

## APLIKASI *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG) PADA KOMPOR GAS MENGGUNAKAN DC/DC BOOST KONVERTER DAN KONTROL MPPT *INCREMENTAL CONDUCTANCE* (INC)

<sup>1</sup>Doni Krsimantoro, <sup>2</sup> Aryunto Soetedjo, <sup>3</sup> F. Yudi Limpraptono

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang, Indonesia

<sup>1</sup> donikris517@gmail.com, <sup>2</sup> aryunto@lecturer.itn.ac.id, <sup>3</sup> fyudil@lecturer.itn.ac.id

**Abstrak**— Potensi energi baru dan terbarukan yang dapat dimanfaatkan masyarakat Indonesia, mulai dari energi surya, biomassa, energi angin, air, panas bumi dan energi lainnya (ESDM, 2016). Energi tersebut tentunya sangat berpotensi apabila dimanfaatkan. Disamping itu, terdapat juga energi buangan atau limbah berupa energi panas yang dihasilkan mesin, dan kegiatan sehari-hari yang menghasilkan limbah panas hingga saat ini belum dimanfaatkan. Dengan memanfaatkan energi buangan (*waste energy*) berupa panas akan dirubah menjadi listrik melalui perbedaan suhu oleh elemen termoelektrik. Generator ini juga merupakan energi baru terbarukan yang akan menghasilkan energi ramah lingkungan serta dapat menambah energi yang sudah ada saat ini.

Untuk mendukung hal tersebut akan dilakukan penelitian terkait efisiensi daya untuk generator termoelektrik dengan metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) *Incremental Conductance* (INC) agar generator termoelektrik dapat bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga transfer daya ke beban dapat dimaksimalkan. Dengan menggunakan *Arduino Uno* sebagai mikrokontroler (implementasi algoritma MPPT), *DC/DC Boost Converter* sebagai konverter pada beban, *Sensor INA219* untuk mendeteksi tegangan dan arus, kemudian data out akan ditampilkan pada LCD. Pada penelitian menggunakan *TEC-12706* yang dirangkai secara seri dan paralel sehingga mampu menghasilkan tegangan 10,11V pada  $\Delta T$  35,5°C tanpa beban. Perbandingan ketika dengan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT sangat signifikan karena mosfet tidak bekerja untuk switch dan juga *losses power* pada konverter.

**Kata Kunci:** *Thermoelectric Generator, MPPT, Arduino Uno, DC/DC Boost Converter, Sensor INA219, LCD, Thermocouple MAX6675.*

### I. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi bagian paling utama yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia saat ini. Perkembangan zaman menjadikan permintaan akan energi listrik di seluruh dunia semakin meningkat. Di lain sisi, perkembangan teknologi yang terjadi mulai memunculkan beban listrik baru yang memiliki karakteristik elektris yang baru pula. Kedua hal ini ternyata mempengaruhi sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyuplai energi listrik ke konsumen. Salah satu pengaruhnya adalah pada permasalahan kualitas daya listrik yang dihantarkan. Penyedia jasa listrik, dalam hal ini PLN harus bisa menyesuaikan sistem tenaga listrik yang digunakan dengan tetap memperhatikan kualitas daya listrik yang dihantarkan ke konsumen. (Aris Pramnamto, 2008)

Dewasa ini Indonesia menghadapi salah satu kendala yaitu ketidakseimbangan antara kebutuhan konsumsi listrik pelanggan dibandingkan dengan kemampuan PLN dalam menyediakan energi listrik. Begitu juga tentang isu makin menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Seperti diketahui bahwa bahan bakar untuk memproduksi sumber energi listrik berasal dari sumber energi fosil seperti batu bara dan bahan bakar lain. Sumber energi fosil sendiri sewaktu-waktu bisa habis jika dilakukan pemakaian secara terus menerus. Untuk mengatasi hal tersebut maka PLN melakukan penghematan energi listrik kepada konsumen dengan mencari sumber energi alternatif untuk meningkatkan efisiensi sumber energi yang ada. (Ryuanuargo dkk., 2013).

Banyak sekali potensi energi baru dan terbarukan yang dapat dimanfaatkan masyarakat Indonesia, mulai dari energi surya, biomassa, energi angin, air, panas bumi dan energi lainnya (ESDM, 2016). Energi tersebut tentunya sangat berpotensi apabila dimanfaatkan. Disamping itu, terdapat juga energi buangan atau limbah berupa energi panas yang

dihasilkan mesin, dan kegiatan sehari-hari yang menghasilkan limbah panas hingga saat ini belum dimanfaatkan. Beberapa contoh kegiatan manusia yang dapat menghasilkan energi panas yaitu, pada bidang industri, transportasi, pertambangan, maupun bidang lainnya. Data menunjukkan bahwa kegiatan manusia tersebut menghasilkan limbah panas hingga 66% (Dey, Prakash, Sikder, & Chattopadhyay, 2016). Sehingga dapat berpotensi untuk dimanfaatkan kembali untuk dijadikan sumber listrik. Salah satu pemanfaatannya yaitu dengan menggunakan generator termoelektrik (TEG). Energi buangan (*waste energy*) berupa panas akan dirubah menjadi listrik melalui perbedaan suhu oleh elemen termoelektrik. Generator ini juga merupakan energi baru terbarukan. Dan pada dasarnya pembangkit listrik termoelektrik merupakan alat paling baik untuk mengkonversi aliran panas langsung menjadi tenaga listrik melalui efek *seebeck* (Richard J, 2011). Selain itu energi yang akan dimanfaatkan bukanlah energi yang fluktuatif, tidak seperti panas matahari ataupun angin. Semakin besar perbedaan suhu yang terdapat pada kedua sisi generator maka daya yang akan dihasilkan akan lebih besar pula (Hun Sik Hana & Yun Ho Kim, 2010)

Namun masih ada satu kendala utama yang ada pada generator termoelektrik (TEG) adalah daya keluaran yang berubah-ubah karena suhu yang dihasilkan juga berubah-ubah. Untuk mengatasi kendala tersebut, maka diperlukan maximum power point tracker (MPPT) agar generator termoelektrik dapat bekerja pada titik daya maksimumnya atau maximum power point (MPP), sehingga transfer daya ke beban dapat dimaksimalkan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alexandros Paraskevas, dan Eftichios Koutroulis menggunakan DC/DC tipe boost converter dengan kontrol MPPT PI membuktikan bahwa penambahan algoritma MPPT dapat meningkatkan daya yang dihasilkan TEG (Alexandros Paraskevas & Eftichios Koutroulis, 2015). Dalam penelitian ini akan menggunakan Generator Termoelektrik yang dihubungkan dengan DC/DC tipe *boost converter* dengan menggunakan MPPT metode *incremental conductance* (InC) yang akan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler arduino.

Berdasarkan paparan latar belakang diatas, maka dapat disimpulkan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat dan merancang desain mekanik TEG pada kompor gas.
2. Bagaimana perbandingan daya keluaran generator termoelektrik ketika menggunakan boost konverter yang diberi kontrol MPPT dan tanpa menggunakan MPPT.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah dapat merancang desain TEG pada kompor gas. Sehingga diketahui seberapa efisien daya keluaran dari TEG, dapat memonitor pengaruh penggunaan MPPT terhadap daya yang dihasilkan oleh TEG. Selain itu dapat menjadi alternatif untuk memanfaatkan limbah panas yang terbuang dari kompor gas. Diharapkan dengan memaksimalkan daya keluaran dari metode MPPT dapat memberikan efisiensi dari TEG.

## II. KAJIAN PUSTAKA

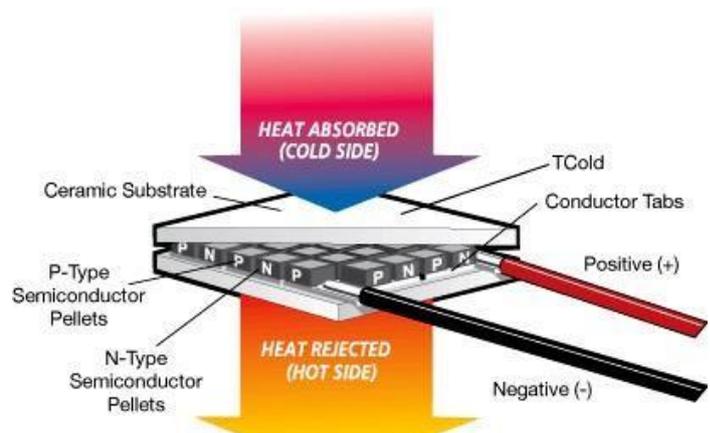
### A. Thermoelectric Generator (TEG)

Pada tahun 1823 Seebeck melaporkan hasil eksperimannya yang mana sebuah kompas jarum bergeser jika ditempatkan disekitar sebuah sirkuit tertutup yang dibentuk dari dua buah konduktor, ketika sebuah *junction* diberi sebuah temperatur panas (Rowe, 1995). Pada tahun 1921 dikembangkan kembali dengan efisiensi termoelektrik kira kira mencapai 3%. Efisiensi tersebut berdasarkan nilai dari koefisien seebeck pada bahan yang digunakan pada termoelektrik.

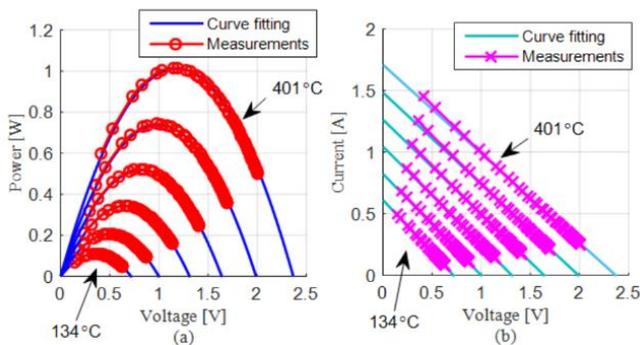
TEG tersebut bisa menghasilkan listrik secara langsung tanpa merubah sistem yang ada, hanya dengan adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi elemen, maka akan timbul beda potensial dan aliran arus pada sirkuit tertutupnya. Pada prinsip kerjanya, TEG tidak perlu ada bagian yang bergerak atau bersifat statis untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu kelemahan terbesar yaitu masih rendahnya efisiensi yang hanya kurang dari 10% (Rasit Ahiska, 2014). Namun rendahnya efisiensi ini tidak boleh diremehkan, mengingat energi yang dihasilkan berasal dari energi sisa yang dibuang kelingkungan.

Walaupun TEG memiliki efisiensi yang masih sedikit (>10%) TEG masih dalam kategori piranti penghasil energi terbarukan (*renewable energy*) yang dibuat dari sebuah semikonduktor yang secara langsung dapat mengkonversikan perbedaan temperatur di antara kedua permukaan TEG (TEG) kedalam energi listrik (Mamur & Ahiska, 2015).

Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan Efek *Seebeck* yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Gambar 2.1 menunjukkan prinsip kerja dari termoelektrik. (Goldsmid, 2010)



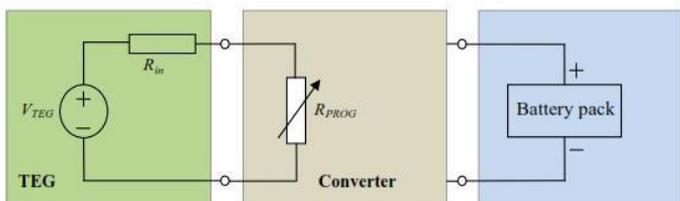
Gambar 1. Prinsip Kerja Termoelektrik



Gambar 2. P-V (a) and I-V (b) Karakteristik dari modul TEG pada  $\Delta T = \{134, 184, 236, 289, 343, 401\}$  (E.A.Man, D.Sera, L.Mathe, 2015)

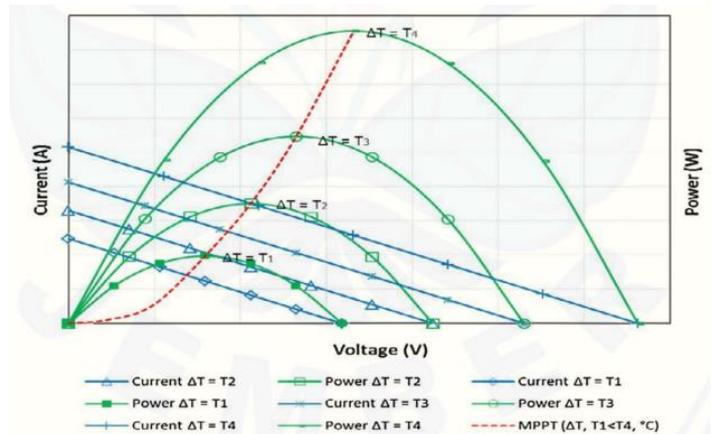
### B. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Maximum power point tracker (MPPT) digunakan untuk mencari titik daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh TEG dalam sistem yang telah dibuat (freeman, 2010). MPPT banyak diterapkan pada energi terbarukan seperti energi angin, energi surya, maupun energi lain yang memiliki potensi diterapkan MPPT. Dengan diterapkan MPPT sumber energi akan lebih dimaksimalkan daya yang dihasilkannya, sehingga lebih maksimal. MPPT bekerja secara otomatis dengan mengontrol konverter atau DC/DC melalui parameter-parameter masukan yang diterimanya sebagai input untuk menentukan besar respon yang dibutuhkan untuk mencapai daya maksimum.



Gambar 3. Prinsip kerja Algoritma MPPT

Termoelektrik akan terhubung langsung dengan DC-DC converter, dimana sinyal input dari elemen termoelektrik yang berupa tegangan dan arus masuk ke dalam PWM (Pulse Width Modulation) kontroler, yang nantinya diaplikasikan algoritma dalam perhitungan daya yang sinyalnya juga diambil dari output objek seperti panel surya maupun generator termoelektrik. Setelah semua informasi variable yang dibutuhkan dalam algoritma kontroler sudah diterima, maka kontroler akan menghasilkan sinyal outputnya berupa PWM yang dikirimkan ke DC/DC converter.



Gambar 4. Grafik hubungan antara tegangan-arus, tegangan-daya dan kurva karakteristik MPP pada beberapa perbedaan temperature (Eki Rovianto, 2017)

Pada gambar 4 ditunjukkan sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara daya, tegangan dan arus dan juga karakteristik dari maximum power point tracking saat pada beberapa perbedaan suhu yang terjadi pada termoelektrik. Pada dasarnya pada algoritma MPPT akan mengubah nilai dari duty cycle dalam kontrolnya. Duty cycle yang dimaksud dalam hal ini adalah PWM, jadi ketika ada pembacaan input tegangan dan arus yang berasal dari objek, selanjutnya akan diproses oleh MPPT dan didapatkan daya yang diinginkan.

### C. Incremental Conductance

Dalam metode Incremental Conductance (Konduktansi Tambahan), tegangan dari TEG selalu disesuaikan dengan tegangan MPP (Maximum Power Point). Hal ini didasarkan pada konduktansi tambahan dan sesaat dari modul TEG. Pada tahun 1993, algoritma ini dibuat dimaksudkan untuk mengatasi beberapa kekurangan dari metode Perturbation & Observation. Kriteria dari metode konduktansi tambahan pada TEG yaitu kemiringan dari array TEG dari kurva daya adalah nol pada MPP, positif di sebelah kiri MPP dan negatif di sebelah kanan MPP. Dapat diberikan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dV} &= \frac{d(V \times I)}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} \\ &= I + V \frac{dI}{dV} \end{aligned}$$

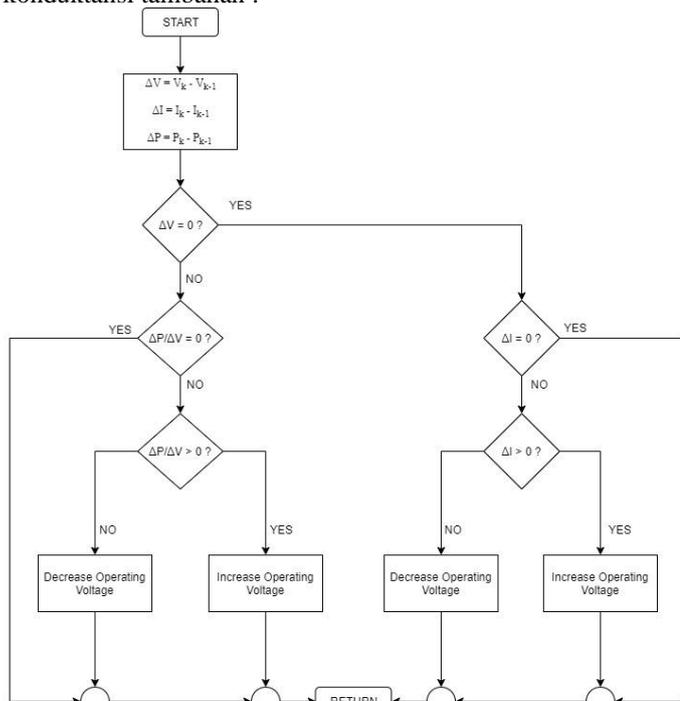
MPP tercapai ketika  $dP / dV = 0$ , dan :

$$\begin{aligned} \frac{dI}{dV} &= -\frac{I}{V} \\ \frac{dP}{dV} &> 0 \text{ maka } V_p < Mpp \\ \frac{dP}{dV} &= 0 \text{ maka } V_p = Mpp \end{aligned}$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \text{ maka } V_p > Mpp$$

Jadi, jika MPP terletak di sisi kanan,  $dI / dV < -I/V$  dan kemudian tegangan TEG harus dikurangi untuk mencapai MPP. Metode ini dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi TEG, mengurangi kehilangan daya

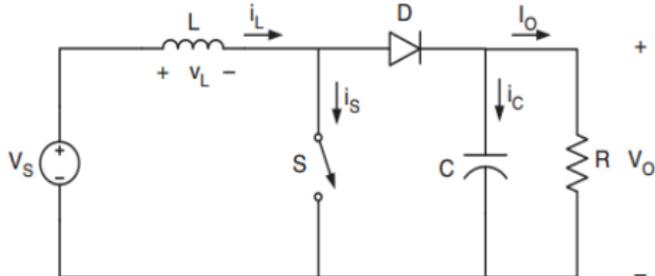
dan biaya sistem dari TEG. Berikut flowchart dari metode konduktansi tambahan :



Gambar 5. Flowchart Incremental Conductance.

D. Boost Converter

Jenis konverter ini merupakan konverter arus searah yang digunakan untuk menghasilkan tegangan keluaran lebih tinggi dari pada tegangan masukannya. Komponen utamanya yaitu terdiri dari MOSFET, dioda, induktor, kapasitor.



Gambar 6. Boost Converter

Pada skema gambar 6, saat switch pada kondisi tertutup (selama waktu ton), arus mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi tersimpan didalamnya. Saat switch MOSFET terbuka (selama waktu toff), arus induktor mengalir ke beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan dalam induktor berkurang. Selama waktu toff, beban di catu tegangan sumber serta tegangan induktor sedang melepaskan energi. Kondisi ini menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukan

E. Mikrokontroler Arduino

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang terdapat IC ATmega328. Arduino ini dapat dimanfaatkan untuk membuat rangkaian elektronik dari yang sederhana

hingga rangkaian kompleks. Pengendalian LED hingga pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan menggunakan papan berukuran relatif kecil ini. Bahkan dengan penambahan komponen tertentu, piranti ini bisa dipakai untuk pemantauan kondisi pasien di rumah sakit dan pengendalian alat – alat di rumah. (Sumber : B. Gustomo, 2015)



Gambar 7. Arduino Uno.

F. Sensor Suhu Termokopel MAX6675

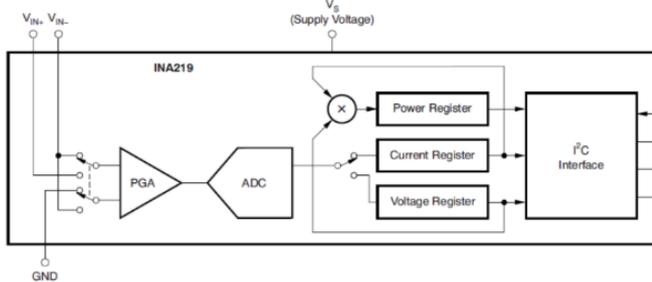
Sensor MAX6675 memiliki respon yang cepat serta tahan terhadap guncangan. Rentang temperature yang tinggi antara 200°C hingga 1250°C. Sensor MAX6675 terbuat dari kompensasi cold-junction yang outputnya merupakan dalam bentuk sinyal digital yang memiliki resolusi 12-bit yang mendukung komunikasi mikrokontroler secara umum. Termokopel tipe hot junction dapat mengukur dari 0 °C sampai +1023,75 °C. Kegunaan sensor pada penelitian ini hanya sebagai pengambilan data suhu pada saat pengujian.



Gambar 8. Sensor suhu termokopel MAX6675.

G. Sensor INA 219

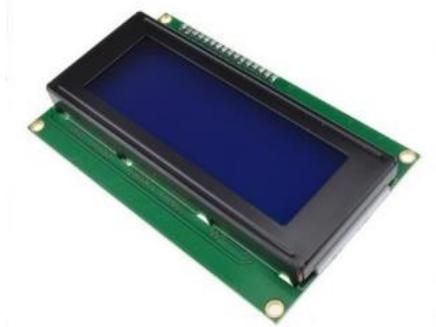
Modul Sensor INA219 dapat mengukur arus dan tegangan DC melalui komunikasi 12C dimana modul ini mampu memonitoring tegangan shunt dan tegangan bus dengan presisi 1%. Modul ini mampu melakukan high-side current sensing sehingga rangkaian yang di ukur tidak akan terganggu karena perubahan ground (low side current sensing terdapat resistor pengukuran di antara load dan ground). Modul ini mampu mengukur arus sampai 3,2A dan tegangan +26VDC.



Gambar 9. Skematik INA219

### H. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS yang berkerja dengan memantulkan cahaya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD merupakan lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada kaca belakang. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.



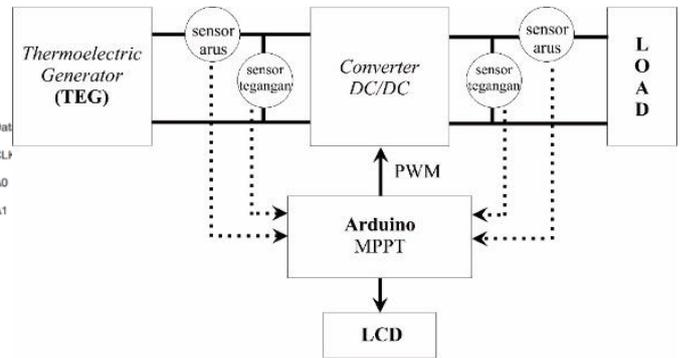
Gambar 10. LCD 20x4

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini membahas mengenai perancangan desain mekanik sistem dan prinsip kerja sistem. Masing-masing bagian tersebut dibuat dengan perancangan desain mekanik dan pemilihan beberapa jenis komponen dengan fungsi sesuai perencanaan, sehingga akan dihasilkan suatu alat dengan fungsi yang sesuai dengan perencanaan.

### A. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem, gambaran mengenai keseluruhan modul MPPT akan dijelaskan pada diagram sistem berikut :



Gambar 11. Diagram Sistem.

### B. Prinsip Kerja Sistem

Pada diagram sistem (Gambar 9) cara kerja sistem akan dijelaskan secara menyeluruh. Pada modul MPPT ini terdapat sensor-sensor yang diantaranya yaitu :Sensor tegangan (input & output) dan sensor arus (input & output) INA219. Pada blok MPPT terdapat *Boost Converter* yang digunakan untuk menaikkan tegangan dengan mengatur nilai PWM sesuai dengan metode MPPT yang digunakan. Sensor-sensor tersebut digunakan sebagai parameter pengukuran dari generator termoelektrik yang akan digunakan sebagai penentuan algoritma MPPT. Data dari sensor-sensor tersebut kemudian ditampilkan pada LCD.

### C. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

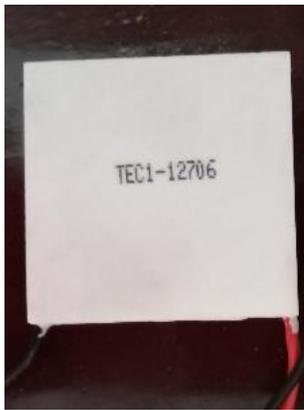
Pada perancangan sistem ini, berdasarkan pada Gambar 9 dapat digunakan perangkat keras (*hardware*) sebagai berikut

- TEG (Thermoelectric Generator)
- Arduino UNO
- LCD 20x4
- Sensor arus dan tegangan (INA219)
- Sensor Suhu (Max6675)

Pada perancangan modul MPPT pada gambar 9 terdapat blok komponen *Thermoelectric Generator* (TEG). Terdapat penjelasan dari komponen tersebut sebagai berikut :

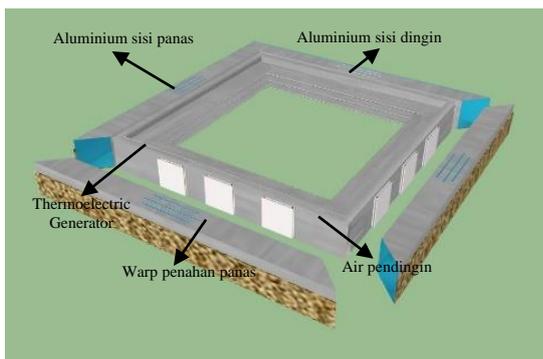
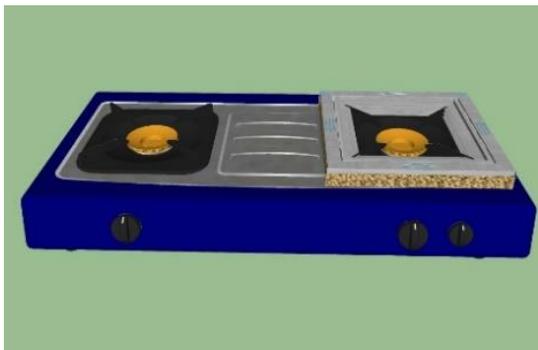
#### • *Thermoelectric Generator* (TEG)

TEG merupakan suatu komponen atau modul yang berfungsi menjadi sumber input dengan memanfaatkan efek *seebeck* yaitu dengan adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi elemen, maka akan timbul beda potensial dan aliran arus pada sirkuit tertutupnya. Pada prinsip kerjanya, TEG tidak perlu ada bagian yang bergerak atau bersifat statis untuk menghasilkan energi listrik. Pada penelitian ini akan digunakan jenis TEC-12706.



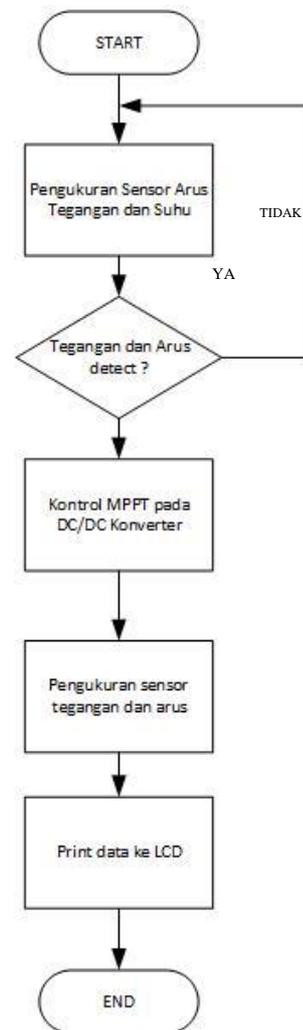
Gambar 12. Bentuk Fisik TEC-12706.

Perancangan desain mekanik TEG dirangkai secara seri dan paralel. Kemudian didesain untuk ditempatkan dan juga dapat digunakan pada kompor gas.



#### D. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Flowchart perancangan perangkat lunak untuk modul MPPT INC dapat dilihat pada gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 13. Flowchart Modul MPPT INC

Bagian ini berisi tentang alur penelitian yang anda gunakan. Jelaskan juga terkait data yang anda gunakan, scenario yang anda tempuh untuk penelitian ini. Jika terkait software maka anda jelaskan tampilan awal software anda disini. Jika anda melakukan perancangan, anda dapat menyampaikan langkah-langkah yang anda tempuh untuk proses perancangan anda.

#### IV. SIMULASI DAN ANALISA

Disini akan membahas tentang pengujian alat yang meliputi pengujian satu keping modul TEG, pengujian output dari boost converter, pengujian output mekanik sistem rangkaian TEG, pengujian MPPT. Hasil dari pengujian akan dijadikan dasar untuk menentukan kesimpulan.

##### A. Pengujian satu keping modul TEG

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui output dan karakteristik dari modul TEG yang akan digunakan dalam rangkaian mekanik sistem. Pengujian dilakukan memberi

temperatur yang berbeda dikedua sisi dan kemudian diberi beban. Berikut pengujian satu keping modul TEG pada gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Pengujian Satu Keping Modul TEG

### B. Pengujian Boost Converter

Pengujian ini merupakan untuk menguji keluaran dari boost converter dengan menggunakan power supply DC 5V sebagai sumber dan tanpa menggunakan beban. Pengujian dilakukan dengan mengubah nilai PWM dan diukur hasilnya menggunakan multimeter.

### C. Pengujian output mekanik sistem rangkaian TEG

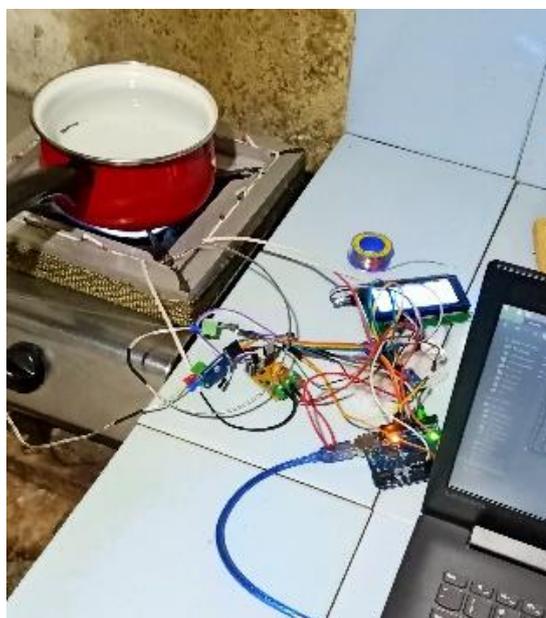
Pada pengujian mekanik sistem rangkaian TEG digunakan untuk mengetahui tegangan keluaran yang dihasilkan dari mekanik sistem. Dengan cara menguji langsung pada kompor gas dan tegangan keluaran diukur tanpa menggunakan beban. Berikut gambar 4.2 pengujian dari mekanik sistem rangkaian TEG.



Gambar 15. Pengujian Mekanik Sistem Rangkaian TEG.

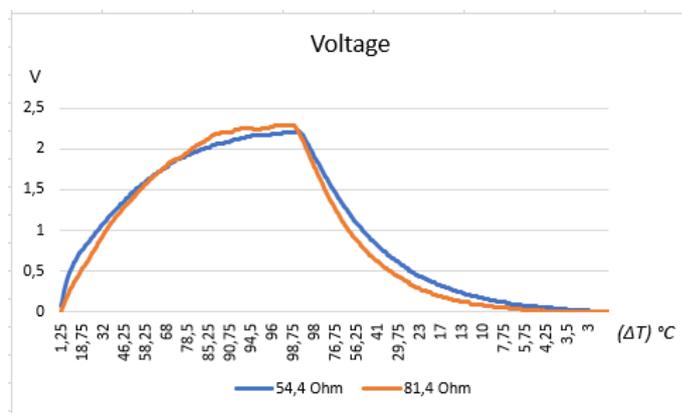
### D. Pengujian MPPT

Pada pengujian MPPT dilakukan untuk mengetahui perbandingan ketika mekanik sistem rangkaian TEG menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT. Pengujian menggunakan MPPT dilakukan dengan cara mengaplikasikan algoritma MPPT pada konverter. Sedangkan pengujian tanpa MPPT dilakukan secara langsung dengan tidak adanya algoritma MPPT. Berikut gambar 16 pengujian MPPT pada mekanik sistem rangkaian TEG.

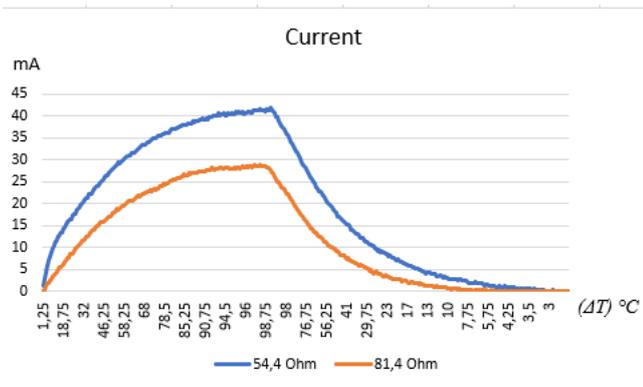


Gambar 16. Pengujian MPPT Mekanik Sistem Rangkaian TEG.

1. Grafik data pengujian satu keping TEG  
Pengambilan data dengan memberi beban resistif 54,4 Ohm dan 81,4 Ohm.



Gambar 17. Grafik Pengujian Tegangan (V) Terhadap Benda Suhu (ΔT)



Gambar 18. Grafik Pengujian Arus (I) Terhadap Beda Suhu ( $\Delta T$ )

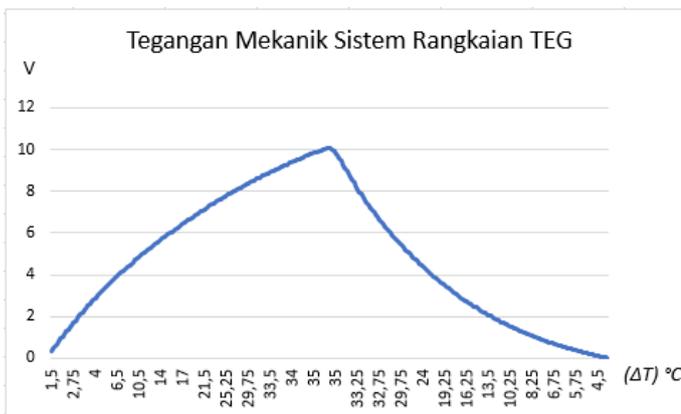
## 2. Pengujian boost converter

Tabel 1. Hasil Pengujian Boost Converter

| PWM | Input (V) | Output (V) |
|-----|-----------|------------|
| 0   | 5         | 3,950      |
| 2   | 5         | 7,80       |
| 5   | 5         | 14,55      |
| 8   | 5         | 20,97      |
| 11  | 5         | 27,50      |
| 14  | 5         | 33,95      |
| 17  | 5         | 40,34      |
| 20  | 5         | 45,89      |
| 23  | 5         | 49,95      |

Dari percobaan pada boost converter, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai PWM, maka semakin besar juga nilai outputnya.

3. Pengujian output mekanik sistem rangkaian TEG: Pengambilan data tegangan dengan diuji langsung pada kompor gas tanpa menggunakan beban.

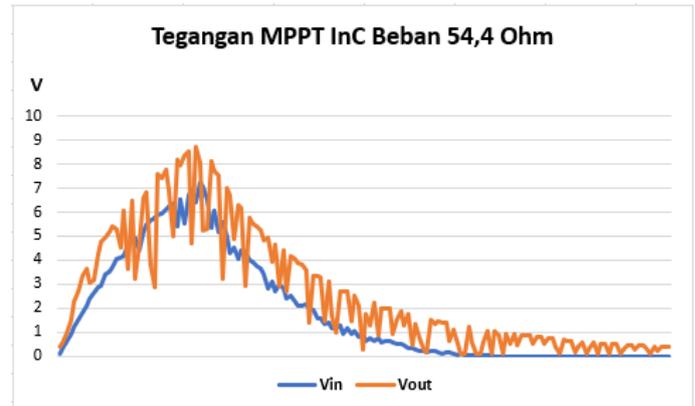


Gambar 19. Grafik pengujian tegangan (V) terhadap beda temperatur ( $\Delta T$ )

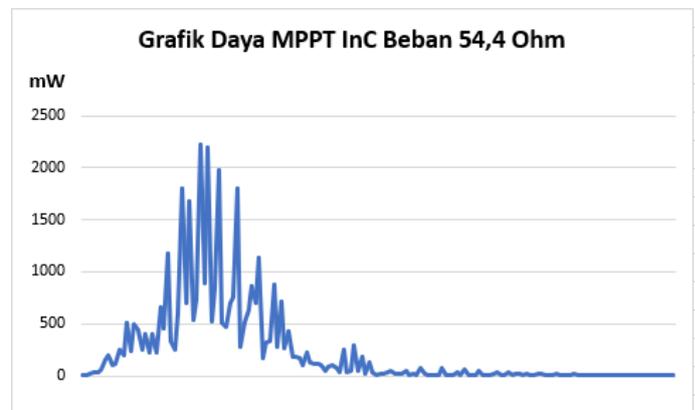
## 4. Pengujian MPPT

Dari hasil pengujian MPPT *Incremental Conductance* pada saat pengujian step PWM mengikuti algoritma InC dan

hasil data yang didapatkan sesuai tabel di atas. Dari tabel tersebut didapatkan grafik pergerakan daya sampai mencapai titik maksimum sesuai metode MPPT yang digunakan. Berikut gambar grafik dari masing-masing pengujian :



Gambar 20. Grafik Tegangan  $V_{in}$  dan  $V_{out}$  pada Beban 54,4 Ohm



Gambar 21. Grafik Pergerakan daya pada Beban 54,4 Ohm



Gambar 22. Grafik Pergerakan daya MPPT Mencapai Titik Maksimum pada Beban 54,4 Ohm

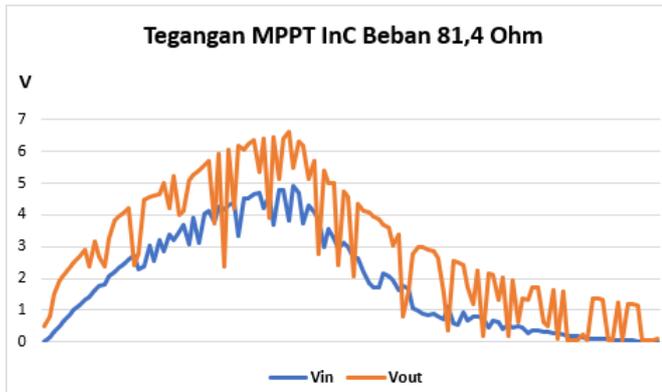
Dari hasil pengujian pada beban Resistor 54,4 Ohm menunjukkan pencapaian titik daya maksimum mencapai 2228,15 mW pada  $\Delta T$  11,5°C

Setelah dilakukan perancangan, pengujian, dan analisa sistem, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang dapat digunakan untuk perbaikan dan pengembangan selanjutnya, yaitu :

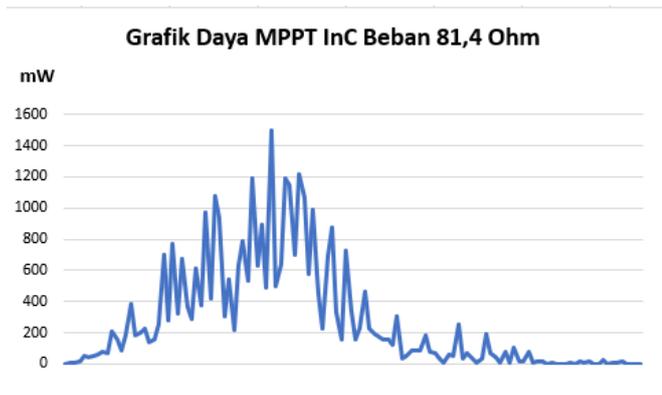
1. Pada pengujian sensor INA219, memiliki nilai rata-rata eror 0,20%. Pengujian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan Avometer.
2. Pada pengujian sensor arus MAX6675, rata-rata nilai error sebesar 3.66%. Hasil pengujian sensor dibandingkan dengan Termometer, menunjukkan hasil yang cukup akurat.
3. Pengujian Boost Converter pada PWM 23 dapat menaikkan tegangan hingga 49,95V dengan sumber input 5V. Pada perancangan boost converter ini nilai tegangan output maksimum tidak dapat melebihi dari 50V. Karena jika melebihi nilai maksimum maka komponen pada konverter akan menjadi rusak.
4. Pada pengujian mekanik sistem TEG dapat disimpulkan bahwa pada pengujian beban didapatkan tegangan maksimum 10,11V. Jika beda suhu sisi dingin dan sisi panas pada TEG semakin tinggi nilainya maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Dengan beda suhu 34,25°C didapatkan tegangan 9,7V dan ketika beda suhu mencapai 35,5°C sistem mencapai tegangan maksimum 10,11V.
5. Dari hasil pengujian MPPT pada beban Resistor 81,4 Ohm menunjukkan pencapaian titik daya maksimum mencapai 1494,58mW pada  $\Delta T$  14,75°C. Pengujian pada beban Resistor 54,4 Ohm menunjukkan pencapaian titik daya maksimum mencapai 2228,15 mW pada  $\Delta T$  11,5°C
6. Pada pengujian MPPT INC, pengaruh dari diubahnya step PWM yang digunakan pada algoritma, mempengaruhi kecepatan suatu pencarian daya maksimal. Jika step PWM yang digunakan tinggi, pencapaian daya maksimal akan semakin cepat. Namun fluktuasi dari perubahan daya maksimal juga akan semakin besar. Jika step PWM yang digunakan rendah, pencarian daya maksimal akan semakin lambat. Namun ketika daya maksimal tercapai, sistem akan berada disekitar titik maksimal dan lebih stabil.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yejee Choi, Monineath Khun, Giselle Verbera. March 23<sup>th</sup>, 2017. *Maximum Power Point Tracking*. Worchester Polytechnic Institute
- [2] B Abdelilah, A Mouna, N KouiderM'Sirdi, A El Hossain. IOP Conf. *Implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controller using Arduino*.Series : Material Science and Engineering 353 (2018) 012024.
- [3] Ahiska, R., & Mamur, H. (2014). A Review: Thermoelectric Generators in Renewable Energy. *International Journal of Renewable Energy Research*, 133.



Gambar 23. Grafik Tegangan Vin dan Vout pada Beban 81,4 Ohm



Gambar 24. Grafik Pergerakan daya pada Beban 81,4 Ohm



Gambar 25. Grafik Pergerakan daya MPPT Mencapai Titik Maksimum pada Beban 81,4 Ohm

Dari hasil pengujian pada beban Resistor 81,4 Ohm menunjukkan pencapaian titik daya maksimum mencapai 1494,58mW pada  $\Delta T$  14,75°C

Bagian ini mengulas tentang simulasi dan Analisa yang anda lakukan. Jelaskan dengan detail langkah-langkah anda yang anda kerjakan, beri tanggapan terkait hasil yang anda peroleh. Jangan lupa berikan analisa ilmiah terkait kegiatan penelitian yang anda lakukan. Penulis dan Afiliasi

- [4] ESDM, M. (2016). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan RUPLT PT. PLN tahun 2016 S.D. 2025*. Jakarta: Menteri ESDM.
- [5] Mamur, H., & Ahiska, R. (2015). *Application of a DC-DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators*. Science Direct, 265-272.
- [6] E.A. Man\*, D.Sera, L.Mathe, E.Schaltz, L.Rosendahl (2015). *Thermoelectric Generator Emulator For MPPT Testing*. IEEE.
- [7] Eki Rovianto (2017). Penerapan DC chopper tipe SEPIC menggunakan kontrol *perturb & observe* (P&O) berbasis pada *thermoelectric generator*. Universitas Jember
- [8] Rowe, D. M. (1995). *Handbook of Thermoelectrics*. united states: CRC Press.
- [9] Mamur, H., & Ahiska, R. (2015). *Application of a DC-DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators*. Science Direct, 265-272.
- [10] Goldsmid, H. J. (2010). *Introduction to Thermoelectricity*. New York: Springer.
- [11] Alexandros Paraskevas., & Eftichios Koutroulis. (2015). *A simple maximum power point tracker for thermoelectric generators*. Science Direct. 355-365
- [12] Ryanuargo, s. a. s. p. s., (2013). generator mini dengan prinsip termoelektrik dari uap panas kondensor pada sistem pendingin. *jurnal rekayasa elektrika*.
- [13] Dey, A., Prakash, O. B., Sikder, A. K., & Chattopadhyay, S. (2016). Recent advances in CNT/graphene based thermoelectric polymer nanocomposite: A proficient move towards waste energy harvesting. *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 653-671.
- [14] Mohamad Choirul Anwar (2017). Implementasi dc/dc tipe sepic pada generator termoelektrik menggunakan kontrol MPPT *Incremental Conductance* (InC). Universitas jember
- [15] Hun Sik Han., & Yun Ho Kim. (2010). Performance Measurement and Analysis of a Thermoelectric Power Generator. *IEEE*.
- [16] Irwin, J. D. (2002). *The Power Electronic Handbook*. california: CRC Press.
- [17] freeman, d. (2010). *Introduction to photovoltaic systems maximum power point tracking*. texas: Texas Instrument.
- [18] Suwandi (2017). Implementasi DC/DC boost converter dengan kontrol mppt *perturb and observe* (P&O) sebagai pengendali daya keluaran *thermoelectric generator* (TEG). Universitas jember
- [19] Ahmad Nurul Fiqri (2017). *Pengaturan dan pewaktu mesin oven menggunakan HP android*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- [20] Frediawan Yuniar, Rini Nur Hasanah, Onny Setyawati. Pengendalian MPPT Berbasismetode P&O Menggunakan Boost Converter. Fakultas Teknik – Universitas Jember
- [21] Muchtar Husnibes, 2slamet Riyadi Dan 3sukron Ahmad (2018). *Perancangan Sistem Data Logger Temperatur Baterai Berbasis Raspberry Pi*. Elektra, Vol.3, No.2