

Perancangan dan Evaluasi Sistem Pendingin untuk *Controller* pada *Shuttle* Bus Listrik Hasil Konversi

Nissa Nurul Arifah¹, Sultan Muhammad Adi Pratama², Sriyono³, Ramdhani^{4*}, Tatang Permana⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

*Penulis Korespondensi, email: ramdhani@upi.edu

Received: 18/07/2025

Revised: 26/07/2025

Accepted: 26/07/2025

Abstract. This article discusses the design and performance evaluation of a liquid cooling system for the controller unit of a converted electric shuttle bus. Thermal issues in electric vehicle (EV) conversions, particularly within the controller component, pose significant challenges that can reduce efficiency and shorten system lifespan. The evaluation was conducted through experimental comparisons of controller Temperature and efficiency under two conditions: before and after the application of the cooling system, across various vehicle speeds ranging from 20 to 50 km/h. Key equipment used includes a dynamometer, Hioki Power Analyzer, and infrared thermometer. The results indicate a Temperature reduction of 2.4–4.3°C and an increase in controller efficiency by 2.76–4.37%. Temperature and efficiency graphs show significant differences between the two test conditions, confirming the system's effectiveness. In conclusion, the liquid cooling system has proven effective in enhancing thermal performance and controller efficiency in converted electric shuttle buses. This study offers practical contributions to the development of low-cost thermal management systems for electric vehicles and recommends further research, including statistical validation, to strengthen the reliability of the findings.

Keywords: Electric vehicle, Controller, Cooling system, Vehicle conversion, Shuttle bus

Abstrak. Artikel ini membahas perancangan dan evaluasi kinerja sistem pendingin cairan pada unit *controller* *shuttle bus* listrik hasil konversi. Permasalahan termal pada kendaraan listrik hasil konversi, khususnya pada komponen *controller*, menjadi tantangan serius yang dapat menurunkan efisiensi dan memperpendek umur pakai sistem. Evaluasi dilakukan melalui perbandingan eksperimental terhadap suhu dan efisiensi *controller*. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi: sebelum dan sesudah menggunakan sistem pendingin, pada variasi kecepatan kendaraan antara 20 hingga 50 km/jam. Alat yang digunakan antara lain, *dynamometer*, *Hioki Power Analyzer*, dan *thermometer infrared*. Hasil penelitian menunjukkan penurunan suhu kerja sebesar 2,4–4,3°C dan peningkatan efisiensi *controller* sebesar 2,76–4,37%. Grafik efisiensi dan suhu menunjukkan perbedaan signifikan antara dua kondisi yang menunjukkan efektivitas sistem. Kesimpulannya, sistem pendingin cairan terbukti efektif dalam meningkatkan performa termal dan efisiensi *controller* pada *shuttle bus* listrik hasil konversi. Studi ini memberikan kontribusi praktis dalam pengembangan sistem manajemen termal kendaraan listrik berbiaya rendah dan merekomendasikan eksplorasi lebih lanjut terkait pengujian statistik untuk validasi hasil yang lebih kuat.

Kata Kunci: Kendaraan listrik, *Controller*, Sistem pendingin, Konversi kendaraan, *Shuttle bus*

I. PENDAHULUAN

Krisis energi global, ditambah dengan peningkatan emisi gas rumah kaca, telah mendorong dunia menuju penggunaan kendaraan yang lebih ramah lingkungan, termasuk kendaraan listrik atau *electric vehicle* (EV) [1], [2]. Kendaraan listrik dinilai lebih efisien dan memiliki emisi yang jauh lebih rendah dibandingkan kendaraan berbasis motor pembakaran dalam atau *internal combustion engine* (ICE) [3]. Salah satu solusi yang relevan

untuk negara berkembang adalah konversi kendaraan ICE menjadi kendaraan listrik guna mengurangi biaya investasi awal dan mempercepat penggunaan teknologi ramah lingkungan [4], [5].

Konversi kendaraan tidak sekedar melakukan penggantian sumber tenaga, tetapi juga memerlukan penyesuaian sistem pendukung seperti manajemen termal. *Motor controller* sebagai salah satu komponen utama dalam drivetrain EV, bertugas mengatur daya dan frekuensi arus ke motor listrik.

Proses *switching elektronik* pada *controller* menghasilkan panas tinggi yang dapat memengaruhi efisiensi dan umur pakai komponen jika tidak ditangani dengan tepat [6], [7], [8].

Manajemen termal menjadi sangat krusial karena kondisi suhu tinggi dapat menurunkan keandalan, mempercepat degradasi material, dan menimbulkan gangguan kinerja sistem [8], [9], [10]. Meskipun beberapa sistem pendingin pasif seperti *heatsink* dan ventilasi alami digunakan, efektivitasnya terbatas dalam aplikasi pada ruang sempit atau saat beban kerja tinggi. Sistem pendingin cairan telah terbukti memiliki konduktivitas panas lebih baik dan mampu menjaga kestabilan suhu kerja dalam berbagai aplikasi kendaraan listrik [11], [12], [13].

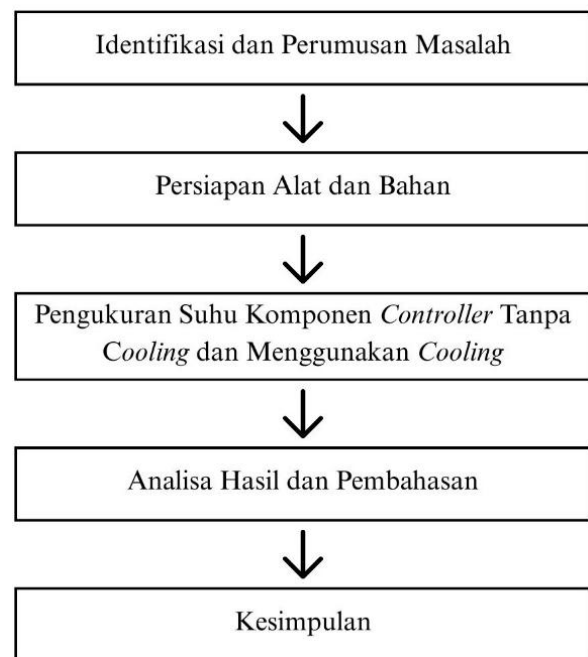
Sayangnya, sebagian besar kajian tentang pendinginan EV masih berfokus pada kendaraan pabrikan, sementara penelitian mengenai efisiensi sistem pendingin cairan pada komponen *controller* kendaraan hasil konversi masih sangat terbatas, terutama dalam konteks kendaraan komersial seperti *shuttle bus* [14], [15]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pendingin cairan yang efisien dan mengevaluasi kinerjanya pada *motor controller shuttle bus listrik* hasil konversi, dengan fokus pada pengaruh terhadap suhu operasi dan efisiensi sistem.

II. METODOLOGI

A. Jenis penelitian

Metode analisis data yang digunakan adalah analisis kuantitatif deskriptif merupakan metode yang membantu menggambarkan, menunjukkan, memahami detail data dengan meringkas dan menemukan pola dari sampel data tertentu [16]. Pengukuran data dalam penelitian ini mengukur range (selisih suhu *controller* saat menggunakan pendingin dan tidak menggunakan pendingin)

B. Alur penelitian



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Tahap identifikasi dan perumusan masalah bertujuan untuk mengenali permasalahan utama yang dihadapi, dalam artikel ini permasalahan utamanya adalah peningkatan suhu pada komponen *controller* yang dapat menurunkan kinerja atau memperpendek usia pakai. Tahap ini juga disertakan dengan pengumpulan referensi terkait karakteristik termal komponen elektronik, jenis sistem pendingin, serta metode pengukuran suhu. Langkah selanjutnya, persiapkan alat dan bahan yang sudah ditentukan pada tahap awal.

Tahap selanjutnya dilakukan pengukuran yang dilakukan dalam dua kondisi berbeda, untuk melihat perbandingan kinerja termal. *Variable* yang dikontrol yaitu, suhu lingkungan, suhu setelah unit diuji, dan efisiensi yang tercantum pada alat hioki *power analyzer*. Data yang sudah dicatat dibandingkan melalui analisis statistik (selisih maksimum minimum) yang meliputi efektivitas *cooling* dan dampak suhu terhadap performa. Terakhir disimpulkan apakah penggunaan *cooling system* signifikan dalam menurunkan suhu dan stabilitas atau tidak.

1. Alat

a. Dynamometer

Dynamometer merupakan perangkat untuk mengukur kekuatan (*power*) yang dihasilkan oleh kendaraan transportasi bermotor yang dihitung dari pengukuran torsi dan kecepatan rotasi (RPM). *Output* dari pengukuran itu dapat dimanfaatkan untuk menganalisis daya yang dihasilkan, analisis dari grafik tersebut dapat mengetahui seberapa besar tenaga suatu kendaraan [17].

b. Hioki power analyzer PW6001



Gambar 2. Hioki power analyzer PW6001

PW6001 merupakan penganalisis daya yang memiliki akurasi tinggi, pita lebar, dan stabilitas tinggi untuk mengukur daya listrik dari DC ke *frekuensi inverter*. PW6001 dapat mengukur tegangan (U), arus (I), daya aktif (P), daya nyata (S), daya kreatif (Q), faktor daya (λ), sudut fasa (ϕ), frekuensi (f), efisiensi (η), rugi (Loss), faktor riak tegangan (Urf), faktor riak arus (Irf), integrasi arus (Ih), integrasi daya (WP), puncak tegangan (Upk), puncak arus (Ipk).

c. Thermometer laser infrared non-contact – 320-EN-00



Gambar 3. Thermometer laser infrared

Thermometer laser infrared non-contact berfungsi untuk mengukur suhu suatu objek tanpa harus menyentuh objek tersebut. Alat ini menggunakan radiasi infra merah dan

memberikan pengukuran yang cepat dan akurat dari jarak tertentu. Alat ini digunakan untuk mengukur suhu *controller*.

2. Bahan

a. Controller



Gambar 4. Controller

Controller kendaraan listrik merupakan salah satu bagian penting dalam sistem penggerak kendaraan listrik. Fungsi utama komponen ini adalah mengatur besar kecilnya arus dan tegangan pada motor listrik, sehingga kecepatan putar (RPM) dapat disesuaikan dengan keinginan pengemudi melalui pedal pengatur kecepatan (*Throttle*) [18]. *Cooling system* dipasangkan dibagian bawah *controller*.

b. Sitem pendingin cairan

Sistem pendingin cairan merupakan sistem transfer panas yang memanfaatkan cairan pendingin untuk menangkap panas dari suatu komponen. Cairan pendingin mengalir melalui radiator, di mana suhu diturunkan oleh udara sebelum kembali untuk menyerap kehangatan lagi. Sistem ini lebih efektif dibandingkan dengan pendingin udara, sistem ini baik digunakan untuk komponen berkinerja tinggi (M. Arif. Et al., 2021) dikutip dalam [19].



Gambar 5. Cooling system

Spesifikasi Sistem Pendingin:

ID-COOLING FrostFlow 240 XT CPU AIO 1156

Radiator Dimension: 276x120x27mm

Radiator Material: Alumunium

Tube Material: Premium Sleeved Tubing

Tube Length: 400mm

Waterblock Dimension: 72x72x58mm

Cold Plate Material: Copper

Pump Speed: 2100±10%RPM

Fan Dimension: 120x120x25mm

Included Fans: 2pcs

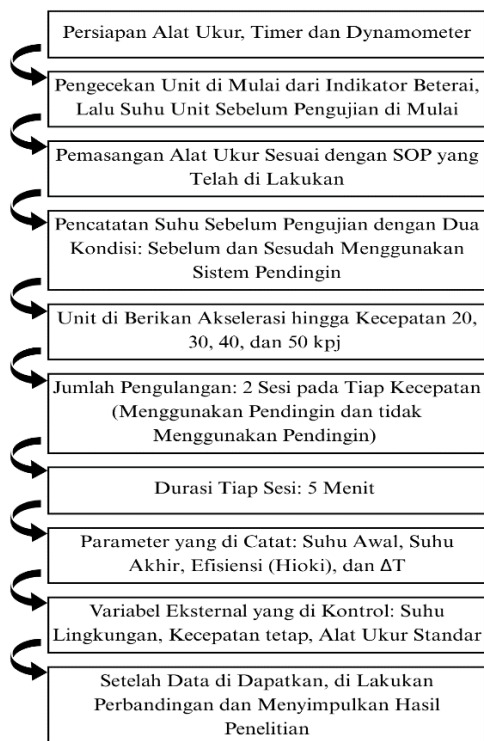
Fan Speed: 700~1800±10%RPM

Max. Air Flow: 76.16CFM

Max. Static Pressure: 2.16mmH2O

C. Prosedur pengujian

Tahapan dalam pengambilan *Temperature controller shuttle bus* konversi listrik diantaranya:



Gambar 6. Diagram alur prosedur pengujian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diambil untuk mendapatkan hasil peningkatan atau penurunan suhu *controller* selama beberapa sesi pengujian dapat dilihat menggunakan *thermometer laser infrared* dan untuk memantau

efisiensinya dapat dilihat menggunakan alat hioki *power analyzer*.

Shuttle bus diuji sesuai dengan kecepatan yang telah ditentukan selama 5 menit dengan memberikan akselerasi pada unit dan dapat diambil kesimpulan setelah seluruh sesi pengujian dilakukan. Data hasil pengujian *shuttle bus* konversi listrik ditunjukkan pada tabel 1 – 4.

Tabel 1. Unit *shuttle bus* pada kecepatan 20 kpj

Variasi	Efisiensi (%)	Temperature (°C)		
		T ₁	T ₂	ΔT
Normal	90.674	29	34.3	5.3
Pendingin	94.991	26.9	29.8	2.9

Penggunaan sistem pendingin mampu menurunkan suhu kerja sebesar 2,4°C dan meningkatkan efisiensi energi sebesar 4,317%.

Tabel 2. Unit *shuttle bus* pada kecepatan 30 kpj

Variasi	Efisiensi (%)	Temperature (°C)		
		T ₁	T ₂	ΔT
Normal	89,908	29	35,8	6,8
Pendingin	93,846	26.9	29,9	3

Penggunaan sistem pendingin mampu menurunkan suhu kerja sebesar 3,8°C dan meningkatkan efisiensi energi sebesar 3,938%.

Tabel 3. Unit *shuttle bus* pada kecepatan 40 kpj

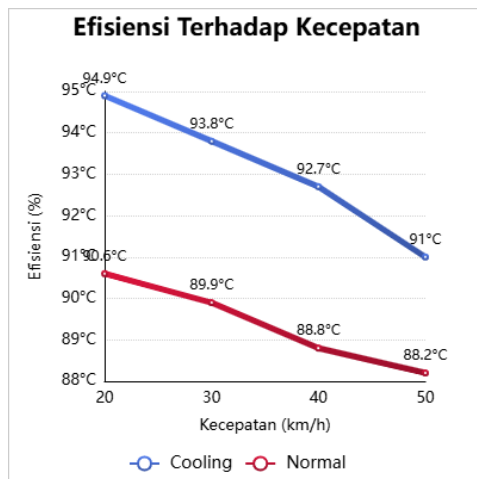
Variasi	Efisiensi (%)	Temperature (°C)		
		T ₁	T ₂	ΔT
Normal	88.831	29.3	36.7	7.4
Pendingin	92.752	26.9	30	3.1

Penggunaan sistem pendingin mampu menurunkan suhu kerja sebesar 4,3°C dan meningkatkan efisiensi energi sebesar 3,921%.

Tabel 4. Unit *shuttle bus* pada kecepatan 50 kpj

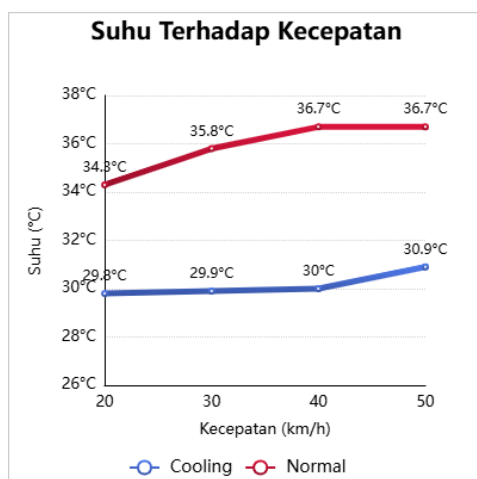
Variasi	Efisiensi (%)	Temperature (°C)		
		T ₁	T ₂	ΔT
Normal	88.278	29.2	36.7	7.5
Pendingin	91.041	26.9	30.9	4

Penggunaan sistem pendingin mampu menurunkan suhu kerja sebesar $3,5^{\circ}\text{C}$ dan meningkatkan efisiensi energi sebesar $2,763\%$.



Bagan 1. Grafik efisiensi terhadap kecepatan

Berdasarkan grafik efisiensi terhadap Kecepatan, disimpulkan bahwa terjadi penurunan efisiensi saat menggunakan sistem pendingin dan tidak menggunakan sistem pendingin. Namun, efisiensi saat menggunakan sistem pendingin lebih tinggi dibandingkan dengan tidak menggunakan sistem pendingin.



Bagan 2. Grafik suhu terhadap kecepatan

Penurunan efisiensi terjadi karena adanya kenaikan suhu pada setiap kenaikan kecepatan. Dapat dilihat saat tidak menggunakan sistem pendingin kenaikan suhu terlihat lebih signifikan daripada menggunakan sistem pendingin, ditandai

dengan lebih landainya grafik yang menggunakan sistem pendingin.

Kenaikan suhu paling signifikan terjadi pada percepatan tinggi, kemungkinan karena meningkatnya beban listrik yang menyebabkan akumulasi panas lebih besar. Penurunan suhu ketika menggunakan sistem pendingin cairan berdampak langsung pada peningkatan efisiensi sistem karena suhu yang lebih rendah dapat mengurangi resistansi internal dan meningkatkan kestabilan *switching* komponen elektronik [6], [13].

Meskipun hasil pengukuran menunjukkan adanya penurunan suhu dan peningkatan efisiensi, analisis ini masih bersifat deskriptif. Untuk mendukung klaim efektivitas sistem pendingin secara lebih kuat, diperlukan pengujian statistik seperti uji t berpasangan (paired t-test). Uji ini berguna untuk memastikan apakah perubahan suhu dan efisiensi yang terjadi bukan sekadar fluktuasi acak, tetapi benar-benar signifikan secara statistik. Sayangnya, uji tersebut belum dilakukan dalam penelitian ini sehingga temuan yang ada hanya menunjukkan indikasi tren, bukan bukti statistik yang konklusif. Hal ini menjadi rekomendasi utama untuk pengembangan penelitian lanjutan.

Efisiensi energi juga mengalami peningkatan yang konsisten, yang menunjukkan bahwa sistem pendingin cairan tidak hanya berfungsi sebagai solusi termal, tetapi juga berkontribusi terhadap optimalisasi performa konversi daya. Penelitian oleh Mahalingam et al. [8] menyatakan bahwa pendinginan aktif seperti sistem pendingin cairan mampu memperpanjang umur komponen elektronik serta menjaga kinerja pada level optimal saat kendaraan berada dalam beban tinggi atau kondisi lingkungan ekstrem.

Hasil ini sejalan dengan studi Kim et al. [11], yang menunjukkan bahwa sistem pendingin cair dengan sirkulasi tertutup dan pompa aktif dapat menjaga suhu kerja motor *controller* dalam batas aman ($< 60^{\circ}\text{C}$) dan meminimalisir penurunan performa akibat *thermal throttling*. Sistem yang diuji dalam penelitian ini menunjukkan stabilitas suhu kerja rata-rata antara $29\text{--}31^{\circ}\text{C}$ dengan

pendingin, dibandingkan suhu tanpa pendingin yang mencapai $>35^{\circ}\text{C}$.

Secara praktis, hasil ini memberikan gambaran bahwa penerapan teknologi pendingin cairan sangat relevan diterapkan pada proyek konversi EV, khususnya pada kendaraan dengan ruangan *controller* yang terbatas dan potensi akumulasi panas tinggi seperti *shuttle bus*. Selain itu, efektivitas sistem ini memberikan potensi integrasi ke dalam manajemen termal terpusat yang mencakup baterai dan inverter [12].

Penelitian oleh Alavijeh et al. [15] yang menggunakan simulasi numerik juga menunjukkan bahwa variasi geometri radiator, laju aliran cairan, dan kecepatan kipas memainkan peran besar dalam efektivitas pendinginan. Hal ini menjadi indikasi bahwa sistem yang digunakan dalam penelitian ini masih memiliki ruang untuk optimasi lebih lanjut dalam desain fisik dan kontrol dinamis.

Grafik 1 menunjukkan efisiensi terhadap percepatan pada dua kondisi, di mana penggunaan sistem pendingin memberikan hasil yang konsisten lebih baik. Grafik 2 menggambarkan tren suhu, yang memperlihatkan penurunan termal yang signifikan saat pendingin digunakan. Grafik tersebut sejalan dengan kurva performa dari literatur Kim et al. [11] dan Raveendiran et al. [10], yang menekankan pentingnya kestabilan suhu dalam mempertahankan efisiensi sistem penggerak listrik.

Dengan demikian, data empiris yang diperoleh tidak hanya valid untuk mendukung hipotesis penelitian ini, tetapi juga memperkuat bukti praktis bahwa solusi termal berbasis cair merupakan pendekatan strategis yang layak dalam pengembangan sistem EV hasil konversi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan pendingin pada *controller* kendaraan listrik khususnya *shuttle bus* konversi listrik yang diteliti, dapat menurunkan suhu *controller* senilai $2.4\text{--}4.3^{\circ}\text{C}$. Selain itu, sistem pendingin ini juga berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi sebesar $2,763\text{--}4,317\%$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan pendingin pada *controller shuttle bus* konversi

listrik efektif dalam menurunkan suhu *controller*. Sehingga dapat mencegah terjadinya *overheat* dan meningkatkan efisiensi. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi daya tahan jangka panjang, pemilihan jenis cairan pendingin, serta integrasi sistem dengan manajemen termal baterai.

Saran untuk penelitian berikutnya dapat menggunakan jenis pendingin yang lain sebagai variasi, dan bisa menguji komponen yang lain selain *controller*, seperti baterai. Rekomendasi eksplisit untuk uji statistik (uji *t*/ANOVA) di penelitian berikutnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium *Vehicle, Motorcycle Test Bench and Alternative Fuel* Universitas Pendidikan Indonesia karena telah memfasilitasi tempat dan peralatan untuk menunjang pelaksanaan penelitian ini hingga selesai.

REFERENSI

- [1] IEA, "Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions," *International Energy Agency*, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- [2] X. Zhang, J. Xie, R. Rao, and Y. Liang, "A review on thermal management of power electronic devices in electric vehicles," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 159, p. 112211, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112211>
- [3] H. L. Breetz, M. Mildenerberger, and L. C. Stokes, "The political logics of clean energy transitions," *Bus. Polit.*, vol. 20, no. 4, pp. 588–614, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1017/bap.2018.6>
- [4] L. Nurhadi, S. Borén, and H. Ny, "A comparative study of electric vehicle systems for different regions: Opportunities for improving sustainability," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 25, pp. 196–210, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.08.005>

- [5] S. Hardman, "Understanding the impact of reoccurring and non-financial incentives on plug-in electric vehicle adoption – A review," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 119, pp. 1–14, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.018>
- [6] D. Gao, F. Liu, Y. Zhang, and T. Xu, "Thermal performance and reliability assessment of power electronic devices for electric vehicles: A review," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 181, p. 115994, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115994>
- [7] J. Li, H. Li, H. Yang, and L. Lu, "Research on power loss and thermal performance of EV motor controller under different driving cycles," *Energies*, vol. 12, no. 4, p. 642, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/en12040642>
- [8] K. Mahalingam, S. Selvakumar, and R. Ramesh, "Review on recent advancements in thermal management techniques for electric vehicle components," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 146, pp. 1235–1250, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10167-5>
- [9] R. Zhao, S. Zhang, and J. Liu, "Simulation and experimental study of thermal runaway propagation in EV battery pack with different heat dissipation systems," *J. Power Sources*, vol. 459, p. 228102, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228102>
- [10] P. Raveendiran, A. Kumar, and A. R. Rajkumar, "Thermal management in EVs: Trends, challenges, and prospects," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 10, pp. 389–402, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.02.009>
- [11] K. Kim, J. Park, and T. Hur, "Design and evaluation of a liquid cooling system for EV motor controllers using phase-change coolant," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 70, no. 5, pp. 4472–4481, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TVT.2021.3072198>
- [12] Y. Wei, Z. Sun, and X. Huang, "Advanced cooling technologies for electric vehicle power electronics: A review," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 39, p. 101480, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101480>
- [13] R. Yadav, M. Raghuwanshi, and R. Yadav, "Performance evaluation of cooling techniques for electric vehicles: A review," *J. Energy Storage*, vol. 32, p. 101790, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101790>
- [14] D. A. Putri, R. Kusuma, and H. Prasetyo, "Assessment of thermal management system in electric vehicle conversion: A case study," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1098, no. 1, p. 012034, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012034>
- [15] A. Y. Alavijeh, A. Amiri Delouei, A. Karimipour, and M. Afrand, "Numerical simulation of a novel liquid cooling system for electric vehicles," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 132, no. 2, pp. 1443–1452, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7207-0>
- [16] N. Aziza, "Metodologi penelitian 1 : deskriptif kuantitatif," *ResearchGate*, no. July, pp. 166–178, 2023.
- [17] Warhayadi A, "Pengujian Torsi Dan Daya Pada Motor Bensin Satu Silinder Menggunakan Water Brake Dynamometer," 2015.
- [18] F. Fatkhurrozak, "Instalasi Wiring Controller Mobil Listrik Tuxuci," *Nozzle J. Mech. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 109–112, 2018, doi: 10.30591/nozzle.v5i1.804.
- [19] A. C. Tambunan *et al.*, "Perbandingan Efektivitas Cairan Pendingin pada System dengan Website Simscale untuk Mengurangi Biaya Produksi dan Operasional," vol. 2, no. 4, 2024.