

PEMANFAATAN TERMOELEKTRIK UNTUK PEREDUKSI EMISI DIESEL KONVENSIONAL : STUDI EFEKTIVITAS EKSPERIMENT VARIASI TEGANGAN LISTRIK PADA MODUL PELTIER

Setya Wijayanta¹, Ananta Salman Hadito², Muhammad Bagas Fu'ad Fauzi³ and Dendy Dimas Dwi Saputra⁴

¹Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

²Taruna Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

³Taruna Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

⁴Taruna Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

ABSTRAK

Transportasi merupakan sektor vital yang berperan penting dalam pembangunan berkelanjutan, kendaraan bermotor saat ini merupakan penyumbang utama dari pencemaran udara di Indonesia. Mesin diesel menghadapi tantangan dalam mereduksi opasitas gas buangnya yang mengandung gas berbahaya, hal tersebut menjadi salah satu penyebab gangguan kesehatan khususnya pernapasan. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan mendesain alat pereduksi emisi gas buang. Penggunaan pemanas bahan bakar dapat mereduksi emisi gas buang pada mesin diesel berbasis *Thermo Electric Cooler*. Di sisi lain, sistem bahan bakar mesin diesel dapat dimanfaatkan sebagai penyerap panas. Efek dari proses penyerapan panas pada sisi panas TEC tersebut adalah terjadinya peningkatan temperatur pada bahan bakar, sehingga dapat penurunan emisi gas buang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh penggunaan variasi tegangan listrik (voltase) yang dialirkan dalam modul TEC terhadap perubahan temperatur pada modul peltier dan emisi gas buang yang dihasilkan. Eksperimen menggunakan *engine stand* diesel konvensional, *thermoelectric cooler* (TEC-12706), aluminium *heat exchanger*, *stepdown* dan *radiator fan* Set. Alat ukur yang digunakan yaitu *thermocouple type K*, *thermometer* data logger, watt meter dan *smoke tester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sistem ini *thermoelectric* dapat mencapai temperatur terendah 6,9°C (TEC 1) dan 7,6°C (TEC 2), penurunan opasitas gas buang mencapai 13,8% dengan temperatur 41,5°C. Penerapan sistem *thermoelectric cooler* yang dimanfaatkan sebagai *dual* fungsi pendingin dan pereduksi emisi gasbuang terbukti efektif dalam mereduksi emisi pada mesin diesel konvensional. Melihat temperatur pada sisi dingin TEC sangat berpotensi dikembangkan sebagai pendingin dalam teknologi otomotif seperti pendingin kabin mobil, pendingin komponen dan elektronik lainnya.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima:

Direvisi:

Disetujui:

KATA KUNCI

Emisi

Ramah Lingkungan,

Thermoelectric Cooler

Diesel Konvensional

KONTAK:

setya_w@pktj.ac.id

anantasalman.h@gmail.com

bagasfuad68@gmail.com

dendydimas2@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan sektor vital yang berperan penting dalam pembangunan berkelanjutan, setiap tahunnya jumlah kendaraan akan terus meningkat (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2025). Kendaraan bermotor saat ini merupakan salah satu jantung transportasi, namun juga salah satu penyumbang utama dari pencemaran udara di Indonesia terutama pada kota-kota besar [1]. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Vital Strategies (2023) [2] ditemukan bahwa kendaraan bermotor menyumbang *particulate matter* 2.5 sebesar 32-57% sebagai salah satu sumber utama polusi udara yang

dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan di kota Jakarta. Polusi udara dapat mengakibatkan resiko kematian jika dibandingkan dengan ancaman bahaya akibat merokok, konsumsi alkohol, HIV/AIDS dan malaria [3].

Realitanya kendaraan dengan *internal combustion engine* menjadi salah satu yang diminati oleh Perusahaan angkutan di Indonesia. Hal tersebut karena mesin diesel konvensional yang memiliki keunggulan dalam hal efisiensi termal yang lebih baik jika dibandingkan dengan mesin bensin karena mampu menghasilkan torsi yang lebih besar dengan konsumsi bahan bakar yang relatif

lebih rendah. Akan tetapi mesin diesel konvensional juga menghadapi tantangan dalam mereduksi opasitas gas buangnya yang mengandung gas berbahaya seperti *particulate matter* (PM), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NOx) serta memicu pembentukan ozon troposferik (O_3) yang merusak kesehatan tubuh [4], [5].

Aspek kelestarian lingkungan dampak dari emisi gas buang kendaraan bermotor khususnya pada mesin diesel konvensional selalu menjadi perhatian penting bagi semua kalangan baik regulator, akademisi maupun industri, karena banyaknya minat dari masyarakat. Salah satu cara untuk menekan polusi dari sektor transportasi yaitu dengan mematuhi regulasi yang telah ditetapkan oleh pemerintah pada Permen LHK No. 8 Tahun 2023 atau dengan melakukan inovasi, yaitu mendesain alat pereduksi emisi gas buang pada mesin diesel yang ramah lingkungan.

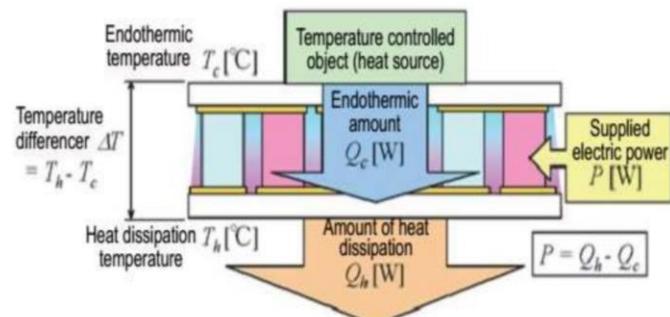
Untuk membantu mewujudkan SDGs taransportasi zero emissions, para peneliti telah melakukan inovasi terkait alat perduksi emisi seperti *catalytic converter* dan *exhaust gas recirculation*, namun ada salah satu penelitian yang paling menarik dan memiliki nilai ekonomis yaitu dengan menggunakan pemanasan bahan bakar untuk mereduksi emisi. Penggunaan pemanas dalam sistem bahan bakar pada mesin diesel dapat mereduksi emisi gas buang [6], [7], [8] *Thermo Electric Cooler* (TEC) atau *peltier* memiliki dua sisi yang dapat menghasilkan sisi panas dan sisi dingin, bekerja berdasarkan efek *peltier* [9]. Sisi panas pada TEC berpotensi dapat dimanfaatkan sebagai pemanas bahan bakar, dalam inovasi pada teknologi otomotif hal ini belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya. Kemudian sisi dingin TEC atau *peltier* dapat dimanfaatkan untuk inovasi terkait kenyamanan dan keamanan seperti yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu menggunakan media penyerap panas udara dan air [10], [11], [12].



Gambar 1. Komponen TEC Atau *Peltier* [13]

Kontrol pada temperatur pada modul TEC dapat dapat diatur dengan mengatur arus listrik dan tegangan yang digunakan dan meningkatkan perpindahan panas pada sisi panas sehingga dapat meningkatkan pendinginan

pada sisi dingin [14]. TEC yang memanfaatkan efek *peltier* dalam sistem kerjanya, dapat secara efektif dikombinasikan dengan sistem aliran fluida untuk penyerapan panas pada salah satu sisi sehingga dapat meningkatkan efisiensi pendinginan pada TEC atau *peltier* [15].



Gambar 2. Kesetimbangan Energi TEC [16]

Daya listrik (P) menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh sistem adalah selisih antara panas yang diterima dan panas yang dilepaskan, hal ini konsisten dengan prinsip dasar termodinamika yang menyatakan bahwa daya yang dihasilkan oleh mesin panas adalah hasil dari perbedaan aliran panas antara dua reservoir [17].

Sistem bahan bakar menjadi sumber penggerak utama pada mesin konvensional, berpotensi direkayasa dan dimanfaatkan sebagai penyerap panas pada TEC. *Heat exchanger* dapat dianggap sebagai jenis alat penukar panas pelat, dirancang untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas. *Heat exchanger* terdiri dari pelat logam yang memiliki saluran untuk aliran, yang memungkinkan panas TEC kemudian ditransfer ke fluida yang mengalir di dalamnya [18]. Radiator merupakan salah satu *heat exchanger* yang memiliki fungsi khusus yaitu sebagai pelepas panas. semakin besar luas dimensi radiator akan semakin baik pelepasan panas yang dihasilkan [19] Sebagai bentuk kebaruan (novelty)

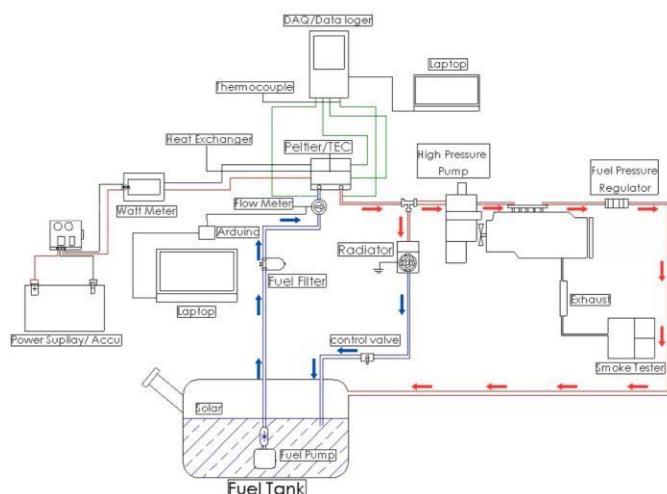
Penelitian ini mengkaji secara eksperimental pemanfaatan sistem bahan bakar pada mesin diesel konvensional sebagai penyerap panas pada sisi panas TEC, pemanfaatan sisi dingin sebagai inovasi pendinginan pada kendaraan kedepannya (dual fungsi *peltier*) dan pengaruh variasi tegangan listrik (voltase) yang masuk ke dalam TEC. Sebagai bagian dari generasi penerus yang memiliki peran dalam mencapai Indonesia Emas 2045, penulis mencoba memberikan inovasi teknologi ini sebagai kontribusi nyata dalam pencapaian SDGs, khususnya dalam bidang teknologi otomotif yaitu transportasi yang rendah emisi dan ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif yang akan membahas terkait sistem untuk melihat kinerja optimal dari dual fungsi TEC dengan memvariasikan Voltase.

A. Skema Penelitian

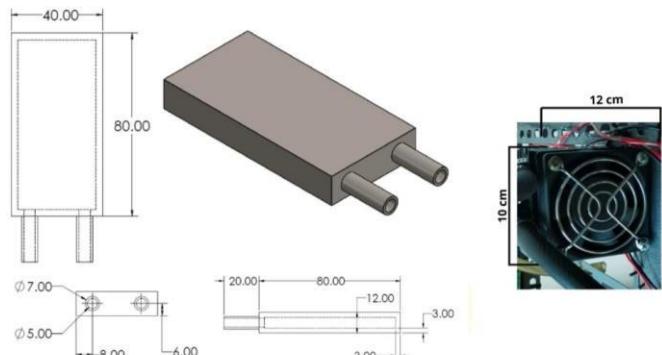
Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif yang dilakukan di laboratorium kampus Politeknik Keselamatan Jalan. Skema 2D eksperimen pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dalam eksperimen ini penulis menggunakan alat dan bahan yaitu, *engine stand* diesel konvensional, *peltier* (TEC-12706), *stepdown*, aluminium *heat exchanger* (HE) dan *radiator fan* set (RD). Sementara itu, alat ukur yang digunakan yaitu meliputi *thermocouple type K*, thermometer data logger, *scan tool*, watt meter dan *smoke tester*.



Gambar 3. Skema Penelitian

Ketika listrik dari baterai (accu) dihubungkan dengan TEC (diatur oleh *stepdown*), maka akan menimbulkan perbedaan temperatur pada kedua sisi TEC (ΔT). Kemudian satu sisi TEC akan terjadi penyerapan panas pada sisi dingin dan sisi lain terjadi pelepasan panas pada sisi panas oleh bahan bakar. Besarnya perbedaan temperatur ΔT (*Heat* – *Tcool*) dari modul TEC mendekati tetap atau konstan. Untuk menurunkan *Heat*, sisi panas modul TEC ditempelkan pada *heat exchanger* yang telah disambungkan dengan saluran bahan bakar yang terletak diantara *fuel filter* dan *high pressure pump*. Bahan bakar dari tangki akan dipompa menuju *fuel filter*, kemudian dialirkan masuk ke *heat exchanger* untuk menyerap dan memindahkan panas (debit diukur menggunakan *flow meter*). Setelah keluar dari *heat exchanger*, bahan bakar dialirkan pada dua cabang aliran, satu cabang aliran diteruskan ke *high pressure pump* dan *nozzle* untuk diinjeksikan masuk ke ruang bakar mesin, kemudian satu cabang aliran bahan bakar lainnya diteruskan menuju radiator untuk melepas kalor kemudian kembali ke dalam tangki. Hasil pembakaran di dalam ruang bakar mesin tersebut selanjutnya dibuang melalui *mufler*. Emisi gas buang yang keluar dari *mufler* diukur menggunakan *smoke tester*. Pada penelitian ini menggunakan *heat exchanger* alumunium (80x 40 x 12mm) ketebalan 3 mm dikombinasikan dengan *radiator* (100 x 120 x 30

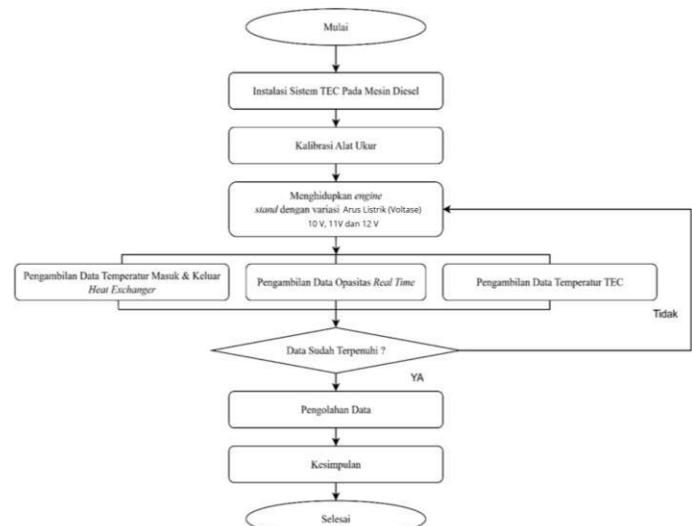
mm), terkait desain *heat exchanger* yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4** dibawah.



Gambar 4. Desain Heat Exchanger dan Radiator

B. Pengolahan Data

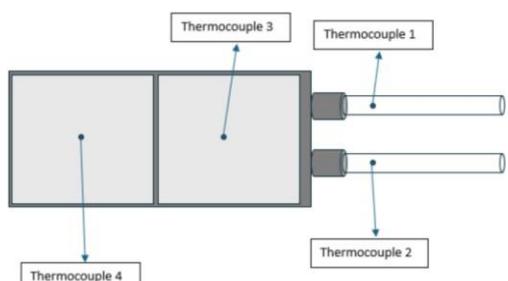
Dalam sebuah penelitian diperlukan pengolahan data untuk dapat menyimpulkan hasil dari penelitian. Proses pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan 3 (tiga) variasi tegangan listrik (voltase) terhadap kinerja TEC pada sistem pereduksi emisi dan pending ini (10 V, 11 V dan 12 V). Kemudian dilakukan sesuai prosedur pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 5. Flowcard Pengolahan Data

Data yang diambil meliputi: data variasi arus listrik yang dihubungkan ke TEC dengan kecepatan mesin 3000 RPM, data perubahan temperatur pada sisi dingin TEC, data perbedaan temperatur bahan bakar di antara dua lokasi (sebelum dan setelah memasuki *heat exchanger*) dan data emisi gas buang (opacity) pada **Gambar 6**. Arus listrik dan tegangan diatur menggunakan *stepdown* kemudian diukur menggunakan watt meter. RPM *engine* diukur menggunakan *scantool*. Perubahan temperatur pada TEC yang diperoleh dari sensor *thermocouple*, berupa data digital menggunakan alat pencatat data (data logger) untuk selanjutnya di simpan ke dalam laptop. Selanjutnya, data perubahan temperatur pada tiap variasi

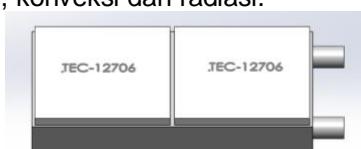
arus listrik yang mengalir di TEC diolah ke dalam bentuk grafik *time series* dan dihitung nilai reratanya, sehingga dapat diperoleh gambaran mengenai pengaruh variasi voltase terhadap perubahan temperatur pada TEC. Perbedaan temperatur bahan bakar di antara dua lokasi (sebelum dan setelah memasuki *heat exchanger*), kemudian teperatur minimum pada TEC 1 dan TEC 2 yang diperoleh dari sensor *thermocouple* (**Gambar 5**), diperoleh menggunakan data logger untuk selanjutnya di simpan ke dalam laptop dan diolah ke dalam bentuk *grafik time series* dan dihitung nilai reratanya. Sementara itu, data emisi gas buang diukur dengan *smoke tester* dan di simpan ke dalam laptop. Dari grafik time series dan rerata tersebut dapat diperoleh gambaran mengenai pengaruh perubahan temperatur bahan bakar akibat penyerapan panas pada sisi panas TEC terhadap emisi gas buang yang dihasilkan



Gambar 6. Proses Penelitian dan Peletakan Sensor *Thermocouple*

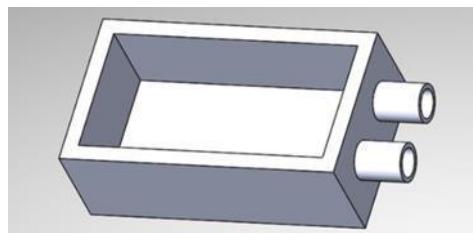
C. Heat Transfer

Perpindahan panas atau sering disebut *heat transfer* adalah proses alami yang sangat penting dalam berbagai aplikasi baik di bidang teknik dan ilmiah, dimana energi panas bergerak dari satu objek ke objek lain. Pada penelitian ini terkait pemanfaatan TEC sebagai pereduksi emisi dan pendingin pada kendaraan, proses perpindahan dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.



Gambar 7. Perpindahan Panas TEC ke Heat Exchanger

konduksi, perpindahan panas melalui bahan tanpa pergerakan massa, yang terjadi melalui kontak langsung antara partikel-partikel dalam suatu zat terutama pada bahan padat. Penerapan perpindahan panas secara konduksi dalam penelitian ini terjadi pada *heat exchanger* yang di tempel TEC (**Gambar 7**).



Gambar 8. Perpindahan Panas *Heat Exchanger* yang Dipindahkan BBM

Konveksi transfer energi termal yang terjadi antara permukaan benda padat dan fluida yang mengalir di sekitarnya, proses ini melibatkan kombinasi dari konduksi, perbedaan densitas, dan percampuran partikel dalam konveksi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu konveksi paksa dan konveksi alami. Penerapan perpindahan panas secara konduksi dalam penelitian ini terjadi pada saat bahan bakar melewati *heat exchanger* (**Gambar 8**).



Gambar 9. Pelepasan Panas BBM Oleh Radiator

Radiasi perpindahan energi atau transfer panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik, yang tidak memerlukan medium untuk berlangsung dan dapat terjadi melalui ruang hampa. Perpindahan panas secara konveksi dalam penelitian ini terjadi saat bahan bakar melewati radiator (**Gambar 9**). *Heat exchanger* pada umumnya dibuat dari bahan seperti aluminium atau *stainless steel*, yang dipilih karena konduktivitas termal dan sifat strukturalnya dalam menghantar kalor dengan baik. Dalam otomotif radiator merupakan komponen penting yang berfungsi untuk menghilangkan panas berlebih dari mesin yaitu radiator, termasuk salah *heat exchanger* yang memiliki fungsi khusus yaitu sebagai pelepas panas [19]. Struktur radiator umumnya terdiri dari logam yang dibentuk menjadi serangkaian pipa dan sirip, yang berperan dalam mentransfer panas dari cairan yang mengalir di dalam pipa radiator ke udara di sekitarnya. Laju pembuangan panas pada radiator sangat

dipengaruhi oleh kemampuan radiator dalam menyerap kalor dari fluida [20].

3. HASIL

A. Kalibrasi Alat Ukur

Proses kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan alat ukur dengan nilai standar yang telah ditetapkan. Hal ini penting agar data yang diperoleh benar-benar menunjukkan kondisi sebenarnya dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pada penelitian ini ada beberapa alat ukur yang perlu dikalibrasi yaitu *stepdown* yang dikombinasikan dengan watt meter dan *thermocouple* type K yang terintegrasi dengan data loger.

Watt meter digunakan untuk mempermudah saat mengontrol arus listrik yang digunakan TEC agar mendapatkan hasil yang valid pada penelitian. TEC akan disambungkan dengan step down kemudian diteruskan ke baterai kendaraan hal tersebut untuk mengontrol agar saat melakukan penelitian dapat mengontrol arus listrik yang digunakan TEC.



Gambar 10. Kalibrasi Stepdown dan Watt Meter

Watt meter yang tersabung ke *stepdown* menuju ke baterai kendaraan dibandingkan dengan multimeter untuk mengetahui perbedaan pembacaan antara watt meter dengan multimeter, menggunakan 5 variasi arus listrik yang mengalir menuju watt meter yang diatur oleh *stepdown*. Berikut hasil kalibrasi watt meter, dalam menentukan eror menggunakan persamaan :

$$Eror \% = \frac{Multimeter - Watt Meter}{Watt Meter} \times 100\% \quad (1)$$

Table 1. Hasil Kalibrasi Stepdown dan Watt Meter

Kalibrasi Watt Meter			
Percobaan	Multimeter	Watt Meter	Eror (%)
1	7,69	7,77	1,03
2	9,91	9,99	0,8
3	10,31	10,48	1,62
4	11,22	11,30	0,71
5	12,57	12,54	0,24
Rata-Rata		0,88	

Kalibrasi sensor *thermocouple* bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan peneliti akurat, untuk mengetahui akurasi dari alat data logger yang digunakan dilakukan dengan cara membandingkannya dengan standar atau tolak ukur yaitu dengan thermometer air raksa. Dengan demikian, peneliti dapat menentukan akurasi sensor *thermocouple* tersebut.



Gambar 11. Kalibrasi Thermocouple

Kalibrasi *thermocouple* yang terintegrasi dengan data logger dilakukan 5 kali percobaan dengan variasi temperatur yang berbeda, dibandingkan dengan thermometer air raksa. Pengukuran eror menggunakan persamaan :

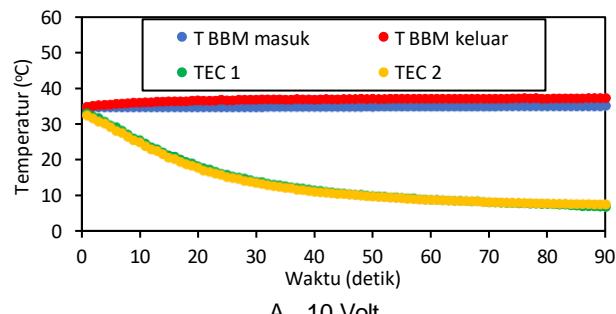
$$Eror \% = \frac{Thermocouple - Thermometer Air Raksa}{Thermometer Air Raksa} \times 100\% \quad (2)$$

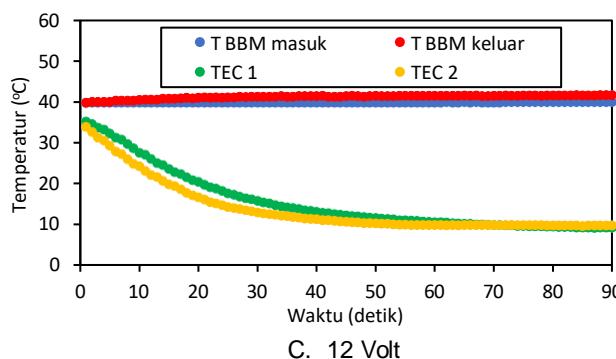
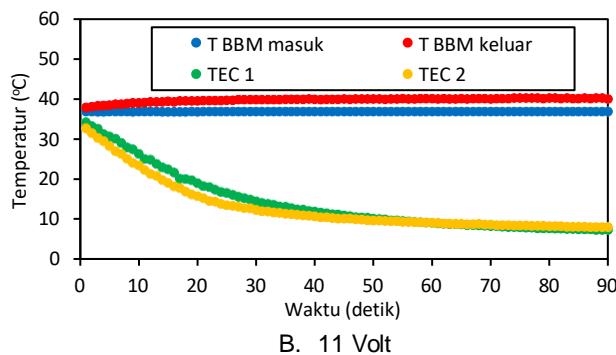
Table 2. Hasil Kalibrasi Thermocouple

Kalibrasi Data Loger Thermocouple				
Percobaan	Data Loger Thermocouple (°C)	Thermometer Air Raksa (°C)	Akurasi (%)	Eror (%)
1	17,45	16	90,9	9,1
2	18,65	18	96,4	3,6
3	21,83	21,9	99,7	0,3
4	28,7	28,6	99,7	0,3
5	46,4	45,5	98,0	2,0
Rata-Rata				3,1

B. Pengaruh Variasi Voltase terhadap Kinerja TEC

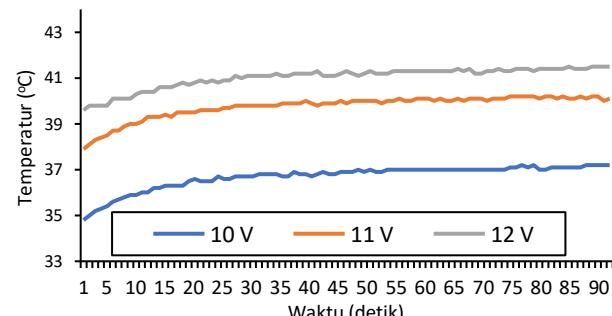
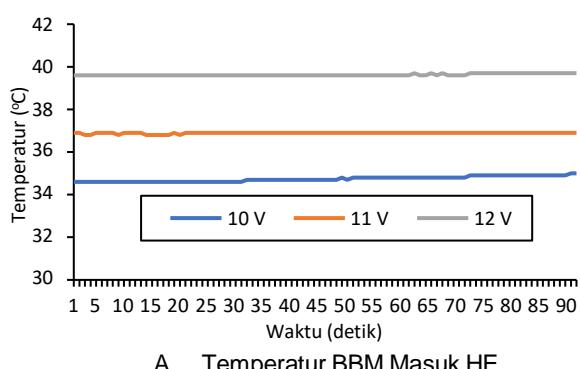
Dari proses pengambilan dan pengolahan data yang dilakukan, diperoleh hasil dan pembahasannya sebagai berikut :





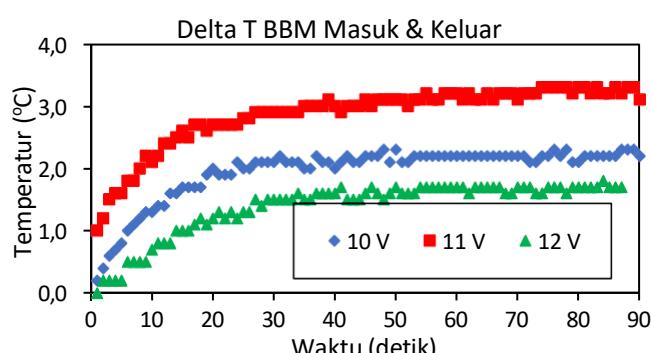
Gambar 12. Time Series Perubahan BBM dan TEC

Grafik *time series* perubahan temperatur bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* (HE), temperatur TEC 1 (dekat saluran masuk dan keluar bahan bakar) dan TEC 2 (lebih jauh dari saluran masuk dan keluar bahan bakar) dengan variasi voltase (10, 11 dan 12 Volt) ditunjukkan pada **Gambar 12**. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa, variasi tegangan listrik (voltase) dapat mempengaruhi temperatur bahan bakar setelah keluar dari *heat exchanger*, yaitu lebih tinggi dari temperatur bahan bakar sebelum masuk *heat exchanger*. Hal tersebut merupakan akibat dari penyerapan panas pada sisi panas TEC oleh bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TEC atau peltier dapat bekerja dengan sistem ini.



Gambar 13. Time Series Pemanas Bahan Bakar

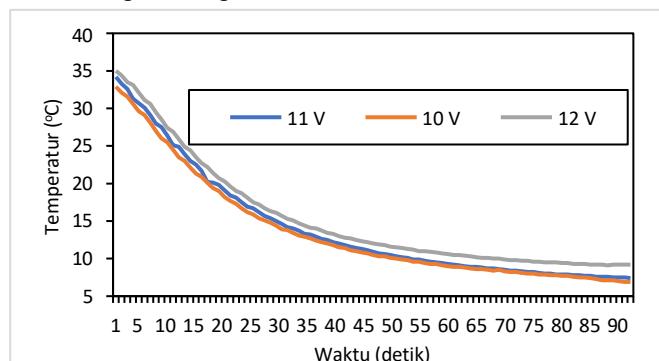
Perbandingan *time series* perubahan temperatur bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* dengan variasi tegangan listrik (10, 11 dan 12 V) ditunjukkan pada **Gambar 13**. Pada variasi tegangan 10 V, temperatur bahan bakar sebelum masuk *heat exchanger* dan setelah keluar *heat exchanger* jauh lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan tegangan listrik 11 dan 12 V. Temperatur bahan bakar dengan tegangan listrik 10 V saat sebelum melewati *heat exchanger* memiliki rerata 35°C, setelah melewati *heat exchanger* temperatur bahan bakar mencapai 37,2°C. Temperatur bahan bakar dengan tegangan listrik 11 V saat sebelum melewati *heat exchanger* memiliki rerata 36,9°C, setelah melewati *heat exchanger* temperatur bahan bakar mencapai 40,1°C. Sedangkan temperatur bahan bakar dengan tegangan listrik 12 V saat sebelum melewati *heat exchanger* memiliki rerata 39,7°C, setelah melewati *heat exchanger* temperatur bahan bakar mencapai 41,5°C.



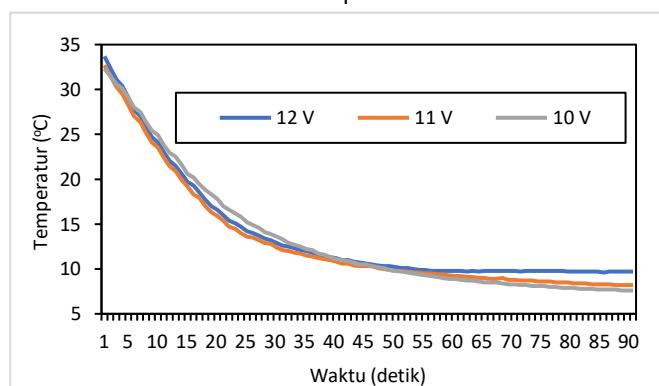
Gambar 14. Time Series Delta T Temperatur Bahan Bakar

Selain itu, hasil perbandingan *time series* perubahan perbedaan selisih temperatur antara bahan bakar (ΔT) sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* dengan variasi tegangan listrik (10, 11 dan 12 V) ditunjukkan pada **Gambar 14**. Perbedaan antara temperatur bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* terlihat mulai stabil setelah kurang

lebih 40 detik dari sistem TEC atau *peltier* mulai diaktifkan. Hal ini disebabkan oleh proses perambatan panas dari sisi panas TEC ke seluruh bagian aluminium *heat exchanger* membutuhkan waktu tertentu, sehingga proses perpindahan panas dari TEC atau *peltier* ke aluminium *heat exchanger* kemudian di serap atau lepas oleh bahan bakar juga membutuhkan waktu agar sistem ini bisa bekerja dengan stabil. Setelah 40 detik dari mulai pengambilan data terlihat bahwa seiring meningkatnya kecepatan putar mesin, temperatur bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* juga cenderung meningkat.



A. Temperatur TEC 1



B. Temperatur TEC 2

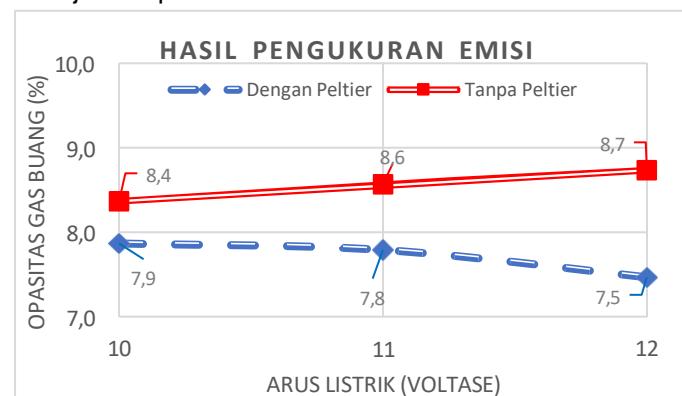
Gambar 15. Time Series Temperatur Minimum TEC

Perbandingan *time series* perubahan temperatur pada sisi dingin TEC 1 (dekat saluran bahan bakar masuk dan keluar HE) dan TEC 2 (lebih jauh dari saluran bahan bakar masuk dan keluar HE) dengan variasi tegangan listrik (10, 11 dan 12 V) ditunjukkan pada **Gambar 15**. Perubahan temperatur pada sisi dingin TEC 1 dan TEC 2 terlihat mulai stabil setelah kurang lebih 60 detik dari sistem Pendingin berbasis TEC mulai diaktifkan. Hal ini disebabkan oleh proses pelepasan panas pada TEC atau *peltier* membutuhkan waktu tertentu, ketika penyerapan panas pada TEC oleh bahan bakar sudah stabil maka sistem pendingin pada TEC juga akan stabil. Sesuai dengan mekanisme kerja dari TEC atau *peltier*, yaitu pendinginan akan semakin maksimal jika penyerapan panas pada TEC lebih optimal. Selain itu terlihat bahwa

semakin tinggi tegangan listrik yang dialirkan menuju TEC, temperatur pada sisi dingin TEC 1 dan TEC 2 juga semakin tinggi. Temperatur minimum sisi dingin TEC pada variasi tegangan listrik 10 V mencapai 6,9°C pada TEC 1 dan 7,6°C pada TEC 2. Temperatur minimum sisi dingin TEC pada variasi tegangan listrik 11 V mencapai 7,4°C pada TEC 1 dan 8,2°C pada TEC 2. Temperatur minimum sisi dingin TEC pada variasi tegangan listrik 12 V mencapai 9,2°C pada TEC 1 dan 9,7°C pada TEC 2.

C. Pengaruh Pemanas Bahan Bakar Berbasis TEC Terhadap Emisi Gas Buang

Perbandingan emisi (opasitas) gas buang antara mesin dengan penyerapan panas bahan bakar dan tanpa penyerapan panas bahan bakar dari sisi panas *peltier* dengan variasi tegangan listrik (10, 11 dan 12 V) ditunjukkan pada **Gambar 16**.



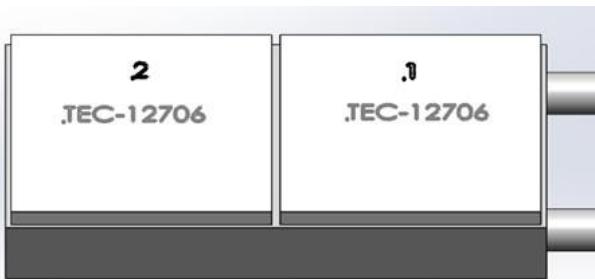
Gambar 16. Perbandingan Hasil Uji Emisi Gas Buang

Pada penelitian ini (Grafik diatas) terdapat perbedaan hasil emisi gas buang saat menggunakan sistem pemanas bahan bakar berbasis TEC atau *peltier* dan saat tidak menggunakan pemanas bahan bakar. Penyerapan panas bahan bakar dari sisi panas TEC berpengaruh terhadap penurunan opasitas gas buang mesin, di mana pengaruhnya semakin meningkat seiring dengan peningkatan tegangan listrik yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya peningkatan perubahan perbedaan temperatur antara temperatur bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* seiring dengan peningkatan tegangan listrik. Penurunan emisi gas buang pada variasi tegangan listrik 10 V mencapai 5,9%, penurunan emisi gas buang pada variasi tegangan listrik 11 V mencapai 9,3%, dan penurunan emisi gas buang pada variasi tegangan listrik 12 V mencapai 13,8%.

4. PEMBAHASAN

Temperatur dari data hasil penelitian pada *grafik time series* **Gambar 12** dan **Gambar 13** menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan listrik yang dialirkan menuju TEC, perbedaan temperatur antara bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* juga

cenderung meningkat. Dengan kata lain, peningkatan tegangan listrik yang digunakan TEC berpengaruh terhadap pemanasan bahan bakar akibat perpindahan panas dari TEC ke bahan bakar melalui aluminium *heat exchanger*. Hal tersebut bersesinambungan dengan data hasil dari penelitian pada Gambar 16 menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan listrik yang dipakai, temperatur pada sisi dingin TEC 1 dan TEC 2 juga semakin tinggi/meningkat. Pada penelitian ini Temperatur terendah sisi dingin TEC pada tegangan listrik 10 V sebesar pada TEC 1 mencapai 6,9°C dan 7,6°C pada TEC 2. Sedangkan temperatur tertinggi pada pemanasan bahan bakar mencapai 41,5°C pada variasi tegangan listrik 12 V.



Gambar 17. Peletakan TEC

Selain itu grafik time series pada **Gambar 17** diatas juga menunjukkan bahwa temperatur TEC 1 (dekat saluran masuk dan keluar *heat exchanger*) lebih rendah dibandingkan dengan temperatur TEC 2 (lebih jauh dari saluran masuk dan keluar *heat exchanger*). Hal ini disebabkan bahan bakar mengalir memasuki *heat exchanger* dengan temperatur yang masih rendah pertama kali menyerap panas dari sisi panas TEC 1, berikutnya baru menyerap panas dari sisi panas TEC 2 dengan temperatur bahan bakar yang lebih tinggi dari sebelumnya. Dengan demikian, proses perpindahan/penyerapan panas dari sisi panas ke bahan bakar pada TEC 1 lebih besar dibandingkan dengan penyerapan panas yang terjadi pada TEC 2. Hal tersebut memperkuat penelitian sebelumnya, bahwa proses perpindahan/penyerapan panas dari sisi panas TEC oleh bahan bakar lebih besar dibandingkan dengan penyerapan panas yang terjadi pada TEC 2, karena penempatan TEC pada *heat exchanger* dengan posisi tertentu dapat mempengaruhi kinerja TEC [21], [22].

Dari Penelitian ini dapat dianalisa bahwa pengaruh variasi tegangan listrik (voltase) yang digunakan TEC berpengaruh terhadap kinerja TEC. Dengan menggunakan tegangan yang lebih tinggi maka hal tersebut akan meningkatkan kinerja TEC, hal ini bisa di lihat pada grafik *time series* terkait pemanasan bahan bakar, ditemukan semakin tinggi tegangan listrik yang digunakan semakin panas bahan bakar setelah melewati

heat exchanger. Sedangkan pada satu sisi dingin TEC akan mendapatkan dampak dari tingginya bahan bakar yang masuk ke dalam *heat exchanger*. Hal tersebut karena radiator yang digunakan pada penelitian ini tidak bisa melepas panas bahan bakar dengan baik ketika bahan bakar akan kembali lagi ke dalam tangki. Seiring berjalananya waktu bahan bakar yang ada dalam tangki akan semakin panas, akibatnya penyerapan panas yang terjadi Kembali ketika bahan bakar memasuki *heat exchanger* akan kurang optimal, sehingga sisi dingin yang dihasilkan juga kurang optimal.

Sementara itu, hasil penelitian yang dilakukan oleh (Rowane dkk., 2019 [23]; Barokah dkk., 2022 [24]) menunjukkan bahwa pemanasan bahan bakar pada mesin diesel akan menyebabkan densitas dan viskositas semakin berkurang. Hal ini menyebabkan proses atomisasi atau pengkabutan bahan bakar yang keluar dari nozzle semakin baik atau halus, sehingga homogenitas campuran antara udara dan bahan bakar di dalam ruang pembakaran mesin semakin baik. Hasilnya adalah pembakaran di dalam mesin menjadi lebih sempurna, sehingga emisi gas buang (opasitas) semakin turun sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 16**, di mana emisi gas buang (opasitas) yang dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar yang menyerap panas dari TEC atau *peltier* lebih rendah dibandingkan dengan bahan tanpa penyerapan panas dari TEC atau *peltier*. Hasil ini memperkuat eksperimen dari para peneliti sebelumnya, yang menunjukkan bahwa peningkatan temperatur bahan bakar berpengaruh terhadap penurunan emisi gas buang pada mesin [7], [8] Selain itu, penurunan opasitas gas buang yang dihasilkan oleh penyerapan panas bahan bakar dari sisi panas TEC atau *peltier* semakin meningkat seiring dengan peningkatan tegangan listrik yang digunakan TEC. Hal ini selaras dengan **Gambar 14** terkait delta T, dimana semakin bertambah tegangan listrik yang digunakan, perbedaan temperatur antara temperatur bahan bakar sebelum masuk dan setelah keluar *heat exchanger* juga cenderung bertambah. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan aliran bahan bakar pada mesin diesel untuk menyerap panas pada TEC atau *peltier* cukup signifikan untuk menurunkan opasitas gas buang dari mesin diesel konvensional.

5. KESIMPULAN

Dalam mewujudkan SDGs realization of net zero emissinos menuju transportasi ramah lingkungan para pemuda perlu mengembangkan teknologi, salah satunya yaitu dengan melakukan suatu penelitian untuk menemukan suatu inovasi baru terkait teknologi ramah lingkungan pada sektor transportasi. Penelitian ini berhasil menunjukkan upaya dalam pengurangan kadar polusi udara yang ditimbulkan transportasi khususnya pada mesin diesel konvensional, yang sering digunakan

kendaraan angkutan umum dan angkutan barang. Dengan memanfaatkan aliran bahan bakar pada sistem bahan bakar mesin diesel konvensional menggunakan *heat exchanger* yang dikombinasikan dengan radiator dapat mereduksi opasitas gas buang mencapai 13,8% dengan temperatur mencapai 41,5°C pada tegangan listrik 12 V. Temperatur minimum (sisi dingin) yang paling optimal pada sistem ini mencapai temperatur terendah sebesar 6,9°C (TEC 1) dan 7,6°C (TEC 2) dengan variasi tegangan listrik 10 V, hal ini sangat berpotensi digunakan untuk inovasi pada teknologi kendaraan bermotor. Besarnya tegangan listrik pada kendaraan diesel konvensional berpengaruh terhadap kinerja *thermoelectric cooler* atau *peltier*, karena semakin tinggi tegangan yang dihasilkan baterai maka kinerja TEC juga meningkat. Besarnya tegangan baterai akan mengubah hasil perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, semakin tinggi tegangan listrik yang digunakan, semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan pada sisi panas TEC. Sementara itu penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi pendingin dan pereduksi emisi berbasis TEC pada mesin diesel konvensional tidak hanya ramah lingkungan modul ini terbilang terjangkau dalam segi harga. Hal ini berpotensi untuk menghemat penggunaan energi listrik dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi jika digunakan dan di produksi untuk inovasi kendaraan bermotor. Penelitian ini layak dikembangkan lebih lanjut pada kendaraan sungguhan untuk dilakukan pengujian performa jangka panjang dan efisiensi secara menyeluruh. Serta perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan sistem yang lebih optimal. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat membawa transportasi menuju zero *emmisinos*. Untuk memaksimalkan sistem ini perlu dilakukan penelitian kembali terkait penggunaan variasi tegangan listrik pada baterai dikombinasikan dengan dimensi radiator yang lebih besar, agar bahan bakar yang kembali ke dalam tangki memiliki temperatur yang normal. Kemudian mengintegrasikan dengan sistem kontrol suhu otomatis berbasis mikrokontroler untuk meningkatkan efisiensi sistem TEC. Penggunaan model *heat exchanger* dan penambahan jumlah TEC atau *peltier* perlu dilakukan penelitian untuk mencari sistem yang paling optimal. Pengembangan lanjutan ini diharapkan dapat membawa dampak positif untuk inovasi teknologi kedepannya.

REFERENSI

- [1] J. Miles, "WHO global air quality guidelines," *Part. matter (PM2.5 PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide carbon monoxide.*, pp. 1–360, 2021.
- [2] V. Strategis, "Main Sources of Air Pollution in Jakarta," 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0078692.
- [3] M. Greenstone and Q. Fan, "Indonesia's Worsening Air Quality and its Impact on Life Expectancy," *Air Qual. Life Index*, no. March, pp. 1–10, 2019.
- [4] T. D. I. Bei, "Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta," *E - ISSN, J. Kaji. Tek. elektro*, vol. 2014, no. April, p. 2014, 2014.
- [5] W. Wagino, T. Sugiarto, D. Yuvenda, R. P. Putra, and A. Arif, "Pengaruh Aplikasi Teknologi EGRICS Tipe Cold terhadap Emisi Asap pada Mesin Diesel," *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 20, no. 2, pp. 89–96, 2020, doi: 10.24036/invotek.v20i2.716.
- [6] P. Pemanasan, B. Bakar, D. Penambahan, D. C. Gumilang, D. Susilo Wijayanto, and H. Bugis, "Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar dan Penambahan Biodiesel dalam Solar terhadap Opasitas Mesin Diesel Mitsubishi L300," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 3, pp. 83–86, 2016.
- [7] S. Syarifudin, "Pengaruh Penggunaan EGR Panas Terhadap Daya Dan Emisi Jelaga Mesin Diesel," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 47–49, 2020, doi: 10.30591/nozzle.v9i2.2264.
- [8] M. S. Tappy *et al.*, "Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Pada Mesin Diesel Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Metode Heat Recovery Jacket Cooler," *J. Bluefin Fish.*, vol. 2, no. 1, p. 29, 2020, doi: 10.15578/jbf.v2i1.61.
- [9] Z. Nichols, "Application of Peltier Temperature Control Using," vol. 9, no. 2, pp. 1250–1258, 2022.
- [10] Tuapetel, "Rancang Bangun Sistem Pendingin Sekunder Untuk Kabin Mobil Dengan Memanfaatkan Thermoelektrik (TEC)," *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 3, no. 1, p. 18, 2019, doi: 10.31543/jtm.v3i1.244.
- [11] Y. Lyu, A. R. M. Siddique, S. A. Gadsden, and S. Mahmud, "Experimental investigation of thermoelectric cooling for a new battery pack design in a copper holder," *Results Eng.*, vol. 10, no. March, p. 100214, 2021, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100214.
- [12] C. Qalbi, K. Deliasgarin Radyantho, and Y. Nickolas, "Pengaruh Penggunaan Pendingin Baterai Terhadap Temperatur Baterai Sepeda Motor Listrik Viar," *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.33379/metrotech.v2i1.2047.
- [13] Nandy Putra & Axel Hidayat, "Pengembangan Alat Uji Kualitas dan Karakteristik Elemen Peltier," *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin V*, no. November, pp. 21–23, 2006.
- [14] Y. Cai, Y. Wang, D. Liu, and F. Y. Zhao, "Thermoelectric cooling technology applied in the

- field of electronic devices: Updated review on the parametric investigations and model developments," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 148, no. September 2018, pp. 238–255, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.11.014.
- [15] E. Yudiyanto, R. S. Setiabudi, A. Hardjito, S. Adiwidodo, and B. Pranoto, "Effect of Velocity and Type of Cooling Fluid on Peltier Heat Transfer for Car Cabin Cooling Applications," *J. Sci. Appl. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 76, 2022, doi: 10.31328/jsaee.v5i2.4036.
- [16] F. I. B. Ibrahim, "Studi Eksperimental Karakteristik Dan Performa TEC (Thermoelectric Cooler) 1-12706," p. 87, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/46577/>
- [17] İ. Temizer and C. İlkilic, "Electrical energy production by using waste exhaust energy of internal combustion diesel engines," *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 23, no. 4, pp. 330–336, 2017, doi: 10.5505/pajes.2016.64935.
- [18] I. C. Setiawan, "Automotive Experiences," *Automot. Exp.*, vol. 2, no. 1, p. 8, 2019.
- [19] F. Aryatama and H. Hardjono, "Uji Efektivitas Perpindahan Panas Radiator Coolant Menggunakan Double Pipe Heat Exchanger," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 9, no. 1, pp. 106–113, 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i1.532.
- [20] widi widayat Briyartendra, "Jurnal Inovasi Mesin," vol. 4, no. 2, pp. 2–7, 2019.
- [21] Kennedy, K. Anwar, A. Muis, B. Basri, and M. Ilhamsyah, "Erratum: Effect of thermoelectric placement on the commercial waterblock to the liquid cooling system performance (J. Phys.: Conf. Ser. (2021) 1763 (012039) DOI: 10.1088/1742-6596/1763/1/012039)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1763, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1763/1/012095.
- [22] B. Y. Prasetyo, A. Badarudin, A. P. E. Sukamto, and R. Muliawan, "Investigasi Eksperimental Performa Sistem Pendingin Multi-Termoelektrik Dengan Konfigurasi Termal Seri Dan Paralel," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 8, no. 2, p. 123, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i2.427.
- [23] A. J. Rowane *et al.*, "Effect of Composition, Temperature, and Pressure on the Viscosities and Densities of Three Diesel Fuels," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 64, no. 12, pp. 5529–5547, 2019, doi: 10.1021/acs.jced.9b00652.
- [24] B. Barokah, S. Semin, B. Cahyono, B. Sampurno, A. I. Ramadhani, and M. B. Fikri, "The Phenomenon of Biodiesel Heating: Its Effect on Viscosity, Density, and Emission," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 7, no. 4, pp. 213–217, 2022, doi: 10.12962/j25481479.v7i4.14827.

BIOGRAFI PENULIS



Setya Wijayanta

lahir di Kulon Progo pada tanggal 22 Mei 1981. Beliau adalah Dosen pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal, Indonesia. Beliau meraih gelar Sarjana Teknik (S.Pd.T.) dari Universitas Negeri Yogyakarta gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang Teknik Mesin dari Universitas Indonesia dan gelar Doktor dalam bidang Teknik Mesin dari Universitas Gajah Mada. Sejak diangkat sebagai dosen, beliau aktif melakukan penelitian dan pembinaan mahasiswa dalam prodi Teknologi Rekayasa Otomotif pada topik Sistem Chasis dan Body Otomotif, Sistem Rem, Sistem Engine Otto, Kelistrikan Body, Kelistrikan Engine, Metodologi Penelitian, Serta Sistem Pneumatic dan Hydraulic. Beliau telah menerbitkan banyak makalah di prosiding dan jurnal nasional maupun internasional.



Ananta Salman Hadito

merupakan Taruna Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal, yang mulai menempuh pendidikan tinggi sejak tahun 2021. Sejak awal perkuliahan, ia menunjukkan minat dan komitmen yang tinggi terhadap bidang Teknologi Rekayasa Otonotif, khususnya pada sistem engine otto, sistem manajemen keselamatan angkutan umum, keselamatan Kesehatan kerja, serta integrasi teknologi dalam sistem kelistrikan. Kecintaannya terhadap dunia teknologi mendorongnya untuk aktif mengikuti berbagai program pengembangan diri guna memperluas wawasan dan memperdalam pemahaman teknis yang aplikatif serta relevan dengan perkembangan industry dan teknologi otomotif. Dengan bekal pengetahuan teoritis dan pengalaman praktis yang dimiliki, ia memiliki aspirasi untuk berkontribusi secara aktif dalam pengembangan teknologi otomotif, dan berorientasi pada keberlanjutan. Ia juga berkomitmen untuk membangun peran sebagai generasi teknologi yang inovatif dan bertanggung jawab.



Muhammad Bagas Fu'ad Fauzi

merupakan Taruna Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal, yang mulai menempuh pendidikan tinggi sejak tahun 2022. Sejak awal perkuliahan, ia menunjukkan minat dan komitmen yang tinggi terhadap bidang Teknologi Rekayasa Otonotif, khususnya pada sistem engine otto, sistem manajemen

keselamatan angkutan umum, keselamatan Kesehatan kerja, serta integrasi teknologi dalam sistem kelistrikan. Kecintaannya terhadap dunia teknologi mendorongnya untuk aktif mengikuti berbagai program pengembangan diri guna memperluas wawasan dan memperdalam pemahaman teknis yang aplikatif serta relevan dengan perkembangan industry dan teknologi otomotif. Dengan bekal pengetahuan teoritis dan pengalaman praktis yang dimiliki, ia memiliki aspirasi untuk berkontribusi secara aktif dalam pengembangan teknologi otomotif, dan berorientasi pada keberlanjutan. Ia juga berkomitmen untuk membangun peran sebagai generasi teknologi yang inovatif dan bertanggung jawab.

**Dendy Dimas Dwi Saputra**

merupakan Taruna Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal, yang mulai menempuh pendidikan tinggi sejak tahun 2023. Sejak awal perkuliahan, ia menunjukkan minat dan komitmen yang tinggi terhadap bidang Teknologi Rekayasa Otomotif, khususnya pada sistem engine otto, sistem manajemen keselamatan angkutan umum, keselamatan Kesehatan kerja, serta integrasi teknologi dalam sistem kelistrikan.

Kecintaannya terhadap dunia teknologi mendorongnya untuk aktif mengikuti berbagai program pengembangan diri guna memperluas wawasan dan memperdalam pemahaman teknis yang aplikatif serta relevan dengan perkembangan industry dan teknologi otomotif. Dengan bekal pengetahuan teoritis dan pengalaman praktis yang dimiliki, ia memiliki aspirasi untuk berkontribusi secara aktif dalam pengembangan teknologi otomotif, dan berorientasi pada keberlanjutan. Ia juga berkomitmen untuk membangun peran sebagai generasi teknologi yang inovatif dan bertanggung jawab.