

UTILIZATION OF CONCRETE ROAD TEMPERATURE TO SUPPORT ELECTRICAL ENERGY USING A Z-SHAPED COPPER PLATE AS A THERMOELECTRIC GENERATOR

Harri Gunawan¹, Rahmat Iman Mainil² dan Azridjal Aziz³

ABSTRACT

As knowledge and technology increase, everyone will need electricity to carry out daily activities. Existing electrical energy sources are very limited. Various attempts were made to find new sources of electrical energy. One of them is a thermoelectric generator. Thermoelectric generators are electrical generator devices that convert heat (temperature difference) into electrical energy through the feedback effect. In this study, using 3 thermoelectric generator modules with type SP 1848 arranged in series with Z-shaped copper plates as heat receivers and a heatsink filled with water as a cooling medium. The research was carried out by utilizing the heat energy from a concrete road when exposed to solar radiation with a class III cast concrete type with K 450 placed on a medium with a size of 550 mm x 300 mm x 100 mm. The results of the research conducted show that the maximum power generated by using concrete produces a power of 15.21 mW when solar radiation is 1022 W / m². With the energy that is generated continuously every day, this research can be developed so that it can be used for alternative energy needs in the future.

Keywords: Alternative Energy, Solar Radiation, Thermoelectric, Electrical, Generator, Electric

PENDAHULUAN

Listrik bagi manusia di zaman modern merupakan kebutuhan besar yang tidak bisa dihindarkan. Setiap orang pasti membutuhkan listrik untuk melakukan kegiatan sehari-hari,

^{1,2,3} Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

*Corresponding author:

harri.gunawan1949@student.unri.ac.id

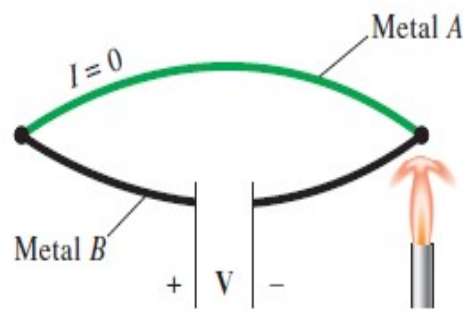
tak terkecuali masyarakat Indonesia. Di Indonesia ada beberapa sumber energi yang dapat digunakan untuk membangkitkan listrik yang dibedakan menjadi dua jenis. Pertama, pembangkit listrik dengan kapasitas makro yang biasanya memanfaatkan air, uap, gas, dan nuklir dan kedua pembangkit listrik dengan kapasitas mikro yang salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi panas. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah energi matahari dan benda-benda yang melepaskan panas, seperti setrika, panas pembakaran dapur industri dan knalpot kendaraan bermotor. Jika ditinjau dari letak geografisnya, Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga mempunyai potensi sumber energi surya yang berlimpah.. Penggunaan energi ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan radiasi cahaya dan suhu panasnya (Pradana, 2020).

Radiasi matahari yang berupa panas matahari dapat di manfaatkan untuk memanasi permukaan jalan beton dan jalan aspal. Seperti yang kita ketahui jalan beton saat ini semakin banyak digunakan di Indonesia. seperti jalan tol, *ring road* atau jalan utama, dengan memanfaatkan teknologi dari termoelektrik generator yang merupakan alat yang secara langsung mengkonversi energi panas menjadi listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur. Sehingga cocok untuk di aplikasikan pada jalan beton yang secara terus menerus terpapar radiasi matahari (Indonesia, S. S, 2017)

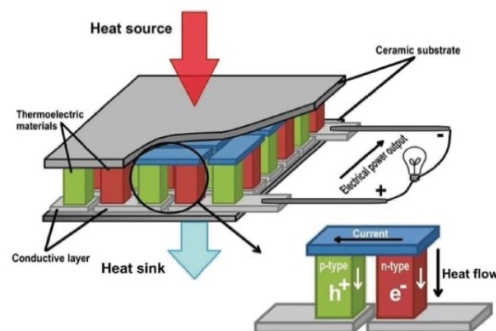
Material termoelektrik cukup di letakan pada sumber panas dan dingin dari rangkaian itu akan di hasilkan listrik sesuai jenis bahan yang dipakai. Konsep *seebeck* sebagai efek dari dua buah material logam yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Sedangkan efek *peltier* adalah kebalikan dari efek *seebeck* apabila dua buah logam direkatkan kemudian dialirkan listrik maka di antara kedua sisi logam tersebut terjadi perbedaan temperatur (Puspita, S. C, 2017).

Pada gambar 1 merupakan gambaran dari skema efek seebeck. Termoelektrik generator juga sering disebut *seebeck* generator yaitu perangkat generator listrik yang mengkonversikan panas (perbedaan suhu) langsung menjadi energi listrik, menggunakan fenomena yang disebut efek *seebeck*. Efek *seebeck* pertama kali diamati oleh dokter Thomas Johan *Seebeck*

pada tahun 1821. Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung. Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan efek *seebeck*. Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan jumlah listrik sesuai dengan seberapa besar perbedaan temperatur yang dapat dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan oleh efek Seebeck biasanya relatif kecil, hanya berada pada kisaran mikrovolt per Kelvin, namun hal itu dapat diatasi dengan merancang modul termoelektrik secara seri untuk meningkatkan keluaran tegangan, atau secara paralel untuk meningkatkan arus maksimal. Perancangan modul elektrik secara benar dan efisien dapat menyediakan energi listrik yang bermanfaat jika mempertahankan perbedaan temperatur yang besar pula (Cengel, Y. A, 2015).



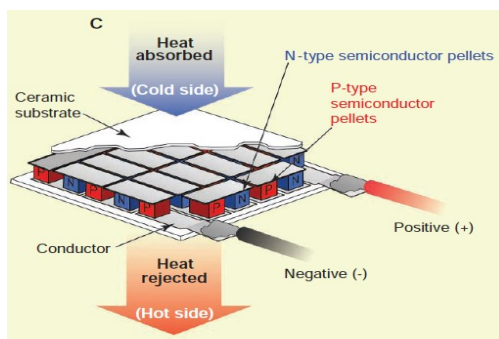
Gambar 1. Skema efek seebeck (Cengel, Y. A. 2015)



Gambar 2. Termoelektrik Generator (Jiang, W. Y, 2017)

Pada gambar 2 merupakan gambaran dari termoelektrik generator, Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna.

Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Persoalan untuk termoelektrik adalah untuk mendapatkan bahan yang mampu bekerja pada suhu tinggi (Jiang, W. Y, 2017)



Gambar 3. Modul Termoelektrik Mengkonversi Panas Menjadi Listrik (Bell, L. E, 2018)

Pada gambar 3 merupakan gambaran dari sebuah termoelektrik yang diwakili oleh rangkaian termoelektrik generator diletakkan diantara 2 reservoir suhu yaitu sisi panas (T_h) dan sisi dingin (T_c). Kedua suhu ini (ΔT) berpengaruh pada besaran energi panas (Q_H) yang diserap oleh termoelektrik serta besaran tegangan dan arus yang akan dihasilkan. Sebuah termoelektrik generator dikarakteristikan dengan adanya hambatan listrik isothermal (R), konduktansi termal (K) dan koefisien *seebeck* (S) (Guo, L, 2017).

Secara umum, beberapa material pembangkit termoelektrik yang telah diproduksi menggunakan bahan dan temperatur kerjanya masing-masing sebagai berikut (Khalid, M, 2016).:

1. *Silicon Germanium* ($750^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$).
2. *Lead Telluride* ($400^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$).

3. *Bismuth Telluride Alloys* (Maksimal 350°C).

Beberapa penelitian yang telah memanfaatkan modul termoelektrik generator sebagai energi listrik dilakukan oleh (Datta U, 2017). yaitu dengan menggunakan 2 variasi modul termoelektrik yaitu dua buah modul termoelektrik dan empat buah termoelektrik dengan menggunakan pelat tembaga berbentuk-Z, pada sisi pendinginannya menggunakan heat sink yang diletakkan di bawah tanah dan diisi dengan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan 2 modul termoelektrik perbedaan temperatur yang didapat sebesar 7,6 °C dan daya listrik yang dihasilkan sebesar 14,3 mW sedangkan dengan menggunakan 4 buah modul termoelektrik perbedaan temperatur yg didapat sebesar 7,1 °C dan daya listrik yang dihasilkan sebesar 9,8 mW.

Pada tahun selanjutnya (Jiang, J. X, 2018) juga melakukan penelitian yaitu dengan menggunakan 3 buah modul termoelektrik dan dengan menggunakan pelat berbentuk I, perbedaan temperatur yang didapat sebesar 29,6 °C dan output listrik yang dihasilkan sebesar 0,564 Volt.

Pada tahun selanjutnya (Tahami, M. G, 2019) juga melakukan penelitian yaitu dengan menggunakan 2 buah modul termoelektrik dan untuk menghantarkan panasnya menggunakan pelat tembaga berbentuk-L, sisi pendingin menggunakan *heatsink* yang diisi dengan bahan perubahan fase mikroenkapsulasi (MPCM) yang berguna untuk membantu menstabilkan suhunya. Perbedaan temperatur yang didapat sebesar 34 °C dan daya yang dihasilkan sebesar 34 mW.

Berdasarkan hal diatas, penulis bermaksud melakukan penelitian terkait pemanfaatan panas jalan beton menggunakan pelat tembaga berbentuk Z sebagai media penghantar panas ke sisi panas termoelektrik generator dan untuk sisi dingin menggunakan heatsink yang diisi dengan air .

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh radiasi matahari terhadap daya yang dihasilkan dari modul termoelektrik generator tipe SP 1848 yang pada sisi panasnya menggunakan temperatur dari jalan beton yang dialirkan oleh pelat tembaga berbentuk Z dan sisi dingin akan memakai heatsink yang diisi dengan air.

METODE

1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (experimental research). Pengujian dilaksanakan dilapangan laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

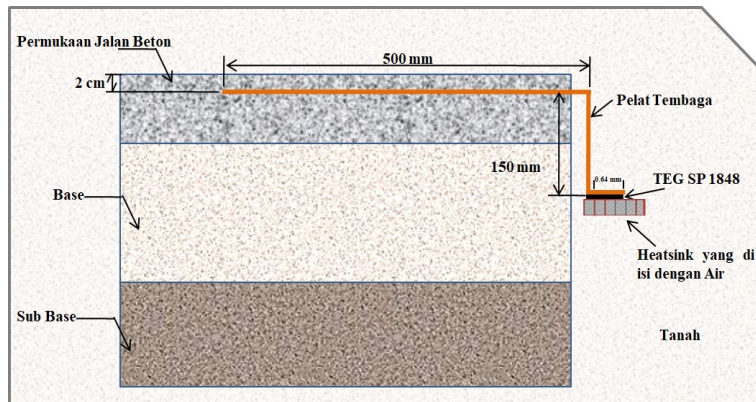
2. Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan adalah termoelektrik generator dengan tipe SP 1848, Beton yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu beton cor dengan Klas III dengan K 450 material ini yang berfungsi untuk membantu sistem kerja pembangkit listrik termoelektrik generator, pelat tembaga berbentuk Z.berfungsi untuk mengumpulkan panas yang ada pada beton untuk kemudian akan di hantarkan secara konduksi kedalam tanah yang sudah ditempelkan modul termoelektrik generator, heat Sink berfungsi untuk menguraikan panas atau alat yang akan membantu proses lepasnya panas yang diterima modul termoelektrik generator.

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu termometer Tipe K lutron TM-946 yang digunakan untuk membaca temperatur pada setiap termokopel yang terpasang pada sistem, multimeter digital hioki DT4211 yang digunakan sebagai alat ukur tegangan dan arus, solar power meter tenmars TM-206 digunakan untuk mengukur radiasi matahari yang diterima selama pengujian alat, thermo-anemometer pada pengujian ini temperatur meter digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan.

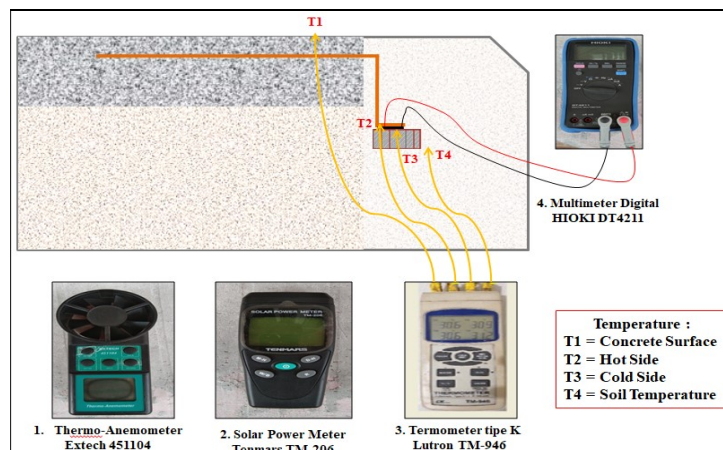
3. Konsep Desain

Gambar 4 dibawah ini adalah gambar konsep dari perancangan alat yang akan di pakai dan bagaimana sistem pembangkit listrik ini bekerja.



Gambar 4. Konsep Desain

Pada gambar 4 merupakan gambaran konsep desain dari penelitian ini yaitu beton diletakkan pada media beton yang sudah disiapkan, pelat tembaga dimasukkan kedalam beton dengan panjang 50 cm dan pada kedalaman 2 cm, pelat tembaga memiliki bentuk Z, Bagian Pelat dibagi menjadi 2 yaitu kolektor panas yang dibenamkan dalam beton 50 cm dan bagian yang menyalurkan panas ke termoelektrik hingga kedalaman 15 cm dan 5 cm untuk dipasangkan termoelektrik generator secara seri.



Gambar 5. Instalasi Alat Uji Termoelektrik Generator

Pada Gambar 5 merupakan gambar instalasi alat uji termoelektrik generator, adapun langkah-langkahnya yaitu mempersiapkan alat dan bahan pengujian yang akan digunakan,

menentukan lokasi pengujian yang menerima radiasi matahari secara maksimal, selanjutnya menempatkan media beton dan aspal yang telah tertanam pelat tembaga pada lokasi pengujian yang telah ditentukan, menempatkan 3 buah modul termoelektrik generator pada pelat tembaga dengan rangkaian seri dan menempatkan heat sink pada modul termoelektrik generator di pelat tembaga.

Setelah alat uji termoelektrik generator terpasang, langkah selanjutnya yaitu menghubungkan kabel sensor termokopel T1 pada permukaan beton, termokopel T2 pada sisi panas termoelektrik generator, termokopel T3 pada heat sink untuk mengukur sisi dingin modul termoelektrik generator, termokopel T4 pada tanah untuk mengukur temperatur tanahnya, Selanjutnya menghubungkan rangkaian modul termoelektrik pada multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan, menempatkan temperatur meter pada lokasi pengujian untuk mengetahui temperatur lingkungan dan menempatkan alat ukur solar power meter dilokasi pengujian untuk mengukur radiasi matahari.

4. Parameter Termoelektrik Generator

Berikut adalah parameter dari perhitungan pada termoelektrik generator SP 1848 [14] [15]:

Koefesien *seebeck* dihitung menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{V}{\Delta T} \quad (1)$$

Keterangan :

S =Koefisien *Seebeck* ($V/^{\circ}C$)

V =Tegangan (V)

ΔT =Perbedaan Temperatur ($^{\circ}C$)

Untuk mengetahui *heat transfer Coefficient* termoelektrik generator dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$K_{TEG} = \frac{K_{SI} - T_H \times A_{TEG}}{A_{TEG}} \quad (2)$$

Keterangan :

K_{TEG} =*heat transfer Coefficient* termoelektrik generator ($W/^{\circ}C$)

K_{Bi-Te} =Konduktivitas termal *bismuth telluride* (W/m.°C)

A_{TEG} =Luas permukaan termoelektrik generator (m²)

t_{TEG} =Tebal termoelektrik generator (m)

Untuk mengetahui nilai kalor yang diserap pada sisi panas termoelektrik (Q_H) dan kalor yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (Q_C) dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_H = K_{TEG}(T_H - T_C) + (S_{TEG} \cdot T_H \cdot I) - \left(\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_{TEG}\right) \quad (3)$$

$$Q_C = K_{TEG}(T_H - T_C) + (S_{TEG} \cdot T_C \cdot I) - \left(\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_{TEG}\right) \quad (4)$$

Keterangan :

Q_H =Kalor yang diserap pada sisi panas modul termoelektrik (W)

Q_C =Kalor yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (W)

T_H =Temperatur pada sisi panas modul termoelektrik (°C)

T_C =Temperatur pada sisi dingin modul termoelektrik (°C)

K_{TEG} =*heat transfer Coefficient* modul termoelektrik (W/°C)

S_{TEG} =Koefesien *Seebeck* (V/°C)

I =Arus (A)

R_{TEG} =Hambatan (Ω atau V/A)

Daya listrik yang dihasilkan oleh modul termoelektrik (P_{TEG}) dapat didefinisikan melalui persamaan efisiensi konversi energi (η) yaitu :

$$\eta = \frac{P_{TEG}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} \quad (5)$$

Keterangan :

η =Efisiensi (%)

P_{TEG} =Daya Listrik (W)

P_{TEG} dapat dihitung dengan mengetahui besar arus listrik (I) dan besar tegangan yang diberikan (V_{TEG}), seperti dapat dilihat pada persamaan :

$$P_{TEG} = V_{TEG} \times I \quad (6)$$

Keterangan :

P_{TEG} =Daya Listrik (W)

V =Tegangan Listrik (V)

I =Arus (A)

Hambatan dari modul termoelektrik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$R_{TEG} = \frac{V}{I} \quad (7)$$

Keterangan :

R_{TEG} =Hambatan (Ω atau V/A)

V =Tegangan (V)

I =Arus (A)

Untuk mengetahui penyerapan radiasi matahari pada jalan beton dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{abs} = \alpha \times Q_{incident} \quad (8)$$

$$Q_{ref} = (1 - \alpha) \times Q_{incident} \quad (9)$$

$$Q_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (10)$$

Keterangan :

Q_{abs} =Laju perpindahan kalor yang diserap (W)

Q_{ref} =Laju perpindahan kalor yang dipantulkan (W)

Q_{rad} =Laju perpindahan kalor radiasi (W)

Q_{in} =Radiasi yang terjadi (W/m^2)

α =Absorptivitas

ε =Emisivitas

σ =Konstanta Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

A_s =Luas permukaan bidang (m^2)

T_s =Temperatur permukaan ($^{\circ}C$)

T_{surr} =Temperatur lingkungan sekitar ($^{\circ}C$)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data pengujian diperoleh dari data yang didapatkan langsung saat pengujian eksperimental, pengujian dilakukan dilapangan yang secara langsung terpapar sinar matahari penuh yang dilakukan selama 4 hari berturut-turut yaitu dari jam 10.00 WIB sampai dengan

jam 15.00 WIB, perekaman data dilakukan setiap 30 menit sekali. Pengolahan data pengujian dilakukan pemilihan data yang terbaik dari hasil pengujian untuk dilakukan perhitungan dan analisa data pengujian. Adapun hasil data pengujian yang diambil pada tanggal 3 desember 2020 yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian

No	Waktu	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T. L (°C)	Radiasi (W/m ²)	Tegangan (mV)	Arus (mA)
1	10:00	35,3	29,6	28,3	27,9	32,8	923	65,7	14,07
2	10:30	36,2	30,5	28,6	28,2	35,3	952	95,8	20,82
3	11:00	38,5	31,3	29	28,4	36,8	1091	109,6	24,6
4	11:30	41,9	32,2	29,3	28,5	35,4	1053	144,2	31,38
5	12:00	42,7	33	29,6	28,7	37,2	1107	168,4	36,69
6	12:30	43,7	34,2	29,9	28,7	35,1	1007	209,3	44,07
7	13:00	44,8	34,9	30	29	37,6	1038	236,8	46,38
8	13:30	45,3	35,8	30,1	29,1	42,1	1022	268,9	56,59
9	14:00	45,1	35,7	30,1	28,9	38,6	939	262	55,29
10	14:30	45	35,7	30,2	29	39,3	925	257,7	54,78
11	15:00	45,2	35,4	30	28,8	43,3	944	258,8	52,8

Berdasarkan hasil pengujian yang telah didapatkan dapat dilihat pada Tabel 1 kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan untuk menghitung parameter-parameter mengenai pembangkit termoelektrik generator. adapun data hasil perhitungan pembangkit termoelektrik generator dapat dilihat pada tabel 2.

Adapun analisa yang akan dilakukan yaitu diambil pada pengujian hari ke 4 yaitu pada hari kamis tanggal 3 desember 2020, dikarenakan pada hari tersebut memiliki intensitas radiasi tertinggi sehingga menghasilkan perbedaan temperatur yang terbesar dan menghasilkan daya terbesar yang diperoleh diantara 4 hari pengujian yang sudah dilakukan.

Tabel 2. Data hasil perhitungan

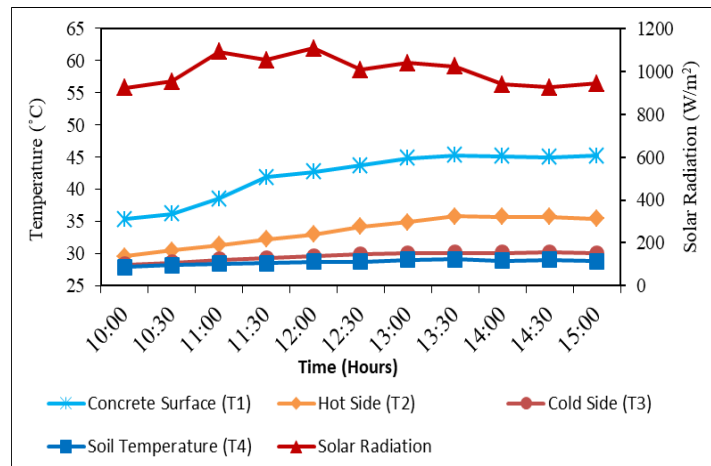
No	Waktu	ΔT ($^{\circ}C$)	Daya (mW)	K. Seebeck ($V/^{\circ}C$)	K. TEG ($W/^{\circ}C$)	Q_h (W)	Q_c (W)	η (%)	Q_{abs} (Watt)	Q_{ref} (Watt)	$Q_{radiation}$ (Watt)
1	10:00	1,3	0,9244	0,0505	0,64	0,8525	0,8516	0,1084	553,8	369,2	2,3868
2	10:30	1,9	1,9945	0,0504	0,64	1,2470	1,2450	0,1599	571,2	380,8	0,8735
3	11:00	2,3	2,6961	0,0476	0,64	1,5073	1,5046	0,1788	654,6	436,4	1,6807
4	11:30	2,9	4,5250	0,0497	0,64	1,9039	1,8994	0,2376	631,8	421,2	6,4893
5	12:00	3,4	6,1786	0,0495	0,64	2,2328	2,2267	0,2767	664,2	442,8	5,5597
6	12:30	4,3	9,2238	0,0486	0,64	2,8207	2,8115	0,3270	604,2	402,8	8,6486
7	13:00	4,9	10,9827	0,0483	0,64	3,2087	3,1977	0,3422	622,8	415,2	7,3661
8	13:30	5,7	15,2170	0,0471	0,64	3,7359	3,7207	0,4073	613,2	408,8	3,3522
9	14:00	5,6	14,4859	0,0467	0,64	3,6691	3,6546	0,3948	563,4	375,6	6,6911
10	14:30	5,5	14,1168	0,0468	0,64	3,6045	3,5904	0,3916	555	370	5,8842
11	15:00	5,4	13,6646	0,0479	0,64	3,5387	3,5250	0,3861	566,4	377,6	2,0007

1. Output dan pengaruh radiasi matahari pada pembangkit termoelektrik

Penelitian ini menggunakan tipe beton cor Kelas III dengan K 450 , beton akan dituangkan pada media dengan ukuran 550 mm x 300 mm x 100 mm yang ditutupi sekelilingnya dengan isolator panas untuk mencegah panas yang lepas ke udara.

Untuk menghantarkan panas yang diterima beton menuju modul termoelektrik generator menggunakan pelat tembaga berbentuk Z. Data yang diambil sebanyak 11 data yang dimulai dari jam 10:00 WIB sampai jam 15:00 WIB.

Berdasarkan Gambar 6 diatas menjelaskan bagaimana temperatur jalan beton yang diakibatkan oleh intensitas radiasi matahari, Pada grafik diatas menunjukkan grafik antara temperatur T1 sampai temperatur T4, dimana temperatur T1 pada permukaan beton, temperatur T2 pada sisi panas modul termoelektrik, temperatur T3 pada sisi dingin modul termoelektrik dan temperatur T4 pada bagian tanah dengan kedalaman 20 cm.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap Temperatur

Temperatur T1 pada permukaan jalan beton kemudian data temperatur dibaca dengan alat ukur termometer tipe K lutron TM-946, Dilihat dari hasil data grafik temperatur T1 pada saat awal mula pengambilan data pada jam 10:00 WIB temperatur yang dihasilkan yaitu 35,3 °C dengan radiasi matahari sebesar 923 W/m² dan penyerapan radiasi matahari terhadap permukaan jalan beton sebesar 2,38 Watt dan pada saat jam 15:00 WIB temperatur yang

dihasilkan yaitu $45,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan radiasi matahari sebesar 944 W/m^2 dan penyerapan radiasi matahari terhadap permukaan beton sebesar $613,2\text{ Watt}$. Terlihat pada grafik temperatur T1 memiliki temperatur lebih besar dibandingkan dengan temperatur yang lainnya, hal ini dikarenakan pada permukaan jalan beton terpapar radiasi matahari secara langsung sehingga temperatur permukaan jalan beton mengalami kenaikan.

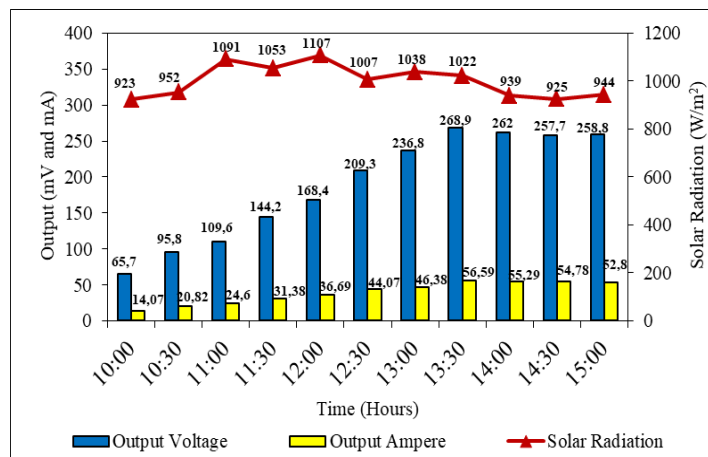
Temperatur T2 diletakkan pada sisi panas modul termoelektrik, dilihat dari hasil data grafik menjelaskan bagaimana temperatur jalan beton mentransfer panas menggunakan pelat tembaga berbentuk Z menuju modul termoelektrik generator, pada pengujian ini menggunakan pelat tembaga dengan kedalaman 2 cm dari permukaan jalan beton, pada grafik menunjukkan bahwa ada perpindahan panas yang terjadi pada permukaan jalan beton kemudian panas perlahan akan mengalir ke bawah. Temperatur dengan kedalaman 2 cm lebih cepat menyerap panas karena lebih dekat dengan permukaan jalan beton, temperatur T2 juga mengalami temperatur paling tinggi yaitu $35,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini dikarenakan pelat tembaga memiliki konduktifitas termal yang lebih baik dibandingkan pelat aluminium dan pelat baja.

Temperatur T3 diletakkan pada sisi dingin modul termoelektrik, temperatur ini didapatkan dari nilai temperatur pada heat sink. Pada grafik menunjukkan kenaikan temperatur T3 tidak terlalu besar dengan nilai paling rendah yaitu $28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yang paling tinggi yaitu $30,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini dikarenakan heatsink yang digunakan pada penelitian ini dibuat bersirip dan diisi air agar mampu mengurai panas dari termoelektrik generator dan kemudian energi panas tersebut dibuang kedalam tanah. Hal itu bertujuan agar perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin semakin besar sehingga menghasilkan daya dari termoelektrik generator yang besar juga.

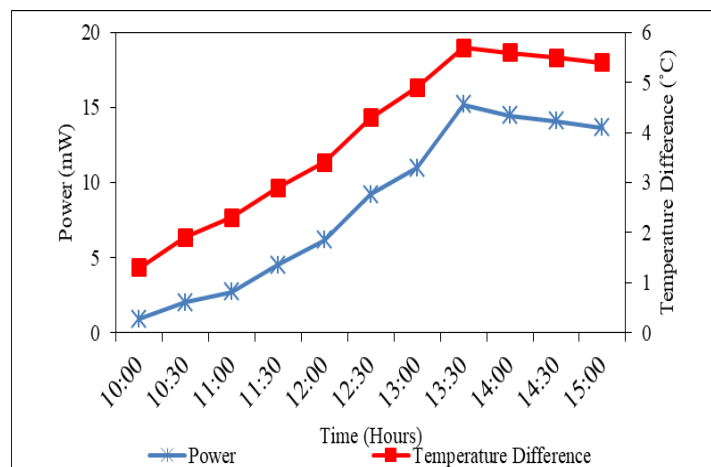
Temperatur T4 diletakkan pada bagian tanah dengan kedalaman 20 cm yang bertujuan untuk mengetahui apakah tanah mampu menyerap panas yang dibuang oleh termoelektrik generator melalui heatsink. Dapat dilihat pada grafik nilai temperatur T4 lebih rendah daripada temperatur T3, hal ini dapat disimpulkan bahwa tanah mampu menyerap panas dari heatsink.

Pada gambar 7 menjelaskan grafik pengaruh radiasi matahari terhadap *Output* termoelektrik yaitu tegangan (mV) dan kuat arus (mA). Dilihat dari hasil data grafik

menunjukkan bahwa ketika radiasi matahari mengalami kenaikan, nilai *output* termoelektrik juga meningkat dan pada saat nilai radiasi menurun *output* juga ikut menurun. Pada saat pengambilan data pertama tegangan yang dihasilkan sebesar 65,7 mV dan kuat arus sebesar 14,07 mA dengan nilai radiasi matahari sebesar 923 W/m². Pada saat radiasi matahari sebesar 1022 W/m² pada jam 13.30 WIB menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 268,9 mV dan kuat arus sebesar 56,59 mA. Rangkaian termoelektrik generator disusun secara seri sehingga menghasilkan tegangan yang besar namun kuat arus kecil.

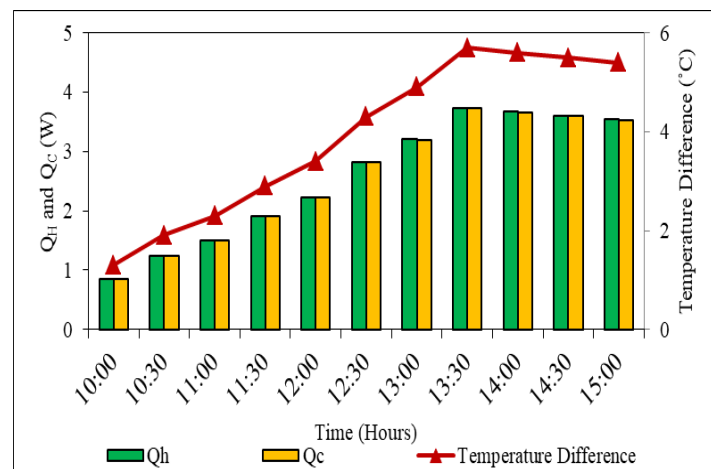


Gambar 7. Grafik Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap output *voltage* dan *ampere*



Gambar 8. Grafik Pengaruh Perbedaan Temperatur Terhadap Daya

Pada Gambar 8 merupakan grafik pengaruh perbedaan temperatur (ΔT) terhadap daya jalan beton, perbedaan temperatur didapatkan antara nilai temperatur T2 yaitu pada sisi panas termoelektrik dan temperatur T3 pada sisi dingin termoelektrik. Termoelektrik generator merupakan alat yang mengkonversikan perbedaan temperatur agar dapat menghasilkan energi, semakin besar perbedaan temperatur di kedua sisi termoelektrik maka daya yang dihasilkan dapat maksimal. Hal ini dapat dilihat pada grafik tersebut dengan perbedaan temperatur sebesar $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan daya sebesar $15,21\text{ mW}$ dan daya yang dihasilkan oleh termoelektrik mulai menurun seiring dengan menurunnya nilai perbedaan temperatur.

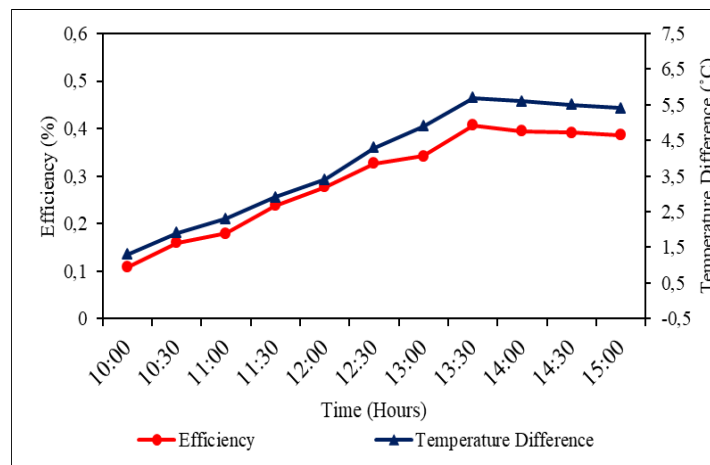


Gambar 9. Grafik Pengaruh Perbedaan Temperatur Terhadap Q_H dan Q_C

Pada Gambar 9 merupakan grafik pengaruh perbedaan temperatur (ΔT) antara nilai temperatur T2 yaitu pada sisi panas termoelektrik dan temperatur T3 pada sisi dingin termoelektrik terhadap energi yang diserap pada sisi panas modul termoelektrik (Q_H) dan energi yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (Q_C). Dilihat dari hasil data grafik menunjukkan bahwa perbedaan temperatur yang terjadi antara satu sisi termoelektrik dengan satu sisi lainnya berpengaruh pada besaran energi yang diserap pada sisi panas termoelektrik (Q_H) dan energi yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (Q_C). Semakin besar perbedaan temperatur yang dihasilkan maka energi Q_H dan Q_C yang didapat juga semakin besar. Perbedaan antara nilai Q_H dan Q_C adalah besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh termoelektrik generator. Hal ini dapat dilihat pada grafik tersebut dengan perbedaan

temperatur sebesar $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan energi Q_H sebesar $3,73597\text{ W}$ dan Q_C sebesar $3,72075\text{ W}$ dan energi yang dihasilkan mulai menurun seiring dengan menurunnya nilai perbedaan temperatur.

Pada Gambar 10 merupakan grafik pengaruh perbedaan temperatur (ΔT) terhadap efisiensi jalan beton, perbedaan temperatur didapatkan antara nilai temperatur T_2 yaitu pada sisi panas termoelektrik dan temperatur T_3 pada sisi dingin termoelektrik. Dilihat dari hasil data grafik menunjukkan bahwa salah satu faktor yang sangat berpengaruh untuk meningkatkan efisiensi dari termoelektrik generator adalah nilai dari seberapa besar perbedaan temperatur yang terjadi antara satu sisi termoelektrik dengan satu sisi lainnya. Kenaikan efisiensi pembangkit termoelektrik generator berbanding lurus dengan kenaikan perbedaan temperatur. Jika perbedaan temperatur menurun, maka efisiensi juga akan ikut menurun, begitu juga sebaliknya. Efisiensi terbesar yang dihasilkan terdapat pada jam 13:30 WIB dimana perbedaan temperatur pada saat itu adalah sebesar $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan besar efisiensinya $0,40\%$.

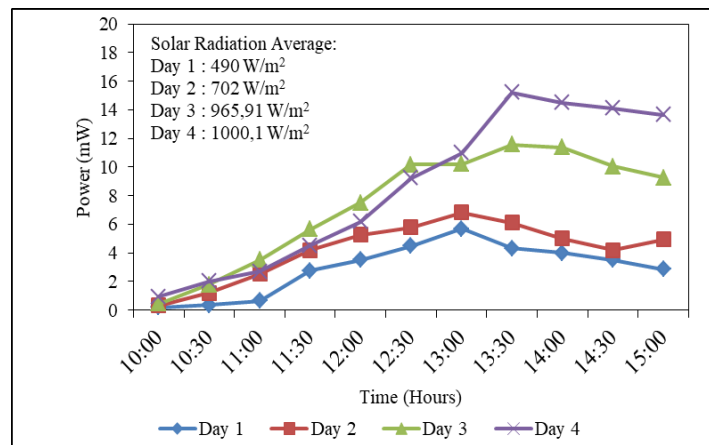


Gambar 10. Grafik Pengaruh Perbedaan Temperatur Terhadap efisiensi

2. Perbandingan daya yang dihasilkan jalan beton selama 4 hari pengujian

Pada Gambar 11 menjelaskan grafik perbandingan daya selama 4 hari pengujian, dilihat dari hasil data grafik menunjukkan bahwa pengujian hari ke-1 tanggal 30 November

2020 menghasilkan daya yang kecil hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data radiasi matahari yang didapatkan kecil yaitu dengan rata-rata radiasi matahari sebesar 490 W/m^2 . Pada saat pengambilan data hari ke-2 pada saat awal pengambilan data, daya yang dihasilkan meningkat hingga mencapai daya maksimal pada jam 13:00 WIB. Namun daya yang dihasilkan mulai menurun seiring berkurangnya radiasi matahari, hal ini dikarenakan pada pengambilan data hari ke-2 pergerakan awan menutupi radiasi matahari, sehingga radiasi matahari yang diperoleh kurang maksimal. Pada saat pengambilan data hari ke-3 menghasilkan daya yang cukup besar, karena pada saat pengambilan data hari ke-3 rata-rata radiasi matahari yang diperoleh sebesar $965,91 \text{ W/m}^2$ sehingga menghasilkan daya yang cukup besar. Pada pengambilan data hari ke-4 menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan pengambilan data hari ke-1 sampai hari ke-3, hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data cuaca sangat mendukung sehingga menghasilkan daya yang cukup besar, rata-rata radiasi matahari pada pengujian ke-4 ini yaitu $1000,1 \text{ W/m}^2$.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Daya

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa energi panas yang dihasilkan dengan menggunakan jalan beton menghasilkan daya maksimum sebesar 15,21 mW dan rata-rata daya yang dihasilkan selama pengujian adalah 8,54 mW.
2. Termoelektrik generator sangat bergantung pada lamanya penyinaran cahaya matahari, semakin besar perbedaan suhu antara pelat tembaga sebagai penghantar panas termoelektrik dan heatsink sebagai pendingin, maka tegangan listrik yang dihasilkan semakin besar. Semakin besar tegangan yang dihasilkan maka arus listrik yang dihasilkan juga semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, L. E. (2018). Cooling, Heating, Generating Power And Recovering Waste Heat With Thermoelectric Systems. *Www.Sciencemag.Org Science Vol 321*.
- Cengel, Y. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach, 8th ed.* McGraw-Hill Education.
- Datta, U. (2017). *Harvesting Thermoelectric Energy from Asphalt Pavements. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2628.*
- Guo, L. (2017). *Potentials Of Piezoelectric And Thermoelectric Technologies For Harvesting. Department Of Civil And Environmental Engineering University Of South Florida, 4202 E. Fowler Avenue, Tampa, FL 33620-4202, USA.*
- Indonesia, S. S. (2017). Perkerasan Jalan Beton Tanpa Tulangan. *Medium.com*. <https://medium.com/@soilindo/perkerasan-jalan-beton-tanpa-tulanagn-3eaf82df4af9>. (diakses 19 Agustus 2020).
- Jiang, W. Y. (2017). *Energy Harvesting From Asphalt Pavement Using Termoelektrik Tecnology. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, South.*
- Jiang, J. X. (2018). *Design and experiment of thermoelectric asphalt pavements with power-generation and temperature-reduction functions. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, South.*

- Khalid, M. (2016). Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik. Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- Lau, P. G. (1997). *Calculation of Thermoelectric Power Generation Performance Using Finite Element Analysis*. TE Teclinology, hc., 1590 Keane Drive, Traverse Cit.
- Liu, C. (2014). A 1 KW Thermoelectric Generator for Low-temperature Geothermal Resources. *Proceedings, Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*.
- Pradana. (2020). Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Alumunium, Kuningan Dan Seng. S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Puspita, S. C. (2017). Generator Termoelektrik Untuk Pengisian Aki. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* Volume 13, Nomor 2.
- Tahami, M. G. (2019). *Developing a new thermoelectric approach for energy harvesting from asphalt pavement*. Department of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Texas at San Antonio, TX 78249, United States.