

## PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK MEMANFAATKAN PENYERAPAN PANAS JALAN BETON MENGGUNAKAN TEKNOLOGI TERMOELEKTRIK GENERATOR (TEG) DENGAN PELAT PENYERAP TEMBAGA BERBENTUK I

Nurman Saputra<sup>1</sup>, Rahmat Iman Mainil<sup>2</sup>, Azridjal Aziz<sup>3,\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jalan H.R. Soebrantas Km.12,5 Panam, Pekanbaru, 28293

\*Email: [azridjal.aziz@lecturer.unri.ac.id](mailto:azridjal.aziz@lecturer.unri.ac.id)

Diterima: 13 Januari 2023

Direvisi: 17 Mei 2023

Disetujui: 29 Juli 2023

### ABSTRAK

Energi panas merupakan energi yang dapat dengan mudah ditemukan dalam kehidupan kita sehari-hari, mulai dari panas yang disediakan oleh alam yaitu dari panas matahari, panas dari reaksi kimia, dan panas yang dihasilkan oleh gesekan mekanis. Apabila energi panas ini dapat diubah menjadi energi listrik, tentunya akan dapat membantu memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat. Generator termoelektrik merupakan teknologi yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik berdasarkan efek seebeck. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan penyerapan panas radiasi matahari pada jalan beton tipe beton cor kelas III dengan K 450 sebagai generator termoelektrik yang ditempatkan pada media dengan dimensi (550 x 300 x 100) mm. Penelitian ini menggunakan 3 modul generator termoelektrik tipe SP 1848 yang disusun secara seri, yaitu heat sink berisi air dan plat tembaga berbentuk I sebagai plat penyerap dan perpindahan panas dari beton ke TEG. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa daya maksimum yang dibangkitkan pada beton menghasilkan daya sebesar 14,88 mW dengan intensitas penyinaran matahari maksimum sebesar 1107 W/m<sup>2</sup> dan perbedaan temperatur terbesar yaitu 6,7 °C. Dengan melihat daya yang dihasilkan secara kontinyu, Penelitian ini memungkinkannya untuk dikembangkan sebagai energi alternatif.

**Kata kunci:** Energi Panas, Termoelektrik Generator, Alternatif, Radiasi Matahari

### ABSTRACT

*Heat energy is energy that can be easily found in our daily lives, starting from the heat provided by nature, namely from the sun's heat, heat from chemical reactions, and heat generated by mechanical friction. If this heat energy can be converted into electrical energy, of course it will be able to help meet the increasing energy needs. Thermoelectric generator is a technology that can convert heat energy into electrical energy based on the seebeck effect. This research was carried out by utilizing the absorption of solar radiation heat on a concrete road with class III cast concrete type with K 450 as a thermoelectric generator placed on a medium with dimensions (550 x 300 x 100) mm. The research used 3 modules of thermoelectric generator type SP 1848 arranged in series, a heat sink filled with water and a copper plate in the form of I as an absorbent plate and heat transfer from concrete to TEG. The results of the tests conducted show that the maximum power generated in the concrete produces a power of 14.88 mW with a maximum solar radiation intensity of 1107 W/m<sup>2</sup> and the largest temperature difference is 6.7 °C. By looking at the power generated continuously, this research allows it to be developed as an alternative energy.*

**Keywords:** Thermal Energy, Thermoelectric Generator, Alternative, Solar Radiation.

## PENDAHULUAN

Yang kita ketahui permasalahan yang ada pada masa sekarang ini di Indonesia adalah kebutuhan pemakaian listrik yang tidak sebanding dengan usaha penyediaan tenaga listrik yang memadai terutama di daerah Riau, kendala saat ini kurangnya pemasokan energi listrik dari Pembangkit Listrik Negara (PLN), sehingga mengakibatkan seringnya mati lampu (Rafika, 2017).

Energi panas merupakan energi yang dapat dengan mudah dijumpai dalam kehidupan kita sehari-hari, mulai dari panas yang disediakan oleh alam yaitu dari panas matahari, panas yang berasal dari reaksi kimia, maupun panas yang dihasilkan oleh gesekan permesinan. Apabila energi panas tersebut dapat dikonversikan ke dalam bentuk energi listrik tentunya akan dapat membantu memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat (Suryanto, 2017). Energi matahari tidak diragukan lagi dikenal sebagai sumber energi yang tidak terbatas dan ramah lingkungan. Baru-baru ini, infrastruktur jalan telah menarik perhatian untuk digunakan sebagai sumber terbarukan untuk keperluan pemanenan energi (Tahami, 2019).

Pada saat ini di Indonesia Jalan beton semakin banyak digunakan. Alasan digunakannya jalan beton adalah beban kendaraan yang melewati di jalan tersebut cukuplah besar, kemudian arus lalu lintasnya juga sangat padat. Kelebihan dari jalan beton adalah strukturnya lebih kuat, tidak perlu dilakukan perawatan dan juga lebih awet. Dengan membuat jalan beton maka daerah yang sering mengalami kerusakan jalan aspal bisa berkurang. Jalan beton seperti ini banyak digunakan untuk bagian tol, ring road atau jalan utama (Soil Stabilizer Indonesia, 2017).

Salah satu bentuk energi utama yang tersedia di jalan adalah panas. Permukaan jalan hitam atau abu-abu gelap membuatnya cepat menyerap radiasi panas matahari, yang menyebabkan sejumlah besar panas terakumulasi di dalam jalan (Jiang, 2020).

Penerapan termoelektrik generator (TEG) merupakan salah satu untuk menghasilkan energi listrik dari jalan yang telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir dan terlihat menjanjikan. Perangkat TEG dapat mengubah energi panas menjadi listrik secara langsung sesuai dengan efek Seebeck. Penerapan TEG memberikan beberapa

keuntungan, seperti ramah lingkungan, memiliki daya tahan jangka panjang dan tidak ada komponen mekanis yang bergerak, serta membutuhkan perawatan yang rendah (Tahami, 2020).

Beberapa penelitian yang telah memanfaatkan modul termoelektrik generator sebagai energi listrik dari panas jalan yaitu (Jiang, 2017) melakukan sebuah penelitian pemanfaatan energi panas jalan aspal menggunakan teknologi termoelektrik dengan pelat penyerap aluminium berbentuk I. Pada penelitian karakteristik perbedaan temperatur di antara jalan dan udara lingkungan, serta gradien suhu dalam permukaan jalan diselidiki dengan mengumpulkan data di tempat musim yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan keluaran sekitar 0,4 V pada pelat campuran aspal (ukuran 300 mm × 300 mm), dengan perbedaan suhu antara permukaan jalan dan udara lingkungan adalah 15 ° C pada musim dingin. Sedangkan pada musim panas, tegangan keluaran sekitar 0,6 - 0,7 V, dengan perbedaan temperatur dari 25 - 30 ° C.

Ditahun yang sama (Datta, 2017), melakukan penelitian untuk mengembangkan prototipe pemanfaatan energi listrik dari panas jalan aspal menggunakan termoelektrik generator. Penelitian menggunakan pelat tembaga dengan dimensi berbentuk Z, 2 dan 4 modul termoelektrik yang disusun secara seri pada 2 prototipe TEG. Tes laboratorium dilakukan pada tiga temperatur aspal yaitu 45° C, 50° C, dan 55° C dan temperatur pendingin berkisar dari 26° C hingga 29° C. Hasil menunjukkan bahwa prototipe dua-TEG menghasilkan daya output maksimum 14,3 mW, sedangkan prototipe empat-TEG menghasilkan 9,8 mW dengan gradient temperature antara 5,8° C hingga 6,8° C.

Pada tahun selanjutnya (Tahami, 2019) melakukan sebuah penelitian mengembangkan pendekatan termoelektrik baru untuk memanfaatkan energi dari jalan aspal. Penelitian memanfaatkan gradien termal antara permukaan jalan dan tanah di bawah jalan dan mengubahnya menjadi listrik. Pada penelitian menggunakan 2 modul termoelektrik, pelat tembaga dengan dimensi bentuk L, Mekanisme pendinginan menggunakan kotak insulasi, material pengubah fasa dan heat sink. Berdasarkan hasil yang diperoleh, sistem pemanen energi menghasilkan generator sistem kelistrikan. Mencapai output daya rata-

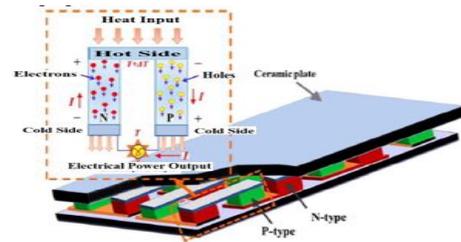
rata 29mW per hari selama 8 jam, untuk kondisi kondisi Texas Selatan (yaitu zona beriklim sedang.

Selanjutnya (Riyanto, 2019) melakukan sebuah penelitian pembangkit energi listrik memanfaatkan penyerapan panas jalan aspal menggunakan teknologi termoelektrik generator (TEG) dengan pelat penyerap alumunium dan tembaga berbentuk L. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan kedalaman pelat pada aspal yaitu 2, 4 dan 6 cm dari permukaan aspal. Hasil penelitian menunjukkan daya maksimal untuk alumunium yang dapat dihasilkan sebesar 26 mW pada saat radiasi matahari sebesar 887 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada pelat Tembaga daya maksimal 34 mW pada keadalam 2 cm.

Pemanfaatan energi merupakan suatu proses dimana energi dari berbagai macam sumber yang ada di lingkungan ditangkap dan di panen. Sistem pemanfaatan energi ini dapat diaplikasikan untuk catu daya bagi perangkat berkebutuhan daya rendah. Pemanfaatan energi bertujuan untuk memasok energi listrik ke sistem listrik dari satu sumber energi yang ada di lingkungan secara langsung seperti energi panas yang dapat di konversi menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi TEG yang dianggap sebagai teknologi yang sangat alternatif dan ramah lingkungan (Amanda, 2019).

Termoelektrik merupakan fenomena mengkonversikan dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau dari energi listrik berubah menjadi beda temperatur. Fenomena ini telah dikembangkan menjadi menjadi suatu Modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin/pemanas (Rafika, 2017).

Termoelektrik terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun dengan komposisi tipe-N yang berlebih elektron dan tipe-P yang kekurangan elektron disusun seperti ditunjukkan Gambar 1. Susunan elemen semikonduktor pada termoelektrik (Puspita, 2017).

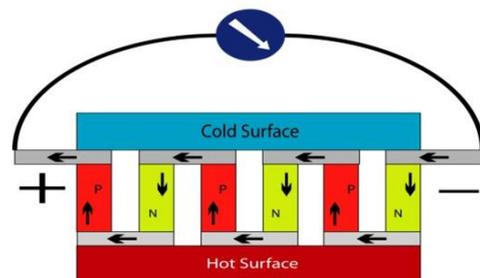


**Gambar 1.** Susunan elemen semikonduktor Termoelektrik (Jiang, 2017)

Secara umum, beberapa material pembangkit termoelektrik yang telah diproduksi menggunakan bahan dan temperature kerjanya masing-masing sebagai berikut (wirawan, 2012) :

1. Silicon Germanium (750°C– 1000°C).
2. Lead Telluride (400°C – 650°C).
3. Bismuth Telluride Alloys (Maksimal 350°C).

Termoelektrik generator merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek yang disebut efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johan Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik.



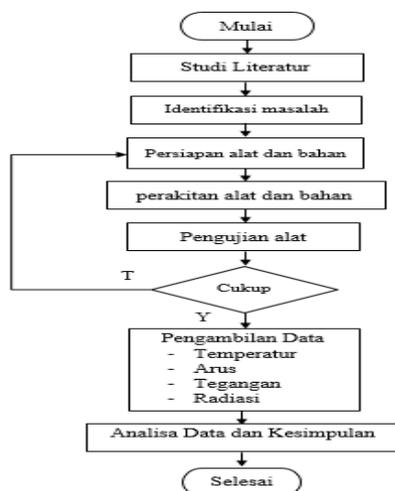
**Gambar 2.** Prinsip kerja termoelektrik (Puspita, 2017)

Pada Gambar 2 ditunjukkan struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen semikonduktor tipe-P, yakni material yang kekurangan elektron, dan terdiri juga dari susunan elemen semikonduktor tipe-N, yakni material yang kelebihan elektron. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien suhu (Abrar, 2016).

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah Menerapkan termoelektrik pada pembangkit listrik termoelektrik generator memanfaatkan panas jalan beton sebagai media panas pada sisi panas TEG yang dialirkan menggunakan pelat tembaga berbentuk I dan media pendingin heatsink yang diisi air pada sisi dingin TEG untuk mengetahui daya listrik yang dapat dihasilkan dari modul termoelektrik TEG SP 1848.

### METODE PENELITIAN

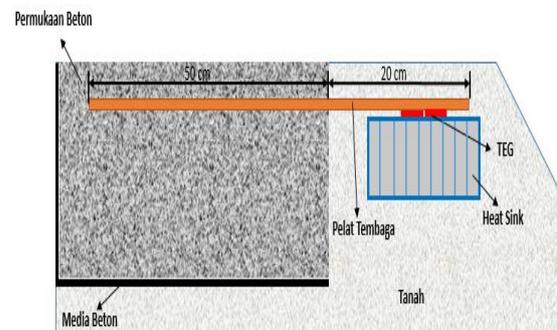
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Pengujian dilaksanakan dilapangan laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut :



**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian

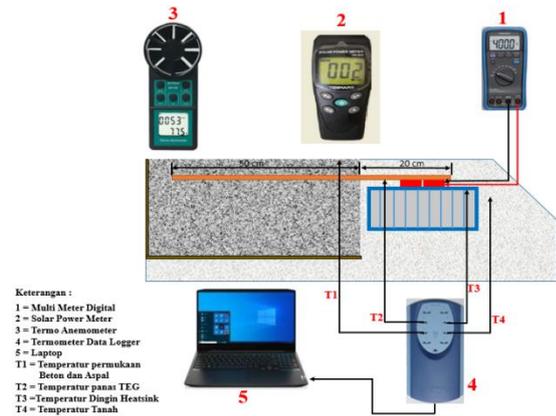
Pada penelitian ini alat yang digunakan yaitu Solar power meter Tenmars TM-206 untuk mengukur radiasi matahari yang diterima selama pengujian, Multimeter digital HIOKI DT4211 untuk mengukur tegangan dan kuat arus yang dihasilkan termoelektrik generator, Thermocouple controller OMEGA TC-08 untuk membaca temperatur pada setiap sensor termokopel yang terpasang pada alat pengujian, Termokopel tipe K untuk mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabungkan pada bagian ujungnya hingga dapat menimbulkan efek “*Thermoelectric*”, Termo-anemometer untuk mengukur temperatur lingkungan, Heat sink untuk menguraikan panas atau alat yang akan membantu proses lepasnya panas yang diterima modul termoelektrik generator, Isolator panas alumunium untuk menghambat

panas yang keluar dari beton dan pelat tembaga, dan Thermal Grease bertujuan agar seluruh sisi dari modul termoelektrik generator ini dapat menyerap panas dan membuang panas dengan maksimal. Dan bahan yang digunakan yaitu Beton yang berfungsi untuk membantu sistem kerja pembangkit listrik termoelektrik generator ini, Beton yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu beton cor dengan Klas III dengan K 450, Termoelektrik generator tipe SP 1848, Tembaga untuk mengumpulkan panas yang ada pada beton untuk kemudian akan di transferkan secara konduksi modul termoelektrik generator. Adapun konsep desain pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini :



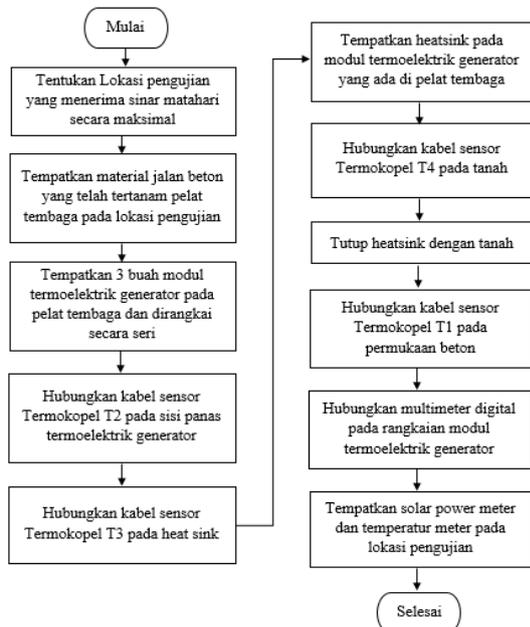
**Gambar 4.** Konsep Desain

Pada gambar 4 ada beberapa komponen pembangkit termoelektrik generator yang menjadi bagian dasar pembangkit ini bekerja yaitu Termoelektrik generator, heatsink, media beton, pelat tembaga dan material beton. Adapun perancangan yaitu beton diletakkan pada media beton yang sudah disiapkan, pelat tembaga panjang 70 cm dimasukkan kedalam beton dengan panjang 50 cm dan 20 cm diluar media beton, pelat tembaga ditanam pada kedalaman 2 cm, pelat tembaga memiliki bentuk I, Bagian Pelat dibagi menjadi 2 yaitu kolektor panas yang dibenamkan dalam beton sepanjang 50 cm dan bagian yang menyalurkan panas ke termoelektrik sepanjang 20 cm untuk dipasangkan termoelektrik generator secara seri. Untuk melakukan pengujian dan pengambilan data selanjutnya dilakukan instalasi alat uji pada pembangkit termoelektrik yang telah dibentuk seperti pada konsep desain. Adapun instalasi alat uji termoelektrik generator dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini:



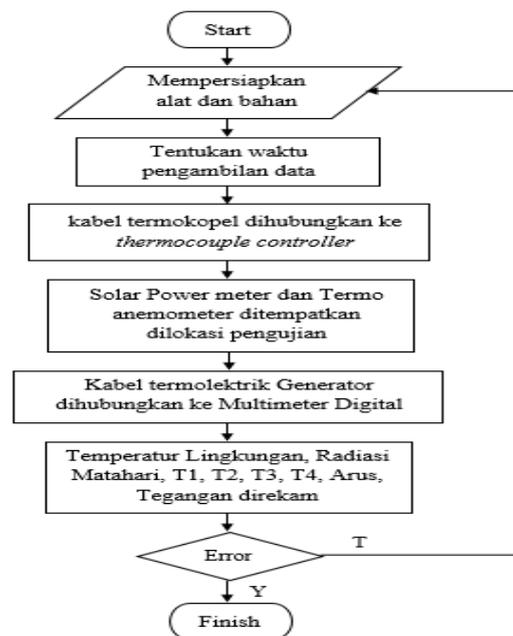
**Gambar 5.** Instalasi alat uji termoelektrik generator

Pada gambar 5 merupakan instalasi alat uji pembangkit termoelektrik generator. Adapun langkah-langkah instalasi pengujian dapat dilihat pada gambar 6 berikut:



**Gambar 6.** Diagram alir prosedur instalasi pengujian

Adapun langkah-langkah pengambilan data pengujian dapat dilihat pada gambar 7 diagram alir pengujian berikut :



**Gambar 7.** Diagram alir pengujian

Untuk melakukan analisa setelah melakukan pengambilan data sesuai dengan langkah-langkah diagram alir pengujian ada beberapa perhitungan guna untuk memenuhi parameter-parameter termoelektrik generator. Adapun parameter-parameter termoelektrik generator sebagai berikut (Lau, 1997) (Liu, 2014):

Koefisien seebeck dihitung menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan :

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

V = Tegangan (V)

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

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

$$K_{TEG} = \frac{K_{Bi-Te} \times A_{TEG}}{t_{TEG}} \quad (2)$$

Keterangan :

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

$K_{Bi-Te}$  = Konduktivitas termal bismuth telluride ( $W/m.^{\circ}C$ )

$A_{TEG}$  = Luas permukaan termoelektrik generator ( $m^2$ )

$t_{TEG}$  = 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 :

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

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

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 ( $^{\circ}C$ )
- $T_C$  = Temperatur pada sisi dingin modul termoelektrik ( $^{\circ}C$ )
- $K_{TEG}$  = *heat transfer Coefficient* modul termoelektrik ( $W/^{\circ}C$ )
- $S_{TEG}$  = Koefesien *Seebeck* ( $V/^{\circ}C$ )
- $I$  = Arus (A)
- $R_{TEG}$  = Hambatan ( $\Omega$  atau  $V/A$ )

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

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

Keterangan :

- $\eta$  = Effisiensi (%)
- $P_{TEG}$  = 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 ( $\Omega$  atau  $V/A$ )
- $V$  = Tegangan (V)
- $I$  = Arus (A)

Untuk mengetahui penyerapan radiasi matahari pada jalan beton dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut (Cengel, 2003) :

$$Q_{abs} = \alpha \times Q_{incident}$$

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

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

Keterangan :

- $Q_{abs}$  = Laju perpindahan kalor yang diserap (W)
- $Q_{ref}$  = Laju perpindahan kalor yang dipantulkan (W) (4)
- $Q_{rad}$  = Laju perpindahan kalor radiasi (W)
- $Q_{in}$  = Radiasi yang terjadi ( $W/m^2$ )
- $\alpha$  = Absorptivitas
- $\varepsilon$  = Emisivitas
- $\sigma$  = 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 eksperimental yang didapatkan langsung saat pengujian eksperimental, Pengujian dilakukan selama 4 hari berturut-turut, pengambilan data dimulai dari jam 10.00 WIB sampai dengan jam 15.00 WIB dengan rentang waktu perekaman data setiap 30 menit sekali, pengujian dilakukan dilapangan yang secara langsung terpapar sinar matahari penuh. Sementara untuk pengolahan data pengujian dilakukan pemilihan data yang terbaik dari hasil pengujian untuk dilakukan perhitungan dan analisa data pengujian. Adapun data pengujian yang diambil pada beton dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Data hasil pengujian

No	Waktu	T1 ( $^{\circ}C$ )	T2 ( $^{\circ}C$ )	T3 ( $^{\circ}C$ )	T4 ( $^{\circ}C$ )	TL ( $^{\circ}C$ )	Radiasi ( $W/m^2$ )	V (mV)	I (mA)
1	10.00	30,7	28	27,2	26,7	32,8	923	59,2	12,47
2	10.30	32,4	28,9	27,6	26,8	35,3	952	127,2	25,66
3	11.00	34,9	32,2	28,5	27,5	36,8	1091	182	37,43
4	11.30	36,6	34	29,1	28,7	35,4	1053	198,4	40,87
5	12.00	38,5	36,1	30,1	29,3	37,2	1107	207,2	55,95
6	12.30	40,1	37,3	31,2	29,2	35,1	1007	228,4	57,75
7	13.00	40	38	31,3	29,9	37,6	1038	245,6	60,6
8	13.30	41,1	38,4	31,8	31,8	42,1	1022	234,4	59,85
9	14.00	43,7	39,5	33,4	33	38,6	939	240	53,25
10	14.30	43,4	40,4	34,6	33,8	39,3	925	239,6	49,62
11	15.00	42,8	39,2	33,7	33	43,3	944	199,6	48,6

Berdasarkan hasil pengujian yang telah diperlihatkan pada Tabel 1 kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian untuk menghitung

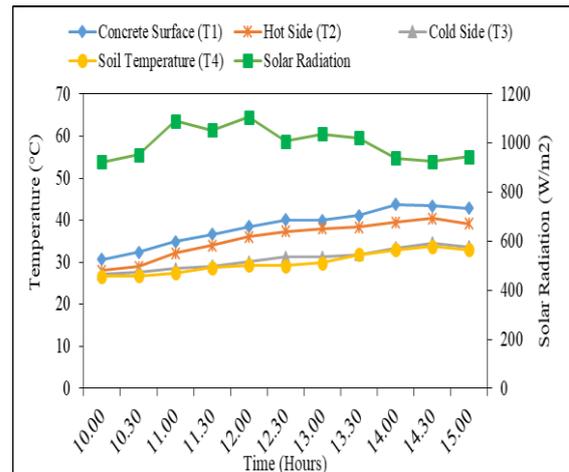
parameter-parameter mengenai pembangkit termoelektrik generator. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Data hasil perhitungan

No	Waktu	$\Delta T$ (°C)	Daya (watt)	$\alpha$ (V/°C)	$Q_h$ (Watt)	$Q_c$ (Watt)	$\eta_{th}$ (%)	$K_{teg}$	$R$ ( $\Omega$ )	$Q_{abs}$ (Watt)	$Q_{ref}$ (Watt)	$Q_{rad}$ (Watt)
1	10.00	1,3	0,7382	0,0455	0,8478	0,8471	0,0871	0,64	4,7474	553,8	369,2	-1,9602
2	10.30	2,6	3,2640	0,0489	1,6999	1,6966	0,1920	0,64	4,9571	571,2	380,8	-2,7633
3	11.00	4,3	6,8123	0,0423	2,7996	2,7928	0,2433	0,64	4,8624	654,6	436,4	-1,8460
4	11.30	4,9	8,1086	0,0405	3,1882	3,1801	0,2543	0,64	4,8544	631,8	421,2	1,1676
5	12.00	6	11,5928	0,0345	3,9040	3,8924	0,2970	0,64	3,7033	664,2	442,8	1,2878
6	12.30	6,1	13,1901	0,0374	3,9781	3,9649	0,3316	0,64	3,9550	604,2	402,8	4,9413
7	13.00	6,7	14,8834	0,0367	4,3650	4,3501	0,3410	0,64	4,0528	622,8	415,2	2,3993
8	13.30	6,6	14,0288	0,0355	4,2986	4,2846	0,3264	0,64	3,9165	613,2	408,8	-1,0269
9	14.00	6,1	12,7800	0,0393	3,9804	3,9676	0,3211	0,64	4,5070	563,4	375,6	5,2148
10	14.30	5,8	11,8902	0,0413	3,7889	3,7770	0,3138	0,64	4,8282	555	370	4,2002
11	15.00	5,5	9,7006	0,0363	3,5843	3,5746	0,2706	0,64	4,1070	566,4	377,6	-0,5206

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.

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. Hal ini dikarenakan pembangkit termoelektrik generator bekerja berdasarkan efek seebeck, efek seebeck merupakan fenomena mengkonversi perbedaan temperatur (energi panas) menjadi energi listrik, Sehingga pada penelitian ini faktor temperatur sangat diperhatikan untuk peningkatan kinerja dari termoelektrik generator.



**Gambar 8.** Grafik pengaruh radiasi terhadap temperatur pembangkit TEG jalan beton

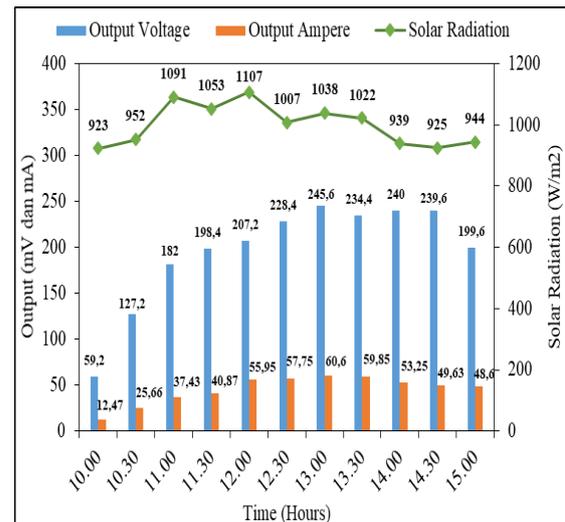
Berdasarkan gambar 8 grafik menjelaskan bagaimana pergerakan temperatur pada sistem pembangkit termoelektrik generator bekerja di jalan beton yang diakibatkan oleh intensitas radiasi matahari. Pada gambar 8. grafik diatas menunjukkan pergerakan temperatur pada T1 sampai T4 dimana temperatur T1 pada permukaan beton, temperatur T2 pada sisi panas modul termoelektrik, temperatur T3 pada sisi dingin modul termoelektrik dan temperatur T4 pada bagian tanah. Pada saat pengambilan data dengan rentang waktu perekaman 30 menit sekali.

Pada temperatur T1 yang diletakkan pada permukaan jalan beton kemudian data temperatur dibaca dengan alat ukur termometer TC-08, Dilihat dari hasil data grafik temperatur T1 pada saat awal mula pengambilan data pada jam 10:00 WIB temperatur yang dihasilkan yaitu 30,7 °C, Intensitas radiasi matahari 923 W/m2 dan pada akhir pengujian pada jam 15:00 WIB temperatur yang dihasilkan yaitu 42,8 °C, Intensitas radiasi matahari 944 W/m2 . Temperatur maksimal yang didapatkan pada pada T1 yaitu 43,7 °C dan pada pengujian intensitas radiasi matahari tertinggi yang didapatkan yaitu 1107 W/m2. Terlihat pada pergerakan temperatur, T1 lebih besar dibandingkan dengan temperatur yang lainnya hal ini dikarenakan temperatur permukaan jalan beton merupakan yang terpapar radiasi matahari secara langsung sehingga pada temperatur T1 mengalami kenaikan temperatur yang lebih besar dibandingkan dengan yang lainnya dan juga temperatur mengalami kenaikan akibat dari radiasi matahari.

Pada Temperatur T2 diletakkan didekat sisi panas termoelektrik pelat tembaga, pelat tembaga berbentuk I dengan dimensi 700 x 30 x 1,5 mm dibagi 2 sisi yang ditanamkan didalam beton, 500 mm sebagai kolektor panas dari permukaan beton yang ditanamkan sedalam 2 cm dari permukaan dan 200 mm sebagai transfer ke modul termoelektrik generator. Dari grafik hasil menunjukkan temperatur T2 juga mengalami kenaikan temperatur yang dimana temperatur maksimal yang didapatkan pada T2 yaitu 40,2 °C pada jam 14.30 WIB, ini diakibatkan dari panas yang disebabkan dari permukaan jalan beton yang mengalami perpindahan panas ke sisi panas dipelat tembaga akibat dari radiasi sinar matahari.

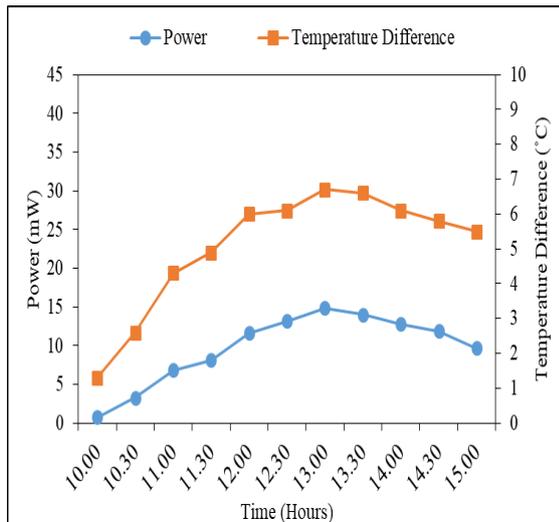
Pada temperatur T3 diletakkan pada sisi dingin yaitu pada heat sink yang dekat dengan sisi dingin TEG. Temperature T3 didapatkan dari nilai temperature pada heat sink. Dilihat dari grafik T3 juga mengalami peningkatan temperatur hal ini dikarenakan Pengaruh radiasi matahari juga menyebabkan perubahan pada T3 namun nilai T3 tidak terlalu tinggi seperti pada T2 dikarenakan pada heat sink diberi air dan diletakkan didalam tanah. Nilai T3 dipengaruhi oleh cepat atau lambatnya tanah menyerap panas pada heat sink akibat dari penyerapan panas dari TEG. Penggunaan heat sink ini perlu diperhatikan agar penyerapan panas dari TEG maksimal.

Pada temperatur T4 diletakkan didalam tanah yang sejajar dengan heat sink, dilihat dari grafik hasil menunjukkan temperatur tanah mengalami kenaikan sebagaimana temperatur lainnya hal ini dikarenakan tanah yang juga terpapar sinar radiasi matahari dan kondisi dalam penanaman heat sink yang dimana T4 masih terlalu dekat kepada permukaan tanah sehingga berpengaruh kepada hasil dari temperatur heat sink.



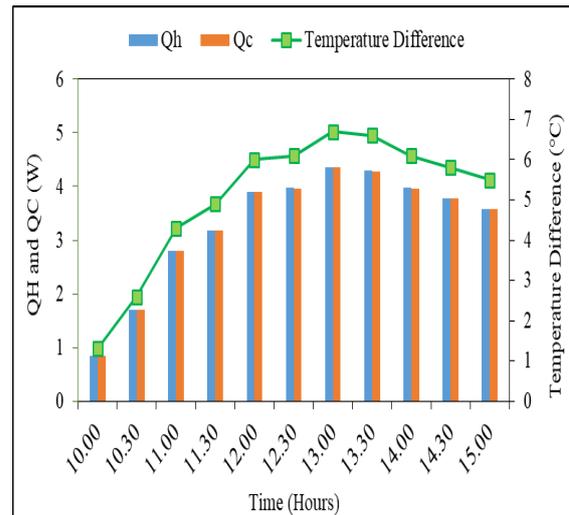
**Gambar 9.** Grafik pengaruh radiasi matahari terhadap tegangan dan arus

Pada gambar 9 diatas grafik menjelaskan pengaruh radiasi matahari terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan dari pembangkit termoelektrik generator pada jalan Beton. Dilihat dari grafik hasil menunjukkan tegangan dan arus yang dihasil TEG semakin naik nilai radiasi matahari maka nilai output tegangan dan arus TEG juga mengalami kenaikan hal ini yang disebabkan radiasi matahari yang dihasilkan diserap dan dikonversikan menjadi Energi Listrik oleh TEG. Output Tertinggi yang dihasilkan pada tegangan dan arus pada puncaknya nilai tertinggi yaitu dilihat pada grafik pada saat tegangan 245,6 mV dan Arus 60,6 mA dengan radiasi matahari tertinggi yaitu 1107 W/m2 . Output tertinggi tidak terjadi pada saat puncak radiasi tertinggi hal ini dikarekan energi yang diserap pada saat radiasi tertinggi belum sampai pada waktu terjadinya penyerapan pada sisi panas TEG yaitu T2 dan sisi panas terus mengalami kenaikan temperatur akibat transfer energi dari permukaan yang menyerap sinar radiasi matahari. Adapun hal yang dapat mengurangi hasil dari daya yang dapat dihasilkan yaitu Hambatan yang akan dilalui dari Output pada pembangkit TEG. Pada jenis rangkaian yang digunakan yaitu rangkai paralel sehingga menghasilkan tegangan yang lebih besar.



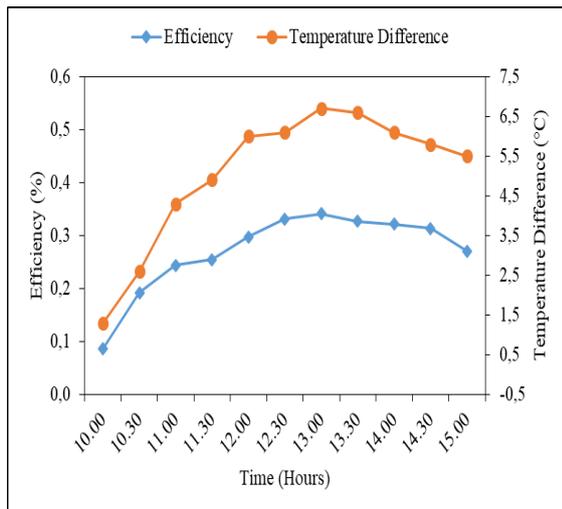
**Gambar 10.** Grafik pengaruh perbedaan temperatur terhadap daya yang dihasilkan

Pada gambar 10 diatas menjelaskan grafik pengaruh perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap daya yang dapat dihasilkan pada jalan beton, dimana perbedaan temperatur didapatkan dari temperatur pada T2 sisi panas TEG dan T3 sisi dingin TEG. Jiang et all mengatakan perbedaan temperatur menentukan efisiensi pembangkit listrik di TEG. Semakin besar gradien temperatur, semakin banyak daya yang dihasilkan. Dilihat dari grafik Daya maksimal yang dapat dihasilkan pada jalan beton yaitu 14,88 mW dengan perbedaan temperatur 6,7 °C pada waktu jam 13.00 WIB. hasil menunjukkan daya meningkat seiring juga meningkatkannya perbedaan temperatur yang dihasilkan hal ini dikarenakan TEG bekerja berdasarkan perbedaan temperatur yang dihasilkan hal ini sesuai dengan yang dikatakan jiang.



**Gambar 11.** Grafik pengaruh perbedaan temperatur terhadap QH dan Qc

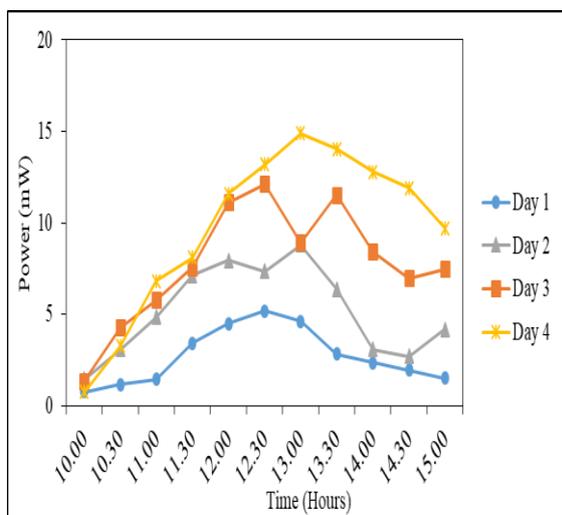
Pada gambar 11 diatas grafik menjelaskan pengaruh perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap energi yang diserap pada sisi panas modul termoelektrik (QH) dari temperatur T2 pada sisi panas TEG dan energi yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (Qc) dari temperatur T3 dari sisi dingin TEG. Dilihat dari hasil grafik menunjukkan bahwa perbedaan temperatur yang terjadi berpengaruh pada besaran energi yang diserap pada sisi panas termoelektrik (QH) dan energi yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (Qc). Semakin besar perbedaan temperatur yang dihasilkan maka energi QH dan QC yang didapat juga semakin besar. Perbedaan antara nilai QH dan QC adalah besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh termoelektrik generator. Hal ini dapat dilihat pada grafik tersebut dengan perbedaan temperatur sebesar 6,7 °C menghasilkan energi QH sebesar 4,3650 W dan QC sebesar 4,4501 W. Energi yang dihasilkan akan mulai menurun seiring dengan menurunnya nilai perbedaan temperatur dan sebaliknya akan naik dengan menaiknya perbedaan temperatur.



**Gambar 12.** Grafik pengaruh perbedaan temperatur terhadap efisiensi jalan beton

Pada gambar 12 diatas grafik menjelaskan pengaruh perbedaan temperatur terhadap efisiensi pembangkit termoelektrik generator pada jalan beton. Dari hasil data menunjukkan perbendanaan temperatur mempengaruhi besar dan kecilnya efisiensi pembangkit termoelektrik generator. semakin besar nilai perbedaan temperatur maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan dan begitu juga sebaliknya. Dari hasil menunjukkan efisiensi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit termoelektrik generator pada jalan beton yaitu 0,34 % pada jam 13.00 WIB dengan perbedaan temperatur sebesar 6,7 °C

Adapun erbandingan daya selama 4 hari pengujian pada jalan beton dijelaskan Pada gambar grafik perbandingan daya jalan beton selama 4 hari pengujian berikut:



**Gambar 13.** Grafik perbandingan daya selama 4 hari pengujian

Pada Gambar 13 menjelaskan perbandingan daya selama 4 hari pengujian, dilihat grafik hasil menunjukkan daya terbesar yang dapat dihasilkan yaitu berada pada hari ke empat yaitu menghasilkan daya 14,88 mW hal ini dikarenakan pada hari keempat intensitas rata-rata radiasi matahari yang dihasilkan lebih besar dibandingkan hari lainnya yaitu 1001 W/m<sup>2</sup> dan juga pada saat pengambilan data hari keempat kondisi cuaca yang lebih cerah, tidak berawan.

Pada saat pengambilan data hari pertama menghasilkan intensitas radiasi matahari yang terkecil dibandingkan hari lainnya dengan intensitas maksimum yaitu 851 W/m<sup>2</sup> dan pada hari pertama banyak berawan sehingga pada saat pengambilan data awal pengujian menghasil daya yang terkecil dibandingkan hari yang lainnya yaitu 5,1 mW.

Pada pengambilan data hari ke dua cuaca cukup terang namun intensitas radiasi matahari maksimal yang dihasilkan masih kecil yaitu 984 W/m<sup>2</sup> dan banyak awan pada saat pengambilan data sehingga menghalangi radiasi matahari pada saat pengujian, terlihat pada grafik daya maksimum yang dihasilkan yaitu 8,77 mW.

Pada pengujian hari ke ketiga merupakan pengujian dengan intensitas radiasi maksimal yang terbesar dibandingkan dengan hari yang lainnya yaitu 1127 W/m<sup>2</sup> namun rata2 yang dihasilkan lebih besar pada hari keempat dengan intensitas radiasi maksimal yaitu 1107 W/m<sup>2</sup> sehingga daya yang dihasilkan kedua yang terbesar yang didapatkan yaitu 12,13 mW pada jam 12:30 WIB hal ini disebabkan walaupun intensitas radiasi tinggi namun cuaca pada hari ketiga sedikit berawan.

## KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian ini dan menganalisa pembangkit termoelektrik generator dengan memanfaatkan penyerapan panas pada jalan beton dengan 3 buah modul termoelektrik generator tipe SP 1848 dan pelat transfer panas tembaga berbentuk I menunjukkan daya maksimal yang dapat dihasil yaitu 14,88 mW dan rata-rata daya yang dihasilkan pada pengujian yaitu 9,73 mW dengan perbedaan temperatur maksimal 6,7 °C. Adapun Pengaruh radiasi terhadap daya yang dihasilkan pada pembangkit termoelektrik generator yaitu semakin besar nilai radiasi

maka panas yang diterima permukaan beton yang diserap pelat akan semakin besar dan memperbesar selisih perbedaan temperature antara sisi panas TEG dan sisi dingin TEG sehingga nilai output yang dihasilkan modul termoelektrik generator semakin besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, M. (2016). Studi Karakterisasi Modul Generator Termoelektrik Tipe Sp184827145sa. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Amanda, D. R. (2019). Analisis Teknis Dan Ekonomis Termoelektrik Generator (Teg) Dengan Memanfaatkan Panas Mesin Vacuum Frying Sebagai Harvesting Energi Listrik. Universitas Sultan Syarif Qasim Riau, Riau.
- Cengel, Y. A. (2003). Heat Transference a Practical Approach. MacGraw-Hill, 4(9), 874.
- Datta, U., Dessouky, S., & Papagiannakis, T. (2017). Harvesting Thermoelectric Energy from Asphalt Pavements. *Journal of the Transportation Research Board*. 2628 (02): 12-22
- Indonesia, S. S. (2017). Perkerasan Jalan Beton Tanpa Tulangan. Medium.Com. <https://medium.com/@soilindo/perkerasan-jalan-beton-tanpa-tulangan-3eaf82df4af9>. (diakses 10 Agustus 2020).
- Jiang, W., & Huang, Y. (2020). Thermoelectric technologies for harvesting energy from pavements. In *Eco-Efficient Pavement Construction Materials*. 340-366.
- Jiang, W., Yuan, D., Xu, S., Hu, H., Xiao, J., Sha, A., & Huang, Y. (2017). Energy harvesting from asphalt pavement using thermoelectric technology. *Applied Energy*, 205(June), 941–950.
- Lau, P. G., & Buist, R. J. 1997. Calculation of Thermoelectric Power Generation Performance Using Finite Element Analysis. 16th International Conference on Thermoelectrics : IEEE. P 563–66.
- Liu C, Chen P, Li K. 2014. A 1 KW Thermoelectric Generator For Low-Temperature Geothermal Resources. *PROCEEDINGS, Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford University, Stanford, California.
- Puspita, S. C., Sunarno, H., & Indarto, B. (2017). Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(2), 84.
- Rafika, H., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2017). Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 15 (1)(1), 7–11.
- Riyanto, Y. (2019). Pembangkit Energi Listrik Memanfaatkan Penyerapan Panas Aspal Jalan Menggunakan Teknologi 68 Termoelektrik Generator ( Teg) Dengan Pelat Penyerap Alumunium. Universitas Riau, Riau.
- Suryanto, N., Aziz, A., Mainil, R. I., Energi, L. K., Mesin, J. T., Teknik, F., & Riau, U. (2017). Pengujian Thermoelectric Generator ( Teg ) Dengan Sumber Kalor Electric Heater 60 Volt Menggunakan Air Pendingin Pada Jom FTEKNIK Volume 4 No . 2 Oktober 2017 Jom FTEKNIK Volume 4 No . 2 Oktober 2017. 4(2), 3–7.
- Tahami, S. A., Gholikhani, M., & Dessouky, S. (2020). Thermoelectric Energy Harvesting System for Roadway Sustainability. *Transportation Research Record*, 2674(2), 135–145.
- Tahami, S. A., Gholikhani, M., Nasouri, R., & Dessouky, S. (2019). Evaluation of a Novel Road Thermoelectric Generator System. *MATEC Web of Conferences*, 271, 08002.
- Tahami, S. A., Gholikhani, M., Nasouri, R., Dessouky, S., & Papagiannakis, A. T. (2019). Developing a new thermoelectric approach for energy harvesting from asphalt pavements. *Applied Energy*, 238(January), 786–795.
- Wirawan, R. 2012. Analisa Penggunaan Heat Pipe Pada Thermoelectric Generator. Skripsi. Universitas Indonesia, Depok.