

PENGUJIAN KINERJA PENDINGINAN *THERMO ELECTRIC COOLING* (TEC) MEGGUNAKAN *HEATSINK* DENGAN VARIASI DIMENSI DAN JENIS MATERIAL

Muhammad Akbar^{1*}, Teuku Azuar Rizal¹, Rita Syntia¹

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Aceh, 24415

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 10 Mei 2021

Direvisi dari 30 Mei 2021

Diterima 02 Juni 2021

Kata Kunci:

termoelektrik, heatsink, kotak pendingin, Styrofoam, power suplay

ABSTRAK

A thermoelectric generator is an electrical generator device that converts heat energy into electricity directly based on the Seebeck effect method, namely if two different metals are connected at one end, then given a different temperature at the connection, there will be a voltage difference at the other end. with the other end, this study uses peltier tec-12706, the purpose of this study is to determine the effect of the temperature difference between the cold side and the hot side of the varied heatsink/fin designs. This thermoelectric component is coated by a thin ceramic that contains a bismuth telluride rod inside. When in supply the dc voltage is 12volt-15volt and the current is 2-5a. The cooling box material is covered with styrofoam, with a heat sink in the form of a heat sink fan. Variations are made on the amount of thermoelectric used. Data retrieval is done by installing a voltmeter, ammeter and thermocouple in a predetermined position then each measuring instrument will display the data. The data is then processed using the Microsoft Excel program which can produce graphs. With the form of a graph, discussion and conclusion can be done easily.

© 2021 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

PENDAHULUAN

Teknologi termoelektrik merupakan alternatif dalam menjawab kebutuhan energi listrik. Namun, pengembangan teknologi termoelektrik sebagai energi alternatif perlu diperhatikan baik dari pemerintah, industri, perguruan tinggi, dan masyarakat. bahan termoelektrik atau yang biasa disebut elemen peltier adalah bahan yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung (termoelektrik generator), atau sebaliknya sebagai penyerap panas (pendingin termoelektrik), tanpa menghasilkan gas beracun

karbondioksida maupun polutan lain seperti elemen logam berat [1].

Pada tahun 1821 thomas Johan seebeck melakukan sebuah eksperimen dengan menggunakan tembaga dan besi. Kedua logam itu dirangkai menjadi sebuah sambungan dimana salah satu sisi logam dipanaskan sedangkan satu sisi logam yang lainnya tetap dijaga pada suhu konstan. Jarum kompas yang sebelumnya telah diletakkan diantara kedua plat tersebut ternyata mengalami penyimpangan/bergerak [2].

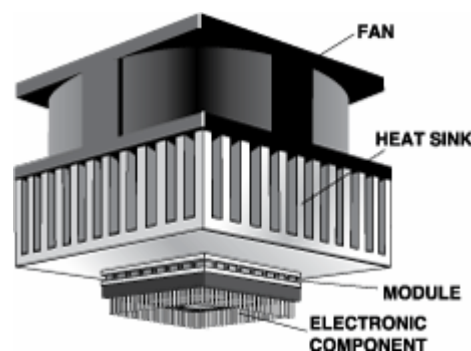
Peltier mengalirkan listrik pada kedua logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik mengalir, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini bersesuaian dengan arah arus listrik yang diberikan pada logam. Penemuan yang terjadi pada tahun 1834 ini kemudian dikenal dengan efek peltier. Penemuan seebeck dan peltier inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi yang dapat mengubah panas menjadi pengembangan teknologi yang dapat mengubah panas menjadi energi listrik yang lazim disebut sebagai generator termoelektrik.[2]

Pada tahun 1821 *Thomas Johann Seebeck* menemukan bahwa jika terdapat dua material yang terhubung dengan kondisi temperatur yang berbeda, maka akan timbul beda potensial yang menghasilkan arus listrik, inilah yang disebut dengan efek *Seebeck*. Dengan efek yang ditemukannya pada tahun tersebut *Seebeck* dapat mengkonversi energi termal menjadi energi listrik dengan efisiensi sekitar 3%, dimana cukup baik jika dibandingkan dengan mesin uap paling efisien pada waktu itu.[3]

Efek Termoelektrik yang mendasari terjadinya konversi energi dari termoelektrik dapat dijelaskan secara baik dengan mengacu pada skematik termokopel yang terlihat pada gambar 2.1. dapat dilihat bahwa pada sirkuit tersebut tersusun dari dua konduktor yang berbeda, yaitu konduktor A dan B yang tersusun seri secara listrik dan parallel secara termal. Jika pada sambungan antara konduktor A dan B pada titik T1 dan T2 diberikan perbedaan temperatur dan $T_1 > T_2$, maka akan membangkitkan perbedaan tegangan pada titik a dan b yang dapat diberikan menurut rumus sebagai berikut; $V = \alpha(T_1 - T_2)$.

Dimana α adalah koefisien *Seebeck* elemen A dan B, yang disebut sebagai *thermal electromotive force* (emf) atau *thermopower*. Nilai α bernilai positif apabila emf menyebabkan arus mengalir dengan arah *clockwise* pada sirkuit dan diukur dalam satuan V /K atau $\mu V/K$ [4]

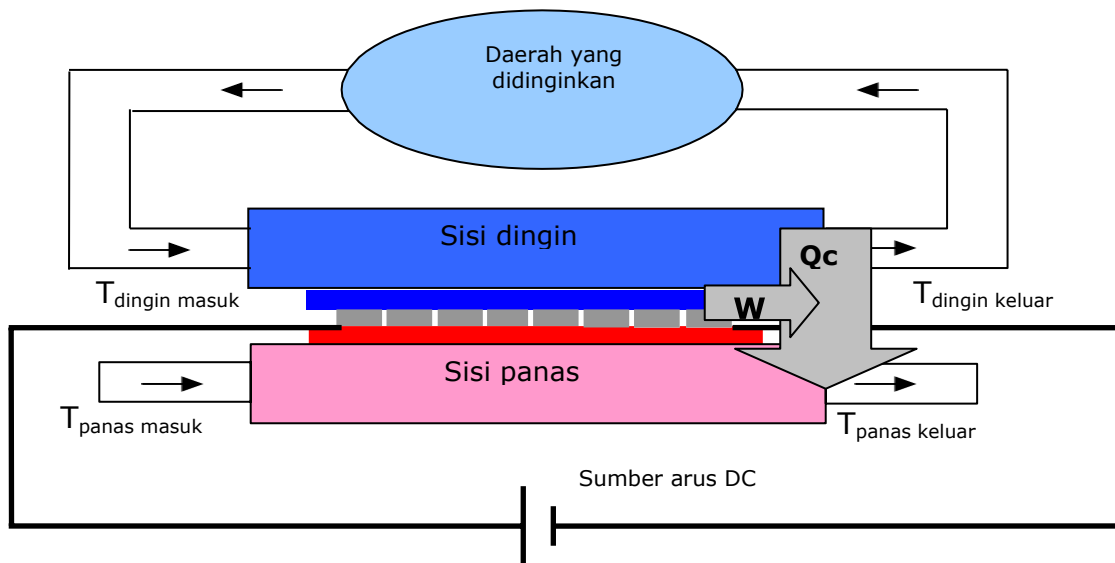
Aplikasi termoelektrik sebagai pembangkit daya dibagi menjadi 2 bagian sebagai pembangkit daya rendah dan pembangkit daya tinggi. Aplikasi pembangkit daya rendah meliputi pemanfaatan panas tubuh manusia untuk menjalankan jam tangan, sedangkan pembangkit daya tinggi pada termoelektrik. Proses penyelesaian tugas akhir ini melalui beberapa langkah secara umum di gambarkan dalam diagram alir sebagai berikut



Gambar 1. Komponen Pendingin TEC

Kelebihan termoelektrik *air conditioner* antara lain ramah lingkungan, serta diperkirakan penggunaan termoelektrik akan semakin meluas dengan adanya kesepakatan global untuk bebas refrigeran pendingin yang dapat merusak ozon.

Pada gambar 2 menjelaskan skema kerja termoelektrik *air conditioner*. dimana udara pada daerah yang didinginkan, didinginkan dengan cara melewati sisi dingin *heat sink* dan bersirkulasi didalamnya, sedangkan kalor pada sisi panas dilepaskan dengan cara mengalirkan udara ke sisi panas *heat sink*.



Gambar 2. Skema Kerja Thermoelectric

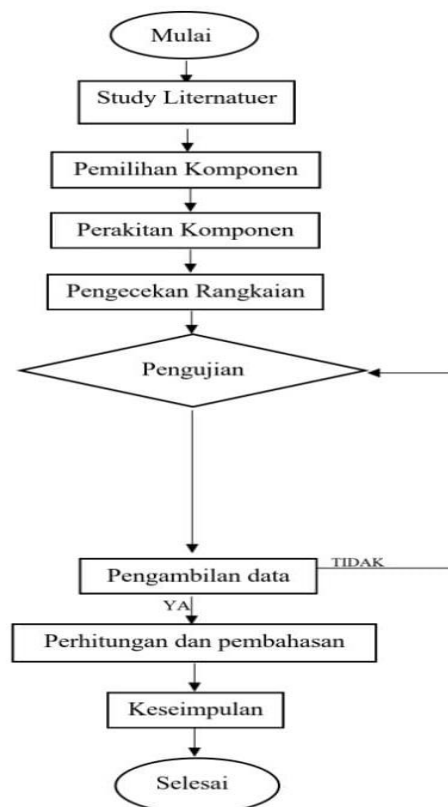
Kelebihan dan Kekurangan Thermoelektrik

Kelebihan pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) antara lain ketahanan alat yang baik, tidak menimbulkan suara, tidak adanya bagian mekanikal yang bergerak sehingga tidak menimbulkan getaran, perawatan yang mudah, ukuran yang kecil, ringan, ramah terhadap lingkungan karena tidak menggunakan refrigeran yang dapat merusak ozon, termoelektrik dapat juga digunakan pada lingkungan yang sensitif, tidak adanya ketergantungan terhadap posisi peletakan, ketelitian kontrol temperatur $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ dapat dicapai dengan menggunakan termoelektrik, dan cocok digunakan pada aplikasi kotak pendingin dibawah 30 Watt. Sedangkan kelemahan termoelektrik adalah efisiensi yang rendah dan adanya kondensasi pada suhu tertentu. Sehingga sampai saat ini pendinginan termoelektrik hanya efektif pada aplikasi untuk objek pendinginan dan daya yang kecil.

Adapun tujuan dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk melakukan pengujian kinerja pendingin *Thermo Electric Cooling* (TEC) menggunakan *Heatsink* dengan variasi dimensi dan jenis material adalah menentukan kinerja pendinginan pada peltier menggunakan variasi heatsink/sirip untuk mengetahui pola pendingin yang lebih optimal yang dicapai pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian di mulai dengan mempersiapkan alat dan bahan setelah itu dilanjutkan dengan pengujian kinerja pendingin *Thermo Electric Cooling* (TEC) menggunakan *Heatsink* dengan variasi dimensi dan jenis material.



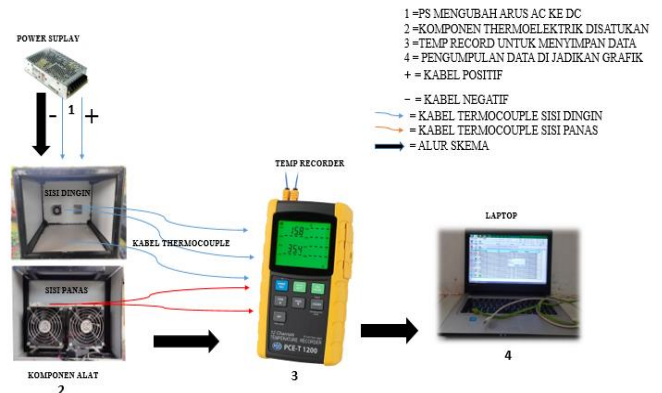
Gambar 3. Diagram Alir

Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

- Thermoelektrik peltier 12706
- Kipas dc
- Heatsink
- Power supply
- Styrofoam
- Komposit panel lembaran
- Pasta pull ultra
- Plat alumunium
- Besi hollow
- Thermocouple
- Kabel dan colokan
- Silicon hitam
- Paku rivet
- Termodigital
- Temperature recorder



Gambar 4. Skema Penelitian

Variasi heatsink/sirip

Heatsink/sirip yang digunakan tentunya berbeda dikarenakan ingin hasil pendinginan lebih optimal, pada variasi heatsink/sirip ini memakai 2 tipe heatsink/sirip yaitu heatsink/sirip tipe A dan heatsink/sirip tipe B

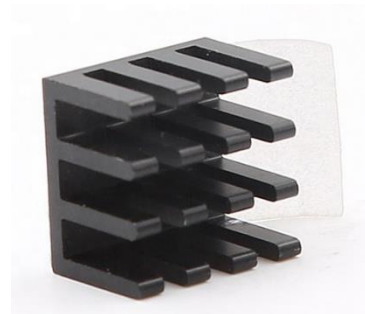
- **Heatsink/sirip sisi dingin type A**

Skema Penelitian

Pada gambar 4 merupakan rangkaian alat uji yang akan digunakan pada penelitian.

Komponen-komponen yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Power suplay yang mengubah arus ac ke dc maka untuk menggerakkan komponen-komponen yang disatukan menjadikan pendingin yang berfungsi sebagai alat untuk menghasilkan suhu dingin dan panas yang dikeluarkan oleh potongan heatsink yang berukuran 40mm x40mm untuk suhu yang dingin sedangkan ukuran heatsink yang mengeluarkan suhu panas berukuran 120 mm x100mm.
2. Thermocouple sebagai sensor temperature yang dipasang pada sisi dingin dan panas pada modul termoelektrik.
3. Temperatur recorder yang berfungsi sebagai pengumpulan data dari termokopel.
4. Laptop untuk mengambil data dari temperatur recorder tersebut.



Gambar 5. Heatsink type A

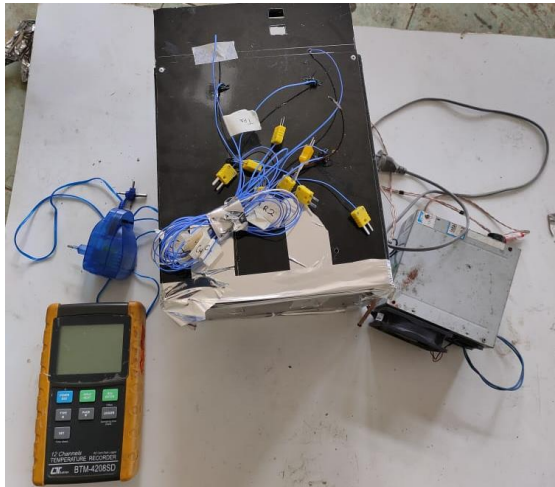
- **Heatsink/Sirip type B**



Gambar 6. Heatsink type B

Gambaran Skematis Pengujian

1. Siapkan Alat dan Bahan



2. Power supply untuk merubah arus yang masuk dari ac ke dc untuk menghidupkan komponen pendingin.



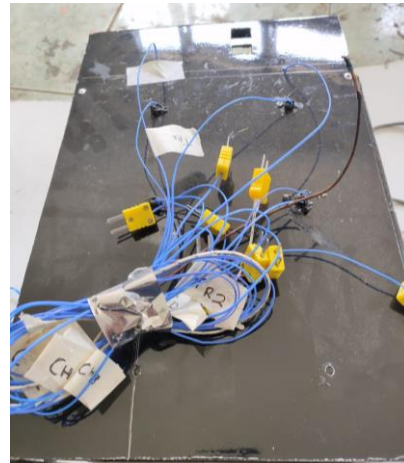
3. Komponen pendingin yang digunakan untuk pengujian tersebut meliputi: kipas besar, sirip sisi panas, sirip sisi dingin, kipas kecil dan Thermoelectric



4. Box yang terbuat dari bahan komposit panel dan Styrofoam yang dibaluti dengan alumunium koil untuk menjaga suhu pendinginan tetap optimal.



5. Kabel thermocouple sebagai alat ukur suhu yang dihasilkan oleh komponen pendinginan.



6. *Temperature recorder* sebagai pencatat data yang dihasilkan dari komponen tersebut.



7.

8. Untuk data yang dihasilkan oleh temp record di pindahkan ke laptop untuk membuat grafik



Prosedur Pengujian

Langkah-langkah prosedur pengujian

1. Siapkan alat dan bahan yang sudah siap pengujian.
2. Letakkan alat atau komponen yang sudah dirakit diruang yang mau di uji coba.
3. Pasang termokopel untuk mengukur temperature pada alat pendinginan yang mau di uji coba
4. Setting alat *temperature recorder* sebelum di connect dengan kabel termokopel dengan cara settingnya sebagai berikut;
 - a. Pastikan semua kabel terhubung ke stop kontak.
 - b. Masukkan kartu memori pada *temperature recorder* untuk merekam data yang kita perlukan.
 - c. Tekan tombol '*power*' lebih lama untuk mengaktifkan atau menyalakan alat ukur.
 - d. Tekan tombol '*Logger*' agar kartu memori terbaca dengan alat ukur sampai ada tulisan '*scan*' di layar
 - e. Setting tanggal dan waktu sesuai dengan kebutuhan
 - f. Seting variable temperature yang digunakan yaitu °C bukan °K
 - g. Masukkan kabel temperature sesuai channel atau sesuai urutan agar memudahkan pengambilan data.
 - h. Tekan tombol '*Rec*' untuk memulai merekam data.
 - i. Setelah selesai pengujian tekan tombol '*Rec*' untuk berhenti merekam data kemudian tekan tombol '*Power*' tahan lebih lama untuk mematikan alat ukur.

- j. Keluarkan kartu memori kemudian pindahkan data yang ada di memori dengan menggunakan laptop atau computer kemudian data di olah sesuai dengan keinginan sampai selesai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

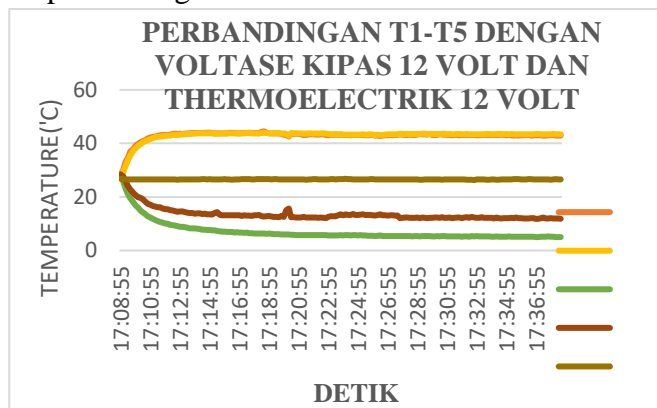
Data diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan beberapa tahapan yang tentunya mempunyai fungsi untuk mendapatkan hasil yang optimal.

WAKTU PENGUJAIN	: 30 MENIT PER 10 DETIK
LAMA UJI COBA	: 9 JAM
VARIASI HEATSINK/SIRIP	: TYPE A JARANG-JARANG
VARIASI HEATSINK/SIRIP	: TYPE B RAPAT

KETERANGAN:

T1	TEMPERATURE SISI PANAS KANAN
T2	TEMPERATURE SISI PANAS KIRI
T3	TEMPERATURE SISI DINGIN TYPE A
T4	TEMPERATURE SISI DINGIN TYPE B
T5	TEMPERATURE RUANG PENELITIAN

- Hasil Pengujian hari ke 1 dengan perbandingan T1-T5

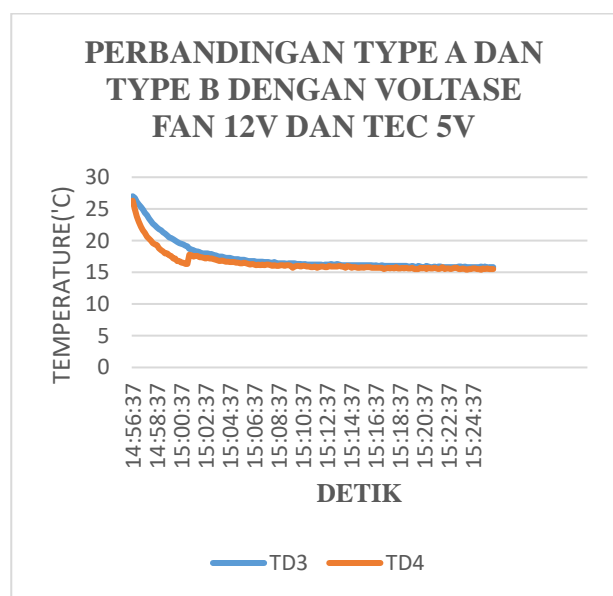


Gambar 7. Grafik Gabungan T1-T5

Pada gambar 7 menunjukkan hasil dari data yang dikumpulkan dengan titik thermocouple yang telah digabungkan menjadi satu untuk memudahkan melihat perbandingan suhu sisi panas dan suhu sisi dingin yang secara perlahan turun maupun naik, pada pengujian ini dilakukan dengan waktu yang sama yaitu 30 menit per 10 detik data yang direkam oleh *temperature recorder*. pada hasil ini bisa kita simpulkan pada menit awal pada t1 menunjukkan perubahan suhu panas yang secara perlahan semakin meningkat pada suhu yang berukuran 31°C. begitu pula

pada t2 yang menunjukkan perubahan suhu selama pengujian nilai rata-rata suhu panas yang dihasilkan adalah 31°C. pada t3 juga menunjukkan perubahan di awal pengujian terjadi penurunan suhu menjadi lebih dingin dengan nilai suhu yang diperoleh oleh t3 yaitu 5°C. maupun t4 juga menunjukkan penurunan suhu tetapi disini ini lebih lama untuk mencapai nilai suhu yang optimal, maka suhu yang diperoleh t4 yaitu 12°C. pada t5 menunjukkan temperature suhu ruang pengujian yang tidak ada perubahan sampai di akhir pengujian.

- Hasil dari variasi heatsink type a dan type b di sisi dingin dengan arus 12-volt fan 5volt tec.

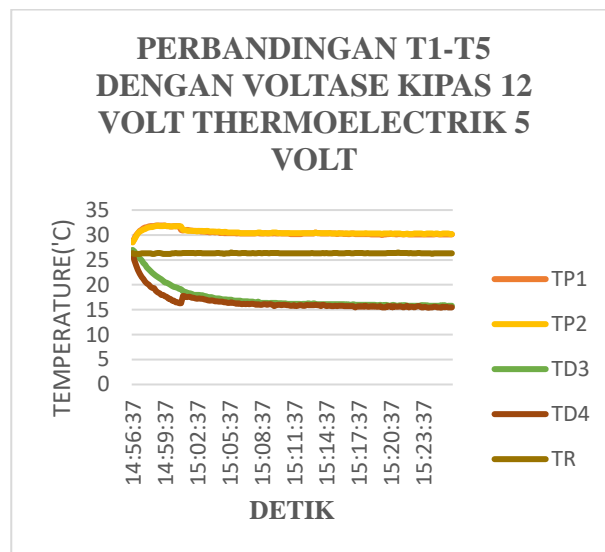


Gambar 8. Grafik Perbandingan T3 dan T4

Dari gambar 8 menunjukkan grafik hasil perbandingan sirip/heatsink type a maupun type b mana yang lebih optimal dengan menggunakan voltase arus kipas 12volt dan thermoelektrik 5volt dengan waktu pungguan 30menit per 10 detik data yang direkam oleh temperature recodder. pada gambar tersebut bisa disimpulkan bahwa perbandingan sirip/heatsink type a dan type b terjadi perbandingan pada 5 menit awal pengujian dimana yang sirip/heatsink type b lebih cepat terjadi penurunan namun 1 menit di selanjutnya terjadi perubahan suhu seakan komponen sirip/heatsink type b tidak bekerja sehingga membuat suhu jadi naik, dan kemudian setelah 1 menit terjadinya perubahan maka suhu

kembali terjadi penurunan secara perlahan mengikuti sirip/heatsink tipe a, di pengujian ini pada 20 menit selanjutnya tidak ada perubahan suhu yang terjadi pada heatsink/sirip type a maupun type b sampai akhir pengujian. hasil nilai suhu rata-rata yang di dapatkan yaitu type a 16°C dan type b 16°C.

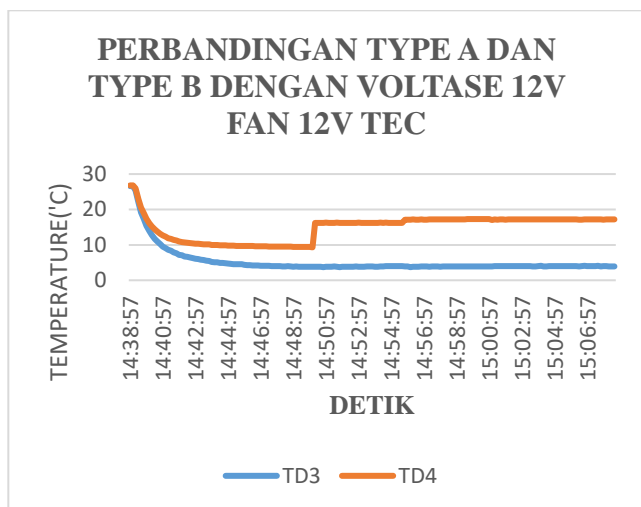
- Hasil pengujian pertama dengan perbandingan T1-T5



Gambar 9. Grafik Gabungan T1-T5

Pada gambar 9 menunjukkan hasil grafik dari data yang dikumpulkan dengan titik thermocouple yang telah digabungkan menjadi satu untuk memudahkan melihat perbandingan suhu sisi panas dan suhu sisi dingin yang secara perlahan turun maupun naik, pada pengujian ini dilakukan dengan waktu yang sama yaitu 30 menit per 10 detik data yang direkam oleh *temperature recorder*, dengan variasi voltase fan 12volt dan thermoelektrik 5volt. pada hasil ini bisa disimpulkan tidak ada perbedaan temperature pada sisi t1 sama t2 yang dihasilkan sampai akhir pengujian, namun di antara t3 sama t4 ada sedikit perbandingan yang terjadi di 5 menit awal pengujian yang sebagai mana dijelaskan pada grafik sebelumnya, pada t5 tidak ada perubahan temperatur dari awal pengujian sampai pengujian terakhir.

- Hasil dari variasi heatsink type a dan type b di sisi dingin dengan arus 12volt fan 12volt tec.



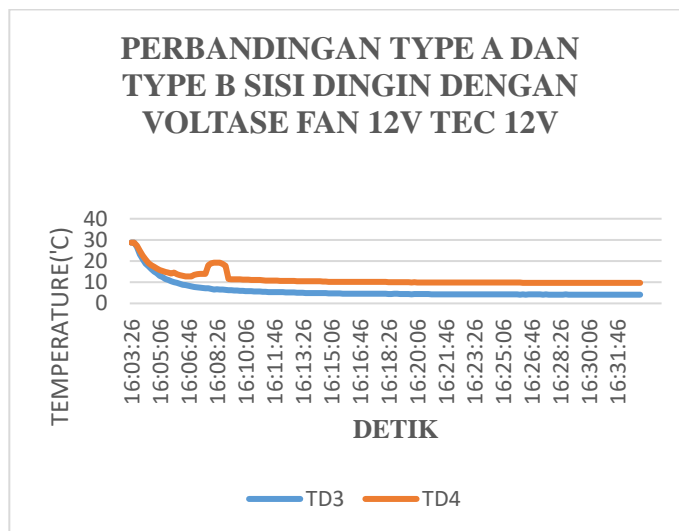
Gambar 10 Grafik Perbandingan T3 dan T4

Dari gambar 10 menunjukkan grafik hasil pengujian ke dua perbandingan sirip/heatsink type a maupun type b mana yang lebih optimal dengan menggunakan voltase arus kipas 12volt dan thermoelektrik 12volt dengan waktu pungujian 30menit per 10 detik data yang direkam oleh *temperature recodder*. perbandingan type a ini bisa disimpulkan pada menit awal pengujian komponen pendingin bekerja dengan stabil dikarenakan perubahan temperature yang menurun stabil dengan nilai suhu rata-rata yang dicapai ialah 4°C pada pengujian ini variasi voltase sangat terpengaruh terhadap kinerja komponen tersebut.namun pada perbandingan type b terjadi penurunan suhu pada awal pengujian sampai mencapai titik nilai 9°C dan setelah 10 menit selanjutnya terjadi kenaikan suhu yang disebabkan oleh komponen pendingin seakan tidak bekerja akan tetapi komponen pendingin masi berfungsi sehingga nilai temperature yang dihasilkan rata-rata 16°C sampai akhir pengujian berlangsung,maka dari perbandingan ini jelas yang mana lebih optimal kinerja komponen antara heatsink/sirip type a dan type b.

- Hasil variasi heatsink/sirip type a dan type b dengan voltase 12volt kipas dan 12volt thermoelectric dengan dipisahkan komponen tersebut satu per satu

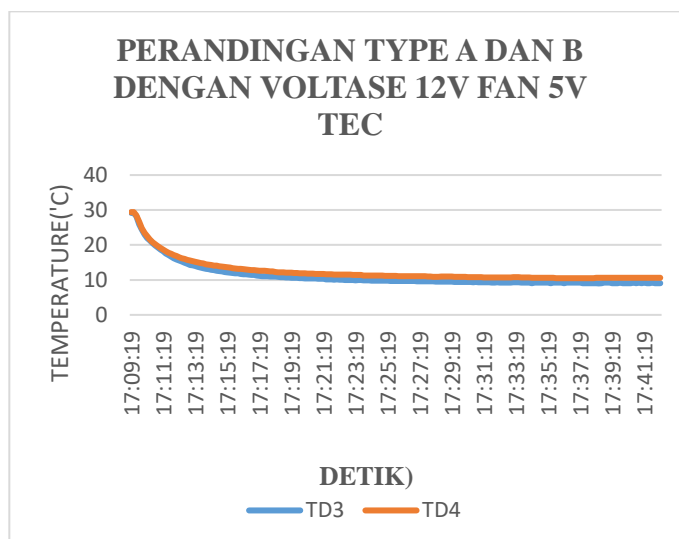
Pada gambar 11 menunjukkan perbandingan antara heatsink/sirip type A dan type B dengan menggunakan voltase kipas 12 volt dan thermoelectric

12 volt pada volume Box. 110mmx110mm dengan data yang dikumpulkan oleh *temperature recorder* selama 30 menit per 10 detik.dipengujian ini difokuskan kepada pengujian hasil perbandingan sirip/heatsink antara type a dan type b,pada gambar di atas bisa disimpulkan bahwa dengan menggunakan heatsink type a lebih optimal dibandingkan dengan type b yang kurang terhadap kinerja komponen walaupun voltase masing-masing komponen 12volt



Gambar 11. Grafik Perbandingan T3 dan T4

- Hasil variasi heatsink/sirip type a dan type b dengan voltase 12volt kipas dan 5volt thermoelectric dengan dipisahkan komponen tersebut satu per satu.



Gambar 12. Grafik Perbandingan T3 dan T4

Pada gambar 12 menunjukkan perbandingan antara heatsink/sirip type A dan type B dengan menggunakan voltase kipas 12 volt dan thermoelectric 5 volt pada volume Box. 110mmx110mm dengan data yang dikumpulkan oleh *temperature recorder* selama 30 menit per 10 detik. Dipengujian ini difokuskan kepada pengujian hasil perbandingan sirip/heatsink antara type A dan type B, pada gambar di atas bisa disimpulkan bahwa dengan menggunakan heatsink type A lebih optimal dibandingkan dengan type B yang kurang terhadap kinerja komponen walaupun perbedaan tidak terlalu besar.

Maka pada pengujian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pendinginan pada TEG yang dilengkapi Heat sink dan/atau Heatpipe sebagai mana yang telah tertulis di jurnal-jurnal yang ada, dikarenakan di pengujian ini tidak menggunakan heatpipe jadi perbedaannya tidak tergambar secara rinci, kemungkinan dengan menggunakan heatpipe bisa lebih optimal pendinginannya dan lebih awet di bandingkan menggunakan heatsink.

Pengaruh menggunakan material heatpipe dengan heatsink tentunya berbeda dikarenakan heatpipe mempunyai kemampuan untuk memindahkan kalor melawan gravitasi, dengan adanya siklus evaporasi kondensasi bertekanan dengan bantuan dari jaringan kapiler berpori yang membentuk sumbu (*wick*). Sedangkan system pendingin termoelektrik yang baik terlepas dari sirip yang bagus sirip ini terdiri dari 2 maca, untuk sisi panas disebut *heatsink* sedangkan sisi dingin disebut *coldsink*, fungsinya disini untuk memperluas permukaan benda agar laju perpindahan kalor semakin besar sehingga proses pendinginan dapat berlangsung cepat.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

A. Berdasarkan dari penelitian-penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa sirip/heatsink sangat berpengaruh terhadap perpindahan dingin yang di hasilkan oleh *thermoelectric* dengan ukuran box tertentu agar menghasilkan hasil dingin yang optimal.

B. Pada penelitian ini yang optimal didapatkan pada box ukuran 110mm x 110mm x115mm dengan menggunakan sirip type A dengan voltase 12v kipas dan 12tec. Dari hasil-hasil sebelumnya yang telah di teliti bahwa disimpulkan heatsink/sirip type A yang jarang-jarang lebih optimal kinerja komponennya dibandingkan dengan sirip/heatsink type B yang rapat.

C. Adapun kesimpulan yang didapatkan dengan variasi voltase sangat berpengaruh terhadap kinerja komponen pendinginan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grup riset fisika magnetik dan fotonik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB.2011."Penelitian Bahan Termoelektrik Bagi Aplikasi Konversi Energi Di Masa Mendatang".Jurnal Material dan Energi Indonesia.1, (01), 58-70: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran
- [2] U. S. Utara, "Universitas Sumatera Utara 4," pp. 4–16, 2003.
- [3] A. W. Jatmiko *et al.*, "Kotak pendingin berbasis thermoelectric tugas akhir," 2014.
- [4] A. K. Mainil, A. Aziz, and M. Akmal, "Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load," *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, 2018, doi: 10.13170/aijst.7.2.8722.
- [5] R. Wirawan, "Analisa Penggunaan Heat Pipe pada Thermoelectric Generator," Department of Mechanical Engineering, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat," 2012.
- [6] Z. Djafar, N. Putra, and R. A. Koestoer, "The utilization of heat pipe on cold surface of thermoelectric with low-temperature waste heat," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 302, pp. 410–415, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.302.410.
- [7] and M. Z. Q. Ma, H. Fang, "Theoretical analysis and design optimization of thermoelectric generator," *Applied Thermal Engineering*, vol. 127, pp. 758-764," 2017.
- [8] A. D. Schlichting, S. R. Anton, and D. J. Inman, "Motorcycle waste heat energy harvesting," *Ind.*

- Commer. Appl. Smart Struct. Technol.* 2008, vol. 6930, no. April 2014, p. 69300B, 2008, doi: 10.1117/12.775783.
- [9] M. Gürth, G. Rogl, V. V Romaka, A. Grytsiv, E. Bauer, and P. Rogl, "Thermoelectric high ZT half-Heusler alloys $Ti_{1-x-y}Zr_xHf_yNiSn$ ($0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$)," *Acta Mater.*, vol. 104, pp. 210–222, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.ACTAMAT.2015.11.022.
- [10] S. R. Gulwade, "Analysis of Heat Exchanger for," vol. 3, no. 7, pp. 10–13, 2016.
- [11] G. Theotokatos and G. Livanos, "Techno-economical analysis of single pressure exhaust gas waste heat recovery systems in marine propulsion plants," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 227, no. 2, pp. 83–97, 2013, doi: 10.1177/1475090212457894.
- [12] R. Sukarno and J. T. Mesin, "PEMANFAATAN PANAS GAS BUANG SEPEDA MOTOR," pp. 149–156, 2016.
- [13] D. Champier, "Thermoelectric generators: A review of applications," *Energy Convers. Manag.*, vol. 140, pp. 167–181, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.02.070.
- [14] N. Espinosa, M. Lazard, L. Aixala, and H. Scherrer, "Modeling a Thermoelectric Generator Applied to Diesel Automotive Heat Recovery," vol. 39, no. 9, pp. 1446–1447, 2010, doi: 10.1007/s11664-010-1305-2.
- [15] and A. M. P. Aranguren, M. Araiz, D. Astrain, "Thermoelectric generators for waste heat harvesting: a computational and experimental approach," *Energy Conversion and Management*, vol. 148, pp. 680-691," 2017.
- [16] A. Nour Eddine, D. Chalet, X. Faure, and L. Aixala, *Optimisation et caractérisation d'un générateur thermoélectrique pour application marine.* 2018.
- [17] ferrotech.com, "Thermoelectric Technical Reference, Common Material Properties," ed," 2.
- [18] M. A. Karri, E. F. Thacher, and B. T. Helenbrook, "Exhaust energy conversion by thermoelectric generator: Two case studies," *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no. 3, pp. 1596–1611, 2011, doi: 10.1016/j.enconman.2010.10.013.
- [19] Holman, J. P., 1991, *Perpindahan Kalor, Ed. 6, Jakarta: Erlangga.* .
- [20] B. Firmansyah, F. Teknik, U. Sriwijaya, J. Raya, and P. Prabumulih, "DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA," no. 1, pp. 25–29, 1994. Properties," ed," 2018.
- [21] Ferrotech.com, "Thermoelectric Technical Reference, Common Material Properties," ed," 2018
- [22] Aziz Adridjal, Joko Subroto, dan Villager Silpana, 2015. Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman. *Jurnal Teknik Mesin*, pp 32-38