

## **Analisis Pengaruh Pendinginan Udara Masuk Berbasis Thermoelectric Cooler terhadap Performa Mesin Sepeda Motor 110 cc**

**(Analysis of the Effect of Thermoelectric Cooler-Based Intake Air Cooling on the Performance of a 110 cc Motorcycle Engine)**

**Zulfa Khalida<sup>1)</sup>, Hadi Rahmad<sup>2)</sup>, Yulia Puspa Dewi<sup>3)</sup> Kartika Chandra Dewi<sup>4)</sup>  
Eti Putranti<sup>5)</sup>**

<sup>1,2,3)</sup>Teknik Mesin, Polinema, <sup>3)</sup>Matematika, Unesa, <sup>4)</sup>Akutansi, Polinema  
E-mail: <sup>1)</sup>[zulfa.khalida@polinema.ac.id](mailto:zulfa.khalida@polinema.ac.id), <sup>2)</sup>[hadi.rahmad@polinema.ac.id](mailto:hadi.rahmad@polinema.ac.id),  
<sup>3)</sup>[yulia.puspa@polinema.ac.id](mailto:yulia.puspa@polinema.ac.id), <sup>4)</sup>[kartika.candra@polinema.ac.id](mailto:kartika.candra@polinema.ac.id),  
<sup>5)</sup>[eti.putranti@polinema.ac.id](mailto:eti.putranti@polinema.ac.id)

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *Thermoelectric Cooler* (TEC) sebagai sistem pendingin udara masuk terhadap performa mesin sepeda motor 110 cc. Sistem TEC dipasang pada saluran *intake manifold* dan diuji menggunakan *dynamometer test* untuk membandingkan karakteristik mesin pada kondisi dengan dan tanpa pendinginan udara masuk. Parameter yang dianalisis meliputi daya, torsi, dan *Air Fuel Ratio* (AFR). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pendinginan udara masuk menyebabkan penurunan nilai AFR sebesar sekitar 4,8%, yang mengindikasikan peningkatan densitas udara dan massa oksigen yang masuk ke ruang bakar. Perubahan tersebut berkontribusi pada peningkatan performa mesin, dengan daya maksimum mencapai 6,58 HP pada putaran 5600 rpm, atau meningkat sekitar 1,8 HP dibandingkan kondisi tanpa penggunaan TEC. Namun demikian, efektivitas pendinginan masih dibatasi oleh tingginya kecepatan aliran udara masuk, sehingga diperlukan pengembangan desain sistem pendingin yang lebih optimal pada penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: *Air Fuel Ratio*, *Dyno Test*, Pendinginan Udara Masuk, Performa Mesin, *Thermoelectric Cooler*.

### **Abstract**

*This study aims to analyze the effect of using a Thermoelectric Cooler (TEC) as an intake air cooling system on the performance of a 110 cc motorcycle engine. The TEC system was installed in the intake manifold and evaluated using a dynamometer test to compare engine characteristics under conditions with and without intake air cooling. The performance parameters analyzed included engine power, torque, and Air–Fuel Ratio (AFR). The experimental results show that intake air cooling leads to a reduction in AFR of approximately 4.8%, indicating an increase in air density and the mass of oxygen entering the combustion chamber. This change contributes to an improvement in engine performance, with a maximum power output of 6.58 HP at 5600 rpm, representing an increase of about 1.8 HP compared to the engine operating without the TEC system. However, the effectiveness of the cooling system is limited by the high intake air velocity, which reduces the air residence time over the TEC surface. Further optimization of the intake air cooling design is therefore required to enhance system performance.*

Keywords: *Air–Fuel Ratio*, *Dynamometer Test*, *Intake Air Cooling*, *Engine Performance*, *Thermoelectric Cooler*

## 1. PENDAHULUAN

Tujuan utama dari pengembangan teknologi motor bakar adalah untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang. Kondisi udara masuk ke ruang bakar merupakan komponen penting yang memengaruhi kualitas pembakaran, terutama suhu dan densitas udara. Udara dengan suhu rendah memiliki densitas yang lebih tinggi, sehingga massa oksigen yang masuk ke ruang bakar per satuan volume meningkat. Kondisi ini dapat meningkatkan proses pembakaran dan meningkatkan kinerja mesin [1], [2].

Kualitas udara masuk dapat ditingkatkan melalui peningkatan jumlah oksigen, perubahan pada sistem intake, dan pendinginan udara masuk. Karena penurunan suhu udara tidak mengubah komposisi kimia udara, pendinginan udara masuk hanya meningkatkan densitas udara yang masuk ke mesin, metode ini relatif sederhana dan efektif. Karakteristik campuran udara-bahan bakar, yang ditunjukkan oleh perubahan nilai rasio bahan bakar udara (AFR), serta daya dan torsi mesin, dapat dipengaruhi oleh peningkatan densitas udara [3].

Untuk mendinginkan udara masuk, baik sistem mekanik, seperti sistem pendingin berbasis kompresor, maupun sistem non-mekanik, seperti pendingin termoelektrik (TEC) [4][5]. TEC memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak menggunakan refrigeran berbasis CFC, konstruksi yang sederhana, ukuran yang relatif kompak, dan kemudahan untuk mengontrol suhu. Namun, nilai *Coefficient of Performance* (COP) TEC biasanya lebih rendah daripada sistem pendingin berbasis kompresor [6].

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, TEC telah digunakan dalam sistem pendinginan, baik untuk aplikasi pendinginan fluida maupun termal lainnya [7] [8] [9]. Namun, penelitian belum banyak tentang penggunaan TEC sebagai sistem pendingin udara masuk pada motor bakar, terutama untuk mengevaluasi dampak TEC pada karakteristik pembakaran dan kinerja mesin. Selain itu, tidak banyak eksperimen yang membahas pengaruh kecepatan aliran udara masuk terhadap efektivitas pendinginan TEC.

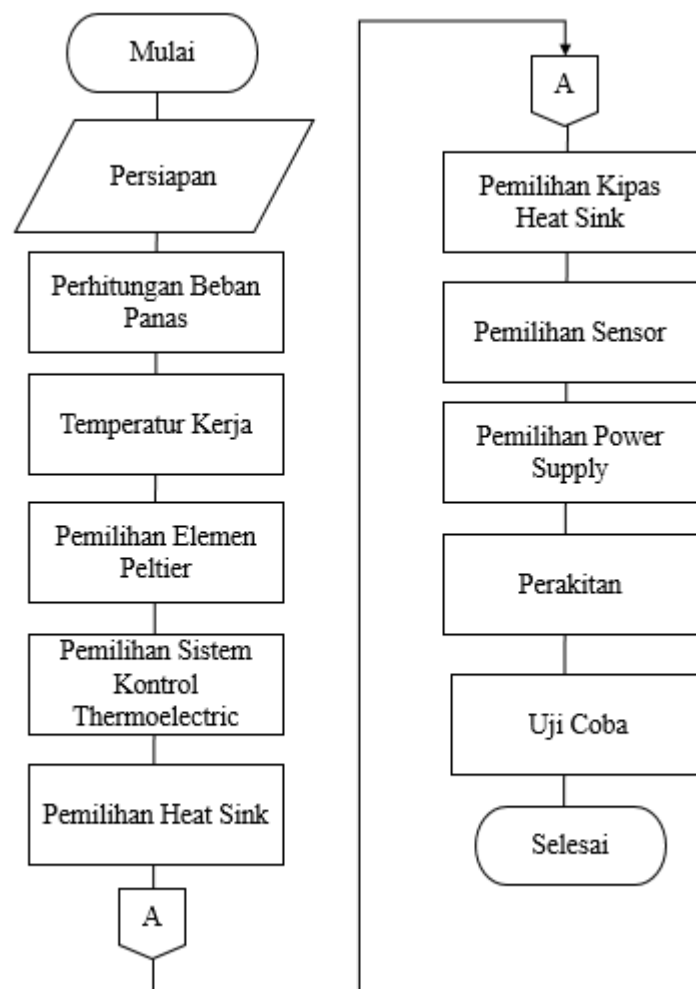
Studi ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana penggunaan pendingin udara termoelektrik sebagai sistem pendingin udara masuk memengaruhi kinerja mesin sepeda motor 110 cc. Parameter yang dianalisis termasuk perubahan

perbandingan bahan bakar udara (AFR), daya, dan torsi mesin melalui pengujian dyno. Diharapkan hasil penelitian ini akan membantu proses pengembangan sistem pendinginan udara masuk berbasis TEC dan juga berfungsi sebagai referensi untuk penelitian lanjutan tentang peningkatan performa motor bakar.

## 2. METODE PENELITIAN

### a. Desain Penelitian

Tujuan dari penelitian eksperimental ini adalah untuk mengetahui bagaimana penggunaan pendinginan termoelektrik (TEC) sebagai sistem pendinginan udara masuk memengaruhi kinerja mesin sepeda motor 110 cc. Kinerja mesin diuji dalam dua kondisi berbeda: tanpa pendinginan udara masuk dan dengan menggunakan TEC. Alur penelitian ditunjukkan pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### b. Perancangan Sistem Pendingin Udara Masuk

Untuk menentukan kapasitas sistem pendingin yang digunakan, tahap awal penelitian dimulai dengan menghitung beban panas udara masuk. Berdasarkan hukum pertama termodinamika, persamaan neraca energi aliran fluida digunakan untuk menghitung beban panas. Laju perpindahan panas dinyatakan sebagai berikut dalam kondisi *steady state*, aliran satu dimensi, dan mengabaikan perubahan energi kinetik dan potensial.

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{in} - T_{out})$$

Laju aliran massa udara dihitung berdasarkan densitas udara, luas penampang saluran *intake*, dan kecepatan aliran udara. Pendekatan ini umum digunakan dalam analisis sistem pendinginan fluida mengalir [10]–[12].

### c. Analisis Kinerja *Thermoelectric Cooler*

Analisis kinerja *Thermoelectric Cooler* (TEC) dilakukan menggunakan persamaan dasar termoelektrik yang melibatkan efek *Seebeck*, resistansi listrik, dan resistansi termal. Laju kalor pada sisi dingin TEC dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{Q}_{dingin} = \alpha IT - \frac{\Delta T}{R_p} - \frac{I^2 R}{2}$$

Sedangkan laju kalor pada sisi panas dinyatakan sebagai [3]:

$$\dot{Q}_{panas} = \alpha IT - \frac{\Delta T}{R_p} + \frac{I^2 R}{2}$$

Tegangan kerja TEC dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V = \alpha \Delta T + IR$$

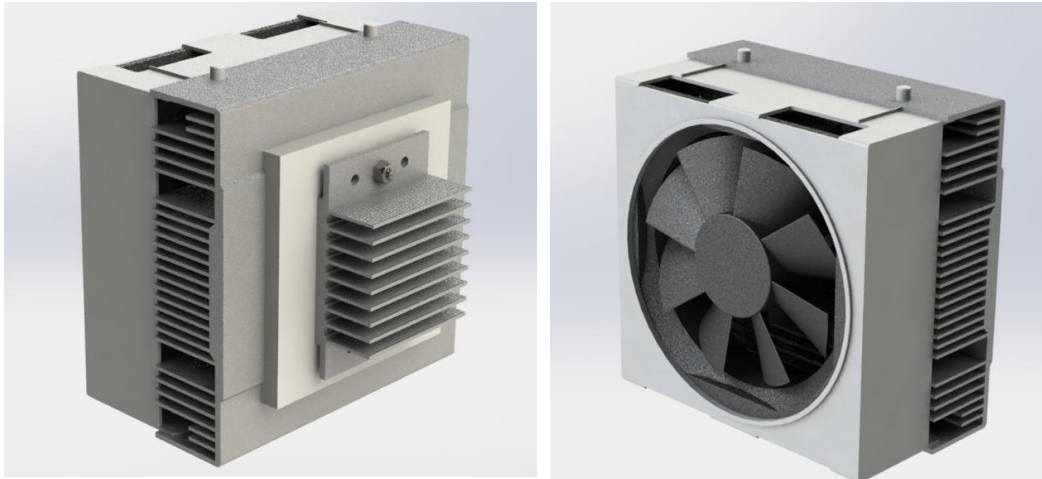
Daya listrik yang dibutuhkan TEC dihitung sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus listrik [13], [14].

### d. Sistem Pembuangan Panas

Pelepasan panas pada sisi panas TEC dilakukan menggunakan *heat sink* dan kipas pendingin. Proses perpindahan panas konveksi dari *heat sink* ke udara dianalisis menggunakan hukum Newton tentang perpindahan panas,

$$\dot{Q}_{sink} = hA(T_{sink} - T_{udara})$$

yang banyak diterapkan dalam analisis sistem pendinginan elektronik dan termoelektrik.



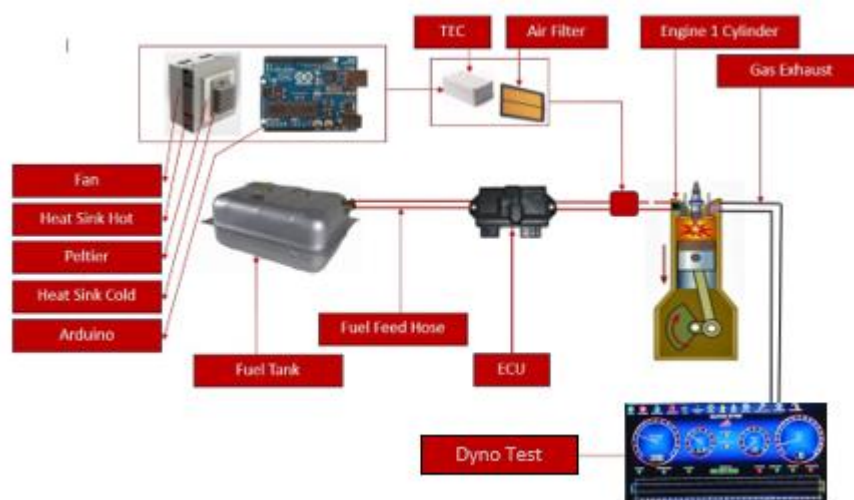
(a) TEC tampak depan

(b) TEC tampak belakang

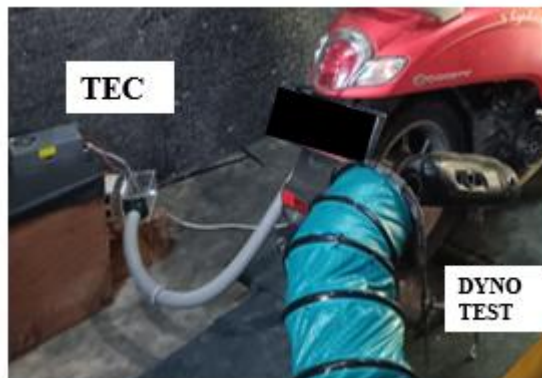
Gambar 2. *Thermoelectric*

### e. Pengujian Performa Mesin

Pengujian performa mesin dilakukan menggunakan *dynamometer test* untuk memperoleh karakteristik daya dan torsi mesin. Parameter *Air Fuel Ratio* (AFR) diukur melalui sensor gas buang untuk mengevaluasi karakteristik campuran udara–bahan bakar selama proses pembakaran [15].



Gambar 3. Skema Pengambilan Data



Gambar 4. Pemasangan TEC

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Kinerja *Thermoelectric Cooler*

Pengujian awal dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pendingin termoelektrik (TEC) pada kondisi statis tanpa aliran udara. TEC dioperasikan menggunakan sumber arus searah (DC) dengan tegangan 12 V. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu sisi dingin TEC paling rendah dapat mencapai  $-4,3^{\circ}\text{C}$ , sedangkan suhu sisi panas dapat mencapai  $36,4^{\circ}\text{C}$  dengan bantuan *heat sink* dan kipas pendingin. Hasil ini menunjukkan bahwa TEC mampu meningkatkan suhu

Namun, suhu sisi dingin yang diukur mencapai sekitar  $33^{\circ}\text{C}$  ketika TEC dimasukkan ke dalam sistem *intake manifold* mesin. Kondisi ini disebabkan oleh kecepatan aliran udara masuk yang tinggi (sekitar 15–16 m/s). Ini menyebabkan waktu tinggal udara yang sangat singkat. Akibatnya, proses perpindahan panas konveksi tidak berlangsung dengan baik. Riffat dan Ma juga melaporkan penurunan efektivitas pendinginan TEC pada kondisi aliran fluida yang tinggi dan beban panas yang tinggi [16]. Mereka menyatakan bahwa laju perpindahan panas dan kondisi operasional sistem sangat memengaruhi kinerja pendinginan TEC.

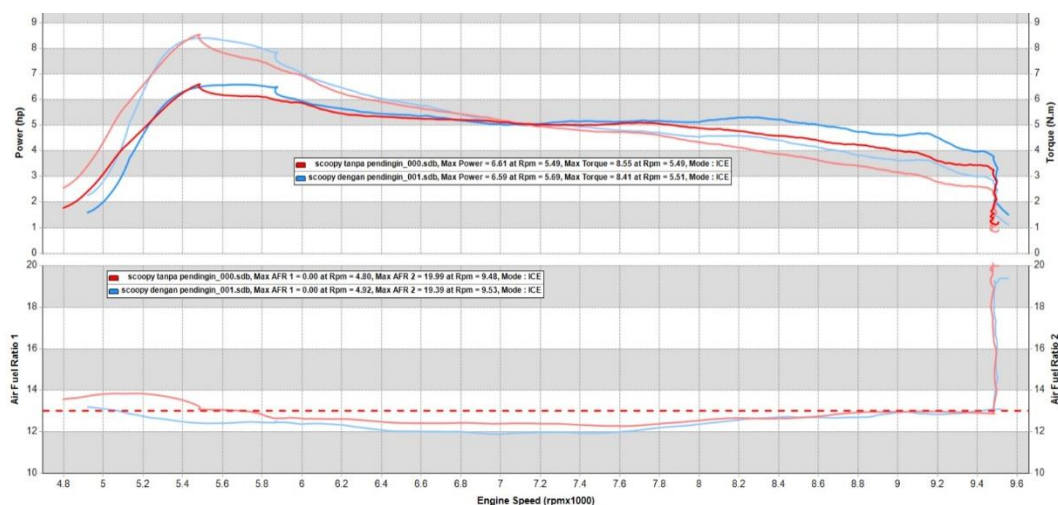
#### b. Hasil Pengujian Daya dan Torsi Mesin

Hasil pengujian daya dan torsi maksimum mesin pada kondisi tanpa pendinginan udara masuk dan dengan pendinginan udara masuk menggunakan TEC ditunjukkan pada gambar 5. Pengujian dilakukan menggunakan *dynamometer test* pada mode *internal combustion engine* (ICE) dengan kondisi operasi yang sama untuk kedua perlakuan.

Berdasarkan gambar 5, penggunaan pendinginan udara masuk berbasis TEC

menghasilkan peningkatan daya maksimum dari 6,61 HP menjadi 6,89 HP atau meningkat sekitar 4,2%. Selain itu, torsi maksimum juga mengalami peningkatan dari 5,55 Nm menjadi 6,41 Nm atau sekitar 15,5%. Peningkatan torsi yang relatif lebih besar dibandingkan peningkatan daya menunjukkan bahwa pendinginan udara masuk memberikan pengaruh yang lebih signifikan pada proses pengisian silinder (*cylinder filling*) dan karakteristik pembakaran pada putaran menengah mesin.

Peningkatan performa mesin akibat pendinginan udara masuk ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Heywood dan Pulkrabek, yang menyatakan bahwa penurunan temperatur udara masuk meningkatkan densitas udara dan *volumetric efficiency* mesin, sehingga massa udara yang masuk ke ruang bakar bertambah dan berdampak langsung pada peningkatan torsi dan daya mesin [12], [17].



Gambar 5. Kurva Pengujian

### c. Pengaruh Pendinginan Udara Masuk terhadap *Air–Fuel Ratio* (AFR)

Gambar 5 menunjukkan karakteristik *Air Fuel Ratio* mesin pada kondisi tanpa pendinginan dan dengan pendinginan udara masuk menggunakan TEC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai AFR berkisar antara 12 dan 13 pada sebagian besar rentang putaran mesin, yang menunjukkan bahwa *Air Fuel Ratio* relatif lebih kaya.

Nilai AFR cenderung lebih rendah pada kondisi dengan pendinginan udara masuk menggunakan TEC dibandingkan dengan kondisi tanpa pendinginan. Penurunan AFR ini menunjukkan bahwa pendinginan udara masuk meningkatkan

densitas udara, yang meningkatkan massa oksigen yang masuk ke ruang bakar. Hal ini menyebabkan campuran udara-bahan bakar menjadi lebih kaya. Selain itu, studi yang dilakukan oleh Wang et al. [18] menunjukkan bahwa penurunan temperatur udara masuk berdampak langsung pada karakteristik AFR dan kinerja mesin, dan kondisi ini meningkatkan energi pembakaran dan daya mesin.

Peningkatan nilai AFR maksimum pada putaran mesin tinggi menunjukkan penipisan campuran, yang biasanya disebabkan oleh keterbatasan sistem suplai bahan bakar pada putaran mesin tinggi. Heywood juga menjelaskan hal ini, yang menyatakan bahwa pada kondisi kecepatan mesin tinggi, sistem bahan bakar sering kali tidak dapat mempertahankan rasio campuran ideal secara konsisten [15].

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **a. Kesimpulan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pendinginan udara masuk termoelektrik (TEC) meningkatkan kinerja mesin pada putaran menengah. Dengan menggunakan TEC, daya maksimum meningkat dari 6,61 HP menjadi 6,89 HP, atau sekitar 4,2%, dan torsi maksimum meningkat dari 5,55 Nm menjadi 6,41 Nm, atau sekitar 15,5%. Selain itu, karena peningkatan densitas udara masuk, nilai perbandingan udara-bahan bakar (AFR) turun dari 13,03 menjadi 12,43, atau sekitar 4,8%. Ini menunjukkan pergeseran campuran udara-bahan bakar yang lebih kaya.

Namun demikian, tingginya kecepatan aliran udara masuk menghambat efektivitas pendinginan udara masuk berbasis TEC, yang mengurangi waktu kontak antara udara dan permukaan dingin TEC. Akibatnya, suhu udara masuk yang dihasilkan belum mencapai kondisi pendinginan ideal yang dicapai dalam pengujian statis. Akibatnya, untuk meningkatkan kinerja sistem TEC pada aplikasi mesin pembakaran dalam, desain sistem pendinginan masih harus dioptimalkan, terutama dalam hal manajemen termal dan konfigurasi aliran udara.

##### **b. Saran**

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan desain sistem pendinginan udara masuk berbasis termoelektrik (TEC), khususnya dalam hal pengaturan aliran udara masuk dan pembuangan panas sisi panas untuk meningkatkan efektivitas perpindahan panas. Selain itu, perlu dilakukan evaluasi penggunaan multi-TEC, dampak pada konsumsi bahan bakar, dan analisis efisiensi

energi sistem untuk menilai kelayakan menggunakan TEC pada mesin pembakara. Selain itu, disarankan untuk melakukan pengujian pada berbagai kondisi operasi dan lingkungan untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik tentang kinerja sistem.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan dana hibah DIPA Politeknik Negeri Malang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Malang yang sudah mendanai penelitian ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. R. Abdullah, H. Ismail, Z. Michael, A. A. Rahim, and H. Sharudin, "Jurnal Teknologi C ONSUMPTION AND E XHAUST E MISSIONS OF," *J. Teknol.*, vol. 9, pp. 25–29, 2015.
- [2] D. Sumardiyanto and S. E. Susilowati, "Pengaruh Kondisi Udara Bilas Terhadap Kinerja Mesin Diesel," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 2, pp. 81–88, 2017.
- [3] P. Baskar and A. Senthilkumar, "Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 438–443, 2016, doi: 10.1016/j.jestch.2015.08.011.
- [4] Z. Khalida, K. Dewi, S. Musyarrofah, and H. Rahmad, "OPTIMALIZATION OF INTEGRAL FIN TUBE IN OUTSIDE CONDENSATION BASED ON FLOODING ANGLE: OPTIMALISASI INTEGRAL FIN TUBE PADA SISTEM KONDENSASI LUAR BERDASARKAN FLOODING ANGLE," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, pp. 230–236, 2023, doi: 10.33795/j-meeg.v2i2.4731.
- [5] H. Huang, S. Fu, P. Zhang, and L. Sun, "Design of a Small Temperature Control System Based on TEC," *Proc. - 2016 9th Int. Symp. Comput. Intell. Des. Isc. 2016*, vol. 1, pp. 193–196, 2016, doi: 10.1109/ISCID.2016.1051.
- [6] M. Algusri and D. Redantan, "Analysis of peltier characteristic and cold side treatment for thermoelectric generator module at brick kiln furnace,"

- Proc. - 2018 2nd Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Towar. Most Effic. W. Mak. Deal. with Futur. Electr. Power Syst. Big Data Anal. ICon EEI 2018*, no. October, pp. 134–139, 2018, doi: 10.1109/ICon-EEI.2018.8784141.
- [7] I. B. Tijani, A. A. A. Al Hamadi, K. A. S. S. Al Naqbi, R. I. M. Almarzooqi, and N. K. S. R. Al Rahbi, “Development of an automatic solar-powered domestic water cooling system with multi-stage Peltier devices,” *Renew. Energy*, vol. 128, pp. 416–431, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.05.042.
- [8] H. Rahmad, Z. Khalida, and S. Arif, “ANALISA TRANSFER PANAS PADA KONDENSASI LUAR DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERANT R-134a,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 383–391, Aug. 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i2.998.
- [9] M. Mirmanto, I. B. Alit, and Y. Anggani, “Fin-Fan Dan Single Fan Heat,” *Rekayasa Mesin*, no. February 2018, pp. 1–8, 2018.
- [10] P. Kumar and A. Dhar, *Basics of Thermodynamics*. New Delhi: All India Councilfor Technical Education, 2020.
- [11] J. H. Lienhard V and J. H. Lienhard IV, *A Heat Transfer Textbook*. Houston: Phlogiston Press, 2024.
- [12] F. Incropera, D. DeWitt, T. Bergman, and A. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 2007.
- [13] E. Kuhn and L. Dresner, “The effect of fluctuations in the reaction widths on resonance integrals,” *J. Nucl. Energy*, vol. 7, pp. 69–70, 1958, doi: 10.1016/0891-3919(58)90232-8.
- [14] D. M. Rowe, *Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano*. Utah, USA: CRC Press, 2018. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=4yaNEQAAQBAJ>
- [15] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. USA: McGraw-Hill, 1988.
- [16] S. B. Riffat and X. Ma, “Thermoelectrics: a review of present and potential applications,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 23, no. 8, pp. 913–935, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00012-7).
- [17] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion*

*Engine*. New Jersey: Pearson, 1997.

- [18] K. Wang, C. Zhao, and Y. Cai, "Effect of Intake Air Humidification and EGR on Combustion and Emission Characteristics of Marine Diesel Engine at Advanced Injection Timing," *J. Therm. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 1174–1186, 2021, doi: 10.1007/s11630-021-1460-1.