu dibandingkan dengan nilai  $t_{tabel}$ . Pada tabel dengan *degrees of freedom* sebesar 160 ( $df = N - 2 = 162 - 2$ ) dan signifikansi ( $\alpha$ ) 0,05 sehingga  $t_{tabel} = t_{(160;0,05)}$  maka dari nilai  $t$  hitung lebih besar dari nilai  $t_{tabel}$  sehingga ada perbedaan suhu yang signifikan dari termokopel dengan sensor DS18B20 *waterproof*. Kesimpulannya  $H_0$  ditolak  $H_1$  diterima artinya ada perbedaan secara signifikan terhadap suhu termokopel dengan sensor DS18B20 *waterproof* tetapi dilihat dari nilai standar error sensor DS18B20 *waterproof* adalah 0,04 dan 0,06.



Gambar 4. Grafik perbandingan Temperatur termokopel dan sensor

### Realisasi Perangkat Keras (*Hardware*)

Hasil realisasi perangkat keras (*hardware*) yang telah dibuat terdiri dari 3 bagian yaitu: rangkaian sensor DS18B20 *waterproof*, adapter microSD dan RTC serta desain konversi termoelektrik dengan bentuk fisik bagian luar. Gambar 5 di bawah ini merupakan perangkat keras generator termoelektrik.



Gambar 5. Perangkat keras generator termoelektrik

**Perangkat Lunak (Software)**

**Program Antarmuka ke LCD 20x4 Karakter Menggunakan Arduino IDE**

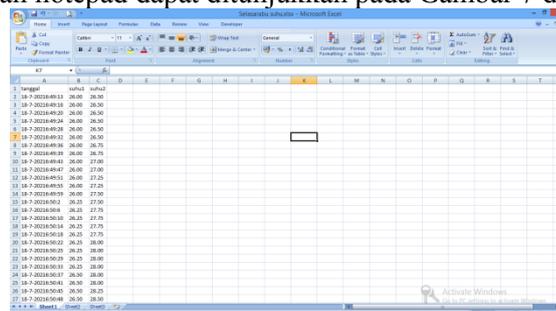
Antarmuka antara modul mikrokontroler arduino UNO R3 dan LCD 20x4 karakter yang telah dilakukan dengan menghubungkan pin kaki LCD 20x4 karakter yang sudah dipasangkan I2C dengan modul mikrokontroler arduino UNO R3. Hasil pengukuran menggunakan LCD 20x4 karakter dapat ditampilkan secara berulang setiap 1000 ms dan terus menerus. Tampilan LCD 20x4 karakter yang telah dibuat terdiri dari 4 bagian yaitu: nilai “Temp 0 dan Temp 1” berasal dari pembacaan nilai suhu sisi dingin dan suhu sisi panas oleh sensor DS18B20 waterproof, sedangkan “Run” untuk mengetahui terbaca tidak file yang tersimpan pada modul microSD dan tampilan waktu elektronik yang tersetting otomatis pada modul RTC. Hasil tampilan dari LCD 20x4 karakter terlihat karena ada program dari aplikasi arduino IDE. Sintak program dapat dilihat pada Lampiran 5 dan tampilan hasil pengukuran pada LCD 20x4 karakter dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan hasil pengukuran pada LCD 20x4 karakter

**Program Antarmuka Modul Program Akuisis ke laptop/PC dengan Modul SD Card**

Antarmuka yang telah dilakukan menggunakan card reader 4 in 1 memory to flashdisk sebagai komunikasi serial antara memory card dari modul microSD dan laptop. Cara menggunakan card reader dengan menyambungkan ke USB (Universal Serial Bus) port laptop. Data hasil pengukuran yang tersimpan dari modul mikrokontroler arduino UNO R3 yang tersimpan di dalam file bentuk “.txt” berupa pembacaan waktu, nilai suhu sisi dingin dan nilai suhu sisi panas termoelektrik. Data hasil pengukuran yang telah dilakukan dapat disimpan ke dalam notepad dan Microsoft Excel. Tampilan data hasil pengukuran ke dalam Excel dan notepad dapat ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Tampilan data hasil pengukuran dengan menggunakan microsoft excel



Gambar 8. Tampilan data hasil pengukuran dengan menggunakan notepad

### Pengukuran Suhu Panas, Suhu Dingin, Tegangan dan Arus pada Rancangan Sistem Generator Termoelektrik

Pengambilan data suhu panas, suhu dingin, tegangan dan arus telah dilaksanakan di Laboratorium Fisika Instrumentasi, proses pengukuran dilakukan dengan cara menempatkan termoelektrik dengan komponen 6 peltier yang dirangkai seri dan dirangkai paralel, proses pengambilan data dilakukan selama 50 menit dan dicatat data hasil pengukuran satu data dari 10 pengulangan data pada tiap-tiap jarak dengan sudut. Adapun proses pengambilan data yang dilakukan pada posisi elemen setrika yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah.



Gambar 9. Pengambilan data pada posisi elemen setrika berada di bawah termoelektrik

Dari proses pengambilan data yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai keluaran pada Tabel 4 dan 5 di bawah, suhu dingin dari rentang 25,58 – 32,28 °C, suhu panas dari rentang 31,95 – 64,95 °C, tegangan dari 0,00520 – 0,25640 V dan arus dari 0,00036 – 0,01238 A. Berdasarkan data pada Tabel 1 didapatkan nilai tegangan, arus dan daya maksimum dari sudut 60° dengan hasil perhitungan rata-rata 10 kali pengulangan. Nilai tegangan dan arus yang paling tinggi berada pada jarak 5 cm karena jaraknya paling dekat dengan sumber panas dan pada sudut 60°. Data pada Tabel 2 didapatkan nilai nilai tegangan, arus dan daya maksimum dari sudut 60° dengan hasil perhitungan rata-rata 10 kali pengulangan. Nilai tegangan dan arus yang paling tinggi berada pada jarak 5 cm karena jaraknya paling dekat dengan sumber panas dan sudut 60°. Sistem kerja generator termoelektrik berdasarkan perbedaan suhu panas dan dingin yaitu semakin besar perbedaan suhu antara dua bagian, maka semakin besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan. Bagian sisi dingin akan mengalami kenaikan suhu karena adanya konveksi panas dari bagian sisi panas dan peltier juga mengalami kenaikan panas sehingga panas dari bagian sisi panas akan terserap sebagian ke sisi dingin rancangan. Penelitian oleh Ginanjar, dkk. (2019) yang menggunakan 6 buah model peltier yang sama dengan peneliti dirangkai seri didapatkan tegangan 3,56 Volt dengan arus sebesar 0,171 Ampere dan daya 0,609 Watt dibandingkan dengan penelitian peneliti nilai tegangan adalah 0,2291 Volt dengan arus sebesar 0,01238 dan daya 2,87627 Watt.

Tabel 1. Data pengujian sistem pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai seri setelah di rata-rata dari 10 pengulangan dengan sudut terbaik

Posisi Pemanas	Jarak (cm)	Sudut (°)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>h</sub> (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (W)
Bawah	5	60	29,78	51,25	21,48	0,15290	0,01058	1,67870
	10	60	29,40	46,25	16,85	0,25640	0,00813	2,09442
	15	60	29,88	42,05	12,18	0,17190	0,00639	1,11002
	20	60	31,73	41,55	9,83	0,15850	0,00487	0,77803
Samping	5	60	32,28	64,95	32,68	0,22910	0,01238	2,87627
	10	60	28,00	38,60	10,60	0,06170	0,00354	0,21925
	15	60	25,58	33,05	7,48	0,00640	0,00036	0,00239
	20	60	28,38	35,70	7,33	0,00520	0,00022	0,00118
Atas	5	60	27,58	54,48	26,90	0,09710	0,00428	0,41696
	10	60	30,68	38,90	8,23	0,05940	0,00263	0,15653
	15	60	32,13	37,65	5,53	0,02360	0,00091	0,02175
	20	60	28,00	31,95	3,95	0,01640	0,00079	0,01337

Tabel 2. Data pengujian sistem pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai paralel setelah di rata-rata dari 10 pengulangan dengan sudut terbaik

Posisi Pemanas	Jarak (cm)	Sudut (°)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>h</sub> (°C)	ΔT (°C)	V (V)	I (A)	P (W)
Bawah	5	60	32,58	56,08	23,50	0,05450	0,00261	0,14302
	10	60	34,13	55,20	21,08	0,05840	0,00232	0,13597
	15	60	32,95	45,43	12,48	0,03960	0,00223	0,08856
	20	60	29,95	41,90	11,95	0,03470	0,00107	0,03743
Samping	5	60	36,35	58,23	21,88	0,06620	0,00305	0,20518
	10	60	30,18	38,15	7,98	0,01560	0,00087	0,01384
	15	60	29,20	38,08	8,88	0,01760	0,00086	0,01522
	20	60	28,00	32,28	4,28	0,00620	0,00030	0,00187
Atas	5	60	32,08	53,28	21,20	0,02980	0,00120	0,03569
	10	60	32,20	45,75	13,55	0,02210	0,00111	0,02507
	15	60	33,00	39,43	6,43	0,00760	0,00036	0,00275
	20	60	29,58	33,28	3,70	0,00590	0,00029	0,00169

Panas berpindah dari suhu yang tinggi ke suhu yang lebih rendah sesuai teori perpindahan panas ketika dua buah benda atau lebih terjadi kontrak termal maka akan terjadi aliran panas dari benda yang memiliki temperatur yang lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah. Pengambilan data dilakukan dengan model rangkaian termoelektrik seri dan paralel yang diberikan beban 10 ohm. Rangkaian seri termoelektrik menghasilkan tegangan keluaran sebanyak termoelektrik yang digunakan dengan nilai kuat arus yang tetap. Rangkaian paralel dengan kuat arus yang dihasilkan masing-masing termoelektrik akan terkumpul sebanyak termoelektrik yang digunakan dan nilai tegangan tetap sama (Munis, 2013), hal ini terlihat pada Tabel 4 dan 5.

### Pengambilan Data pada Posisi Elemen Setrika dari Bawah, Samping dan Atas

Pengambilan data suhu panas, suhu dingin, tegangan dan arus telah dilakukan pada pada posisi elemen setrika di bawah, samping dan atas termoelektrik mendapatkan nilai koefisien seebeck dari rancangan berbahan aluminium dengan 6 peltier seperti pada Tabel 6 dan 7 berikut ini. Koefisien

seebeck merupakan hasil konversi secara langsung dari energi panas ke energi dingin atau sebaliknya karena beda suhu suatu material dengan tegangan yang didapat. Nilai perhitungan koefisien seebeck dapat dihitung menggunakan Persamaan 17.

Tabel 3. Koefisien seebeck maksimum dari rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai seri terhadap jarak

Posisi Pemanas	Jarak (cm)	Sudut (°)	$\Delta T$ (°C)	V (V)	$\alpha_{MTH}$ (V/°C)
Bawah	5	150	9,00	0,10440	0,01160
	10	180	3,35	0,05390	0,01609
	15	180	1,83	0,04850	0,02658
	20	180	1,00	0,04250	0,04250
Samping	5	60	32,68	0,22910	0,00701
	10	60	10,60	0,06170	0,00582
	15	150	2,00	0,00340	0,00170
	20	60	7,33	0,00520	0,00071
Atas	5	60	26,90	0,09710	0,00361
	10	60	8,23	0,05940	0,00722
	15	60	5,53	0,02360	0,00427
	20	150	1,25	0,00590	0,00472

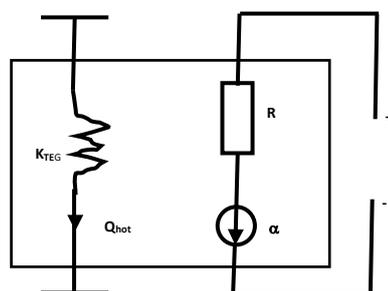
Pada Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa semakin jauh jarak rancangan maka perubahan suhu semakin kecil. Dimana pada percobaan di atas nilai perubahan suhu terbesar yang didapatkan adalah pada jarak 5 cm pada setiap posisi sumber panas. Hal ini karena besarnya perubahan suhu yang didapat sangat berpengaruh pada sumber panas dari elemen setrika. Sehingga jarak sangat berpengaruh pada perubahan panas. Tegangan keluaran pada Tabel 4 akan semakin naik seiring dengan kenaikan perubahan suhu. Koefisien seebeck terbesar yang didapat dari susunan seri 6 modul termoelektrik pada saat kondisi berbeban 10 ohm adalah 0,04250 V/°C pada jarak 20 cm dengan posisi sumber panas elemen setrika di bawah, 0,00701 V/°C pada jarak 5 cm di posisi samping dan 0,00722 V/°C dengan jarak 10 di posisi atas. Semakin besar tegangan keluaran dan semakin kecil perubahan suhu maka koefisien seebeck semakin besar, tegangan berbanding terbalik dengan perubahan suhu.

Pada Tabel 4 di atas koefisien seebeck maksimum pada jarak terdekat yaitu 5cm didapat dari susunan paralel 6 modul termoelektrik pada saat kondisi berbeban 10 ohm adalah 0,00305 V/°C posisi panas di bawah. Posisi panas di samping koefisien seebeck adalah 0,00303 V/°C dan 0,00141 V/°C posisi panas dari atas. Ketiga posisi panas yang paling maksimum menghasilkan koefisien seebeck adalah posisi bawah. Hal ini karena saat sumber panas berada di sisi bawah panas yang diserap akan lebih cepat berpindah ke tempat yang lebih tinggi. Perpindahan panas ini terjadi melalui aliran panas pada elemen setrika yang merambat ke tempat lebih tinggi terjadilah perpindahan panas konveksi. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, elemen termoelektrik terdiri dari semikonduktor tipe n dan tipe p yang dilapisi suatu konduktor tembaga sebagai perpindahan elektron-elektron untuk dapat bergerak bebas. Ketika batang logam dipanaskan dan didinginkan pada kedua kutub batang tersebut, maka elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan kecepatan alirannya lebih tinggi dibandingkan pada sisi dingin logam (Khalid dkk. 2016).

Gambar 10 merupakan sebuah termoelektrik yang terdiri dari rangkaian termoelektrik generator (TEG) diletakkan diantara dua suhu yaitu suhu panas ( $T_h$ ) dan suhu dingin ( $T_c$ ). Perubahan suhu ( $\Delta T$ ) yang didapat berpengaruh pada besaran energi panas yang diserap oleh termoelektrik. Besaran tegangan dan arus yang dihasilkan tergantung pada hambatan listrik ( $R$ ), konduktansi termal ( $K$ ) dan koefisien seebeck ( $\alpha$ ) pada termoelektrik (Khalid dkk. 2016).

Tabel 4. Koefisien seebeck maksimum dari rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai paralel terhadap jarak

Posisi Pemanas	Jarak (cm)	Sudut ( $^{\circ}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	V (V)	$\alpha_{MTH}$ (V/ $^{\circ}C$ )
Bawah	5	120	14,95	0,04560	0,00305
	10	90	15,90	0,04990	0,00314
	15	180	2,10	0,00740	0,00352
	20	120	2,60	0,00800	0,00308
Samping	5	60	21,88	0,06620	0,00303
	10	60	7,98	0,01560	0,00196
	15	90	6,90	0,01370	0,00199
	20	60	4,28	0,00620	0,00145
Atas	5	60	21,20	0,02980	0,00141
	10	60	13,55	0,02210	0,00163
	15	60	6,43	0,00760	0,00118
	20	60	3,70	0,00590	0,00159



Gambar 10. Rangkaian ekivalen satu termoelektrik

### Efisiensitas Sistem Generator Termoelektrik

Data nilai Efisiensi maksimum dari sistem generator termoelektrik dengan nilai perpindahan kalor yang dialami sistem generator termoelektrik adalah perpindahan panas konveksi, perpindahan aliran dari zat satu ke zat lain dengan perantara udara. Maka nilai efisiensi maksimum ditunjukkan pada Tabel 5 dan 6 berikut ini.

Pada Tabel 5 nilai efisiensi maksimum disusun seri paling besar pada semua posisi panas adalah 0,220% pada jarak 5cm, sudut  $90^{\circ}$  dari samping. Efisiensi paling besar posisi panas dari bawah 0,124% pada jarak 5 cm, sudut  $60^{\circ}$ , efisiensi paling besar dari samping adalah 0,220% pada jarak 5 cm, sudut  $90^{\circ}$  dari samping dan efisiensi paling besar pada posisi panas dari atas adalah 0,157% pada jarak 5 cm, sudut  $60^{\circ}$  posisi panas dari atas.

Pada Tabel 6 nilai efisiensi maksimum disusun paralel paling besar pada semua posisi panas adalah 0,142% pada jarak 5 cm, sudut  $60^{\circ}$  dari bawah. Efisiensi paling besar posisi panas dari bawah adalah 0,142% pada jarak 5 cm, sudut  $60^{\circ}$ , efisiensi paling besar dari samping adalah 0,137% pada jarak 5cm, sudut  $60^{\circ}$  dari samping dan efisiensi paling besar pada posisi panas dari atas adalah 0,126% pada jarak 5 cm, sudut  $60^{\circ}$  posisi panas dari atas. Nilai efisiensi berpengaruh terhadap nilai daya, semakin besar nilai daya suatu keluaran maka semakin besar nilai efisiensi yang dihasilkan. Nilai efisiensi modul termoelektrik dapat ditingkatkan dengan cara panas yang diserap diletakkan *heatsink* atau hanya memberikan temperatur lingkungan di bawah sisi dingin modul untuk menjaga perbedaan suhu dengan sisi panasnya.

Tabel 5. Efisiensi maksimum dari rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai seri

Rancangan	Posisi Pemanas	Jarak (cm)	Sudut (°)	$\Delta T$ (°C)	P (W)	Q (W)	$\eta$ (%)
Aluminium Rangkaian Seri, R = 10 ohm	Bawah	5	60	21,475	0,0743	59,687	0,124
		10	60	16,850	0,0446	46,997	0,095
		15	60	12,175	0,0229	34,037	0,067
		20	60	9,825	0,0150	27,447	0,055
	Samping	5	90	35,275	0,2134	97,165	0,220
		10	60	10,600	0,0170	29,723	0,057
		15	60	7,475	0,0082	21,047	0,039
		20	60	7,325	0,0080	20,569	0,039
	Atas	5	60	26,900	0,1172	74,697	0,157
		10	60	8,225	0,0103	23,027	0,045
		15	90	5,650	0,0049	15,821	0,031
		20	60	3,950	0,0023	11,115	0,021

Tabel 6. Efisiensi maksimum dari rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai paralel

Rancangan	Posisi Pemanas	Jarak (cm)	Sudut (°)	$\Delta T$ (°C)	P (W)	Q (W)	$\eta$ (%)
Aluminium Rangkaian Paralel, R = 10 ohm	Bawah	5	60	23,500	0,092	64,980	0,142
		10	60	21,075	0,074	58,254	0,128
		15	90	12,775	0,026	35,517	0,074
		20	60	11,950	0,022	33,410	0,066
	Samping	5	60	21,875	0,082	60,238	0,137
		10	90	8,250	0,010	23,081	0,045
		15	60	8,875	0,012	24,878	0,048
		20	60	4,275	0,003	12,028	0,022
	Atas	5	60	21,200	0,074	58,758	0,126
		10	60	13,550	0,029	37,744	0,077
		15	60	6,425	0,006	17,959	0,036
		20	60	3,700	0,002	10,397	0,020

Nilai efisiensi yang didapat sangat kecil dibandingkan nilai efisiensi maksimum termoelektrik dari satu buah termoelektrik dapat menghasilkan 5%-10% Hal ini bisa disebabkan karena panas yang hilang, pengaruh luas permukaan penerima panas bahkan gradient suhu maksimal dan faktor-faktor lainnya. Dibandingkan nilai efisiensi dari sel surya yang didapat dari penelitian Hasrul (2021) mendapatkan nilai efisiensi sebesar 16,42% jauh berbeda karena efisiensi dari termoelektrik dimanfaatkan untuk kegunaan yang memiliki daya lebih kecil seperti baterai. Tetapi termoelektrik telah membuktikan dapat mengubah panas menjadi energi listrik. Elemen termoelektrik sangat ramah lingkungan, tidak memunculkan suara serta dapat bekerja mengubah tiap derajat temperatur yang terbuang karena bersifat portabel.

**KESIMPULAN**

Hasil perbandingan sensor DS18B20 *waterproof* dengan alat ukur Termokopel memiliki nilai error rata-rata dengan *range* 20-100°C adalah sebesar 1,33°C pada data karakterisasi sensor ke-1 dan

data karakterisasi sensor ke-2 memiliki nilai error rata-rata dengan *range* 100-20°C adalah sebesar 1,15°C dengan perhitungan statistik didapat kesimpulan  $H_0$  ditolak  $H_1$  diterima artinya ada perbedaan secara signifikan terhadap suhu termokopel dengan sensor DS18B20 *waterproof* tetapi dilihat dari nilai standar error sensor DS18B20 *waterproof* adalah 0,04 dan 0,06. Posisi sudut terbaik untuk menghasilkan nilai daya pada ketiga posisi pemanas adalah sudut 60° jarak 5 cm menghasilkan nilai keluaran sebesar 2,87627W dengan nilai tegangan 0,22910 V, arus 0,01238A dari samping dirangkai seri dan 0,14302 W dengan nilai tegangan 0,05450 V, arus 0,00261 A dari bawah dirangkai paralel. Besar koefisien seebeck yang dihasilkan tidak bergantung pada sudut plat aluminium yang diserap dan jauh jarak termoelektrik terhadap sumber panas. Melainkan berpengaruh terhadap perubahan suhu yang dihasilkan, karena koefisien seebeck berbanding terbalik dengan perubahan suhu, semakin kecil perubahan suhu maka semakin besar koefisien seebecknya. Nilai efisiensi maksimum yang didapat dari rangkaian seri dengan tiga posisi pemanas adalah 0,220 % pada jarak 5 cm, sudut 90° dan rangkaian paralel dengan posisi pemanas dari bawah 0,142% pada jarak 5 cm, sudut 60° posisi pemanas dari samping. Dari nilai ini dapat disimpulkan bahwa rancangan yang mampu menghasilkan efisiensi listrik lebih besar adalah rancangan dirangkai secara seri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bur, Afdal Apriadi, dan Rozeff Pramana. 2019. "Prototype Pembangkit Listrik Memanfaatkan Energi Panas Matahari Menggunakan Thermoelectric."
- Duffie, John A., dan William A. Beckman. 2020. *Solar Engineering Of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. kelima. Wiley VCH.
- Ginanjari, Ayong Hiendro, Dedy Suryadi. 2019. "Perancangan dan pengujian sistem pembangkit listrik berbasis termoelektrik dengan menggunakan kompor surya sebagai media pemusat panas." *Universitas Tanjungpura Pontianak*.
- Hasrul, Rahmat. 2021. "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif." 5(9):79–87.
- Khalid, Muammar, Mahdi Syukri, dan Mansur Gapy. 2016. "Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik." *Jurnal Online Teknik Elektro* 1(3):57–62.
- Munis, Kristoforus Agastya. 2013. "Karakteristik Generator Termoelektrik." Sanata Dharma.
- Pradana, Muhammad Ady, dan Mahendra Widyartono. 2020. "Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan Dan Seng." *Jurnal Teknik Elektro* 9(2):251–58.
- Prasetyo, Yuli, Alfi Tranggono Agus Salim, Bachtera Indarto, Sulistyono, Muhammad Aji Pangestu, Muhammad Ruston Habibi, Muhammad Nur Cahyanto, dan Hilman Naufal Rafi. 2019. "Karakteristik Termoelektrik TEC Bervariasi Tipe dengan Variasi Pembebanan Resistor." *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur* 02(01):37–41.
- Purwanto, Agus. 2020. "Pemanfaatan Energi Panas Tungku Pandai Besi Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik (TEG)." Universitas Jember.
- Puspita, Shanti Candra, Hasto Sunarno, dan Bachtera Indarto. 2017. "Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki." *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 13(2):2–5.
- Ryanuargo, Syaiful Anwar, dan Sri Pornomo Sari. 2013. "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin." *Jurnal Rekayasa Elektrika* 10(4):180–85.
- Saputra, Zanu, Nofriyani, Ocsirendi, M. Naufal Almahmudy, dan Sunita Handayani. 2020. "Uji Termoelektrik Generator dengan Memanfaatkan Media Lapisan Timah sebagai Penyerap Panas Matahari." *Jurnal Electrices* 2(2):43–48.