PERFORMANCE ANALYSIS OF A REGENERATIVE BRAKING SYSTEM WITH AN INDUCTION MOTOR-DRIVEN *SUPERCAPACITOR* THROUGH MATLAB SIMULINK SIMULATION

Yadi Avan Nudin[1*], Maris AlGhifari[2], Yusep Sukrawan[3]

Universitas Pendidikan Indonesia, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154
Correspondent e-mail: yadiavann@gmail.com*

***ABTRACT*/ABSTRAK**

This study analyzes the performance of a regenerative braking system that integrates a supercapacitor with an induction motor. The method used was quantitative with an experimental approach through MATLAB Simulink simulation as an analysis tool. The system's behavior is observed during both acceleration and deceleration phases. Results indicate that no energy recovery occurs during acceleration. However, during deceleration, significant fluctuations in current, voltage, and battery State of Charge (SOC) signal that energy is being recovered. When regenerative braking is applied, the SOC drops only 1% over 2.5 seconds, compared to a 3% drop without it, illustrating improved battery efficiency. The integration of a supercapacitor proves effective in absorbing current and voltage spikes, thereby reducing stress on the battery and enhancing its longevity. Nevertheless, the addition of the supercapacitor does not lead to a substantial improvement in overall energy recovery efficiency; in fact, a slight decrease is noted. These findings reveal the trade-offs involved in supercapacitor integration and serve as a valuable reference for optimizing future regenerative braking systems.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem pengereman regeneratif yang menggabungkan superkapasitor dengan motor induksi. Metode yang digunakan yaitu kuantitatif dengan pendekatan eksperimental melalui simulasi MATLAB Simulink sebagai alat bantu analisis. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa pemulihan energi tidak terjadi selama fase akselerasi, namun hal tersebut terjadi pada fase deselerasi terdeteksi adanya fluktuasi arus, tegangan, dan *State of Charge* (SOC) baterai yang mengindikasikan adanya proses pemulihan energi. Ketika sistem pengereman regeneratif diaktifkan, penurunan SOC hanya sebesar 1% dalam 2,5 detik, dibandingkan dengan penurunan 3% tanpa sistem tersebut, yang menandakan bahwa adanya peningkatan efisiensi pemakaian energi baterai. Superkapasitor terbukti mampu menyerap lonjakan arus dan tegangan dengan baik, sehingga membantu agar melindungi baterai dari stres yang berlebih. Namun, integrasi superkapasitor tidak secara signifikan meningkatkan efisiensi total pemulihan energi, bahkan menunjukkan sedikit penurunan. Temuan ini mengungkap manfaat sekaligus keterbatasan dari integrasi superkapasitor dalam sistem pengereman regeneratif, serta memberikan landasan bagi penelitian dan pengembangan sistem yang lebih optimal di masa depan.

ARTICLE INFO

Article History:
Submitted/Received
15 Juli 2025

First Revised
30 Juli 2025

Accepted
06 Ags 2025

Online Date
01 Des 2025

Publication Date
01 Des 2025

Keywords:
Regenerative Braking, Supercapacitor, Induction Motor, Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), MATLAB Simulink

Kata kunci:
Pengereman Regeneratif, Superkapasitor, Motor Induksi, Motor Sinkron Magnet Permanen (PMSM), MATLAB Simulink

1. PENDAHULUAN

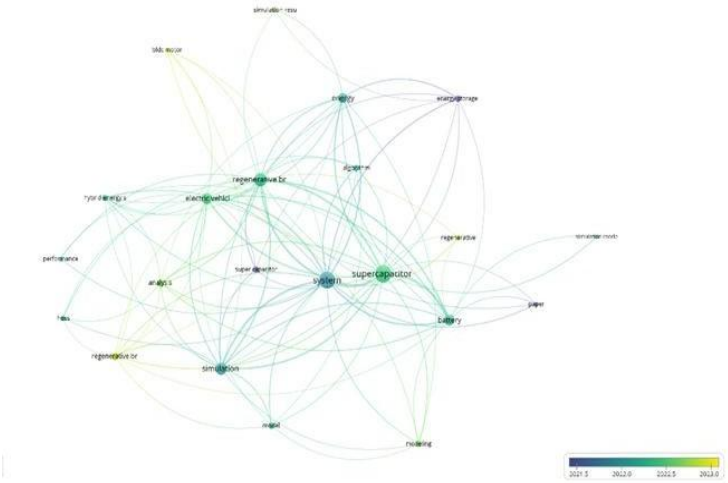
Perubahan iklim yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca menjadi tantangan global yang memerlukan solusi nyata (Patrianti *et al.,* 2020; Putro, *et al.,* 2024; Daeli, 2024). Sektor transportasi di indonesia menjadi salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca, dengan kontribusi sekitar 28% dari total emisi CO_2, di mana transportasi darat menyumbang 88% dari total emisi tersebut (Agus 2020 dalam Aditya, 2024). Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019 mengenai program percepatan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Tujuan kebijakan ini adalah mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mendorong penggunaan kendaraan yang lebih ramah lingkungan. Kendaraan listrik sendiri telah ada sejak tahun 1828 dan mulai diproduksi pada tahun 1884. Jenis kendaraan listrik yang paling dikenal adalah *Battery Electric Vehicle* (BEV) dan *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) (Aziz, *et al*., 2020). BEV menggunakan baterai sepenuhnya sebagai sumber tenaga dan tidak menghasilkan emisi berbahaya seperti CO_2 atau logam berat seperti timbal (Pb), sementara PHEV menggabungkan tenaga listrik dari baterai dan energi dari pembakaran bahan bakar minyak (Dionova 2025; Xiong, *et al*., 2019).

Tantangan utama dari BEV adalah keterbatasan jarak tempuh, yang mendorong perlunya inovasi dalam efisiensi energi (Ardiyanti, *et al*., 2023; Sidabutar, 2020). Solusi yang dikembangkan adalah teknologi *regenerative braking system* (RBS). Sistem ini mampu mengubah energi kinetik yang biasanya hilang saat pengereman menjadi energi listrik yang kemudian disimpan kembali ke dalam baterai (Widiantoro, *et al.,* 2020). Proses ini memanfaatkan motor listrik yang berfungsi sebagai generator saat pengereman, menghasilkan gaya gerak listrik (EMF) untuk mengisi ulang baterai atau superkapasitor (Zhou, *et al*., 2020). Sistem pengereman regeneratif bekerja dengan memanfaatkan motor listrik untuk mengubah energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik yang disimpan dalam baterai, sehingga meningkatkan efisiensi energi (Sharma, 2024; Putra, 2021).

Pemahaman mendalam terkait efektivitas RBS khususnya pada motor induksi masih belum terjamah oleh Penelitian sebelumnya. Penelitian oleh Mahija, M. (2022) hanya menggambarkan model teoritis tanpa menyajikan data konkret mengenai efisiensi konversi energi dan pengaruhnya terhadap kondisi baterai, sehingga penelitian lanjutan sangat dibutuhkan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem pengereman regeneratif berpenggerak motor induksi secara nyata, termasuk pengaruhnya terhadap pengisian dan pengosongan baterai. Penelitian oleh Teasdale (2024) menunjukkan bahwa penggunaan superkapasitor dalam RBS sangat penting karena mampu menyerap dan melepaskan energi

dalam waktu singkat. Mamur dan Candan (2020) menyajikan simulasi mendetail mengenai penerapan pengereman regeneratif pada motor BLDC untuk kendaraan listrik menggunakan MATLAB/Simulink. Selama empat detik pertama dari total waktu 10 detik, motor BLDC menerima daya dari baterai. Energi yang dikonsumsi oleh motor BLDC mencapai 2446 Ws, energi yang diregenerasi adalah 9336 Ws, dan energi yang disimpan kembali ke baterai sebesar 8437 Ws. Dengan kata lain, sistem ini mampu meregenerasi sekitar 0,38% dari total energi yang dikonsumsi, dan 0,35% dari energi tersebut berhasil disimpan kembali di baterai untuk digunakan lagi.

Berdasarkan penelitian terakhir pada tahun 2021 hingga 2023 yang dapat dilihat pada Gambar 1, beberapa peneliti sudah melakukan penelitian yang sama tentang simulasi pengereman regeneratif.



Gambar 1. Penelitian terkait Simulasi Pengereman Regeneratif pada tahun 2021-2023 menggunakan Vos Viewer

Gambar 1 menunjukan perlakuan penelitian regenerative braking system pada motor induksi masih sedikit. Mayoritas peneliti melakukan penelitian pada BLDC motor. Penggunaan *supercapacitor* sudah ada yang melakukan penelitian, tetapi belum ada aplikasi yang merujuk menggunakan induction motor.

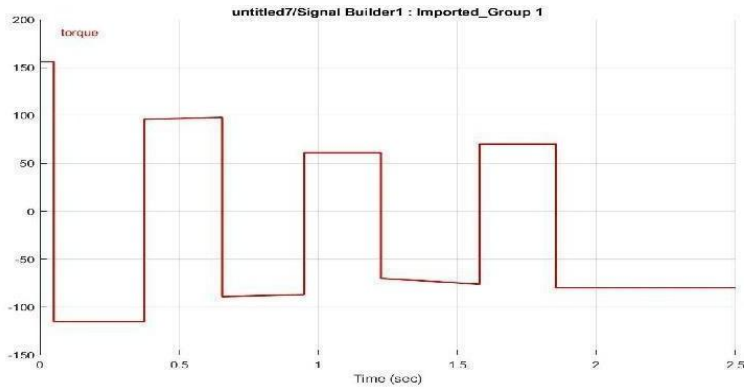
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh integrasi superkapasitor dalam sistem pengereman regeneratif yang menggunakan motor induksi, melalui simulasi menggunakan MATLAB Simulink. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam memahami performa sistem pengereman regeneratif berbasis motor induksi dan superkapasitor, serta menjadi dasar pengembangan teknologi kendaraan listrik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Analisis performa sistem pengereman regeneratif menggunakan superkapasitor dengan penggerak motor induksi melalui simulasi MATLAB Simulink dilakukan Menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Metode penelitian eksperimental merupakan sebuah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap hal lain dalam kondisi yang terkendalikan. Penelitian eksperimen merupakan pendekatan ilmiah yang bertujuan untuk mengkaji hubungan sebab-akibat antara variabel (Sugiyono, 2013). Penelitian simulasi ini memiliki kesamaan dengan metode penelitian eksperimental. Penelitian simulasi ini merupakan sebuah penelitian yang memanfaatkan sistem terkontrol melalui perangkat lunak atau *software* yang dijalankan melalui sistem *computational*.

3. HASIL PENELITIAN

Kecepatan motor di atur melalui *blok Signal Builder*. Signal Builder menghasilkan sinyal kecepatan motor dalam bentuk grafik yang menggambarkan perubahan kecepatan motor terhadap waktu. Grafik ini berperan sebagai input utama dalam simulasi, yang akan menentukan bagaimana motor beroperasi selama simulasi, grafik *signal builder* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik *Signal Builder Model Simulink*

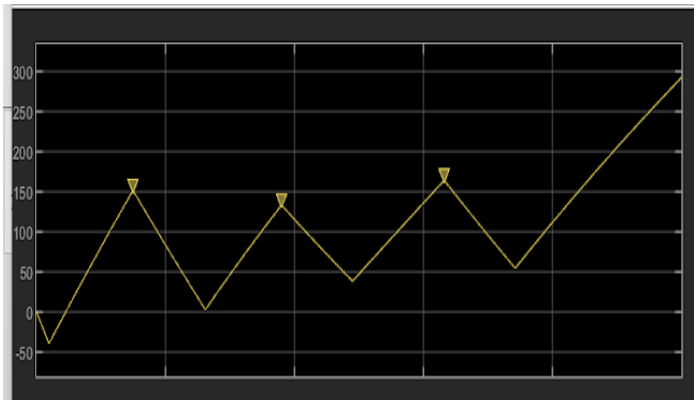
Berdasrkan Gambar 2, diketahui bahwa:

a. Sumbu X (Time): Menunjukkan waktu (dalam detik) selama simulasi berlangsung, yaitu dari 0 hingga 2,5 detik.
b. Sumbu Y (speed): Menunjukkan nilai kecepatan (dalam satuan rad/s).

Grafik pada *signal builder* memberikan pengaturan tahap perubahan kecepatan motor terhadap waktu dalam simulasi, dengan sumbu X menunjukkan waktu (0-2,5 detik) dan

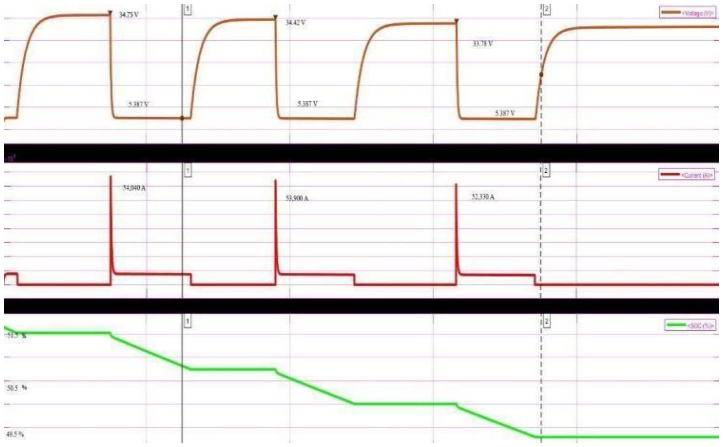
sumbu Y menunjukkan nilai kecepatan dalam rad/s. Kecepatan positif tinggi (150 rad/s) pada fase awal (0-0,3 detik) menandakan bahwa motor memberikan tenaga untuk mempercepat kendaraan. Kemudian, kecepatan berubah menjadi negatif (sekitar 0,3-0,5 detik), menunjukkan bahwa motor mengalami perlambatan kecepatan atau pengereman.

Grafik memperlihatkan pola naik-turun secara berulang (0,5-2,5 detik), mencerminkan transisi antara akselerasi dan deselerasi, atau simulasi kendaraan yang bergerak di jalanan dengan kontur naik-turun, seperti mempercepat di jalan lurus dan mengerem saat menurun. Pengaruh dari *signal builder* ini ditunjukkan kemudian oleh gambar 3.



Gambar 3. Kecepatan Rotor

Signal builder memberikan masukan kecepatan motor yang terkontrol sehingga dalam Gambar 3 grafik berwarna kuning menunjukkan perubahan kecepatan motor secara fluktuatif. Perubahan kecepatan motor berpengaruh terhadap hasil simulasi *State of Charge* (SoC) Battery, grafik tidak menunjukkan penurunan yang linear atau drastis, melainkan ada dinamika atau perubahan arah yang terjadi. Dinamika ini secara langsung terkait dengan aktifnya proses pengereman regeneratif, yang dipengaruhi oleh karakteristik kecepatan rotor yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Soc battery, current, voltage

Data hasil simulasi menunjukkan tegangan battery mengalami beberapa siklus aktif. Tegangan puncak tercatat sebesar 34.75 V pada 1.225 detik, disusul dengan puncak lainnya pada 34.42 V dan 33.78 V di titik waktu berbeda. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum mencapai 23.46 V, sedangkan minimum berada di 5.387 V, menghasilkan amplitudo sebesar 18.07 V. Waktu untuk tegangan naik (*rise time*) adalah 16.160 ms, dan waktu turunnya (*fall time*) sebesar 5.980 ms, yang mengindikasikan respon cepat terhadap perubahan kondisi motor. *Slew rate* sebesar 895.502 V/s, perubahan tegangan berlangsung secara signifikan. Frekuensi siklus tegangan mencapai 1.906 Hz, menunjukkan bahwa beberapa siklus pengereman terjadi dalam rentang waktu 2.5 detik, dengan variasi *duty cycle* masing-masing 33.766% dan 54.717%, mencerminkan perbedaan durasi tegangan aktif. Pola tegangan ini konsisten dengan grafik arus, di mana peningkatan keduanya menandakan motor berada dalam mode pengereman regeneratif, yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik

Arus yang dihasilkan saat pengereman mencapai beberapa puncak signifikan, seperti 54,040 A pada waktu 1,225 detik. Puncak arus lainnya muncul pada 0,655 detik dan 1,855 detik dengan nilai masing-masing 53,900 A dan 52,330 A. Terdapat arus negatif sebesar -558.4 A, menunjukkan adanya aliran balik energi menuju baterai atau superkapasitor.

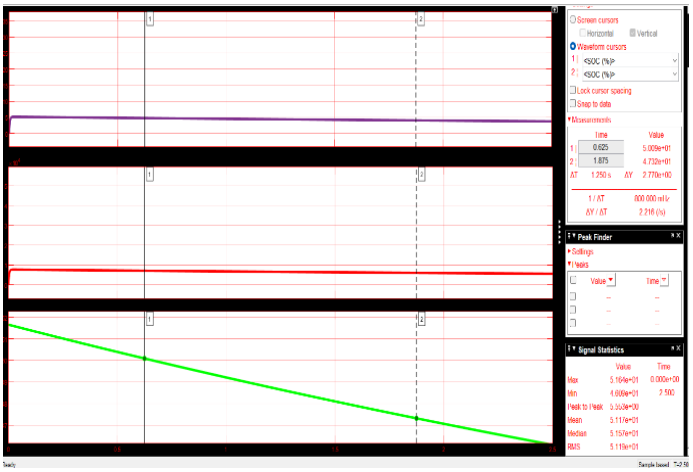
Durasi arus aktif tergolong singkat, dengan *rise time* sekitar 8.716 ms dan *fall time* sebesar 322.225 ms. Frekuensi sinyal arus sekitar 1.108 Hz menunjukkan bahwa sistem mengalami beberapa siklus pengereman. Arus yang dihasilkan cukup besar, akan tetapi durasi singkat dan *duty cycle* yang bervariasi antara 26.427% hingga 99.027% membatasi jumlah energi yang berhasil disimpan. Karakteristik arus dan tegangan baterai dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Arus dan Tegangan Baterai Motor Induksi

Parameter	Nilai	Keterangan
Tegangan Puncak 1	34.75 V	Pada waktu 1.225 detik
Tegangan Puncak 2	34.42 V	Pada waktu berbeda
Tegangan Puncak 3	33.78 V	Pada waktu berbeda
Tegangan Maksimum	23.46 V	Selama simulasi
Tegangan Minimum	5.387 V	Selama simulasi
Amplitudo Tegangan Minimum	18.07 V	Tegangan maksimum – tegangan
***Rise time* Tegangan**	16.160 ms	Waktu kenaikan tegangan

Parameter	Nilai	Keterangan
***Fall time* Tegangan**	5.980 ms	Waktu penurunan tegangan
***Slew Rate* Tegangan**	895.502 V/s	Laju perubahan tegangan
Frekuensi Tegangan	1.906 Hz	Frekuensi siklus tegangan
***Duty cycle* Tegangan 1**	33.766%	Siklus aktif tegangan pertama
***Duty cycle* Tegangan 2**	54.71%	Siklus aktif tegangan kedua
Arus Puncak 1	54.040 A	Pada waktu 1.225 detik
Arus Puncak 2	53.900 A	Pada waktu 0.655 detik
Arus Puncak 3	53.330 A	Pada waktu 1.855 detik
Arus Negatif	558.4 A	Arus balik ke baterai/superkapasitor
***Rise time* Arus**	8.716 ms	Waktu kenaikan arus
***Fall time* Arus**	322.225 ms	Waktu penurunan arus
Frekuensi Arus	1.108 Hz	Frekuensi siklus arus
***Duty cycle* Arus 1**	26.427%	Siklus aktif arus pertama

Baterai mengalami penurunan sampai dengan 46% ketika Pengereman Regeneratif tidak aktif, yang menunjukkan bahwa sistem tidak melakukan pemulihan energi dari motor ke dalam baterai. Hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengereman Tidak Aktif

Tegangan dan arus baterai menunjukkan grafik konstan karena tidak ada aliran energi tambahan yang masuk ke dalam baterai. Hasil simulasi pada gambar 3.4 secara keseluruhan, pengereman regeneratif dapat memperpanjang daya tahan baterai dengan memulihkan sebagian energi yaitu sebesar 3% dalam waktu simulasi 2.5 detik. Penggunaan superkapasitor dalam simulasi pengereman regeneratif motor induksi memberikan pengaruh pada pola tegangan dan arus. Grafik tegangan dan data dari *Bilevel Measurements*, tegangan

mengalami beberapa siklus aktif selama proses pengereman. Tegangan puncak mencapai 29.75 V pada 1.225 detik, disusul dengan puncak lain pada 29.42 V dan 28.78 V di titik waktu berbeda. Simulasi menghasilkan tegangan maksimum tercatat sebesar 18.46 V, sedangkan tegangan minimum berada pada 0.387 V, menghasilkan amplitudo 13.07 V. Waktu untuk tegangan naik (*rise time*) adalah 16.160 ms, sementara waktu turunnya (*fall time*) sebesar 5.980 ms, mengindikasikan respons cepat terhadap perubahan kondisi motor. Slew rate sebesar 895.502 V/s, menunjukkan perubahan tegangan berlangsung cukup signifikan. Frekuensi siklus tegangan mencapai 1.906 Hz, menunjukkan beberapa siklus pengereman dalam rentang waktu 2.5 detik dengan variasi *duty cycle* masing-masing 33.766% dan 54.717%, mencerminkan perbedaan durasi tegangan aktif yang khas pada penggunaan superkapasitor. Pola tegangan ini konsisten dengan grafik arus yang mengindikasikan bahwa motor berada dalam mode pengereman regeneratif, mengubah energi kinetik menjadi energi listrik.

Arus yang dihasilkan saat pengereman juga menunjukkan pengaruh dari superkapasitor, dengan puncak signifikan mencapai 49.040 A pada 1.225 detik. Puncak arus lainnya terjadi pada 0.655 detik dan 1.855 detik dengan nilai masing-masing sebesar 48.900 A dan 47.330 A. Terdapat pula arus negatif mencapai -553.4 A, menunjukkan adanya aliran balik energi yang dialirkan menuju baterai atau superkapasitor untuk disimpan. Durasi arus aktif tetap singkat, dengan *Rise time* sekitar 8.716 ms dan *Fall time* sebesar 322.225 ms. Frekuensi sinyal arus berada di sekitar 1.108 Hz, menunjukkan bahwa sistem mengalami beberapa siklus pengereman dalam waktu singkat. Arus yang dihasilkan cukup besar, durasi singkat serta *duty cycle* yang bervariasi antara 26.427% hingga 99.027% membatasi energi yang dapat disimpan. Hal ini menjadi indikator bahwa superkapasitor berperan dalam mengelola durasi dan intensitas arus selama proses regenerasi, berkontribusi pada peningkatan efisiensi penyimpanan energi tanpa menimbulkan lonjakan berlebihan yang dapat mengurangi efisiensi sistem.

4. PEMBAHASAN

Simulasi ini menggunakan *blok Signal Builder* untuk mengatur kecepatan motor induksi secara terstruktur. Grafik yang dihasilkan menunjukkan perubahan kecepatan terhadap waktu dari 0 hingga 2,5 detik. Sistem ini memberikan input utama dalam simulasi untuk merepresentasikan kondisi akselerasi dan deselerasi kendaraan. Perubahan kecepatan motor mempengaruhi langsung kecepatan rotor. Sistem ini menunjukkan bahwa akselerasi

menyebabkan penurunan *State of Charge* (SoC) secara bertahap. Deselerasi yang terjadi kemudian mengaktifkan sistem pengereman regeneratif yang memperlambat penurunan SoC, karena energi kinetik berhasil dikonversi menjadi energi listrik yang dikembalikan ke baterai.

Simulasi ini juga menunjukkan perbedaan signifikan antara kondisi regeneratif aktif dan tidak aktif. Sistem yang tidak menggunakan pengereman regeneratif memperlihatkan penurunan SoC dari 50% hingga 46% secara terus-menerus tanpa pemulihan energi. Grafik SoC yang lebih stabil muncul ketika sistem regeneratif aktif, dengan penurunan hanya sekitar 1%. Simulasi ini mengukur karakteristik arus dan tegangan selama proses pengereman. Arus maksimum tercatat mencapai lebih dari 54 A, dan tegangan maksimum berada pada 34,75 V. Sistem ini mengalami beberapa siklus arus dan tegangan dengan *duty cycle* dan frekuensi yang beragam, mencerminkan dinamika proses konversi energi dalam waktu singkat.

Simulasi ini kemudian menguji peran superkapasitor dalam mendukung sistem pengereman regeneratif. Superkapasitor menunjukkan kemampuan menyerap lonjakan arus dan tegangan dengan cepat. Sistem ini memperlihatkan bahwa superkapasitor memiliki impedansi lebih rendah dibanding baterai, sehingga mampu menstabilkan aliran energi. Penggunaan superkapasitor tidak menambah jumlah energi yang tersimpan, tetapi berhasil mengurangi lonjakan arus dan tegangan pada baterai. Kombinasi antara superkapasitor dan baterai membagi beban sistem secara efisien. Sistem ini memungkinkan arus balik mengalir lebih stabil dan mengurangi beban kerja baterai secara signifikan. Simulasi ini memperlihatkan bahwa baterai cenderung mengalami lonjakan arus dan panas saat tidak menggunakan superkapasitor. Lonjakan tersebut berpotensi menurunkan efisiensi sistem dan mempercepat degradasi baterai. Superkapasitor, dalam hal ini, melindungi sistem secara keseluruhan dari kondisi ekstrem.

Hasil simulasi *regenerative braking system* pada kendaraan listrik menunjukkan kesesuaian dengan teori dasar fisika, khususnya hukum kekekalan energi dan energi kinetik. Simulasi menggunakan MATLAB/Simulink menunjukkan bahwa sistem pengereman ini mengubah sebagian energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik saat proses perlambatan terjadi. Proses konversi ini mendukung hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi hanya berubah bentuk (Anshory *et al*., 2022). Energi kinetik yang dimiliki kendaraan karena geraknya berubah menjadi energi listrik dan disalurkan ke baterai, sesuai dengan konsep energi kinetik sebagai energi akibat gerak benda (Badriah, 2016). Grafik hasil simulasi memperlihatkan bahwa saat kecepatan

kendaraan menurun, nilai energi kinetik juga menurun, sedangkan arus pengisian baterai meningkat. Proses tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak membuang energi sepenuhnya menjadi panas, melainkan memanfaatkan kembali energi menjadi listrik. Sistem menghasilkan arus listrik melalui perubahan kecepatan motor yang memicu perubahan fluks magnet. Prinsip kerja ini sesuai dengan hukum Faraday, yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnet akan menginduksi gaya gerak listrik pada kumparan (Yusrizal, 2022).

5. KESIMPULAN

Analisis performa sistem pengereman regeneratif menggunakan *supercapacitor* berpenggerak motor induksi melalui aplikasi matlab Simulink menghasilkan sistem pengereman regeneratif terbukti efektif dalam memperlambat penurunan *State of Charge* baterai. Ketika pengereman regeneratif diaktifkan, penurunan SOC hanya sekitar 1% dalam waktu 2,5 detik, dibandingkan dengan ketika pengereman tidak aktif penurunan soc sampai dengan 3%.

Penggunaan *supercapacitor* dalam simulasi ini menunjukkan bahwa *Supercapacitor* menyerap lonjakan arus dan tegangan baterai yang terjadi selama akselerasi dan deselerasi. Dengan demikian, integrasi *supercapacitor* dalam sistem pengereman regeneratif tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pemulihan energi yang lebih besar, melainkan mengurangi hasil energi simulasi sistem pengereman regeneratif.

6. REFERENSI

Aziz, M., Anwar, S., Rizki, I. A., Simatupang, J. W., &. (2020). *Studi analisis perkembangan teknologi dan dukungan pemerintah Indonesia terkait mobil listrik. TESLA Jurnal Teknik Elektro,* 22(1).

Anshory, *et al*. (2022). Fisika Kelompok Teknologi. PT Grafindo Media Pratama.

Adittya, A. P. (2024). Kebijakan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (KBLBB) dalam Transisi Energi di Indonesia. *Analisis Kebijakan Pembangunan Ekonomi*. 1-21.

Ardiyanti, D., Kurniawan, F., Raokter, U., & Wikansari, R. (2023). Analisis Penjualan Mobil Listrik di Indonesia dalam Rentang Waktu 2020-2023. *Journal of Economics and Management*, *1*(3), 114-122.

Badriah. (2016). *Ensiklopedia Rumus Fisika SMA Kelas 1, 2, 3.* Lembar Langit Indonesia.

Daeli, I. S. (2024). Strategi Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca untuk Mengatasi Konflik Global Akibat Perubahan Iklim. *Environment Conflict, 1*(2), 72-82.

Dionova, B. W. (2025). Implementasi Pengisian Baterai Kendaraan Listrik Ac Dan Dc dengan Sumber Energi Hybrid. *Jurnal Kajian Teknik Elektro, 10*(1), 72-78.

Mahija, M. (2022). Sistem Pengereman Regeneratif pada Kendaraan Listrik dengan Menggunakan Motor Induksi. *Jurnal Internasional Teknik Mesin, 7*(5), 722.

Mamur, H., & Candan, A. K. (2020). *Detailed Simulation of Regenerative Braking of BLDC Motor for Electric Vehicles. Bilge International Journal of Science and Technology Research,* 4(3), 10–17.

Patrianti, T., Shabana, A., & Tuti, R. W. (2020). Komunikasi Risiko Pemerintah pada Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca untuk Mengatasi Perubahan Iklim. *Jurnal Penelitian Komunikasi dan Opini Publik, 24*(2), 156-170.

Putra, R. P. (2021). Desain Sistem Pengereman Regeneratif pada Sepeda Listrik Ringkas. *Energi & Kelistrikan, 13*(1), 11-19.

Putro, H., Rosadi, D. I., Pebriananta, R., & Rajib, R. K. (2024). Melangkah Menuju Lingkungan yang Berkelanjutan: Tantangan dan Solusi untuk Masa Depan Bumi. *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik, 1*(3), 111-120.

Sharma, H. (2024). *Electric Vehicle Technologies.* Wiley.

Sidabutar, V. T. P. (2020). Kajian Pengembangan Kendaraan Listrik di Indonesia: Prospek dan Hambatannya. *Jurnal Paradigma Ekonomika, 15*(1), 21-38.

Sugiyono. (2013). Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.

Teasdale, A., Ishaku, L., Amaechi, C. V., Adelusi, I., & Abdelazim, A. (2024). *A Study On An Energy-Regenerative Braking Model Using Supercapacitors And DC Motors. World Electric Vehicle Journal,* 15(7), 326.

Widiantoro, I. I., Wartana, I. M., & Setiawan, R. (2024). Perancangan Sistem Pengereman Regeneratif pada Mobil Listrik. *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro, 8*(2), 156-168.

Xiong, S., Ji, J., & Ma, X. (2019). *Comparative Life Cycle Energy And GHG Emission Analysis for Bevs and Phevs: A Case Study In China*. *Energies, 12*(5), 834.

Yusrizal, & Rahmat. (2022). Fisika dan Ilmu Fisika. Syiah Kuala University Press

Zhou, Z., *et al*. (2020). *Regenerative Braking Technologies for Electric Vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology.*