

Design and Development of Brake Systems with Electromagnetic Field Technology in Today's Vehicles at Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

[Perancangan dan Pengembangan Sistem Rem dengan Teknologi Medan Elektromagnetik pada Kendaraan Masa Kini di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo]

Abdul Basid¹⁾, Arief Wisaksono ^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: Ariefxwisaksono@umsida.ac.id

Abstract. *The braking system is one of the main components in a vehicle that plays an important role in driving safety. This research aims to design and develop an electromagnetic field-based brake system as an alternative to conventional brake systems. The system utilises the magnetic field generated by the solenoid to create braking force through the principle of electromagnetic induction. Simulation results show that the system is able to generate optimal braking force with faster response and higher energy efficiency. Prototypes tested on small-scale vehicles show improved braking performance with reduced braking distance compared to conventional brake systems. In addition, the system successfully reduced mechanical component wear and demonstrated good reliability under various conditions, including wet road surfaces. However, the research also found challenges in the form of relatively high energy consumption and the need for more heat-resistant conductive materials. In conclusion, electromagnetic brake systems have great potential to improve the safety, efficiency and sustainability of transport in the future. Recommendations for further research include optimising energy consumption, developing new materials, and testing on commercial-scale vehicles to ensure feasibility of implementation.*

Keywords - electromagnetic, Braking, vehicle, magnetic field, conventional braking

Abstrak. *Sistem pengereman merupakan salah satu komponen utama dalam kendaraan yang berperan penting dalam keselamatan berkendara. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem rem berbasis medan elektromagnetik sebagai alternatif sistem rem konvensional. Sistem ini memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida untuk menciptakan gaya pengereman melalui prinsip induksi elektromagnetik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan gaya pengereman yang optimal dengan respons lebih cepat dan efisiensi energi yang lebih tinggi. Prototipe yang diuji pada kendaraan skala kecil menunjukkan peningkatan performa pengereman dengan jarak pengereman yang berkurang dibandingkan sistem rem konvensional. Selain itu, sistem ini berhasil mengurangi keausan komponen mekanik dan menunjukkan keandalan yang baik dalam berbagai kondisi, termasuk permukaan jalan basah. Namun, penelitian ini juga menemukan tantangan berupa konsumsi energi yang relatif tinggi dan kebutuhan material konduktif yang lebih tahan panas. Kesimpulannya, sistem rem elektromagnetik memiliki potensi besar untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan transportasi di masa depan. Rekomendasi untuk penelitian lanjutan mencakup optimasi konsumsi energi, pengembangan material baru, dan uji coba pada kendaraan dengan skala komersial untuk memastikan kelayakan implementasinya.*

Kata Kunci - elektromagnetik, Pengereman, kendaraan, medan magnet, pengereman konvensional

I. PENDAHULUAN

Pengereman adalah salah satu sistem yang sangat vital pada kendaraan, berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan dengan aman[1]. Secara teknis, pengereman pada kendaraan konvensional memanfaatkan prinsip konversi energi kinetik menjadi energi panas melalui gesekan mekanis. Proses ini terjadi pada sistem rem seperti rem cakram dan rem drum[2]. Pada rem cakram, bantalan rem menjepit cakram baja menggunakan tekanan hidraulik untuk menghasilkan gesekan yang memperlambat pergerakan kendaraan. Sementara itu, rem drum memanfaatkan tekanan pada sepatu rem yang menekan permukaan dalam tromol untuk menciptakan gaya pengereman. Beberapa peneliti mengungkapkan bahwa rem cakram mengalami keausan yang

lebih cepat dan kehilangan efektivitasnya, khususnya pada kendaraan modern, meskipun jarak tempuh kendaraan tersebut masih kurang dari 40.000 km.[3]

Rem cakram konvensional memiliki kelebihan seperti konstruksi sederhana, penggantian pad mudah, tanpa penyetelan, radiasi panas baik, dan kemampuan menghilangkan air dengan efektif berkat gaya sentrifugal.[4] Meskipun efektif, sistem rem konvensional memiliki sejumlah kelemahan teknis. Keausan komponen akibat gesekan terus-menerus menjadi salah satu masalah utama, yang memerlukan penggantian suku cadang secara rutin.[5] Selain itu, gesekan yang intens menghasilkan panas berlebih (*overheating*) yang dapat menurunkan kinerja rem, bahkan memicu kegagalan fungsi rem atau "blong". Dalam kondisi tertentu, seperti medan berat, beban tinggi, atau pengereman mendadak, rem konvensional juga menunjukkan keterbatasan dalam efisiensi pembuangan panas.[6] Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini, salah satunya adalah dengan mengembangkan teknologi pengereman berbasis medan magnet.[7] Teknologi ini menawarkan solusi inovatif dengan menghilangkan kebutuhan akan gesekan mekanis, sehingga dapat mengurangi tingkat keausan komponen, meningkatkan efisiensi pengereman, serta meminimalkan risiko *overheating*[8]. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh aliran listrik menciptakan gaya hambat pada disk histeresis yang terhubung dengan poros rem. Ketika arus listrik dialirkan ke medan magnet, fluks magnet internal terbentuk dan ditransfer ke dalam disk histeresis, menghasilkan gaya pengereman yang stabil dan konsisten tanpa kontak fisik[9]. Prototipe yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan magnet permanen sebagai sumber medan magnet dan motor DC dengan spesifikasi teknis 48 VDC serta kecepatan putaran hingga 3400 Rpm. Disk histeresis dipasang pada poros keluaran motor untuk mentransfer gaya magnetis menjadi gaya pengereman[10]. Desain ini memungkinkan pengurangan friksi mekanis, sehingga tidak hanya memperpanjang umur komponen tetapi juga memberikan respons pengereman yang lebih cepat dan presisi.[11] Dengan menggunakan medan magnet, proses pengereman menjadi lebih andal karena sistem ini mampu menghasilkan gaya hambat yang konstan tanpa bergantung pada kondisi fisik seperti pelumasan atau kebersihan komponen.

Sistem pengereman magnetik juga sangat relevan untuk diterapkan pada kendaraan listrik, yang semakin banyak digunakan dalam berbagai sektor seperti transportasi umum, industri, hingga robotika. Kendaraan listrik, khususnya yang menggunakan motor DC, memerlukan sistem pengereman yang efisien dan kompatibel dengan sifat dinamisnya.[12] Dalam penelitian ini, teknologi pengereman berbasis medan magnet dirancang untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Selain itu, pendekatan ini juga mendukung tren global menuju teknologi kendaraan ramah lingkungan dengan efisiensi energi yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi teknis atas berbagai keterbatasan pada sistem pengereman konvensional, terutama untuk kendaraan listrik. Dengan menggabungkan komponen magnet permanen, motor DC, dan disk histeresis, diharapkan sistem pengereman yang dikembangkan mampu meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keselamatan dalam pengoperasian kendaraan, sekaligus menjadi langkah maju dalam pengembangan teknologi transportasi modern.

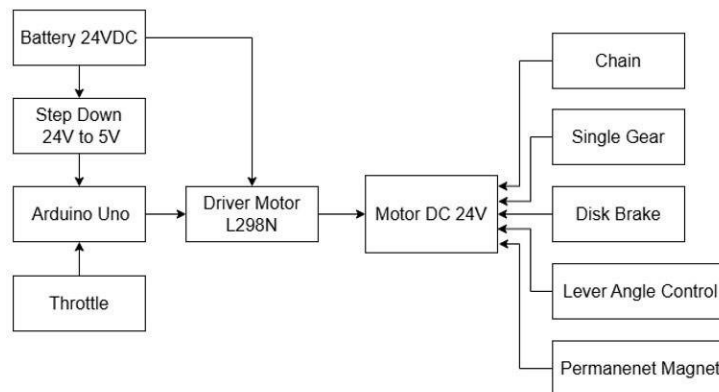
II. Metode

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan 4D (Define, Design, Development, Disseminate) yang bertujuan untuk menghasilkan produk inovatif dan menguji tingkat keefektifannya. Pendekatan ini dipadukan dengan metode eksperimental untuk memastikan pengembangan produk dilakukan secara sistematis dan berbasis data empiris.[13] Tahapan pertama adalah Define atau pendefinisian, yang dimulai dengan studi literatur untuk memahami konsep dasar pengereman elektromagnetik, prinsip kerja medan elektromagnetik, dan karakteristik motor DC. Pada tahap ini, diidentifikasi kelemahan sistem pengereman yang ada serta dirumuskan spesifikasi teknis produk yang akan dikembangkan[14]. Selanjutnya akan dilakukan Analisa efektivitas secara menyeluruh dari prototype yang telah dibuat.

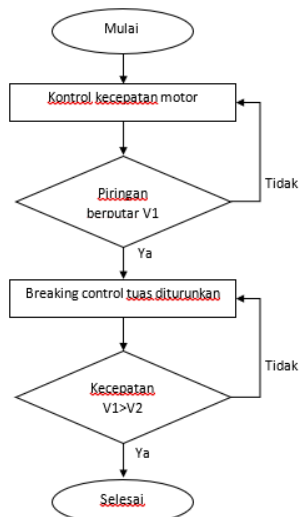
Sistem rem elektromagnetik dirancang menggunakan solenoida dan piringan konduktif, di mana medan elektromagnetik dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui solenoida, menciptakan gaya pengereman berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik[15]. Komponen utama dalam sistem ini meliputi solenoida yang berfungsi sebagai penghasil medan magnet, piringan konduktif yang bertindak sebagai media induksi untuk menghasilkan gaya rem, serta pengontrol arus yang berperan dalam mengatur intensitas medan magnet sesuai dengan kebutuhan pengereman.

Pada sistem sebelumnya, rem cakram terdiri dari cakram baja yang dijepit oleh bantalan rem di kedua sisinya selama pengereman. Sistem ini dilengkapi dengan tuas rem dan cairan minyak rem. Ketika tuas rem ditekan, komponen pada master cylinder menghasilkan tekanan pada cairan fluida tersebut, yang kemudian mendorong mekanisme rem untuk menjepit rotor (disk brake) dan menciptakan gaya pengereman. Efektivitas pengereman sangat dipengaruhi oleh kekuatan tekanan yang diberikan pengemudi pada tuas rem—semakin besar tekanannya, semakin kuat gaya pengereman yang dihasilkan. Berikut merupakan diagram sistem yang akan dikembangkan dalam penelitian ini.

Berikut merupakan flowchart dari alat yang dikembangkan.

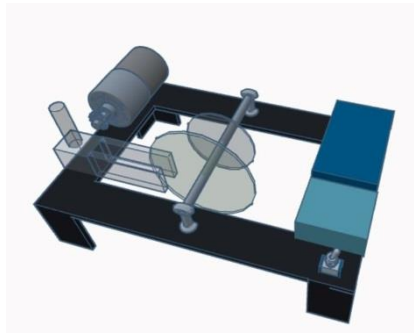


Gambar 1Blok Diagram Sistem



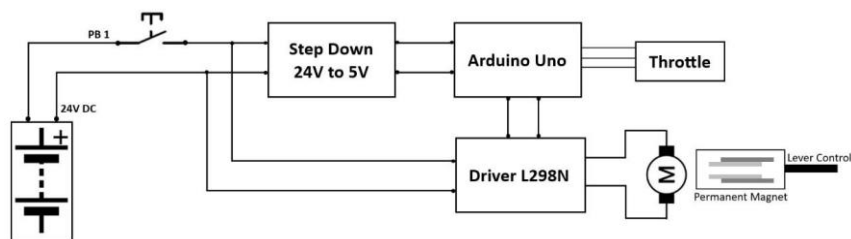
2.1 Tahapan Perancangan

Tahap berikutnya adalah Design atau perancangan sistem, yang melibatkan proses desain skematik dan pemilihan komponen utama seperti magnet permanen, motor DC dengan spesifikasi 48 VDC dan kecepatan hingga 3400 Rpm, serta disk histeresis. Desain sistem ini dibuat menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memastikan kelayakan teknis sebelum memasuki tahap pembuatan prototipe. Berikut merupakan desain awal dan hasil rancangan prototype dari penelitian ini



Gambar 2 Rancangan bentuk prototype

Dari desain diatas dilengkapi dengan skema rangkaian kontrol untuk menggerakan motor. Berikut merupakan skema rangkaian kontrol dari prototype system pengereman menggunakan medan elektromagnetik.



Gambar 3 Rangkaian kontrol

2.2 Proses Pengukuran

Setelah perancangan selesai, penelitian memasuki tahap Development, yang mencakup proses pembuatan prototipe dan pengujian awal. Prototipe dirakit dengan mengintegrasikan komponen mekanis dan elektris menjadi satu unit pengereman yang utuh. Pada tahap ini, sistem kelistrikan diatur untuk menghasilkan medan magnet dari magnet permanen yang dialiri arus listrik, sementara disk histeresis dipasang pada poros motor untuk menciptakan gaya pengereman yang stabil.



Gambar 4 Bentuk Prototype

Setelah prototipe selesai, dilakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter teknis seperti efektivitas pengereman, konsistensi gaya hambat, pengaruh panas terhadap performa sistem, dan tingkat keausan komponen setelah beberapa siklus pengereman. Hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif untuk menilai sejauh mana produk yang dikembangkan mampu mengatasi permasalahan pengereman konvensional. Jika ditemukan kelemahan pada prototipe, dilakukan evaluasi dan penyempurnaan desain diikuti dengan pengujian ulang hingga mencapai hasil yang optimal. Tahapan terakhir adalah Disseminate, yaitu penyebaran hasil penelitian kepada khalayak yang lebih luas. Produk yang telah teruji ini didokumentasikan secara menyeluruh dan disosialisasikan kepada komunitas ilmiah maupun industri melalui publikasi hasil penelitian dan paparan teknis. Dengan pendekatan kombinasi antara R&D dan eksperimental, penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sistem pengereman berbasis medan elektromagnetik yang lebih efisien, andal, dan dapat diterapkan secara praktis, khususnya pada kendaraan modern seperti kendaraan listrik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, dipaparkan hasil dari simulasi serta uji coba sistem rem elektromagnetik yang telah dilakukan. Analisis mencakup efektivitas pengereman dibandingkan dengan sistem konvensional, pengaruh variasi sudut penempatan magnet terhadap kinerja rem, serta efisiensi energi yang digunakan. Data yang diperoleh dari berbagai skenario pengujian akan dibandingkan untuk menilai keunggulan dan keterbatasan sistem yang dikembangkan. Selain itu, pembahasan akan mencakup interpretasi hasil serta implikasi teknologi ini terhadap keselamatan dan efisiensi kendaraan masa kini. Ujicoba akan dilakukan dengan mengukur kecepatan pengereman dengan berbagai sudut peletakan magnet. Sudut yang akan diambil untuk pengujian adalah 15° , 45° , 60° , 90° . Dari berbagai sudut tersebut akan dianalisa yang mana yang lebih efektif untuk sistem pengereman. Berikut merupakan gambar dari peletakan magnet untuk berbagai sudut.



Gambar 5 Uji coba 15 derajat



Gambar 6 Uji coba 45 derajat



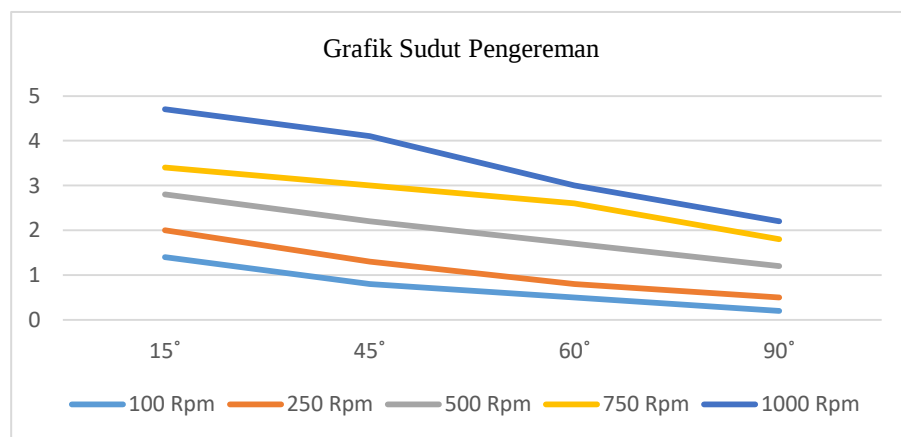
Gambar 7 Uji coba 80 derajat

Data dari hasil percobaan yang telah diambil kemudian dimasukan ke dalam table sebagai berikut. Tabel ini akan menggambarkan kecepatan yang beragam serta penempatan magnet diberbagai sudut. Dari tabel ini akan diambil rata-rata waktu yang digunakan dalam melakukan pengereman.

Table 1 Hasil uji coba

No	Kecepatan Putar (Rpm)	Waktu pengereman (t)			
		15°	45°	60°	90°
1	100	1.4	0.8	0.5	0.2
2	250	2	1.3	0.8	0.5
3	500	2.8	2.2	1.7	1.2
4	750	3.4	3	2.6	1.8
5	1000	4.7	4.1	3	2.2
Rata-rata waktu pengereman per sudut		2.86	2.28	1.72	1.06

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem rem elektromagnetik mampu menghasilkan gaya pengereman yang cukup untuk menghentikan kendaraan pada berbagai kondisi kecepatan. Medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida berinteraksi dengan piringan konduktif, menciptakan arus eddy yang menghasilkan gaya tahan terhadap gerakan roda. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem rem elektromagnetik memiliki keunggulan dalam hal respons pengereman, efisiensi energi, serta keandalan dalam berbagai kondisi jalan. Pengaruh sudut penempatan magnet juga menjadi faktor penting dalam optimalisasi sistem ini. Namun, ada beberapa tantangan yang masih perlu diatasi, seperti konsumsi daya yang cukup tinggi serta kebutuhan material konduktif yang lebih efisien untuk meningkatkan performa sistem. Dari hasil tersebut pengereman yang paling efektif adalah pada peletakan magnet di sudut 90° hal ini menunjukkan bahwa sudut penempatan magnet memengaruhi distribusi medan magnet dan gaya pengereman yang dihasilkan. Dari hasil ujicoba dapat digambarkan pada grafik seperti berikut



Gambar 8 Grafik hasil ujicoba

Sistem rem elektromagnetik memiliki beberapa keunggulan yang menjadikannya alternatif menarik dibandingkan sistem rem konvensional. Seperti efisiensi yang lebih tinggi memungkinkan sistem ini bekerja tanpa gesekan langsung, sehingga mengurangi panas yang berlebih. Selain itu, respons pengereman yang lebih cepat meningkatkan keselamatan karena kendaraan dapat berhenti dalam waktu yang lebih singkat. Keunggulan lainnya adalah pengurangan biaya perawatan, karena minimnya komponen mekanik yang mengalami keausan akibat gesekan. Namun, tantangan utama dalam penerapan sistem ini adalah konsumsi energi yang relatif tinggi serta kebutuhan akan bahan konduktif yang tahan panas, sehingga memerlukan optimalisasi lebih lanjut agar dapat digunakan secara luas pada kendaraan masa kini.

IV. Simpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa sistem rem berbasis medan elektromagnetik merupakan solusi inovatif dengan potensi besar untuk menggantikan sistem rem konvensional pada kendaraan modern. Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian prototipe, sistem ini mampu memberikan peningkatan performa pengereman, seperti pengurangan jarak pengereman, efisiensi energi yang lebih baik, serta pengurangan keausan komponen mekanik. Selain itu, sistem ini menunjukkan kemampuan yang andal dalam berbagai penempatan magnet terutama pada sudut 90°. Keunggulan utama sistem ini terletak pada respons pengereman yang lebih cepat dibandingkan sistem konvensional, efisiensi energi yang lebih tinggi berkat eliminasi gesekan langsung, serta pengurangan biaya perawatan karena minimnya komponen mekanik yang mengalami keausan. Kendati demikian, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan yang perlu diselesaikan sebelum teknologi ini dapat diimplementasikan secara luas, seperti konsumsi energi yang masih cukup tinggi dan kebutuhan material konduktif yang lebih efisien serta tahan terhadap panas. Dengan pengembangan lebih lanjut, terutama dalam hal optimasi desain dan material, sistem rem elektromagnetik berpotensi tidak hanya meningkatkan keselamatan berkendara, tetapi juga mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan transportasi masa depan. Penelitian lanjutan sangat diperlukan untuk mengatasi kendala yang ada dan memvalidasi performa sistem ini pada skala kendaraan yang lebih besar dan kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan penelitian ini tidak lepas dari dukungan banyak pihak. Terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahannya, serta kepada seluruh informan yang telah meluangkan waktu dan berbagi informasi berharga. Saya juga berterima kasih kepada kantor tempat saya bekerja atas keleluasaan yang diberikan, serta para peneliti terdahulu yang hasil penelitiannya menjadi referensi penting. Tak lupa, apresiasi saya sampaikan kepada teman sekelas atas dukungan dan semangatnya dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] P. T. Santoso *et al.*, "RANCANG BANGUN ALAT OTOMATISASI Pengereman," vol. 19, no. September, pp. 225–232, 2024.
- [2] I. Teknologi and N. Malang, "PADA MOBIL LISTRIK," vol. 08, pp. 156–168, 2024.
- [3] Dzikrullah dkk, "1. Analisa Gesekan Pengereman Hidrolis," *Pros. SNATIF*, pp. 667–678, 2017.
- [4] H. Judul, "Otomatis Berbasis Fuzzy Pid Pada," 2018.
- [5] A. R. Dayus, J. E. Hutagalung, and I. R. Harahap, "Penerapan Sistem Pengereman dan Parkir Mobil Listrik Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino UNO," *J-Com (Journal Comput.*, vol. 2, no. 2, pp. 101–106, 2022, doi: 10.33330/j-com.v2i2.1728.
- [6] K. Diyanto and M. Anwar Satrio Andhy, "Pengembangan Sistem Pengereman Dan Catu Daya Sepeda Listrik Roda Dua," 2023.
- [7] M. H. Pradipta, T. Sukmadi, and M. Facta, "Pengereman Dinamis Konvensional pada Motor Induksi Tiga Fasa," *J. Nas.*, vol. 3, pp. 1–7, 2014.
- [8] Abdulelektro, "Sistem Pengereman Regeneratif: Prinsip Kerja & Aplikasinya." [Online]. Available: <https://abdulelektro.blogspot.com/2021/04/sistem-pengereman-regeneratif-prinsip.html>
- [9] M. Jhoni, O. Selviana, and S. Damayanti, "Menganalisis Gaya Lorentz dalam Sistem Listrik dan Magnetik," *Tarbiatuna J. Islam. Educ. Stud.*, vol. 4, no. 1, pp. 302–306, 2024.
- [10] H. R. Al Malik, "Elektromagnetik pada Kendaraan: Prinsip Kerja dan Komponennya," Ksayd.com. [Online]. Available: <https://ksayd.com/pada-kendaraan-prinsip-kerja-elektromagnetik-digunakan-pada-komponen/#respond>
- [11] D. Handoyo and A. Rudiretna, "Prinsip umum dan pelaksanaan Polymerase Chain Reaction (PCR)," *Unitas*, vol. 9, no. 1, pp. 17–29, 2001.

- [12] F. Trinovat, "Rancang Bangun Sistem Pengereman Otomatis Dan Blind Spot Warning Pada Sepeda Motor," *UIN Alauddin Makassar*, pp. 3–18, 2018.
- [13] M. Waruwu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.
- [14] I. Maulana, I. P. Handayani, and A. Qurthobi, "Rancang Bangun Mini Plant Regenerative Braking Sebagai Sumber Daya Listrik," *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 4943–4947, 2016.
- [15] A. Bintang Damara, A. Qurthobi, and K. Bani Adam, "Rancang Bangun Purwarupa Pengereman Regeneratif Menggunakan Motor Dc My1016," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 5, pp. 5883–5889, 2021.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.