

**SKRIPSI**  
**IMPLEMENTASI**  
***REGENERATIVE BRAKING SYSTEM***  
***PADA AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE***  
***DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER***



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik**  
**Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**

**Oleh:**

**MUHAMMAD RIZKI**  
**03041281924058**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**IMPLEMENTASI REGENERATIVE BRAKING SYSTEM**  
**PADA AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE**  
**DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER**



**SKRIPSI**

**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik**  
**Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**  
**Oleh:**

**MUHAMMAD RIZKI**  
**03041281924058**

**Indralaya, 24 Juli 2023**

**Menyetujui**  
**Pembimbing Utama**



**M. Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU**  
**NIP. 197108141999031005**

**Hera Hikmarika, S.T., M.Eng.**  
**NIP. 19781207200212202**

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Rizki  
NIM : 03041281924058  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin* : 5%

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "*Implementasi Regenerative Braking System Pada Autonomous Electric Vehicle Dengan Fuzzy Logic Controller*" merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.


Indralaya, 24 Juli 2023



Muhammad Rizki

NIM. 03041281924058

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya ruang lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan :  \_\_\_\_\_  
Pembimbing Utama : Hera Hikmarika, S.T., M.Eng.  
Tanggal : 24 / Juli / 2023

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rizki

NIM : 03041281924058

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**IMPLEMENTASI *REGENERATIVE BRAKING SYSTEM*  
PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE*  
DENGAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini i saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Indralaya

Pada tanggal : 24 Juli 2023

Yang menyatakan



Muhammad Rizki

NIM. 03041281924058

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW. Atas Berkat dan karunia Allah SWT penulis dapat menyelesaikan skripsi “Implementasi *Regenerative Braking System* Pada *Autonomous Electric Vehicle* Dengan *Fuzzy Logic Controller*”

Pembuatan skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ayah dan Ibu, saudara Irawan, Rio, dan Kartika, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat dan memberikan dukungan baik secara mental, fisik, maupun finansial.
2. Ibu Hera Hikmarika, S.T., M.Eng. selaku pembimbing tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan memberikan ilmu selama proses penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku pencetus dan pengembang ide tugas akhir ini
4. Ibu Hj. Rahmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S., IPM. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
6. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
7. Abie, Dimsyiar, Gita, Javen, Regita, dan Sandika selaku rekan kerja yang selalu bersemangat mengerjakan tugas akhir.
8. Ajik, Alwan, Amaly, Bima, Deka, Gono, Ishran, Moris, Rosidi, dan rekan rekan satu angkatan konsentrasi Teknik Kendali dan Komputer 2019 yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini khususnya.

9. Angelia Sapitri yang juga memberikan support terbaiknya dalam penyusunan skripsi.
10. Dan pihak-pihak lain yang sangat membantu dalam penulisan skripsi tugas akhir ini, yang penulis tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu

Di dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari masih terdapat berbagai macam kekurangan. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi evaluasi dan berguna untuk penyusun dimasa yang akan datang.

Indralaya, 24 Juli 2023



Muhammad Rizki

NIM. 03041281924058

.  
”.

**ABSTRAK**  
**IMPLEMENTASI *REGENERATIVE BRAKING SYSTEM***  
**PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE***  
**DENGAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

(Muhammad Rizki, 03041281924058, 2023, 44 Halaman)

---

*Autonomous electric vehicle* merupakan sebuah kendaraan listrik yang dapat berjalan secara otomatis tanpa pengemudi maupun disertai pengemudi. *Autonomous electric vehicle* menggunakan sebuah motor listrik sebagai mesin penggerakannya. Motor listrik ini dapat berubah fungsi menjadi generator penghasil daya ketika dalam mode pengereman, salah satu metodenya yaitu *regenerative braking system*. Pada penelitian ini, sistem pengereman yang diterapkan *autonomous electric vehicle* berupa pengereman otomatis menggunakan kendali *fuzzy* dengan output PWM motor pg56 sebagai motor pengereman. Motor pg56 digunakan sebagai motor penarik tali pegas pengereman pada motor DC Shunt. Kecepatan motor pg56 akan diatur dengan menggunakan *fuzzy logic controller* dengan *input* kecepatan motor penggerak yang terdiri dari 5 member dan *input* jarak yang terdiri dari 3 member. Sedangkan pada pengereman regeneratifnya akan dirancang jalur kelistrikan dari motor DC yang terhubung dengan motor penggerak melalui sebuah gear dan belt kemudian memasuki sensor voltmeter agar dapat diketahui besarnya tegangan yang dapat dibangkitkan oleh motor DC dan tidak dikembalikan ke baterai. Dari data yang diperoleh, dapat diketahui tegangan tertinggi yang dapat dibangkitkan oleh motor DC adalah sebesar 2, 72 Volt. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* dapat melakukan pengereman dengan baik dan turut mempengaruhi besarnya tegangan balik yang terukur.

**Kata Kunci :** *Autonomous Electric Vehicle, Fuzzy Logic Controller, Regenerative Braking System, Motor DC*



**ABSTRACT**  
**IMPLEMENTATION OF REGENERATIVE BRAKING SYSTEM**  
**IN AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE**  
**WITH FUZZY LOGIC CONTROLLER**

(Muhammad Rizki, 03041281924058, 2023, 44 Pages)

---

*Autonomous electric vehicle is an electric vehicle that can run automatically without a driver or accompanied by a driver. Autonomous electric vehicle uses an electric motor as its driving machine. This electric motor can change its function to become a generator and generating power when in braking mode, one method that can be done is regenerative braking system. In this study, the braking system applied to the autonomous electric vehicle is in the form of automatic braking using fuzzy control with output PWM to pg56 motor as the braking motor. The pg56 motor is used as a spring-brake puller motor for DC shunt motors. The speed of the pg56 motor will be regulated using a fuzzy logic controller with input speed of driving motor which consists of 5 members and the distance input which consists of 3 members. Meanwhile, for the regenerative braking, an electrical path from the DC motor will be designed which is connected to the driving motor via a gear and a belt and then enters the voltmeter sensor so that the amount of voltage that can be generated by the DC motor can be determined and not returned to the battery. From the data obtained, it can be seen that the highest voltage that can be generated by a DC motor is 2.72 Volts. Result of this study indicated that fuzzy control system can perform braking very well and also influences the measured back voltage.*

**Key Words : Autonomous Electric Vehicle, Fuzzy Logic Controller,  
Regenerative Braking System, Motor DC**

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Keaslian Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. State Of the Art .....	5
2.2. Autonomous Electric Vehicle.....	13
2.3. Fuzzy Logic Controller.....	13
2.4. Regenerative Braking System.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1. Studi Literature.....	19
3.2. Perancangan Sistem.....	20
3.2.1. Perancangan <i>Hardware</i> .....	22
3.2.2. Perancangan Program.....	26
3.3. Pengujian Sistem.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1 Perancangan Alat.....	29
4.2 Pengujian Sistem Pengereman.....	31

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	43
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	43
<b>5.2 Saran</b> .....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram akuisis data pada EV [7].....	5
Gambar 2. 2 Sistem FLmRB secara keseluruhan [7].....	6
Gambar 2. 3 Sistem kontrol regenerative braking [8].....	7
Gambar 2. 4 Fungsi keanggotaan SOC [8]. ....	7
Gambar 2. 5 Fungsi keanggotaann speed [8]. ....	7
Gambar 2. 6 Fungsi keanggotaan <i>required braking force</i> [8].....	7
Gambar 2. 7 Digram sistem kontrol [9]. ....	9
Gambar 2. 8 Hasil simulasi [9]. ....	10
Gambar 2. 9 Struktur sistem kontrol regenerative braking [2]. ....	11
Gambar 2. 10 Membership function velocity [2].....	11
Gambar 2. 11 Membership function SOC [2].....	11
Gambar 2. 12 Membership function break pedal [2]. ....	11
Gambar 2. 13 Membership function Kreg [2].....	11
Gambar 2. 14 Energi yang dikonsumsi dan direcovery [2]. ....	13
Gambar 2. 15 Membership function [12].....	14
Gambar 2. 16 Linear naik.....	15
Gambar 2. 17 Linear turun. ....	15
Gambar 2. 18 Kurva segitiga. ....	15
Gambar 2. 19 Kurva trapesium. ....	16
Gambar 2. 20 Alur sistem kontrol fuzzy logic [15]. ....	18
Gambar 2. 21 Rangkaian ekuivalent antara ESS dan motor [17]. ....	18
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Flowchart sistem Pengereman.....	20
Gambar 3. 3 Flowchart Regenerative.....	21
Gambar 3. 4 Diagram rancangan hardware sistem pengereman regeneratif. ....	22
Gambar 3. 5 Motor DC. ....	22
Gambar 3. 6 Mikrokontroler Arduino.....	23
Gambar 3. 7 Driver motor.....	23
Gambar 3. 8 Motor PG56.....	24
Gambar 3. 9 Buck boost converter.....	24

Gambar 3. 10 Sensor jarak.....	24
Gambar 3. 11 Module Xh M604.....	25
Gambar 3. 12 Sensor Tegangan.....	25
Gambar 3. 13 Sensor kecepatan encoder.....	26
Gambar 3. 14 Sistem kontrol fuzzy pengereman.....	28
Gambar 4. 1 Autonomous electric vehicle tampak depan (a), Model rangkaian pengereman otomatis (b), Model rangkaian regenerative (c), Jalur penghubung antara motor penggerak, encoder, dan motor regenerative (d).....	30
Gambar 4. 2 Kurva bahu input variable Kecepatan motor penggerak(Vs).....	31
Gambar 4. 3 Kurva bahu input variable jarak.....	32
Gambar 4. 4 Kurva bahu output variable PWM motor PG56(Vp).....	33
Gambar 4. 5 Diagram blok kendali Fuzzy.....	35
Gambar 4. 6 Simulasi output fuzzy melalui Matlab.....	36
Gambar 4. 7 Code Fuzzy Arduino IDE.....	37
Gambar 4. 8 Grafik PWM sebagai Output Fuzzy.....	37
Gambar 4. 9 Grafik tegangan yang dibangkitkan motor DC.....	38
Gambar 4. 10 Grafik PWM Sebagai Output Fuzzy.....	39
Gambar 4. 11 Grafik tegangan yang dibangkitkan motor DC.....	39
Gambar 4. 12 Grafik PWM Sebagai Output Fuzzy.....	40
Gambar 4. 13 Grafik tegangan yang dibangkitkan motor DC.....	41

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Data hasil Simulasi [7].	6
Tabel 2. 2 Aturan Fuzzy [8].	8
Tabel 2. 3 Membership Function [9].	9
Tabel 2. 4 Fuzzy rules [2].	12
Tabel 2. 5 Metode fuzzy logic [13].	17
Tabel 3. 1 Membership Function DC shunt (Vs)	26
Tabel 3. 2 Membership Function jarak	27
Tabel 3. 3 Membership Function kecepatan PG56(Vp).	27
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian.	38
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian.	40
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian.	41

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**Lampiran 1.** Gambar Rangkaian Regenerative

**Lampiran 2.** Kode program *fuzzy logic controller* pada Arduino IDE

**Lampiran 3.** Data pembacaan sensor tegangan, RPM, PWM, dan jarak.

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Peningkatan pengguna kendaraan konvensional mendorong peningkatan kebutuhan bensin. Bensin tergolong kedalam energi tak terbarukan yang akan habis bila digunakan dalam jangka waktu panjang. Sejalan dengan keterbatasan energi, kenaikan penggunaan kendaraan konvensional juga dapat meningkatkan polusi udara. Gas yang dihasilkan oleh pembakaran kendaraan adalah gas karbon monoksida yang tergolong kedalam gas rumah kaca. Gas ini dapat mengakibatkan kenaikan suhu pada permukaan bumi dan mengganggu saluran pernapasan manusia, Dengan adanya ancaman yang ditimbulkan oleh kendaraan konvensional, maka para peneliti dan produsen kendaraan mulai beralih dengan membuat kendaraan yang lebih ramah lingkungan, yaitu kendaraan listrik (*electric vehicle*). *Electric vehicle* merupakan kendaraan yang memanfaatkan motor listrik sebagai mesin penggeraknya dan memanfaatkan baterai sebagai sumber energi pada kendaraan.

Pada masa kini pengembangan pada kendaraan listrik terus dilakukan. Salah satu aspek yang mendapatkan pengembangan pada *electric vehicle* adalah pemanfaatan motor menjadi sebuah generator sementara ketika kendaraan listrik sedang melakukan pengereman. Metode ini dikenali dengan sebutan *Regenerative Braking System*. *Regenerative Braking System* merupakan salah satu metode yang cukup menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi dan jarak tempuh *electric vehicle*. Sistem pengereman regeneratif memanfaatkan perubahan energi yang terjadi pada motor listrik. Saat pengereman berlangsung, fungsi motor yang awalnya sebagai mesin penggerak berganti menjadi mesin yang digunakan untuk mengkonversi energi kinetik menjadi energi listrik yang kemudian disimpan pada *Energy Storage System* (ESS). Setelah proses pengereman selesai dilakukan, motor listrik akan kembali berfungsi sebagai mesin penggerak[1]. Sistem pengereman regeneratif merupakan sebuah sistem yang memiliki variabel ketidakpastian[2]. Berbagai parameter yang berpengaruh dalam *regenerative braking system* seperti torsi motor, gaya gesek roda terhadap jalan, *input* gaya dari pedal rem, dan aspek



lainnya. Sehingga sistem kontrol harus dikembangkan untuk mengatur semua parameter guna mendapatkan pengereman yang maksimal dan mengembalikan energi semaksimal mungkin[3].

Ada banyak sistem kontrol yang dapat digunakan pada sistem pengereman regeneratif seperti kendali PID, *Sliding Mode Controller* (SMC), *Dynamic Programming* (DP), dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Penelitian sistem pengereman regeneratif yang menggunakan sistem kontrol *Dynamic Programming* [4] mendapatkan hasil berupa peningkatan efisiensi baterai. Namun metode DP memiliki kerumitan dalam pengoperasian alat karena membagi sistem menjadi dua mode. Pada penelitian lain yang menggunakan metode PID digabungkan dengan *Neural Network* [5] menghasilkan peningkatan efisiensi pada sistem, namun pengimplementasiannya pada *regenerative braking system* sulit dilakukan. NN digunakan untuk mengatasi kelemahan pada kendali PID namun menambah kerumitan program. Penelitian lain tentang manajemen kontrol *regenerative braking system* dengan menggunakan metode *Adaptive Sliding Mode Controller* (ASMC) [6] memiliki keunggulan meningkatkan stabilitas pembagian kelistrikan sistem penyimpanan pada kendaraan serta meningkatkan efisiensi daya. Namun pada perhitungannya menggunakan rumus yang sangat rumit. Dari semua metode, masing masing metode memiliki kelemahan untuk diimplementasikan. Sehingga pada penelitian ini dikembangkan dengan metode *fuzzy*.

Sistem kendali *fuzzy logic controller* sudah diimplementasikan pada pengereman regeneratif[7], namun penelitian ini diimplementasikan pada *electric vehicle*. Sedangkan pada penelitian ini, sistem pengereman regeneratif akan diimplementasikan pada *autonomous electric vehicle*. Sistem kendali *fuzzy* mudah diimplementasikan pada *regenerative braking system* secara realtime dan tidak memerlukan perhitungan yang rumit. Oleh karena itu pada penelitian ini akan mengembangkan penggunaan *fuzzy logic controller* sebagai pengendali *regenerative braking system*.

## 1.2. Rumusan Masalah

*Autonomous electric vehicle* menggunakan motor listrik sebagai mesin penggerak. Motor ini mendapatkan suplai energi dari *Energy Storage System* (ESS). Selain dimanfaatkan sebagai mesin penggerak, motor listrik juga dapat dimanfaatkan sebagai generator penghasil daya dengan metode *regeneratif braking system*. Dengan pemanfaatan sistem pengereman regeneratif metode kontrol *fuzzy* dapat mengembalikan energi yang terbuang selama proses pengereman menjadi energi listrik.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah pengimplementasian *regenerative braking system* dengan pengendali *fuzzy* pada *autonomous electric vehicle* yang telah dirancang.

## 1.4. Batasan Masalah

Ruang lingkup batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengujian dilakukan di dalam lingkungan kampus Universitas Sriwijaya.
2. Mesin penggerak yang dipakai pada *autonomous electric vehicle* berupa motor dc shunt.
3. Metode kontrol yang digunakan pada pengereman regeneratif adalah metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC) mamdani.

## 1.5. Keaslian Penelitian

Penelitian tentang *regenerative braking system* dengan metode *Fuzzy logic Controller* (FLC) telah banyak dilakukan oleh peneliti lain. Ricardo Maia dkk[7] dalam penelitiannya mereka menggunakan *fuzzy logic Mamdani*. Variabel yang digunakan terdiri dari 3 input yaitu *acceleration*, *jerk* dan *inclination*. *Output* yang ingin dicapai adalah persen faktor regenerasi. Dari penelitian tersebut diperoleh tingkat efisiensi sebesar 85, 95%.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Zijian Zhang dkk[8] menggunakan FLC Sugeno. Variabel *input* yang digunakan yaitu *State Of Charge* (SOC),

kecepatan kendaraan, dan besar gaya rem yang diperlukan. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah FLC dapat merecovery energi lebih banyak dan juga dapat memastikan keamanan baterai. Besarnya kenaikan energi yang direcovery dari FLC adalah sebesar 22, 29%. Percobaan yang dilakukan menggunakan aplikasi ADVISOR.

Kemudian pada penelitian lain yang dilakukan oleh Ye Tao dkk[2]. Pada penelitian ini menggunakan motor di as roda. Kemudian sistem kontrol yang diterapkan yaitu FLC mamdani. Variabel *input* yang digunakan adalah *State Of Charge (SOC)*, *brake pedal*, dan *vehicle speed*. Sedangkan untuk outputnya adalah proporsi antara gaya *regenerative braking* terhadap total gaya pengereman. Pengujian dilakukan melalui aplikasi Matlab dan AMESim. Efisiensi energi yang diperoleh yaitu sebesar 17, 6%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Prof C. R. Lakade dan MR. Rahul Ganpati[9], diperoleh hasil pengereman regeneratif dapat meningkatkan jarak tempuh kendaraan. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah gabungan antara metode *fuzzy mamdani* dan PID. Variabel *input* yang dipakai adalah *State Of Charge (SOC)*, *Speed* dan gaya gesek pada ban depan. Sistem diimplementasikan melalui aplikasi Matlab dan secara langsung melalui alat yang telah dibentuk. Namun terdapat beberapa kerumitan pada saat penambahan PID pada sistem kontrol, karena terdapat beberapa parameter penting yang mempengaruhi dalam proses pengereman regeneratif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Guo, “Development of regenerative braking for electric vehicles in China: A review,” *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, vol. 7, no. 2, pp. 120–138, 2015. doi: 10.1504/IJEHV.2015.071081.
- [2] Y. Tao, X. Xie, H. Zhao, W. Xu, and H. Chen, “A regenerative braking system for electric vehicle with four in-wheel motors based on fuzzy control,” *Chinese Control Conf. CCC*, pp. 4288–4293, 2017, doi: 10.23919/ChiCC.2017.8028032.
- [3] A. T. Hamada and M. F. Orhan, “An overview of regenerative braking systems,” *Journal of Energy Storage*, vol. 52, no. PC. Elsevier Ltd, p. 105033, 2022. doi: 10.1016/j.est.2022.105033.
- [4] B. C. Chen, Y. Y. Wu, and H. C. Tsai, “Design and analysis of power management strategy for range extended electric vehicle using dynamic programming,” *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1764–1774, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.018.
- [5] C. Jianbo, C. Binggang, C. Wenzhi, and X. Peng, “Neural network self-adaptive PID control for driving and regenerative braking of electric vehicle,” *Proc. IEEE Int. Conf. Autom. Logist. ICAL 2007*, pp. 2029–2034, 2007, doi: 10.1109/ICAL.2007.4338908.
- [6] B. Wang, J. Xu, R. J. Wai, and B. Cao, “Adaptive Sliding-Mode with Hysteresis Control Strategy for Simple Multimode Hybrid Energy Storage System in Electric Vehicles,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 2, pp. 1404–1414, 2017, doi: 10.1109/TIE.2016.2618778.
- [7] R. Maia, M. Silva, R. Araújo, and U. Nunes, “Electrical vehicle modeling: A fuzzy logic model for regenerative braking,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 22, pp. 8504–8519, 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2015.07.006.
- [8] Z. Zhang, G. Xu, W. Li, and L. Zheng, “Regenerative braking for electric

- vehicle based on fuzzy logic control strategy,” *ICMEE 2010 - 2010 2nd Int. Conf. Mech. Electron. Eng. Proc.*, vol. 1, no. Icmee, pp. 319–323, 2010, doi: 10.1109/ICMEE.2010.5558540.
- [9] R. G. Chougale and C. R. Lakade, “Regenerative braking system of electric vehicle driven by brushless DC motor using fuzzy logic,” *IEEE Int. Conf. Power, Control. Signals Instrum. Eng. ICPCSI 2017*, pp. 2167–2171, 2018, doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8392101.
- [10] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, “A review on electric vehicles: Technologies and challenges,” *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021, doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [11] F. Wahab, A. Sumardiono, A. R. Al Tahtawi, and A. F. A. Mulayari, “Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan,” *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8.
- [12] T. M. Guerra, A. Sala, and K. Tanaka, “Fuzzy control turns 50: 10 years later,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 281, pp. 168–182, 2015, doi: 10.1016/j.fss.2015.05.005.
- [13] B. Baasandorj, A. Reyaz, P. J. Ho, C. W. Cheol, D. J. Lee, and K. T. Chong, “A mobile robot obstacle avoidance using fuzzy logic and model predictive control,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 548–549, pp. 922–927, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.548-549.922.
- [14] A. T. Nguyen, T. Taniguchi, L. Eciolaza, V. Campos, R. Palhares, and M. Sugeno, “Fuzzy control systems: Past, present and future,” *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 14, no. 1, pp. 56–68, 2019, doi: 10.1109/MCI.2018.2881644.
- [15] J. Wu, X. Wang, L. Li, and Y. Du, “Hierarchical control strategy with battery aging consideration for hybrid electric vehicle regenerative braking control,”

*Energy*, vol. 145, pp. 301–312, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.12.138.

- [16] X. Nian, F. Peng, and H. Zhang, “Regenerative braking system of electric vehicle driven by brushless DC motor,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 10, pp. 5798–5808, 2014, doi: 10.1109/TIE.2014.2300059.