

LAPORAN  
PENELITIAN PENGEMBANGAN IPTEK (PPI)

**PENGEMBANGAN KONVERTER ENERGI TERMAL SURYA  
MENJADI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN  
GENERATOR TERMOELEKTRIK PADA ATAP  
DAN DINDING MODEL BANGUNAN**



Tim Pengusul

Ketua Peneliti (Rifky, S.T., M.M. dan NIDN: 0305046501)

Anggota Peneliti (Agus Fikri, S.T., M.M., M.T. dan NIDN: 0319087101)

Anggota Peneliti (Mohammad Mujirudin, S.T., M.T. dan NIDN: 0312126705)

Nomor Surat Kontrak Penelitian : 269/F.03.07/2020

Nilai Kontrak : Rp.15.000.000,-

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA  
TAHUN 2021

## HALAMAN PENGESAHAN

i

**LEMBAR PENGESAHAN  
PENELITIAN PENGEMBANGAN IPTEK (PPI)**

**Judul Penelitian**

**PENGEMBANGAN KONVERTER ENERGI TERMAL SURYA MENJADI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN GENERATOR TERMOELEKTRIK PADA ATAP DAN DINDING MODEL BANGUNAN**

**Jenis Penelitian** : PENELITIAN PENGEMBANGAN IPTEK (PPI)  
**Ketua Peneliti** : Rifky, S.T., M.M.  
**Link Profil simakip** : <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/profile>  
 Contoh link: <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/show/978>  
**Fakultas** : Fakultas Teknik  
**Anggota Peneliti** : Agus Fikri, S.T., M.M., M.T.  
**Link Profil simakip** : <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/profile>  
 Contoh link: <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/show/978>  
**Anggota Peneliti** : Mohammad Mujirudin, S.T., M.T.  
**Link Profil simakip** : <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/profile>  
 Contoh link: <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/show/978>  
**Waktu Penelitian** : 6 Bulan

**Luaran Penelitian**

**Luaran Wajib** : Jurnal Nasional Terakreditasi  
**Status Luaran Wajib** : In Review  
**Luaran Tambahan** : Prosiding Seminar Nasional  
**Status Luaran Tambahan**: in Review

Mengetahui,  
Ketua Program Studi

  
Delvis Agusman, S.T., M.Sc.  
NIDN. 0311087002

Jakarta, 27 April 2020  
Ketua Peneliti

  
Rifky, S.T., M.M.  
NIDN.0305046501

Menyetujui,  
Kepala Fakultas Teknik

  
Sugema, S.T., M.Kom.  
NIDN.0323056403

Ketua Lemlitbang UHAMKA

Prof. Dr. Suswandari, M.Pd  
NIDN. 0020116601

## SURAT KONTRAK PENELITIAN



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**

Jln. Tanah Merdeka, Pasar Rebo, Jakarta Timur  
 Telp. 021-8416624, 87781809; Fax. 87781809

**SURAT PERJANJIAN KONTRAK KERJA PENELITIAN  
 LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
 UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF DR HAMKA**

Nomor : *264* / F.03.07 / 2020  
 Tanggal : 12 Juni 2020

***Bismillahirrahmanirrahim***

Pada hari ini, Jum'at, tanggal Dua Belas, bulan Juni, Tahun Dua Ribu Dua Puluh, yang bertanda tangan di bawah ini Prof. Dr. Hj Suswandari, M.Pd, Ketua Lembaga Penelitian dan Pengembangan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, selanjutnya disebut sebagai PIHAK PERTAMA; RIFKY S.T., M.M., selanjutnya disebut sebagai PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA sepakat untuk mengadakan Perjanjian Kontrak Kerja Penelitian yang didanai oleh RAPB Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Pasal 1

PIHAK KEDUA akan melaksanakan kegiatan penelitian dengan judul : **PENGEMBANGAN KONVERTER ENERGI TERMAL SURYA MENJADI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN GENERATOR TERMOELEKTRIK PADA ATAP DAN DINDING MODEL BANGUNAN** dengan luaran wajib dan luaran tambahan sesuai data usulan penelitian Bach2 Tahun 2019 melalui [simakip.uhamka.ac.id](http://simakip.uhamka.ac.id).

Pasal 2

Bukti luaran penelitian wajib dan tambahan harus sesuai sebagaimana yang dijanjikan dalam Pasal 1, Luaran penelitian yang dimaksud dilampirkan pada saat Monitoring Evaluasi dan laporan penelitian yang diunggah melalui [simakip.uhamka.ac.id](http://simakip.uhamka.ac.id).

Pasal 3

Kegiatan tersebut dalam Pasal 1 akan dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA mulai tanggal 12 Juni 2020 dan selesai pada tanggal 12 November 2020.

Pasal 4

Berdasarkan kemampuan keuangan lembaga, PIHAK PERTAMA menyediakan dana sebesar Rp.15.000.000,- (Terbilang : *Lima Belas Juta*) kepada PIHAK KEDUA untuk melaksanakan kegiatan tersebut dalam Pasal 1. Sumber biaya yang dimaksud berasal dari RAB pada Lembaga Penelitian dan Pengembangan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA Tahun Anggaran 2019/2020.

Pasal 5

Pembayaran dana tersebut dalam Pasal 4 akan dilakukan dalam 2 (dua) termin sebagai berikut;  
 (1) Termin I 70 % : Sebesar 10.500.000 (Terbilang: *Sepuluh Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*) setelah PIHAK KEDUA menyerahkan proposal penelitian yang telah direview dan diperbaiki sesuai saran reviewer pada kegiatan tersebut Pasal 1.

(2) Termin II 30 % : Sebesar 4.500.000 (Terbilang: *Empat Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*) setelah PIHAK KEDUA mengunggah laporan akhir penelitian dengan melampirkan bukti luaran penelitian wajib dan tambahan sesuai Pasal 1 ke [simakip.uhamka.ac.id](http://simakip.uhamka.ac.id).

#### Pasal 6

(1) PIHAK KEDUA wajib melaksanakan kegiatan tersebut dalam Pasal 1 dalam waktu yang ditentukan dalam Pasal 3.

(2) PIHAK PERTAMA akan melakukan monitoring dan evaluasi pelaksanaan kegiatan tersebut sebagaimana yang disebutkan dalam Pasal 1. Bila PIHAK KEDUA tidak mengikuti Monitoring dan Evaluasi sesuai dengan jadwal yang ditentukan, tidak bisa melanjutkan penyelesaian penelitian dan harus mengikuti proses Monitoring dan Evaluasi pada periode berikutnya.

(3) PIHAK PERTAMA akan mendenda PIHAK KEDUA setiap hari keterlambatan penyerahan laporan hasil kegiatan sebesar 0,5 % (setengah persen) maksimal 20% (dua puluh persen) dari jumlah dana tersebut dalam Pasal 4.

(4) Dana Penelitian dikenakan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) dari keseluruhan dana yang diterima oleh PIHAK PERTAMA sebesar 5 % (lima persen)

Jakarta, 12 Juni 2020

PIHAK PERTAMA  
 Lembaga Penelitian dan Pengembangan  
 Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA  
 Ketua,



Prof. Dr. Hj Suswandari, M.Pd

PIHAK KEDUA  
 Peneliti,



RIFKY S.T., M.M.

Mengetahui  
 Wakil Rektor II UHAMKA



Prof. Dr. H. Zamah Sari M.Ag.

## ABSTRAK

Energi matahari masih dan terus menjadi kajian dalam pengembangannya. Salah satu pemanfaatan jenis energi terbarukan ini diterapkan pada bangunan dengan dikonversi langsung menjadi energi listrik. Konverter yang dapat digunakan adalah generator termoelektrik, yang ditempatkan pada atap dan dinding model bangunan. Atap dan dinding adalah bagian bangunan yang paling banyak menerima sinar matahari. Panas matahari yang diterima termoelektrik yang dilekatkan sistem pendingin akan diubah menjadi listrik. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin dari sistem generator termoelektrik. Dari daya luaran yang dihasilkan akan didapatkan kelayakan generator termoelektrik untuk dijadikan sumber energi pada model bangunan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, yang didahului dengan perancangan dan pembuatan alat penelitian. Model bangunan dirancang sederhana yang bagian atap dan dindingnya ditempatkan generator termoelektrik. Variabel dalam penelitian ini adalah penempatan posisi generator di atas dan di dinding, dan susunan sambungan generator termoelektrik (seri dan parallel). Sementara data masukan ke alat adalah intensitas radiasi, kelembaban udara, temperatur (lingkungan, penyerap panas, sisi panas termoelektrik, sisi dingin termoelektrik, sistem pendingin, air pendingin), dan aliran alir; sedangkan data luaran adalah tegangan listrik dan arus listrik. Penelitian ini mendapatkan bahwa sistem generator pada atap dengan perbedaan temperatur sisi panas-sisi dingin sebesar 8,90 °C menghasilkan daya sebesar 1,953 watt. Sementara sistem generator pada dinding dengan perbedaan temperatur sisi panas-sisi dingin sebesar 1,80 °C menghasilkan daya sebesar 0,030 watt. Perbedaan temperatur 12,8 °C menghasilkan daya maksimum sebesar 2,214 watt dari susunan seri sambungan termoelektrik. Sementara dengan perbedaan temperatur 15,4 °C mendapatkan daya maksimum sebesar 0.101 watt dari susunan paralel sambungan termoelektrik.

Kata kunci: atap, dinding, energi, surya, termoelektrik

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
SURAT KONTRAK PENELITIAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 <i>State of the Art</i> .....	4
2.2 Nilai Kebaruan yang Akan Dihasilkan dari Penelitian .....	4
2.3 Kajian Terkait dengan Konsep Teori .....	5
2.4 Roadmap Penelitian .....	9
BAB 3. METODE PENELITIAN .....	10
3.1 Alur/Langkah Penelitian .....	10
3.2 Lokasi Penelitian .....	11
3.3 Konsep Metode Penelitian yang Digunakan .....	11
3.4 Desain Penelitian yang Digunakan .....	11
3.5 Populasi dan Sampel atau Subjek Penelitian/Informasi Penelitian ....	11
3.6 Cara Pengumpulan Data .....	12
3.7 Instrumen yang Digunakan, Manajemen Analisis Data .....	12
3.8 Indikator Capaian Hasil Penelitian .....	13
3.9 Fishbond Penelitian .....	14

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	15
4.1 Deskripsi Wilayah Penelitian .....	15
4.2 Hasil Penelitian .....	15
4.3 Pembahasan Hasil Penelitian .....	20
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	26
5.1 Kesimpulan .....	26
5.2 Saran .....	26
BAB 6 LUARAN YANG DICAPAI .....	27
BAB 7 RENCANA TINDAK LANJUT DAN PROYEKSI HILIRISASI ....	28
DAFTAR PUSTAKA .....	29
LAMPIRAN .....	31

## DAFTAR TABEL

1. Tabel 4.1 Hasil pengukuran posisi Atap .....	17
2. Tabel 4.2 Hasil pengukuran posisi Dinding .....	18
3. Tabel 4.3 Hasil pengukuran susunan seri .....	19
4. Tabel 4.4 Hasil pengukuran susunan paralel .....	20

## DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Spektrum UV dan IR yang dibutuhkan PV dan TE .....	7
2. Gambar 2.2 Generator termoelektrik .....	8
3. Gambar 2.3 Roadmap penelitian .....	9
4. Gambar 3.1 Diagram alur penelitian .....	10
5. Gambar 3.2 Fishbond penelitian .....	14
6. Gambar 4.1 Alat generator termoelektrik .....	16
7. Gambar 4.2 Distribusi hasil pengukuran pada atap .....	21
8. Gambar 4.3 Distribusi hasil pengukuran pada dinding .....	22
9. Gambar 4.4 Distribusi hasil pengukuran pada susunan seri .....	23
10. Gambar 4.5 Distribusi hasil pengukuran pada susunana paralel .....	24

## DAFTAR LAMPIRAN

1. LAMPIRAN A: ARTIKEL JURNAL TURBO ..... 31
2. LAMPIRAN B: ARTIKEL PROSIDING SENA SAINS ..... 32

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia beruntung terletak di katulistiwa yang mendapat limpahan sinar matahari sepanjang tahun. Oleh karena sebagai sumber energi yang berlimpah (Contreras & Deb, 2012), (Şen, 2004) sangat besar (Vanek & Albright, 2008), paling stabil (Jarman, Khalil, & Khalaf, 2013), tersedia untuk jangka panjang (Jarman et al., 2013) karena hampir tidak pernah habis (Vanek & Albright, 2008), (Jarman et al., 2013), dan tidak berpolusi (Vanek & Albright, 2008), (He, Zhou, Chen, & Ji, 2014), matahari memberikan potensi besar bagi tempat yang berada di zona katulistiwa (Şen, 2004).

Energi surya adalah energi bersih (Şen, 2004) dan aman untuk dimanfaatkan. Pemanfaatan sederhana untuk menanam tanaman dan mengeringkan pakaian (Kalogirou, 2004). Sinar ultraviolet yang berbahaya diserap sebelum mencapai troposfer oleh ozon di stratosfer dan melemah oleh komposisi udara dan kelembaban di trofosfer (Şen, 2004).

Besarnya energi surya yang diterima bumi, diperkirakan dalam 10 hari setara dengan kalor yang dilepaskan oleh seluruh pembakaran semua cadangan bahan bakar fosil (Şen, 2004). Intensitas radiasi rata-rata per hari sebesar 4 kWh/m<sup>2</sup> (Vanek & Albright, 2008). Dalam waktu satu menit bumi menerima energi surya lebih besar dari pemanfaatan energi oleh seluruh populasi yang ada di bumi (Şen, 2004). Dengan demikian pemanfaatan energi surya adalah solusi yang tepat sekaligus sadar lingkungan terhadap permintaan energi yang terus meningkat (Contreras & Deb, 2012).

Aplikasi energi surya terdiri dari teknologi fotovoltaik konvensional, konsentrasi fotovoltaik, dan teknologi termal surya (Contreras & Deb, 2012), serta teknologi energi surya-hidrogen (Şen, 2004). Energi termal surya dikonversi langsung menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik. Konverter daya termoelektrik tidak memiliki bagian yang bergerak, kompak, tenang, sangat andal (Liu, Chen, & Li, 2014), fleksibel (Jarman et al., 2013), struktur sederhana

(Wang, Liu, Fan, & Li, 2013) dan ramah lingkungan (Jarman et al., 2013), (Liu et al., 2014), (Wang et al., 2013).

Sinar matahari yang mencapai atmosfer luar mengalami proses penyerapan, refleksi dan transmisi (Vanek & Albright, 2008), (Şen, 2004) serta faktor kelembaban, polusi, atau partikel lain di atmosfer (Vanek & Albright, 2008) sebelum mencapai permukaan bumi (Şen, 2004). Sementara untuk mencapai lokasi tertentu dipengaruhi perubahan cuaca dan hilangnya di malam hari serta bervariasi selama sehari, selama setahun, dan sebagai fungsi garis lintang (Vanek & Albright, 2008).

Di sisi lain, radiasi matahari menunjukkan penampilan yang berbeda tergantung pada topografi permukaan bumi. Sementara kepadatan tenaga surya ini bervariasi dengan garis lintang, ketinggian, dan musim dalam setahun di samping waktu pada hari tertentu (Şen, 2004).

Sebagian besar teknologi pembangkit listrik termal saat ini harus terlebih dahulu mengubah energi termal menjadi pekerjaan mekanik sebelum menghasilkan listrik (Liu et al., 2014). Sementara generator termoelektrik mengkonversi langsung menjadi energi listrik. Namun, masalahnya daya listrik yang disalurkan bervariasi sesuai dengan arus yang ditarik oleh beban listrik. Untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan, impedansi beban listrik harus sama dengan resistansi internal (Montecucco, Siviter, & Knox, 2014). Sehubungan dengan hal tersebut perlu dibuat variasi susunan sambungan antar generator termoelektrik untuk mendapatkan susunan sambungan yang sesuai.

Pada prinsipnya, generator termoelektrik menghasilkan tenaga listrik dengan cara yang sangat efisien dari panas yang diberikan iradiasi matahari (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012). Namun, diperlukan upaya untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin, yang kemudian dapat ditemukan kelayakan generator termoelektrik untuk dijadikan sumber energi pada atap dan dinding model bangunan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Daya listrik luaran yang dihasilkan generator termoelektrik ditentukan oleh besarnya radiasi termal sinar matahari yang sampai dipermukaan. Oleh karena itu untuk menjadikan generator termoelektrik sebagai konverter energi pada bangunan serta perolehan daya listrik yang besar diperlukan penempatannya yang tepat dan dilakukan penyusunan sambungan rangkaian termoelektrik. Berdasarkan hal tersebut, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penempatan generator termoelektrik di atap dan di dinding terhadap daya luaran yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh sambungan rangkaian termoelektrik yang seri dan paralel terhadap daya luaran yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian tentang termoelektrik ini yang menjadikannya sebagai generator pada model bangunan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan daya luaran yang maksimal dari generator termoelektrik yang dipasang pada atap dan dinding model bangunan.
2. Untuk mendapatkan daya luaran yang maksimal dari generator termoelektrik yang susunan termoelektriknya dirangkai secara seri dan paralel.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Generator termoelektrik dalam penelitian ini merupakan konverter energi termal matahari menjadi energi listrik pada model bangunan, maka manfaat yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Dapat menjadi bagian bangunan yang dapat menghasilkan listrik untuk menghemat konsumsi listrik.
2. Sebagai bahan masukan pengembangan sumber energi bangunan dan *Net Zero Energy Building (NZE)*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 State of the art

Aplikasi teknologi termoelektrik, diantaranya pada bidang penginderaan jauh, otomotif (pendingin dan penghangat kursi di mobil mewah), kompor, catu daya misi ruang angkasa, pembangkit listrik industri (Montecucco et al., 2014), untuk menyediakan minuman dingin, pada arloji dan alat pacu jantung *biothermoelectric* (Jarman et al., 2013), (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012). Selain itu sistem pemulihan limbah panas yang memanfaatkan knalpot mobil untuk memberikan energi listrik tambahan dan meningkatkan efisiensi (Jarman et al., 2013), (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012).

Teknologi termoelektrik surya dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruangan dan menghemat konsumsi energi bangunan (Jarman et al., 2013). Untuk mencapainya maka bangunan harus dapat menghasilkan energi sendiri yang ramah lingkungan dengan generator termoelektrik. Bagi generator termoelektrik harus mampu menghasilkan daya luaran yang besar. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan 21 modul termoelektrik yang harus disusun sedemikian rupa untuk menghasilkan perbedaan temperatur yang besar. Susunan sambungan modul termoelektrik menentukan besarnya arus listrik yang dapat dipasok ke rangkaian listrik eksternal.

### 2.2 Nilai kebaruan yang akan dihasilkan dari penelitian

Penelitian ini adalah penggunaan generator termoelektrik pada atap dan dinding model bangunan sebagai konverter energi yang disusun dengan sambungan bervariasi (rangkaiian seri dan paralel) untuk mendapatkan daya luaran terbesar. Dengan demikian generator termoelektrik dapat menjadi bagian bangunan yang menghemat konsumsi energi bangunan.

### 2.3 Kajian terkait dengan konsep teori

Matahari adalah sumber utama untuk energi alternatif baru dan terbarukan. Namun, sumber ini tidak dikonsumsi secara memadai di setiap tempat di dunia (Şen, 2004). Radiasi sinar matahari membawa energi, kemungkinan membagi cahaya menjadi tiga kelompok yang tumpang tindih sebagai: (1) kelompok fotovoltaik: menghasilkan listrik langsung dari cahaya matahari; (2) kelompok fotokimia: menghasilkan listrik, atau, bahan bakar gas dan cahaya melalui proses kimia non-hidup, dan; (3). kelompok fotobiologis: menghasilkan makanan (bahan bakar hewan dan manusia) dan bahan bakar gas melalui organisme atau tanaman hidup (Şen, 2004). Kelompok (1) dan (2) yang aplikasinya disebut teknologi surya aktif. Sementara kelompok (3) digunakan pada teknologi surya pasif (Contreras & Deb, 2012).

Untuk memanfaatkan energi matahari dengan mengeksploitasinya melalui langkah-langkah fungsional penangkapan, konversi, dan penyimpanan. Energi tersebut tiba di bumi ketika radiasi didistribusikan melintasi spektrum warna dari inframerah ke ultraviolet (Lewis, 2005).

Ada tiga jenis teknologi yang digunakan dalam mengumpulkan energi surya, yaitu (Jayakumar, 2009), (Chu, 2011):

1. *Flat Plate Arrays*.
2. *Tracking Arrays*.
3. *Concentrator Arrays*.

Teknologi panas matahari cukup beragam dalam hal karakteristik operasional dan aplikasinya — mencakup teknologi yang cukup sederhana seperti pengeringan tanaman hasil pertanian, pemanasan ruang bangunan perumahan dan komersil, pemanasan air, menanam tanaman dalam rumah kaca, produksi garam dari penguapan air laut, memasak makanan, dan mengendarai mesin kalor dalam siklus tenaga (Dincer & Midilli, 2007), pemanas ruang matahari dan kompor matahari serta peralatan yang rumit dan canggih seperti pendingin udara matahari dan pembangkit listrik tenaga surya (Rosen, 2007).

Teknologi panas matahari memanfaatkan komponen panjang gelombang radiasi matahari (Contreras & Deb, 2012). Berdasarkan temperatur kerja

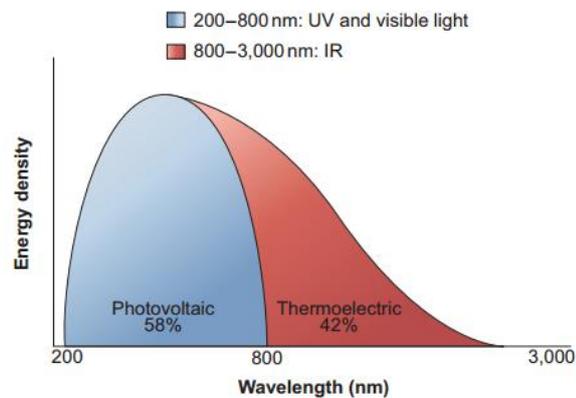
diklasifikasikan ke dalam tiga jenis berikut (Contreras & Deb, 2012), (Rosen, 2007):

1. Teknologi temperatur rendah (temperatur kerja  $< 70^{\circ}\text{C}$ ) — pemanasan ruang surya, kolam tenaga surya, pemanas air tenaga surya, dan pengeringan tanaman surya.
2. Teknologi temperatur sedang ( $70^{\circ}\text{C} < \text{temperatur kerja} < 200^{\circ}\text{C}$ ) — distilasi surya, pendinginan dengan matahari, dan pemasakan dengan matahari.
3. Teknologi temperatur tinggi (temperatur kerja  $> 200^{\circ}\text{C}$ ) — teknologi pembangkit listrik tenaga termal seperti palung parabola, menara surya, dan parabola..

Sementara teknologi pembangkit listrik tenaga surya langsung, seperti, termoelektrik, termionik, magneto hidrodinamik, dan metode termoelektrik alkali-logam, adalah beberapa cara yang paling menarik untuk menyediakan energi listrik dari panas matahari (Jarman et al., 2013). Secara harfiah termoelektrik terkait fenomena termal dan listrik. Termoelektrik secara langsung dapat mengubah energi termal menjadi energi listrik. Sistem ini bermula pada fenomena material yang memiliki perilaku seperti halnya pada termokopel (Gaos, Yogi Sirodz, 2019).

Teknologi termoelektrik berbeda dengan teknologi fotovoltaik. Teknologi fotovoltaik menggunakan gelombang ultraviolet dari spektrum matahari menjadi listrik (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012), dimana memanfaatkan foton dengan energi lebih tinggi dari energi celah pita dari bahan penyerapnya (Contreras & Deb, 2012). Untuk teknologi termoelektrik, mengkonversi langsung energi termal dari rentang infra merah menjadi listrik (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012), (Jarman et al., 2013), (Contreras & Deb, 2012).

Perbedaan rentang panjang gelombang yang dibutuhkan teknologi fotovoltaik dan teknologi termoelektrik, diperlihatkan pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Spektrum UV dan IR yang dibutuhkan PV dan TE (Jarman et al., 2013), (Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, 2012)

Berkaitan dengan perilaku termokopel ada lima mekanisme berbeda yang perlu diperhatikan, yaitu (da Rosa, 2005):

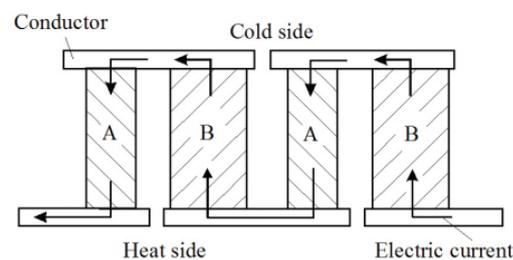
1. Konduksi panas atau efek Fourier (Wang et al., 2013).
2. Kerugian atau efek Joule (Wang et al., 2013).
3. Efek Seebeck.
4. Efek Peltier.
5. Efek Thomson.

Efek Seebeck, efek Peltier dan efek Thomson disebut efek termoelektrik (Lee, 2013). Efek Seebeck menjelaskan adanya gaya gerak listrik atau perbedaan potensial dapat dihasilkan karena adanya perbedaan temperatur (Vedanayakam & Suvarna, 2018), (Polozine, Sirotinskaya, & Schaeffer, 2014), (Jarman et al., 2013), (Montecuccio et al., 2014). Besarnya perbedaan temperatur ini menentukan besarnya perbedaan tegangan dan arah aliran panas menentukan polaritas tegangan (Montecuccio et al., 2014).

Pada dasarnya termoelektrik terdiri dari dua perangkat, yaitu generator termoelektrik (TEG) dan pendingin termoelektrik (TEC), dimana TEG bekerja dengan prinsip efek Seebeck sedangkan TEC beroperasi dengan dasar efek Peltier.

Generator termoelektrik yang bekerja dengan prinsip efek Seebeck, dimana adanya perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik menghasilkan perbedaan potensial listrik. Pada sisi panas diberikan kalor, sedang pada sisi dingin adanya penyerapan kalor sehingga menjadi dingin (Rifky, 2020).

Skema konversi langsung energi termal menjadi Listrik ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2.2 Generator termoelektrik(Polozine et al., 2014)

Material termoelektrik sangat mempengaruhi efisiensi untuk pembangkit listrik tenaga surya. Material tersebut harus menghadirkan stabilitas termal dan kimia yang sangat baik pada suhu tinggi ketika digunakan di bawah radiasi matahari terkonsentrasi (Jarman et al., 2013). Material generasi pertama didasarkan pada konduktor listrik dan semikonduktor, seperti antimon, bismut, tembaga, besi, timah, seng, dan berbagai paduan, antara lain. Kemudian, pada abad ke-20, banyak material termoelektrik lainnya dikembangkan: keramik, komposit, dan lain-lain. Semikonduktor yang diperbarui menjadi dasar untuk produksi efek termoelektrik (Polozine et al., 2014).

Sifat efek termoelektrik ditentukan oleh kinerja material termoelektrik dan efisiensi material termoelektrik tunggal.

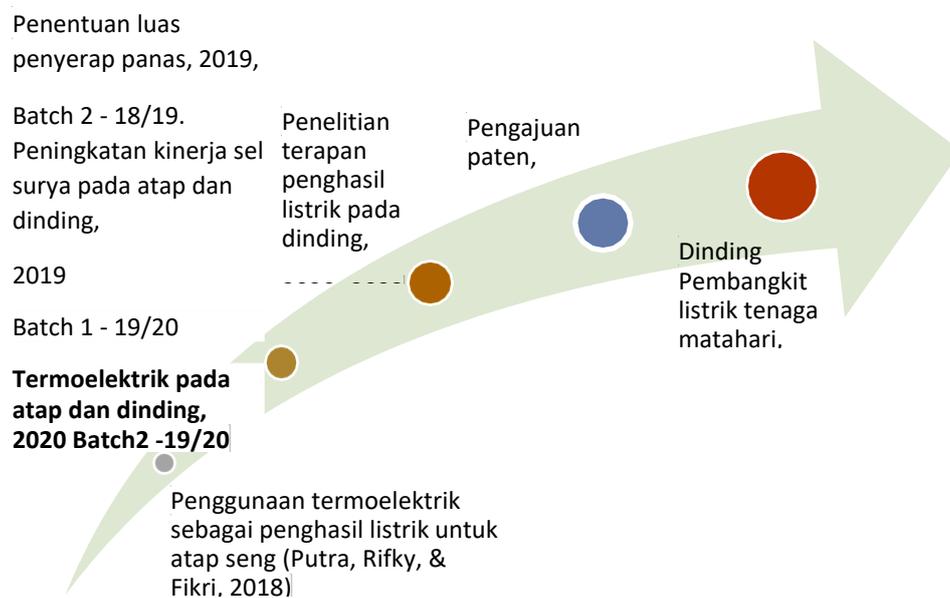
Efisiensi konversi perangkat termoelektrik tidak hanya tergantung pada sifat fisik-kimia material (Jarman et al., 2013), temperatur dan nilai  $z$  (Polozine et al., 2014), tetapi juga pada konstruksi dan geometri perangkat, serta pada panas

makroskopik dan transportasi elektronik (Jarman et al., 2013), serta beban listrik yang diterapkan pada TEG dan geometri TEG (Polozine et al., 2014).

Efisiensi tertinggi yang mungkin dari dapat dicapai sebesar 9,8%, 13,5%, dan 14,1% untuk  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , *skutterudite*, dan paduan *antimony lead telluride* perak (Jarman et al., 2013).

## 2.4 Roadmap penelitian

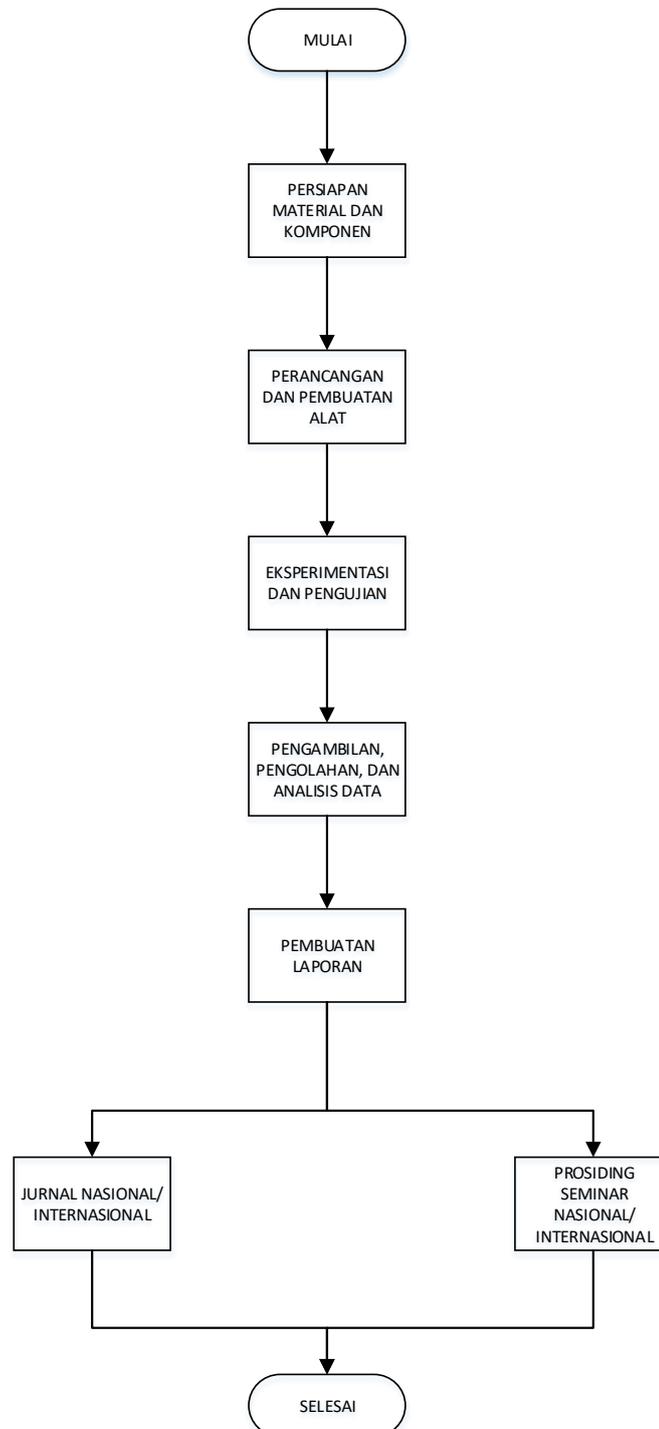
Roadmap atau peta jalan penelitian termoelektrik dengan energi surya yang dilakukan sejalan dengan Rencana Induk Penelitian yang dikeluarkan oleh Lemlitbang UHAMKA yaitu menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan.



Gambar 2.3 Roadmap penelitian

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur/Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

### 3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Roof Top Lantai 5 Gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA.

### 3.3 Konsep Metode Penelitian yang Digunakan

Penelitian generator termoelektrik yang memanfaatkan energi surya ini menggunakan metode eksperimental yang sebelumnya dilakukan perancangan dan pembuatan alat, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.1 di bawah.

### 3.4 Desain Penelitian yang Digunakan

Desain penelitian yang digunakan pada penelitian tentang generator termoelektrik menjadi konverter energi termal surya menjadi energi listrik pada model bangunan ini dapat diuraikan terdiri dari:

1. Persiapan material dan komponen
2. Perancangan dan pembuatan alat.
3. Penelitian eksperimental.
  - a. Melakukan eksperimentasi.
  - b. Melakukan pengujian.
  - c. Pengambilan data.
  - d. Pengolahan data
  - e. Analisis data

### 3.5 Populasi dan Sampel atau Subyek Penelitian/Informasi Penelitian

Pada penelitian eksperimental ini yang pengambilan datanya dari alat yang dioperasikan, maka seluruh data yang tercatat pada alat ukur digunakan untuk diolah. Pengambilan data dilakukan sepanjang hari dari pukul 08.00 sampai pukul 16.00 WIB dengan rentang pengambilan setiap 30 menit.

### 3.6 Cara Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan diperoleh dengan cara mengukur besaran yang dihasilkan dari alat yang dioperasikan. Dalam penelitian ini, data yang dihasilkan terdiri dari:

1. Data masukan ke sistem generator termoelektrik:
  - a. Kelembababan udara.
  - b. Kecepatan angin.
  - c. Temperatur penyerap panas.
  - d. Temperatur sisi panas termoelektrik.
  - e. Temperatur sisi dingin termoelektrik.
  - f. Temperatur air masuk ke sistem pendingin.
  - g. Temperatur air keluar dari sistem pendingin.
  - h. Temperatur air dalam bak.
  - i. Laju alir air pendingin.
2. Data luaran dari sistem sel surya:
  - a. Tegangan listrik.
  - b. Arus listrik.

Untuk memperoleh data masukan masing-masing besaran diukur oleh alat ukur tersendiri, sedangkan untuk data luaran digunakan alat ukur listrik, voltmeter dan amperemeter.

### 3.7 Instrumen yang Digunakan, Manajemen Analisis Data

Instrumen yang digunakan selama penelitian sebagai berikut:

1. Rangkaian termoelektrik dua set yang masing-masing terdiri dari 15 modul termoelektrik tipe TEC-1 12076.
2. Sistem pendingin (terbuat dari aluminium) sebanyak 2 set
3. Pelat aluminium 2 lembar yang ditempatkan di muka rangkaian termoelektrik, berfungsi sebagai penyerap panas yang meneruskan panas ke sisi panas termoelektrik.
4. Anemometer berfungsi sebagai pengukur kecepatan angin.
5. Multimeter berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan arus.

6. Termometer digital berfungsi sebagai alat ukur temperatur.
7. Flow meter berfungsi sebagai alat ukur debit air.
8. Higrometer berfungsi sebagai alat ukur kelembaban udara.
9. Pompa air.
10. Kontainer, sebagai bak penampung air.

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran alat diolah dengan memasukkannya dalam perhitungan, yang kemudian ditabulasi dan dibuatkan grafik.

### 3.8 Indikator Capaian Hasil Penelitian

Desain awalnya penelitian ini menggunakan dua parameter sekaligus yaitu:

1. Sistem generator termoelektrik di tempatkan di atap dan dinding.
2. Sistem generator termoelektrik dirangkai dengan susunan sambungan seri dan paralel.

Namun, kendala rancangan dan pembuatan alat yang memakan waktu panjang serta adanya kebijakan PSBB yang diperpanjang akibat Pandemi Covid-19 belum berakhir, maka perancangan alat terpaksa dilakukan di rumah. Pemesanan pembuatan rangka sebagai model bangunan dan pembuatan sistem pendingin menjadi terhambat, karena banyak bengkel las yang tutup. Bengkel las yang buka memberi penawaran harga yang sangat tinggi.

Disamping itu, dengan adanya pengurangan biaya penelitian dari yang diajukan, maka yang seharusnya setiap atap dan dinding dipasang generator termoelektrik dengan susunan seri dan paralel tidak tercapai. Dengan dana yang terbatas maka penelitian terpaksa mengalami reduksi dalam pembuatan alat eksperimen. Konsekuensinya, pengambilan data dilakukan dengan melakukan penggantian penggunaan rangka model bangunan dan sistem rangkaian yang ditukar menukar dari rangkaian seri ke rangkaian paralel atau sebaliknya.

Kendala terakhir adalah sudah masuknya musim penghujan, sehingga dalam satu pekan pengambilan data belum tentu mendapatkan data selama tiga hari. Pagi

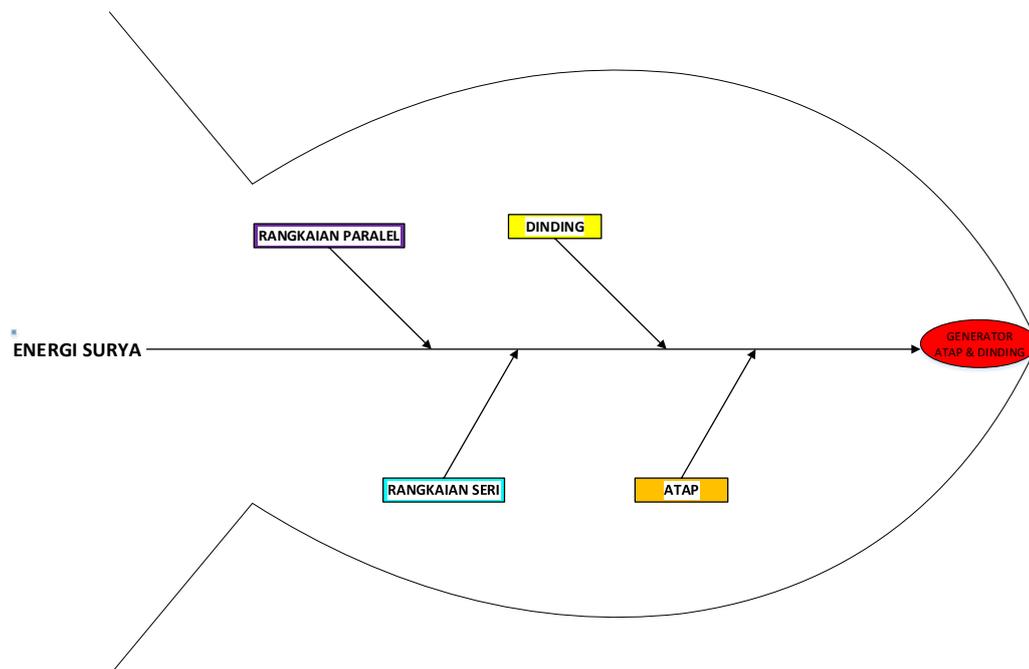
cerah, menjelang siang atau sore mendung sampai hujan, dan sebaliknya. Dari pagi hingga sore hari mendung atau hujan juga dialami.

Indikator capaian hasil penelitian:

1. Generator termoelektrik yang diletakkan di atap dengan di dinding menghasilkan daya luaran yang berbeda.
2. Generator termoelektrik dengan susunan rangkaian sambungan seri dan paralel menghasilkan daya luaran yang berbeda.

### 3.9 Fishbond Penelitian

Penelitian generator termoelektrik yang ditempatkan pada atap dan dinding model bangunan dengan sumber energi dari matahari, dapat digambarkan dalam bentuk fishbond diagram di bawah ini.



Gambar 3.2 Fishbond penelitian

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Deskripsi Wilayah Penelitian

Penelitian generator termoelektrik ini merupakan bagian dari penelitian energi surya. Energi surya minimal mempunyai dua kajian dalam penelitian yaitu energi cahaya matahari yang dikonversi langsung melalui sel surya dan pemanfaatan energi termal surya.

Penelitian yang memanfaatkan energi termal secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan modul termoelektrik. Modul termoelektrik sebanyak 15 buah disusun dengan rangkaian seri atau paralel. Pada sisi panas modul dilekatkan penyerap panas pelat aluminium yang akan dihadapkan arah datangnya sinar matahari. Sementara sisi dingin modul termoelektrik dilekatkan dengan sistem pendingin. Generator termoelektrik yang terdiri dari penyerap panas pelat aluminium, rangkaian modul termoelektrik, dan pendingin dipasang pada atap dan dinding rangka model bangun.

Penggunaan generator termoelektrik pada bangunan dapat menjadikan generator termoelektrik sebagai bagian dari fungsi atau struktur bangunan yang terintegrasi. Selain itu generator termoelektrik memberi kontribusi pada bangunan sebagai produsen energi, sehingga dalam bangunan terjadi surplus energi atau minimal mencapai keseimbangan, yang dikenal sebagai *Net Zero Energy Building (NZE)*.

### 4.2 Hasil Penelitian

Hasil penelitian berupa alat yang dibuat dalam penelitian dan hasil pengujian selama pengukuran. Alat yang dimaksud ditampilkan dalam gambar berikut:



Gambar 4.1 Alat generator termoelektrik

Generator termoelektrik yang ditempatkan pada atap dan dinding memberikan hasil penelitian di bawah ini. Demikian pula, generator termoelektrik yang ditempatkan sama-sama di atap, tetapi rangkaiannya berbeda. Salah satu set generator memiliki rangkaian modul termoelektrik dengan sambungan seri, sedangkan set generator yang lain dirangkai dengan sambungan paralel. Oleh karena itu hasil penelitian terdiri atas empat bagian, yaitu:

1. Penempatan generator termoelektrik pada atap.

Data posisi atap yang sudah diolah diperlihatkan pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran posisi Atap

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		$T_{hot}$ [°C]	$T_{cold}$ [°C]	$\Delta T_{TE}$ [°C]	V [V]	I [A]	P [W]
1	09.30	39,50	35,70	3,80	0,19	1,39	0,264
2	10.00	40,50	32,80	7,70	0,43	2,03	0,873
3	10.30	39,50	32,50	7,00	0,32	1,10	0,352
4	11.00	40,30	33,50	6,80	0,36	1,99	0,716
5	11.30	43,70	34,80	8,90	0,48	2,09	1,003
6	12.00	42,70	35,10	7,60	0,38	1,28	0,486
7	12.30	42,20	34,80	7,40	0,40	1,33	0,532
8	13.00	43,00	34,90	8,10	0,63	3,10	1,953
9	13.30	42,90	34,80	8,10	0,58	2,48	1,438
10	14.00	42,80	34,50	8,30	0,55	2,44	1,342
11	14.30	43,50	34,70	8,80	0,60	3,05	1,830
12	15.00	43,70	34,90	8,80	0,61	3,01	1,836
13	15.30	42,20	33,90	8,30	0,52	2,40	1,248
14	16.00	42,00	33,70	8,30	0,40	1,33	0,532
Maksimum		43,70	35,70	8,90	0,63	3,10	1,953
Minimum		39,50	32,50	3,80	0,19	1,10	0,264
Rata-rata		42,04	34,33	7,71	0,46	2,07	1,029

Dari tabel 4.1 di atas tampak bahwa perbedaan temperatur terbesar yaitu 8,9 °C menghasilkan daya luaran terbesar, yakni 1,953 watt.

## 2. Penempatan generator termoelektrik pada dinding.

Pada sistem generator termoelektrik yang ditempatkan pada posisi dinding menghasilkan data-data hasil pengukuran. Data yang sudah diolah, baik data masukan ke sistem ataupun luaran dari sistem, disajikan dalam tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran posisi Dinding

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		T <sub>hot</sub> [°C]	T <sub>cold</sub> [°C]	ΔT <sub>TE</sub> [°C]	V[V]	I [A]	P [W]
1	09.30	34,00	32,50	1,50	0,06	0,23	0,014
2	10.00	34,30	32,80	1,50	0,07	0,25	0,018
3	10.30	34,30	32,50	1,80	0,09	0,33	0,030
4	11.00	35,10	33,70	1,40	0,05	0,21	0,011
5	11.30	36,60	35,10	1,50	0,06	0,23	0,014
6	12.00	36,30	35,60	0,70	0,03	0,16	0,005
7	12.30	36,60	35,90	0,70	0,03	0,16	0,005
8	13.00	39,30	38,80	0,50	0,06	0,23	0,014
9	13.30	39,70	38,20	1,50	0,04	0,21	0,008
10	14.00	38,90	37,60	1,30	0,05	0,24	0,012
11	14.30	39,00	37,90	1,10	0,03	0,16	0,005
12	15.00	39,60	38,30	1,30	0,02	0,12	0,002
13	15.30	38,30	37,50	0,80	0,05	0,21	0,011
14	16.00	38,10	37,20	0,90	0,06	0,23	0,014
Maksimum		39,70	38,80	1,80	0,09	0,33	0,030
Minimum		34,00	32,50	0,50	0,02	0,12	0,002
Rata-rata		37,15	35,97	1,18	0,05	0,21	0,011

Tabel 4.2 di atas memberikan informasi bahwa perbedaan temperatur maksimum (1,8 °C) menghasilkan daya luaran maksimum (0,03 watt).

- Generator dengan rangkaian susunan modul termoelektrik bersambung seri.

Untuk susunan sambungan seri, menghasilkan data yang ditampilkan pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran susunan seri

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		$T_{hot}$ [°C]	$T_{cold}$ [°C]	$\Delta T_{TE}$ [°C]	V[V]	I [A]	P [W]
1	09.00	44,70	36,20	8,50	0,40	2,01	0,804
2	09.30	45,40	36,60	8,80	0,48	2,35	1,128
3	10.00	48,80	37,50	11,30	0,53	2,73	1,447
4	10.30	47,20	37,60	9,60	0,45	1,88	0,846
5	11.00	49,60	38,90	10,70	0,03	1,12	0,034
6	11.30	47,50	38,70	8,80	0,45	2,01	0,905
7	12.00	45,90	34,00	11,90	0,60	1,32	0,792
8	12.30	42,00	31,80	10,20	0,50	1,23	0,615
9	13.00	43,30	30,50	12,80	0,61	3,63	2,214
10	13.30	43,60	31,90	11,70	0,56	1,89	1,058
11	14.00	42,00	33,10	8,90	0,42	1,45	0,609
12	14.30	40,30	33,60	6,70	0,28	0,70	0,196
13	15.00	36,10	33,00	3,10	0,13	0,28	0,036
Maksimum		49,60	38,90	12,80	0,61	3,63	2,214
Minimum		36,10	30,50	3,10	0,03	0,28	0,034
Rata-rata		44,34	34,88	9,46	0,42	1,74	0,822

Pada tabel 4.3 di atas tampak bahwa, dengan perbedaan temperatur yang besar, yaitu 12,80 °C menghasilkan daya yang terbesar, yakni 2,214 watt.

4. Generator dengan rangkaian susunan modul termoelektrik bersambung paralel.

Pada susunan termoelektrik yang disambungkan secara paralel, menghasilkan data pengukuran yang diolah sebagaimana yang disajikan pada tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran susunan paralel

No.	Pukul	MASUKAN			LUARAN		
		$T_{hot}$ [°C]	$T_{cold}$ [K]	$\Delta T_{TE}$ [K]	V[V]	I[A]	P[W]
1	09.00	47,70	37,50	10,20	0,03	0,83	0,025
2	09.30	48,70	37,80	10,90	0,04	0,56	0,022
3	10.00	51,50	35,60	15,90	0,03	1,08	0,032
4	10.30	51,30	35,90	15,40	0,04	2,52	0,101
5	11.00	51,30	36,30	15,00	0,04	1,30	0,052
6	11.30	49,60	36,30	13,30	0,02	0,30	0,006
7	12.00	49,80	35,70	14,10	0,02	0,33	0,007
8	12.30	44,30	34,90	9,40	0,01	0,39	0,004
9	13.00	45,30	35,10	10,20	0,03	1,26	0,038
10	13.30	42,90	35,60	7,30	0,02	1,23	0,025
11	14.00	40,50	34,40	6,10	0,03	0,97	0,029
12	14.30	36,40	32,80	3,60	0,03	0,55	0,017
13	15.00	36,40	32,80	3,60	0,02	0,38	0,008
Maksimum		51,50	37,80	15,90	0,04	2,52	0,101
Minimum		36,40	32,80	3,60	0,01	0,30	0,004
Rata-rata		45,82	35,44	10,38	0,03	0,90	0,028

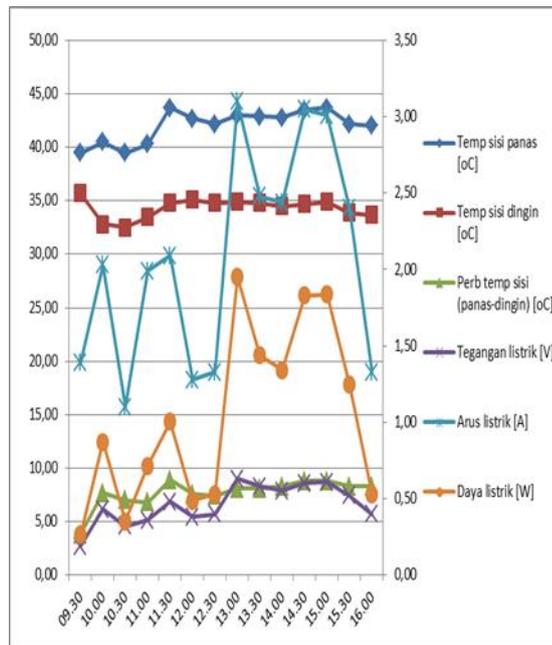
Tabel 4.4 memberikan informasi tentang data masukan dan luaran dari pengukuran generator termoelektrik secara paralel. Tampak bahwa, dengan perbedaan temperatur yang masih tinggi menghasilkan daya luaran paling besar. Perbedaan temperatur 15,4 °C menghasilkan daya sebesar 0,101 watt.

#### 4.3 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian di atas, maka pembahasan hasil penelitian juga diuraikan dengan membaginya lebih dahulu menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Penempatan generator termoelektrik pada atap.

Untuk menjelaskan hubungan antar variabel data pada tabel 4.1 di atas, maka disajikan grafik pada gambar 4.2 di bawah ini.

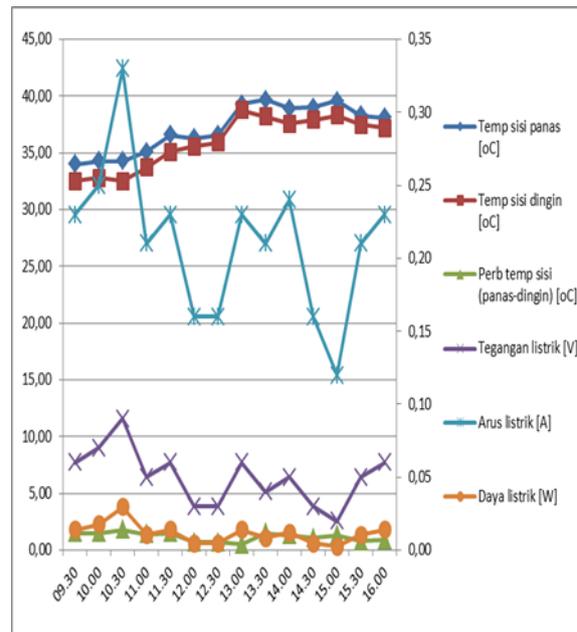


Gambar 4.2 Distribusi hasil pengukuran pada atap

Dari gambar 4.2 diatas dapat dijelaskan bahwa temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perbedaan temperatur kedua sisi memperlihatkan bentuk pola yang sama tergantung penerimaan radiasi termal yang diterima penyerap panas pelat aluminium. Perbedaan temperatur ini menghasilkan luaran sistem berupa besaran listrik, yakni tegangan dan kuat arus. Sistem TEG mengubah termal menjadi listrik karena perbedaan temperatur (Vedanayakam & Suvarna, 2018). Gambar juga menunjukkan grafik tegangan dan arus yang saling berkorelasi linier (Wang et al., 2013), sehingga dapat dijelaskan perbedaan temperatur juga berkorelasi linier dengan daya luaran (Vedanayakam & Suvarna, 2018).

## 2. Penempatan generator termoelektrik pada dinding.

Sebagai tindak lanjut penjelasan data-data pada tabel 4.2 di atas, maka mengolahnya menjadi grafik memberikan informasi yang lebih banyak. Grafik yang dimaksud adalah gambar 4.3 di bawah ini.

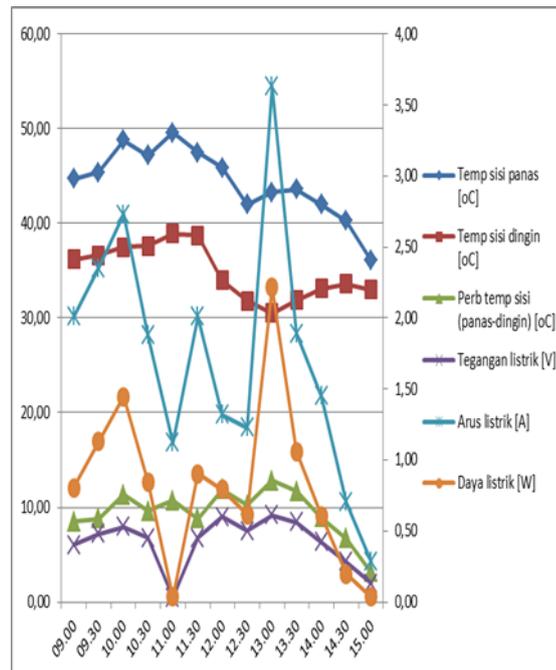


Gambar 4.3 Distribusi hasil pengukuran pada dinding

Gambar 4.3 menampilkan grafik temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perubahan temperatur berkorelasi linier. Demikian pula halnya antara tegangan listrik dan arus listrik (Vedanayakam & Suvarna, 2018) serta berujung pada kelinieran dengan daya listrik. Oleh karena itu perubahan temperatur yang menyebabkan perubahan daya listrik (Wang et al., 2013).

3. Generator dengan rangkaian susunan modul termoelektrik bersambung seri.

Untuk memperoleh korelasi temperatur dan daya luaran sistem generator termoelektrik pada susunan seri ini disajikan dalam gambar 4.4 di bawah ini, dalam bentuk grafik.

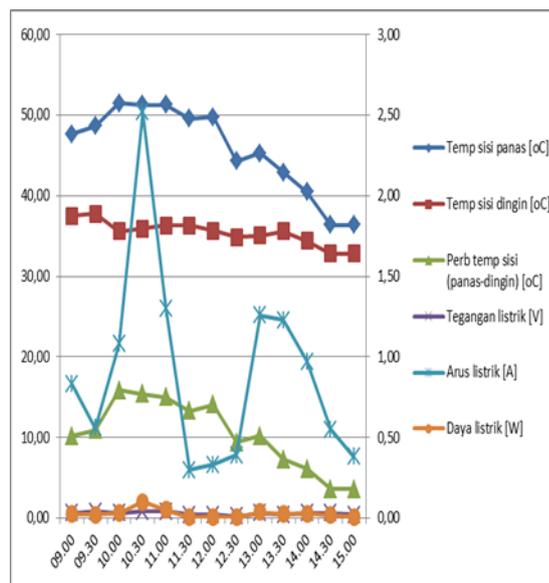


Gambar 4.4 Distribusi hasil pengukuran pada susunan seri

Pada gambar 4.4 di atas bahwa perubahan temperatur sisi panas diikuti dengan temperatur sisi dingin, sehingga perbedaan temperatur kedua sisi mengikuti pola yang sama. Dengan demikian tampak perbedaan temperatur berkorelasi dengan tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan menjadi daya listrik. Termoelektrik dapat mengubah panas menjadi energi listrik karena perbedaan temperatur (Vedanayakam & Suvarna, 2018). Tegangan listrik dan arus listrik berkorelasi linear (Wang et al., 2013). Perbedaan temperatur berkorelasi linier dengan daya listrik yang dihasilkan, sehingga dengan meningkatnya perbedaan temperatur akan meningkatkan daya luaran tersebut (Vedanayakam & Suvarna, 2018). Pada susunan seri tampak arus listrik lebih mempengaruhi daya listrik dibandingkan tegangan listrik, jika dilihat dari pola grafik di atas.

4. Generator dengan rangkaian susunan modul termoelektrik bersambung paralel.

Untuk lebih menjelaskan korelasi dengan beberapa variabel masukan dan luaran pada sambungan paralel generator termoelektrik ini ditampilkan gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Distribusi hasil pengukuran pada susunan paralel

Gambar 4.5 di atas memberikan deskripsi dengan hubungan antara besaran masukan terhadap besaran luaran pada sistem generator termoelektrik yang disusun paralel. Dari gambar tampak bahwa perubahan pola antara temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan perbedaan temperatur kedua sisi masih dalam kecenderungan yang sejajar. Melalui perbedaan temperatur termoelektrik dapat mengubah panas menjadi listrik (Vedanayakam & Suvarna, 2018). Dari susunan paralel ini daya listrik yang dihasilkan memiliki pola yang lebih sesuai dengan tegangan listrik dibanding arus listrik.

Dari kedua penempatan posisi sistem generator termoelektrik di atap dan di dinding, maka daya luaran yang diperoleh lebih besar dari daya luaran

sistem generator termoelektrik yang ditempatkan di dinding. Hal ini disebabkan pada atap lebih banyak mendapat penyinaran dibanding dengan pada dinding. Temperatur pada atap mencapai 43,7 °C, sedangkan temperatur pada dinding 39,7 °C. Demikian pula halnya, pada generator dengan rangkaian termoelektrik seri menghasilkan daya lebih besar daripada generator dengan rangkaian termoelektrik paralel. Hal ini disebabkan arus mendominasi pengaruh daya luaran. Pada tabel 4.3 arus maksimum mencapai 3,63 A, sedangkan pada tabel 4.4 arus maksimum hanya mencapai 2,52 A.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penempatan sistem generator termoelektrik di atap dan di dinding besaran temperatur berkorelasi linier dengan besaran listrik. Selain itu, daya luaran yang dihasilkan sistem generator termoelektrik yang ditempatkan di atas mencapai 1,953 watt, sedangkan sistem generator termoelektrik yang ditempatkan pada dinding menghasilkan daya luaran 0,030 watt.

Hasil penelitian memberikan simpulan bahwa daya yang dihasilkan dari susunan seri lebih besar dibandingkan dengan susunan paralel. Daya hasil susunan seri sebesar 2,214 watt, sedangkan hasil susunan paralel menghasilkan daya sebesar 0,101 watt. Hubungan perbedaan temperatur terhadap generator termoelektrik dengan listrik, arus listrik, serta daya listrik adalah linier untuk kedua sistem susunan sambungan.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dalam penelitian generator termoelektrik adalah diperlukan empat sistem generator termoelektrik untuk dirangkai seri atau paralel, sehingga tidak terjadi bongkar pasang yang mengakibatkan risiko penyambungan tidak sempurna. Penelitian dapat dilanjutkan dengan membandingkan antara TEC-1 12706 dengan TEG SP 1848.

## BAB 6 LUARAN YANG DICAPAI

Luaran yang dicapai berisi Identitas luaran penelitian yang dicapai oleh peneliti sesuai dengan skema penelitian yang dipilih.

Jurnal

### IDENTITAS JURNAL

1	Nama Jurnal	TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro
2	Website Jurnal	<a href="https://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo/user">https://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo/user</a>
3	Status Makalah	Submitted
4	Jenis Jurnal	Jurnal Nasional terakreditasi
4	Tanggal Submit	4 Januari 2020
5	Bukti Screenshot submit	

Pemakalah di seminar

### IDENTITAS SEMINAR

1	Nama Jurnal	Prosiding Seminar Nasional Fakultas Sains dan Teknologi
2	Website Jurnal	<a href="http://senasains.umsida.ac.id">http://senasains.umsida.ac.id</a>
3	Status Makalah	Submitted
4	Jenis Prosiding	Prosiding Nasional
4	Tanggal Submit	4 Januari 2020
5	Bukti Screenshot submit	

## BAB VII RENCANA TINDAK LANJUT DAN PROYEKSI HILIRISASI

<p>Hasil Penelitian</p>	<p>Penelitian pemanfaatan energi termal surya dengan konverter berupa generator termoelektrik yang ditempatkan di atap dan dinding pada rangka model bangunan mengembangkan keilmuan konversi energi dan teknologi material terutama bidang kajian energi terbarukan. Aplikasi generator termoelektrik pada bangunan tidak hanya menjadikan sebagai bagian dari konstruksi bangunan, melainkan juga sebagai produsen energi bagi kebutuhan bangunan.</p> <p>Penelitian ini membuka inovasi dalam pengembangan penelitian selanjutnya dalam memanfaatkan energi termal surya dan mengkonversikannya menjadi energi listrik. Dalam model sederhana dan berskala kecil hasil penelitian dapat diterapkan dalam pengabdian masyarakat yang sukar mendapatkan listrik karena jaringan listrik belum tersedia.</p>
<p>Rencana Tindak Lanjut</p>	<p>Energi surya adalah energi yang berlimpah sehingga penelitian tentang energi surya terbuka luas. Salah satu bentuk energi surya yang dapat dimanfaatkan adalah energi termalnya. Energi termal surya dapat dikonversi langsung dengan media modul termoelektrik dan hal ini masih memberi kesempatan dalam pengembangannya untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin. Pengembangan teknologi generator termoelektrik dapat ditinjau dari material termoelektrik dan sistem konversi energinya. Oleh karena itu penelitian tentang material termoelektrik harus dilakukan secara paralel dengan penelitian konversi energinya. Disamping itu, juga penelitian penyerap panas dan sistem pendinginnya tidak dapat diabaikan. Sementara berkaitan dengan penelitian energi surya, maka hibridisasi penelitian sel surya dan termoelektrik tidak dapat ditunda.</p>

## DAFTAR PUSTAKA

- Chu, Y. (2011). *Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies*, *Global Energy Network Institute (GENI)*, 2011. (August).  
<https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
- Contreras, M. A., & Deb, S. (2012). Solar energy overview. In D. S. Ginley & D. Cahen (Eds.), *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability* (pp. 206–215). Cambridge: Cambridge University Press.
- da Rosa, A. V. (2005). *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Retrieved from <http://elsevier.com>
- Dincer, I., & Midilli, A. (2007). Green Energy. In B. L. Capehart (Ed.), *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology* (pp. 771–786). Boca Raton: CRC Press.
- Gaos, Yogi Sirodz, R. (2019). *Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics ( PV ) dan Thermoelectric ( TEC )*. 10(1), 34–40.
- He, W., Zhou, J., Chen, C., & Ji, J. (2014). Experimental study and performance analysis of a thermoelectric cooling and heating system driven by a photovoltaic/thermal system in summer and winter operation modes. *Energy Conversion and Management*, 84, 41–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.04.019>
- Jarman, J. T., Khalil, E. E., & Khalaf, E. (2013). Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources. *Open Journal of Energy Efficiency*, 02(04), 143–153. <https://doi.org/10.4236/ojee.2013.24019>
- Jayakumar, P. (2009). Solar Energy Resource Assessment Handbook. *Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology Of the United Nations – Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)*, (September), 1–117.
- Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 30).  
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>
- Lee, H. S. (2013). The Thomson effect and the ideal equation on thermoelectric coolers. *Energy*, 56, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.049>
- Lewis, N. S. (Ed.). (2005). *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*. California: U.S. Department of Energy.
- Liu, C., Chen, P., & Li, K. (2014). A 500 W low-temperature thermoelectric generator: Design and experimental study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(28), 15497–15505.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.07.163>

- Montecucco, A., Siviter, J., & Knox, A. R. (2014). The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel. *Applied Energy*, *123*, 47–54.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.030>
- Polozine, A., Sirotinskaya, S., & Schaeffer, L. (2014). History of development of thermoelectric materials for electric power generation and criteria of their quality. *Materials Research*, *17*(5), 1260–1267.  
<https://doi.org/10.1590/1516-1439.272214>
- Rifky. (2020). *Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics System (PV) dan Thermoelectric Cooler (TEC)*. Universitas Pancasila.
- Rosen, M. A. (2007). Natural Energy versus Additional Energy. In B. L. Capehart (Ed.), *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology* (pp. 1088–1110). Boca Raton: CRC Press.
- Şen, Z. (2004). Solar energy in progress and future research trends. *Progress in Energy and Combustion Science*, *30*(4), 367–416.  
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.004>
- Terry M. Tritt, Xinfeng Tang, Qingjie Zhang, and W. X. (2012). Solar thermoelectrics: direct solar thermal energy conversion. In *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability* (Vol. 5). New York: Materials Research Society.
- Vanek, F. M., & Albright, L. D. (2008). *Energy Systems Engineering Evaluation & Implementation*. <https://doi.org/10.1036/0071495932>
- Vedanayakam, V., & Suvarna, P. (2018). *Study Of Thermoelectric Generator In Different Combinations Of Series And Parallel Configurations – Calculation Of Power And Efficiency*. *8*(7), 30–34. <https://doi.org/10.9790/9622-0807033034>
- Wang, Y. T., Liu, W., Fan, A. W., & Li, P. (2013). Performance comparison between series-connected and parallel-connected thermoelectric generator systems. *Applied Mechanics and Materials*, *327*(June), 327–331.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.325-326.327>

## LAMPIRAN

## 1. LAMPIRAN A: ARTIKEL JURNAL TURBO

TURBO Vol. 9 No. 1. 2020 p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X  
 Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro URL: <http://ejournal.ummetro.ac.id/index.php/turbo>

### Konversi Energi Termal Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik

Rifky<sup>1\*</sup>, Agus Fikri<sup>2</sup>, Mohammad Mujirudin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA  
 Jl. Tanah Merdeka no.6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur, DKI Jakarta, Indonesia  
 \*Corresponding author: [rifky@uhamka.ac.id](mailto:rifky@uhamka.ac.id)

#### Abstract

*Solar energy is a type of renewable energy that is still being studied in its development. One of the uses of solar energy is converting its thermal energy into electrical energy. The converter used is a thermoelectric generator. The sun's heat is received by the thermoelectric hot side through the heat sink, while the cold side is attached by an active cooling system with water fluid. This study aims to obtain the maximum possible output power from a thermoelectric generator system that converts solar thermal energy into electrical energy in the building model. The research method used is experimental, which is preceded by the design and manufacture of research tools. The research tool is in the form of a generator system that is placed on the roof of the building model. The generator system consists of an aluminum heat sink, a thermoelectric consisting of 15 sets, and a cooling system that uses circulating water fluid. Testing the system by operating it while observing and collecting data. The variable in this research is the connection arrangement of the thermoelectric generator (series and parallel). While the input data are humidity, wind speed, temperature (environment, heat sink, thermoelectric hot side, thermoelectric cold side, cooling system, cooling water), and flow flow; while the output data is electric voltage and electric current. The results showed that with a temperature difference of 12.8 ° C the maximum power was 2,214 watts from the series arrangement of the thermoelectric junction. Meanwhile, with a temperature difference of 15.4 ° C, the maximum power is 0.101 watts from the parallel arrangement of the thermoelectric connection.*

**Keywords:** energy, solar, thermoelectric, roof, power

#### Abstrak

Energi surya adalah jenis energi terbarukan yang masih menjadi kajian dalam pengembangannya. Salah satu pemanfaatan energi surya adalah mengkonversi energi termalnya menjadi energi listrik. Konverter yang digunakan adalah generator termoelektrik. Panas matahari diterima sisi panas termoelektrik melalui penyerap panas, sedangkan sisi dinginnya diletakkan sistem pendingin aktif dengan fluida air. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan daya luaran semaksimal mungkin dari sistem generator termoelektrik yang mengkonversi energi termal surya menjadi energi listrik pada model bangunan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, yang didahului dengan perancangan dan pembuatan alat penelitian. Alat penelitian berbentuk sistem generator yang diletakkan di atap model bangunan. Sistem generator terdiri dari penyerap panas aluminium, termoelektrik yang terdiri dari 15 set, dan sistem pendingin yang menggunakan fluida air bersirkulasi. Pengujian terhadap sistem dengan cara mengoperasikannya sambil melakukan pengamatan dan pengambilan data. Variabel dalam penelitian ini adalah susunan sambungan generator termoelektrik (seri dan paralel). Sementara data masukan adalah kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur (lingkungan, penyerap panas, sisi panas termoelektrik, sisi

## 2. LAMPIRAN B: ARTIKEL PROSIDING SENA SAINS

Prosiding  
Seminar Nasional Sains dan Teknologi

Procedia of Engineering and Life Science  
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo



### Atap dan Dinding Bangunan sebagai Media Konverter Energi Termal Matahari menjadi Energi Listrik

Rifky<sup>1)</sup>, Agus Fikri<sup>2)</sup>, & Mohammad Mujirudin<sup>3)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Mesin

<sup>3)</sup>Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Jl. Tanah Merdeka no. 6 Rambutan Cincin Jakarta Timur DKI Jakarta 13830

Telp. +62-21-8400941 Fax. +62-21-87782739

Website: www.uhamka.ac.id, E-mail: info@uhamka.ac.id

1)rifky@uhamka.ac.id

**Abstract.** One of the uses of solar energy in buildings is to convert parts of the building into a converter of solar thermal energy into electrical energy. The roof and walls are the parts of the building that receive the most sunlight. Therefore, the roof and walls of the building can supply electricity with the thermoelectric generator. The aim of this research is to get the maximum possible output power from the thermoelectric generator system. From the output power produced, it will be possible to find the feasibility of a thermoelectric generator to be used as an energy source for the roof and walls of the building model. The building model is designed simply where the roof and walls can be located a thermoelectric generator system, which consists of a heat sink, a thermoelectric circuit and a cooling system. The heat sink used is aluminum. The thermoelectric circuit consists of 13 sets which are assembled in a series connection arrangement. The cooling system used is active cooling, where water as the cooling fluid circulates continuously during the operation of the system. The thermoelectric hot side temperature is obtained from solar thermal radiation through a heat sink. Meanwhile, the temperature on the cold side of the thermoelectric is the result of the effect of the cooling system that is attached. The temperature difference between the hot and cold sides of the thermoelectric produces a system output in the form of electric voltage and electric current. This study found that the generator system on the roof with a temperature difference of 8.90 °C on the hot-cold side produces a power of 1.953 watts. While the generator system on the wall with a temperature difference between the hot-cold side of 1.80 °C produces a power of 0.030 watts.

**Keywords:** energy, solar, thermoelectric, roof, wall.

#### 1 PENDAHULUAN

Energi surya adalah energi bersih (Sen, 2004) dan aman untuk dimanfaatkan. Pemanfaatan sederhana untuk menanam tanaman dan mengeringkan pakaian (Kalogirou, 2004). Besarnya energi surya yang diterima bumi, diperkirakan dalam 10 hari setara dengan kalor yang dilepaskan oleh seluruh pembakaran semua cadangan bahan bakar fosil (Sen, 2004). Intensitas radiasi rata-rata per hari sebesar 4 kWh/m<sup>2</sup>