

STUDI KELAYAKAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* DARI ALUMINIUM (Al) DAN KARBON (C) SEBAGAI SOLUSI LAIN ENERGI TERBARUKAN

Asniar Aliyu

Program Studi D3 Teknik Elektronika, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

E-mail: asniar@itny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat prototipe *Thermoelectric Generator* yang tersusun atas himpunan *thermocouple* seri Aluminium (Al) dan Karbon (C) sebagai sumber energi alternatif. Tahapan awal pada penelitian ini adalah membuat *thermoelectric Generator* yang tersusun atas 120 buah pasangan *thermocouple* seri atau terdiri atas 6 *thermopile* (20 pasang *thermocouple*) yang tersusun seri. Kemudian pada sisi panas (*hot side*) diberikan sumber panas menggunakan setrika listrik dan bagian sisi dingin (*cold side*) dilengkapi dengan kipas pendingin (*cooling fan*) dan mengukur tegangan luaran yang dihasilkan berdasarkan perubahan panas yang dihasilkan oleh setrika listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk suhu sampai dengan 50°C menghasilkan tegangan luaran DC dengan kenaikan perubahan tegangan rendah sedangkan diatas suhu tersebut tegangan luaran naik signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan percobaan awal ini *thermoelectric generator* Al dan C layak digunakan sebagai sumber energi alternatif.

Kata kunci: *thermocouple, thermopile, thermoelectric generator, Al, C*

Abstract

This study aims to create a prototype of a *Thermoelectric Generator* which is composed of a set of Aluminum (Al) and Carbon (C) series *thermocouples* as an alternative energy source. The initial stage in this research is to make a *thermoelectric generator* that is composed of 120 series *thermocouple* pairs or consists of 6 *thermopiles* (20 *thermocouple* pairs) arranged in series. Then the hot side is given a heat source using an electric iron and the cold side is equipped with a cooling fan and measures the output voltage generated based on changes in the heat generated by the electric iron. The test results show that temperatures up to 50°C produce a DC output voltage with a low increase in voltage change, while above that temperature the output voltage increases significantly. This shows that based on this initial experiment, Al and C *thermoelectric generators* are feasible to be used as an alternative energy source.

Keywords: *thermocouple, thermopile, thermoelectric generator, Al, C*

1. Pendahuluan

Menurut CAREPI [1], Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) telah diidentifikasi tidak memiliki sumber-sumber energi tak terbarukan seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam. Provinsi DIY menggunakan energi yang didatangkan dari luar provinsi untuk menjalankan segala aktivitas. Energi yang didatangkan dari luar provinsi terutama energi dalam bentuk energi listrik dan bahan bakar minyak (BBM) [1].

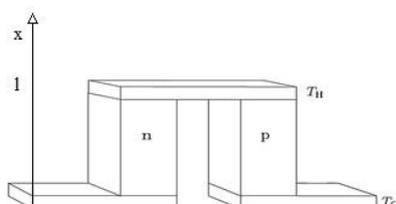
Berdasarkan analisis Perencanaan Alternatif Energi Jangka-Panjang (*Long-Range Energy Alternatives Planning*, LEAP) yang dilakukan oleh Casindo, estimasi energi untuk Daerah Istimewa Yogyakarta dari tahun 2005 - 2025 diperoleh seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 [1][2]. Bahwa pada tahun 2025 nanti, daerah Yogyakarta tidak ada produksi energi apalagi aktivitas ekspor, yang ada adalah mengimpor energi dari luar Yogyakarta untuk memenuhi kebutuhan daerah.

Tabel 1. Energy Balance for Casindo-Jogja-V

	Solid Fuels	Biomass	Electricity	Oil Products	Total
Production	0	0	0	0	0
Imports	0	0	5	23	28
Exports	0	0	0	0	0
Total Primary Supply	0	0	5	23	28

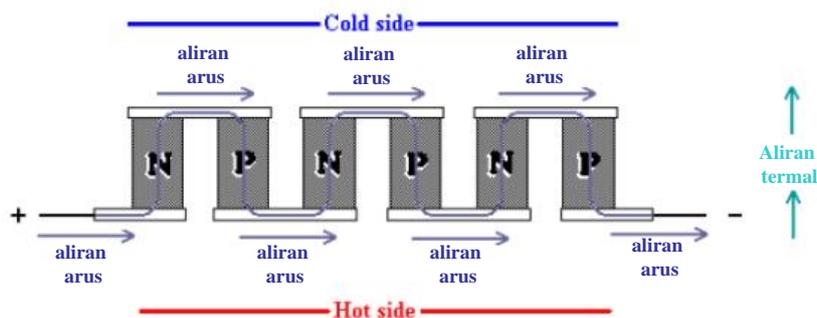
Masalah krisis energi dengan penipisan sumber cadangan energi tak terbarukan, memaksa pemerintah dan badan-badan penelitian nasional dan swasta serta kalangan akademisi mulai mengambil perhatian pada pemanfaatan energi yang berasal dari sumber-sumber energi terbarukan, salah satunya adalah menggunakan pembangkit termoelektrik (*Thermoelectric Generators*, TEG). Hal ini ditunjang oleh sumber-sumber panas yang ada di sekitaran, misalnya sumber panas yang berasal dari matahari, sumber panas buangan dari Air Conditioning, kompor masak, atau sumber panas lainnya.

Divais termoelektrik terbuat dari semikonduktor yang dapat mengubah panas menjadi energi listrik secara langsung dan umumnya berbentuk pipa-paralel persegi panjang seperti ditunjukkan dalam gambar berikut ini [3].



Gambar 1 Bentuk dasar divais termoelektrik (*thermocouple*)

Sepasang semikonduktor tipe-n dan p, yang disebut termokopel, adalah unit dasar dari modul *thermoelectric*. Semikonduktor tipe-n dan tipe-p dihubungkan secara elektrik pada salah satu ujungnya. TH dan TC adalah suhu persimpangan dan suhu dasar masing-masing. Divais termoelektrik ini akan mengubah energi panas menjadi energi listrik dengan menggunakan termokopel yang disusun seri seperti tergambar berikut ini.



Gambar 2 Elemen thermoelectric yang tersusun seri

Elektron mengalir dari sisi panas (*hot side*) ke sisi dingin (*cold side*) pada tipe “n”, sedangkan lubang (*hole*) mengalir dari sisi panas ke sisi dingin pada “tipe p”. Penggabungan secara seri ini akan meningkatkan tegangan luarnya.

Desain thermoelectric generator dari pasangan logam (aluminium) dan logam (tembaga) sudah dilakukan oleh M. A. Afolabi dan M. H. Ali pada tahun 2016 dengan judul: *Design of Thermoelectric Generator from Aluminum and Copper Elements*. Dalam penelitian tersebut dihasilkan tegangan luaran 4 mV untuk perbedaan suhu hingga 200°C menggunakan aluminium dan tembaga yang didesain mandiri [4].

Sedangkan dalam penelitian ini adalah mencoba pendekatan lain dengan membuat prototipe dari logam (Al) dan non logam (C). Untuk material karbon yang digunakan adalah isi pensil dan bukan merupakan karbon murni. Hal ini dilakukan sebagai langkah awal untuk mengetahui potensi *thermoelectric generator* dari Aluminium (Al) dan karbon (C) sebagai solusi lain energi terbarukan dengan memanfaatkan sumber yang mudah didapatkan di sekitaran. Untuk menetapkan pilihan ini terlebih dahulu dilakukan uji coba (*trial and error*) material logam dengan logam (aluminium dengan tembaga) tetapi hasil pengujian tidak memberikan luaran yang signifikan [uji berupa kawat dan lembaran tipis paduan Al dan Cu]. Kemudian dilakukan uji coba lainnya dengan material logam dan non logam berdasarkan percobaan independen yang juga sifatnya uji coba melalui laman YouTube dan dari hasil uji coba tersebut memperlihatkan tegangan luaran signifikan. Hanya saja pada percobaan tersebut diujikan dengan sumber panas yang tinggi, sedangkan pada penelitian ini diuji dengan sumber panas yang bisa diperoleh bebas di sekitaran dan juga model sel yang berbeda.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan alat penelitian

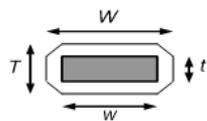
Bahan penelitian yang dibutuhkan adalah material alumunium dan pensil mewakili elemen karbon (yang umum digunakan oleh pekerja bangunan) serta kabel penghubung antar sel dalam *thermopile*, sedangkan alat yang digunakan adalah alat ukur berupa multimeter digital. Bentuk ini adalah bentuk hasil modifikasi setelah penelitian terdahulu menghasilkan koneksi yang buruk antar selnya.

Adapun spesifikasi material yang digunakan untuk membuat *Thermoelectric Generator* adalah ditunjukkan dalam berikut.

Tabel 2. Spesifikasi material yang digunakan

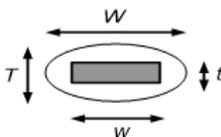
No.	Keterangan	Ukuran (cm)		Efektif (mm)		Efektif (mm)		Jumlah (sel)
		panjang	lebar	panjang	lebar	panjang	lebar	
				Pencil		Alumunium		
1	Satu <i>Thermocouple</i>	1,4	0,5	2,5	0,2	4,5	0,2	1
2	Satu <i>Thermopile</i>	6,3	5,3					20
3	Satu <i>Thermoelectric Generator</i>	15	10					120

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis pensil yang berbentuk kotak dan berbentuk bulat. Sebenarnya model kotak adalah yang hendak digunakan secara keseluruhan, karena ketersediaan di pasaran terbatas, maka model bulat juga digunakan. Hal ini tidak menjadi masalah karena yang dibutuhkan hanyalah isi dari pensil (semua berbentuk persegi panjang) sebagai konduktor. Pelindung luar yang dari kayu sekaligus sebagai isolasi antar selnya. Kelemahan dari model bulat ini adalah membuat sambungan antara sel-sel *thermocouple*-nya menjadi tidak sempurna karena menyisakan ruang kosong di antaranya. Ilustrasi kedua pensil dan spesifikasinya serta gambar riilnya ditunjukkan pada Gambar 3.



Typical Condition

W=19/32" (15 mm), T=1/4" (6,3 mm),
w=1/4"(6,3mm), t=3/32" (2,4 mm)



Typical Condition

W=1/2' (12,7 mm)', T=9/32" (7,1 mm),
w=3/16"(4,8mm), t=3/32" (2,4 mm)
W=5/32' (10,3 mm)', T=5/16" (8 mm),
w=5/32"(4mm), t=3/32" (2,4 mm)



Pensil dengan isolasi luar berbentuk kotak



Pensil dengan isolasi luar berbentuk bulat

Gambar 3 Jenis pensil yang ada di pasaran

Jenis pensil ini dipilih dengan pertimbangan memiliki nilai hambatan yang rendah (termasuk jenis 4H) di mana menurut penelitian yang dilakukan oleh Iman Nurzaman dkk [4]. Jenis pensil dengan symbol H ini memiliki kandungan tanah liat (*clay*) lebih besar dibandingkan kandungan grafitnya sedangkan simbol 4 menginformasikan kekerasan komposisi isi pensilnya [5]. Selain itu bentuknya yang kotak akan membuat struktur sel (*thermocouple*) setelah digabungkan dengan alumunium menjadi lebih kompak.

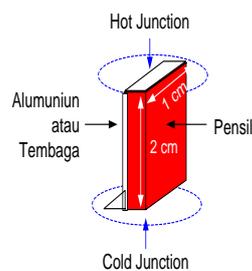
Alat ukur digital yang digunakan adalah merek Kyoritsu 1011 seperti ditunjukkan dalam Gambar 4 untuk mengukur tegangan luaran dari *thermoelectric generator*. Dalam penelitian ini digunakan dua multimeter digital dengan merek yang sama. Multimeter digital pertama untuk mengukur temperatur dan lainnya untuk mengukur tegangan luaran.



Gambar 4. Multi Tester Digital - Kyoritsu 1011

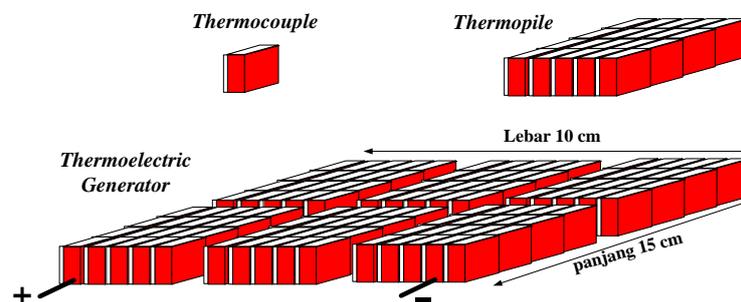
2.2 Langkah penelitian

Langkah awal adalah membuat sel termokopel yang menggabungkan material pensil dengan aluminium. Pensil yang digunakan adalah dari jenis pensil yang biasa digunakan oleh pekerja bangunan (jenis 4H). Dengan cara yang sama dilakukan untuk gabungan logam dengan karbon (*pencil*) dengan panjang yang berbeda sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5. Berdasarkan pengalaman pertama di mana koneksi antara aluminium dan isi pensil (bahan campuran *carbon/grafit/clay*) tidak sempurna, maka penyempurnaannya digunakan teknik memasukan sebagian material aluminium ke celah antara kayu pelapis dan isi pensil. Teknik ini sangat sulit dilakukan karena kesalahan kecil berakibat rusaknya isolasi konduktor pensil (kayu pelindung isi pensil) sehingga berpengaruh terhadap jumlah *thermopile* yang dibuat.



Gambar 5. Termokopel jenis alumunium dan karbon (pensil)

Sel-sel *thermocouple* independen yang telah dibuat selanjutnya disusun seri yang terdiri atas 20 sel menjadi sebuah *thermopile*. Terdapat 6 *thermopile*, sehingga total jumlah *thermocouple* dalam satu *thermoelectric generator* adalah 120 pasang yang semuanya tersusun seri. *Thermoelectric Generator* ini memiliki Panjang sekitar 15 cm dan lebar 10 cm. Ilustrasi *thermocouple* yang disusun seri ditunjukkan dalam Gambar 6.

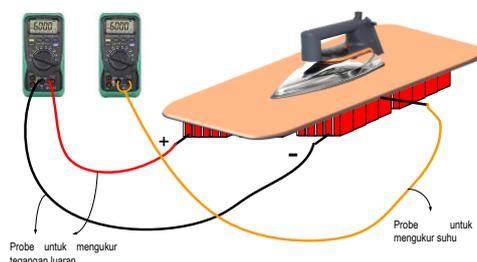


Gambar 6. Thermoelectric Generator dari Alumunium dan isi pensil

Ujung-ujung dari *thermocouple* serinya dipasang konduktor terbuka yang berfungsi sebagai terminal positif dan negatif yang nantinya akan dihubungkan ke alat ukur.

Setelah *thermoelectric generator* terbentuk, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian tegangan luaran dengan memberikan sumber panas dari setrika listrik pada sisi panasnya (*hot side*) dan kipas pendingin (*cooling fan*) pada sisi dinginnya (*cold side*) seperti dalam Gambar 7. Untuk menghindari

kontak langsung dengan konduktor (*thermocouple*), maka bagian yang terpapar panas dilapisi dengan material tahan panas. Pada penelitian ini digunakan bahan pelapis dari sejenis kertas kardus karena memiliki rongga sehingga mudah meletakkan *probe* alat ukur temperatur di antaranya.

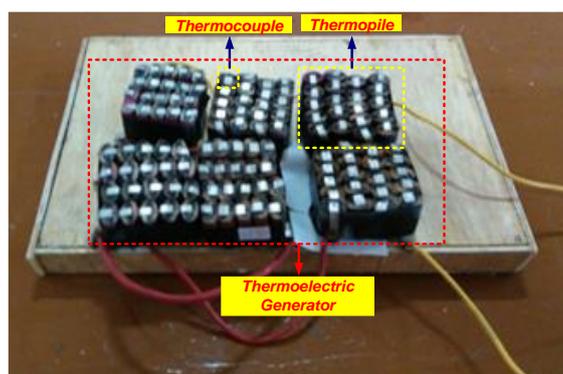


Gambar 7. Ilustrasi proses pengukuran tegangan luaran dan temperatur

Pengujian dilakukan sebanyak dua kali di waktu yang berbeda dengan memperhatikan karakteristik alat dan dengan suhu maksimal dibatasi hanya sampai 100°C.

3. Hasil dan Analisis

Hasil rancang bangun *thermogenerator* Al dan C ditunjukkan dalam Gambar 8. Satu sel atau disebut juga *thermocouple* terdiri atas dua material, yakni aluminium dan isi pensil. Satu *thermopile* pada hasil rancangan di atas tersusun dari 20 sel (20 pasang *thermocouple*) dan satu *thermoelectric generator* terdiri atas 6 (enam) *thermopile* atau tersusun atas 120 *thermocouple*.



Gambar 8. *Thermoelectric Generator* Al dan C

Pada gambar tersebut di atas terlihat bahwa luaran atau lapisan pelindung dari isi pensil terdiri atas dua jenis yang kotak dan bulat. Lapisan yang berbentuk kotak membuat konstruksinya jauh lebih kompak sedangkan yang berbentuk bulat meninggalkan celah diantaranya sehingga konstruksinya menjadi lebih lebar [bahwa luasan satu *thermopile* bentuk bulat sebenarnya bisa diisikan dengan atau ditambahkan *thermocouple* lainnya jika menggunakan yang bentuk kotak sehingga nilai tegangannya bisa naik karena jumlah tegangan yang dihasilkan terkait jumlah pasangan seri *thermocouple* terpasang]. Hal ini tidak menjadi masalah karena yang penting adalah dimensi isi pensilnya sama. Dalam gambar di atas juga terlihat, material aluminiumnya diselipkan diantara isi pensil dan isolasi luarnya (kayu) dan dihubungkan ke isi pensil selanjutnya dalam satu *thermopile*. Antara *thermopile* satu dan *thermopile* lainnya dihubungkan menggunakan konduktor kawat.

Pengukuran tegangan luaran terhadap kenaikan temperatur dilakukan dengan sumber panas yang berasal dari setrika listrik (*hot side*) dan sisi dingin dipasang kipas pendingin (*cold side*). Terlihat pada Gambar 9 antara *Thermoelectric Generator* dan sumber panas dilapisi dengan kertas kardus yang memiliki rongga untuk tempat meletakkan *probe* temperatur sehingga tidak ada kontak langsung antara sumber panas dengan *Thermoelectric Generator*. Dokumentasi ketika melakukan pengukuran tegangan luaran tersebut ditunjukkan berikut ini.



Gambar 9. Proses pengujian *Thermoelectric Generator* Al dan C

Percobaannya dilakukan sebanyak dua kali di waktu yang berbeda untuk alat yang sudah dikondisikan di mana tidak lagi ada energi panas tersimpan di dalamnya. Bahwa pemberian sumber panas berulang menyebabkan terjadi kesalahan (*error*) pembacaan yang cukup besar karena alat ini masih menyimpan panas.

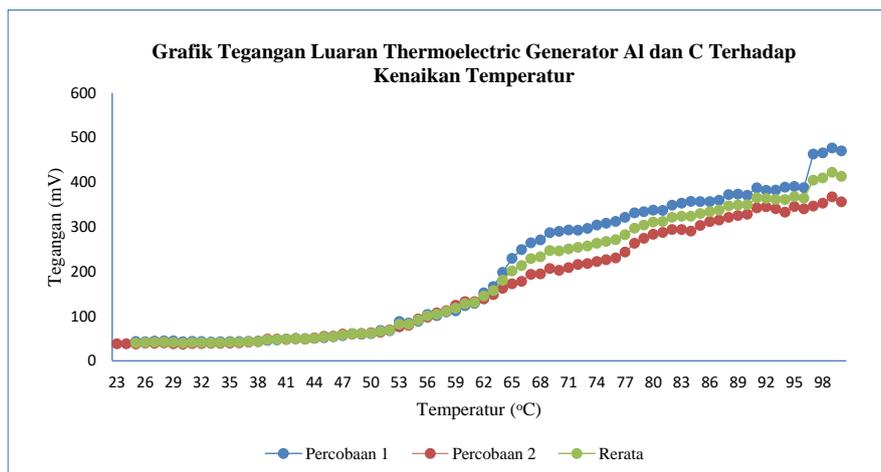
Adapun hasil pengukurannya dalam bentuk perubahan tegangan luaran (DC mV) terhadap kenaikan temperatur ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pembacaan tegangan luaran *thermoelectric generator*

No.	Suhu (°C)	Percobaan 1	Percobaan 2	Rata-Rata (mV)
		Tegangan (mV)	Tegangan (mV)	
1	23		38,4	
2	24		38,5	
3	25	43,4	38	40,7
4	26	43	40	41,5
5	27	44,3	39,2	41,8
6	28	45	40,4	42,7
7	29	44,9	38,2	41,6
8	30	43	37,4	40,2
9	31	43,8	38,8	41,3
10	32	43,5	38,8	41,2
11	33	42,7	39,3	41,0
12	34	42,9	39,2	41,1
13	35	43,4	40,2	41,8
14	36	43,6	40,7	42,2
15	37	44,1	41,8	43,0
16	38	44,3	43,1	43,7
17	39	45,9	48,9	47,4
18	40	47	48,9	48,0
19	41	48,8	48,1	48,5
20	42	50,3	49,4	49,9
21	43	50	49,1	49,6
22	44	50,3	51,4	50,9
23	45	52,1	55,1	53,6
24	46	54	55,6	54,8
25	47	56,8	59,9	58,4
26	48	60,9	60,1	60,5
27	49	59,6	61,6	60,6
28	50	60,9	63,1	62,0
29	51	68,4	64,2	66,3
30	52	67,9	69,8	68,9
31	53	88,6	76,2	82,4
32	54	84,7	79,9	82,3

No.	Suhu (°C)	Percobaan 1	Percobaan 2	Rata-Rata (mV)
		Tegangan (mV)	Tegangan (mV)	
33	55	88,8	93,9	91,4
34	56	104	97,9	101,0
35	57	101,4	107,5	104,5
36	58	109,5	112,8	111,2
37	59	112,2	124,6	118,4
38	60	123,9	132,8	128,4
39	61	128,6	132,9	130,8
40	62	152,3	138,8	145,6
41	63	166,8	148,5	157,7
42	64	198,4	162,8	180,6
43	65	229,8	172,8	201,3
44	66	249,1	178,2	213,7
45	67	264,4	193,8	229,1
46	68	271,2	194,8	233,0
47	69	287,3	207,2	247,3
48	70	290,3	202,8	246,6
49	71	293,3	208,8	251,1
50	72	292,7	216,2	254,5
51	73	296,6	217,9	257,3
52	74	304,4	222,7	263,6
53	75	308,2	226,7	267,5
54	76	312,6	230,7	271,7
55	77	321,4	243,8	282,6
56	78	331,6	263,3	297,5
57	79	334,2	274,4	304,3
58	80	337,6	283,8	310,7
59	81	337,2	287,8	312,5
60	82	348,8	294	321,4
61	83	353,2	294,4	323,8
62	84	357,2	290,9	324,1
63	85	356,8	303,1	330,0
64	86	356,8	311,8	334,3
65	87	360	315,2	337,6
66	88	372,4	321,7	347,1
67	89	373,2	325,7	349,5
68	90	370,8	328,4	349,6
69	91	387,7	342,9	365,3
70	92	382	345,4	363,7
71	93	382,6	340,8	361,7
72	94	389,2	333,3	361,3
73	95	390,6	345,6	368,1
74	96	387,9	340,8	364,4
75	97	463	346,8	404,9
76	98	465,8	353,5	409,7
77	99	477,1	367,4	422,3
78	100	470,3	356,4	413,4

Sedangkan hubungan tegangan luaran pada Percobaan 1 dan 2 serta rerata tegangan terhadap kenaikan temperatur dalam bentuk grafik ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 10. Grafik hasil pengukuran tegangan luaran terhadap kenaikan temperatur

Terlihat dalam Tabel 3 dan Gambar 10 di atas bahwa untuk temperatur dari 23°C hingga 50°C tegangan rerata luaran berubah lambat dalam rentang 40 mV hingga 60 mV dan naik signifikan di atas temperatur tersebut yang memberikan luaran dari 66,3 mV hingga 413,4 mV. Pada temperatur maksimal 100°C, thermoelectric generator dapat menghasilkan tegangan rerata sebesar 413,4 mV atau sekitar 0,4 V. Pengaruh Seebeck-nya masih belum diperhitungkan dalam penelitian awal ini karena kesulitan dalam membuat sisi dingin (*cold side*) pada selnya agar berada pada 0°C sangat sulit sehingga pembacaan awal suhu pada sisi dinginnya sama dengan suhu ruang seperti tertera dalam Tabel 3.

Thermoelectric Generator ini sebagaimana disebutkan sebelumnya adalah hasil modifikasi karena hasil pembacaan tegangan untuk 120 sel sangat kecil dan tidak bisa dibaca oleh alat perekam dan pencatat digital (*datalogger*), maka pembacaannya dilakukan manual dengan cara merekam hasil pembacaan alat ukur melalui video dan dituangkan ke dalam tabel hasil pengamatan melalui pembacaan berulang data terekamnya untuk menghindari kesalahan dalam pembacaan data.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian Thermoelectric Generator Aluminium (Al) dan isi pensil (C) pada suhu 100°C dapat menghasilkan tegangan 0,4V_{DC} (413 mV). Dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk membuat sisi dinginnya benar-benar berada di titik 0°C dan desain thermoelectric generator yang lebih kompak [untuk luasan yang sama pada thermopile di atas bisa diisi dengan jumlah sel yang banyak dengan mengambil bentuk pensil model kotak serta menipiskan isolasi luar atau kayu pelindung pensilnya] agar tegangan luaran yang dihasilkan jauh lebih besar.

Daftar Pustaka

- [1] CAREPI, "Energy Profile of Daerah Istimewa Yogyakarta Province Year 2005, The Contributing to Poverty Alleviation Through Regional Energy Planning in Indonesia (CAREPI) Project Team of Daerah Istimewa Yogyakarta," CAREPI Project Team of Daerah Istimewa Yogyakarta, Jakarta, 2008.
- [2] A. Sugiyono, "Pengembangan Energi Alternatif di Daerah Istimewa Yogyakarta: Prospek Jangka Panjang," in *Seminar Nasional VI Universitas Teknologi Yogyakarta*, Yogyakarta, 2010.
- [3] N. Aimable, "Design, Modeling, and Fabrication of Thermoelectric Generator for Waste Heat Recovery in Local Process Industry," University of Agder, Grimstad, 2017.
- [4] I. Nurzaman, E. Trimayanti, E. S. Zainuddin and S. N. Khotimah, "Rangkaian Listrik Menggunakan Isi Pensil," in *SNIPS*, Bandung, 2018.
- [5] M. A. Afolabi and M. H. Ali, Design of Thermoelectric Generator from Aluminum and Copper, Vols. 13, Issue 5, Nigeria: researchgate, 2016, pp. 60-65.