

Perancangan dan Implementasi Pengereman Regeneratif pada Simulator Mobil Listrik Berbasis Motor

Arus Searah

Raffi Fuad Elpriza¹, Adnan Rafi Al Tahtawi², Sofian Yahya³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : raffi.fuad.tlis19@polban.ac.id

E-mail : adnan.raf@polban.ac.id

E-mail : sofianyahya@polban.ac.id

ABSTRAK

Salah satu bidang yang membutuhkan listrik yaitu pada mobil listrik. Namun saat ini salah satu kendala pada mobil listrik yaitu ketersediaan stasiun pengisian listrik dan juga pengisian baterai yang membutuhkan waktu cukup lama. Pengereman regeneratif dapat menjadi penyedia energi listrik bagi kendaraan listrik karena pengereman membuang banyak energi gerak menjadi panas, dan beberapa penelitian menemukan dapat memanfaatkan energi yang terbuang percuma ini untuk dapat menghasilkan energi listrik kembali. Superkapasitor merupakan sumber energi listrik yang memiliki waktu pengisian/pengosongan yang lebih cepat dibandingkan dengan sumber daya lainnya, seperti baterai dan sel bahan bakar. Oleh karena itu, superkapasitor sering digunakan sebagai sumber tenaga tambahan pada kendaraan listrik. Tujuan dari penelitian ini untuk melakukan perancangan dan implementasi simulator mobil listrik berbasis motor arus searah dengan skema pengisian superkapasitor dengan kecepatan konstan dan berubah. Komponen utama simulator ini adalah dua buah motor DC (MAS1 dan MAS2) dengan sumbu rotasi yang terhubung dan dapat menjadi motor ataupun generator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa skema pengisian superkapasitor dapat diimplementasikan pada simulator mobil listrik yang telah dibangun. Skema ini diuji dengan kecepatan konstan dan kecepatan berubah dimana kecepatan konstan menghasilkan pengisian tegangan $\pm 11V$ dan memiliki pengisian superkapasitor yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan berubah.

Kata Kunci

superkapasitor, pengereman regeneratif, arus searah, kendaraan listrik, simulator

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan energi yang selalu dibutuhkan di segala sektor saat ini. Salah satu sektor yang membutuhkan energi listrik yaitu mobil listrik yang dikenal ramah lingkungan. Saat ini pengembangan mobil listrik masih terus berlanjut. Namun salah satu permasalahan yang sering terjadi yaitu pada bagian baterai yang cepat habis dan berdampak pada jarak tempuh pemakaian. Di dalam mobil listrik terdapat motor listrik yang berfungsi sebagai penggerak utama pada kendaraan listrik. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan sumber daya tambahan [1] dengan cara menambahkan superkapasitor yang merupakan sumber energi yang memiliki kapasitas penyimpanan energi yang lebih tinggi dan juga memiliki waktu pengisian daya lebih cepat dibanding dengan baterai. Superkapasitor bekerja dengan frekuensi

yang tinggi [1]. Ini berarti bahwa waktu pengisian superkapasitor paling cepat dibanding yang lain. Keunggulan ini yang menjadikan superkapasitor digunakan sebagai sumber daya tambahan pada kendaraan listrik.

Dalam penelitian ini akan dirancang simulator mobil listrik berbasis motor arus searah untuk skema proses pengisian superkapasitor. Skema dirancang dengan terjadinya pengereman regeneratif. Skema ini dirancang dengan membuat motor berperan sebagai generator, sehingga generator akan menghasilkan energi listrik yang akan digunakan untuk pengisian superkapasitor.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Mobil Listrik

- a) *Battery Electric Vehicle (BEV)*
Jenis mobil listrik ini sudah menggunakan motor listrik

sepenuhnya dan tidak mempunyai mesin pembakaran. Sumber tenaganya berasal dari baterai yang dapat diisi ulang khusus mobil listrik.

b) *Hybrid*

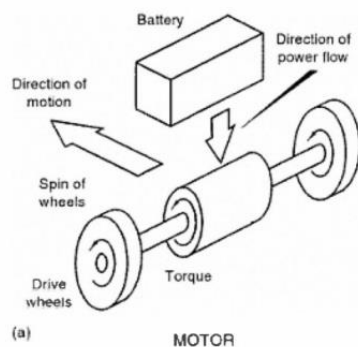
Jenis mobil ini menggunakan dua sistem penggerak, mesin pembakaran internal bertenaga bahan bakar dan motor listrik bertenaga baterai. Saat mobil ini melaju, mesin pembakaran dalam dan motor listrik memutar transmisi secara bersamaan untuk menggerakkan roda. Namun, baterai hanya dapat diisi melalui putaran mesin dan tidak mempunyai tempat untuk isi ulang baterai.

c) *Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)*

Hampir sama dengan *hybrid*, *PHEV* ini menggunakan penggerak mesin kembar, yaitu mesin sistem pembakaran bahan bakar dan motor listrik. Bedanya, *PHEV* memiliki tempat untuk mengisi mobil, dan mobil jenis ini biasanya dapat beroperasi dalam dua mode: mode listrik murni dan mode *hybrid*.

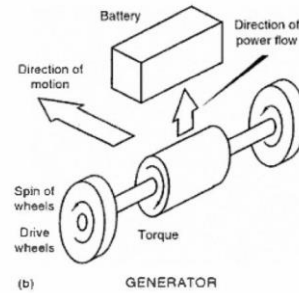
2.2 **Pengereman Regeneratif**

Pengereman sendiri bertujuan untuk memperlambat laju mobil yang mengakibatkan terdapat energi yang terbuang. Energi yang terbuang ini dapat diubah menjadi energi berguna terutama untuk mobil hybrid dan listrik. Maka pengereman regeneratif telah diterapkan pada sistem pengereman mobil untuk menangkap kembali energi yang terbuang ini.



Gambar 1 kondisi normal[12]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 kondisi saat mengemudi dalam kondisi normal. Sedangkan saat pengereman regeneratif terdapat seperti Gambar 2.



Gambar 2 Kondisi pengereman regeneratif[12]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 mode pengereman regeneratif menggunakan motor untuk memperlambat mobil ketika pengemudi menekan pedal rem kemudian menggerakkan motor listrik ke arah yang berlawanan, memperlambat mobil. Saat bergerak mundur, motor bertindak sebagai generator dan mengisi ulang baterai.

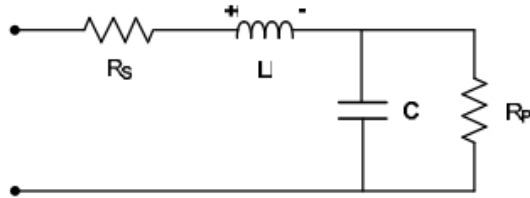
2.3 **Motor Arus Searah**

Mesin DC adalah komponen elektromekanis yang membantu mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik dan sebaliknya [16]. Ketika mesin DC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik disebut motor DC, dan ketika mesin DC mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator DC. Motor DC adalah jenis motor yang menggunakan arus searah sebagai sumber tenaganya. Dengan memberikan perbedaan tegangan antara kedua terminal maka motor akan berputar satu arah, dan jika arah polaritas tegangan dibalik maka arah putaran motor akan terbalik. Motor DC terdiri dari komponen statis yang disebut stator dan komponen berputar yang disebut rotor.

2.4 **Superkapasitor**

Superkapasitor adalah kapasitor daya tinggi dengan nilai kapasitansi yang jauh lebih tinggi daripada kapasitor biasa. Kapasitansi kapasitor diukur dalam Farad (F). Farad adalah satuan kapasitansi untuk coulomb/volt. Jika kapasitor 1 farad, akan ada beda potensial 1V antara pelat tergantung pada muatan 1 coulomb. 1 Farad merupakan nilai yang sangat besar bila digunakan pada komponen elektronika umum. Jika nilainya farad maka kapasitor

dapat menahan lebih banyak energi. Selain itu kelebihan superkapasitor yaitu memiliki waktu pengisian dan pengosongan muatan yang cepat. Adapun rangkaian ekivalen superkapasitor sebagai berikut[16] :

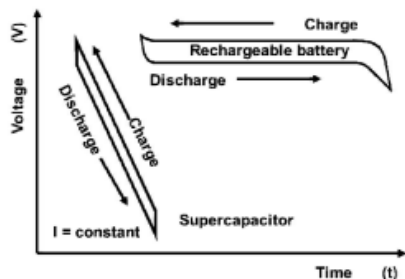


Gambar 3 Rangkaian superkapasitor[16]

Seperti pada Gambar 3 bahwa rangkaian ini terdapat empat komponen elektronika yang dianggap ideal. R_s terpasang seri diasumsikan sebagai nilai resistansi seri yang menyebabkan adanya tegangan jatuh ketika pengisian dan pengosongan superkapasitor. R_p terpasang paralel dianggap sebagai adanya pengosongan pada supekapasitor. C dan L sebagai kontruksi dari supekapasitor tersebut.

Jika dibandingkan dengan baterai, superkapasitor memiliki daya yang lebih besar tetapi energi yang lebih kecil. Sedangkan baterai memiliki daya yang lebih kecil akan tetapi energi lebih besar[16]. Maka dari itu baterai dan superkapasitor memiliki karakteristik yang saling melengkapi sehingga dapat menjadi sumber energi yang lebih baik.

Dalam hal pengisian dan pengosongan superkapasitor memiliki waktu pengisian dan pengosongan yang lebih cepat daripada baterai. Baterai membutuhkan waktu lama untuk diisi sedangkan superkapasitor memiliki waktu pengisian yang lebih cepat, begitu juga baterai memiliki pengosongan lebih lama dibandingkan superkapasitor. Seperti Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan waktu pengisian dan pengosongan baterai-superkapasitor[16]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 merupakan perbandingan waktu pengisian dan pengosongan baterai-superkapasitor[16].

Seperti yang terlihat bahwa dengan arus konstan, grafik pengisian dan pengosongan superkapasitor memiliki kemiringan yang lebih curam dan menjadi salah satu keunggulan tersendiri. Ketika proses pengisian energi maka superkapasitor lebih cepat menyimpan energi listrik dibandingkan dengan baterai.

Seperti komponen listrik lainnya superkapasitor dapat dikombinasikan menggunakan rangkaian seri maupun paralel. Kombinasi seri superkapasitor menyebabkan tegangan yang dimiliki menjadi lebih besar tetapi nilai kapasitansi menjadi lebih kecil :

$$V_{total} = V_{sel} \times n \quad (1)$$

$$C_{total} = C_{sel}/n \quad (2)$$

Sedangkan ketika kombinasi paralel besarnya tegangan dan kapasitansi yang diperoleh memenuhi hubungan:

$$V_{total} = V_{sel}/n \quad (3)$$

$$C_{total} = C_{sel} \times n \quad (4)$$

Dimana

V = tegangan (V)

C = kapasitansi (F)

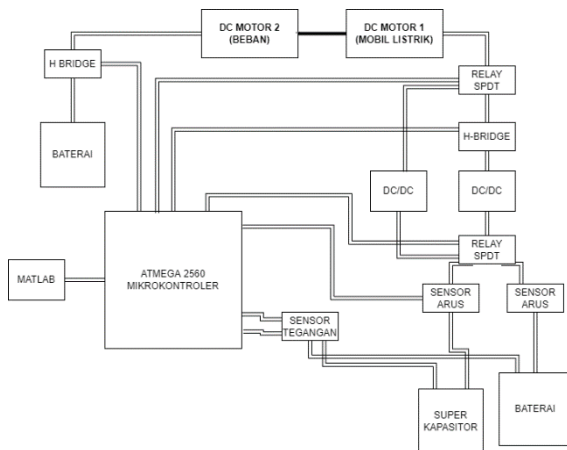
n = banyaknya sel yang dikombinasikan

Secara umum superkapasitor memiliki tegangan yang kecil maka untuk memperoleh tegangan yang besar dapat digunakan rangkaian seri. Akan tetapi besarnya nilai kapasitansi akan berkurang sesuai banyaknya superkapasitor yang digunakan.

3. METODOLOGI PELAKSANAAN

Pada tahapan pelaksanaan ini yaitu bagaimana merancang alat perangkat keras simulator. Diawali dengan mengkaji berbagai literatur yang memuat teori, konsep, dan hasil penelitian yang relevan. Hasil dari kajian digunakan sebagai dasar dalam membandingkan hasil penelitian yang akan dilaksanakan. Tahapan pelaksanaan terdiri dari diagram alir dan diagram blok sistem.

3.1 Diagram Blok Sistem

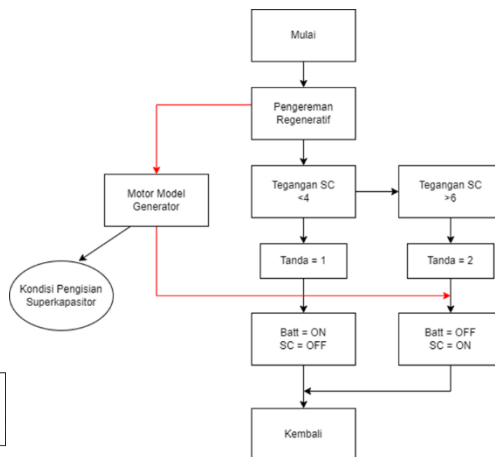


Gambar 5 Diagram blok sistem

Berikut penjelasan dan fungsi setiap komponen pada diagram blok sebagai berikut :

1. MAS berfungsi sebagai komponen utama. Motor Arus Searah 1 sebagai simulator mobil listrik dan Motor Arus Searah 2 sebagai gaya interaksi dari lingkungan sekitar.
2. Superkapasitor berfungsi sebagai energi tambahan.
3. Baterai berfungsi sebagai sumber energi MAS 1 dan MAS 2.
4. Mikrokontroler berfungsi sebagai pengolahan data masukan menjadi keluaran sesuai yang diinginkan menggunakan ATMEGA 2560 dengan tegangan operasi 5 V, 54 pin digital I/O dengan 15 pin PWM.
5. Sensor arus berfungsi mengetahui arus yang mengalir pada baterai dan superkapasitor. Menggunakan sensor arus ACS712.
6. Sensor tegangan berfungsi mengetahui tegangan yang mengalir dalam superkapasitor dan baterai.
7. Konverter DC/DC berfungsi untuk menaikkan/menurunkan tegangan sesuai yang diinginkan.
8. H-bridge berfungsi sebagai menentukan arah putaran motor dan menentukan kecepatan motor.
9. Relay SPDT berfungsi sebagai komponen pensaklaran saat terjadi pengisian ataupun pengosongan superkapasitor.
10. MATLAB berfungsi untuk membuat program algoritma profil jalan.
11. Laptop berfungsi sebagai perangkat untuk menampilkan respon dari variabel yang diamati.

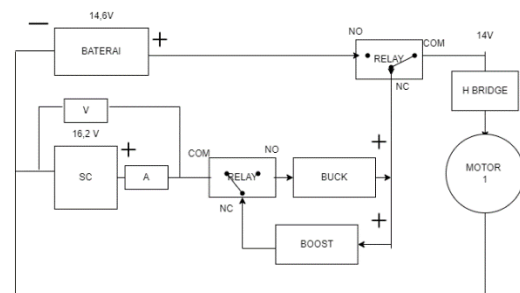
3.2 Algoritma Pengisian Superkapasitor



Gambar 6 Algoritma pengisian superkapasitor

Seperti yang terlihat pada Gambar 6 terlihat kondisi pengisian superkapasitor terjadi saat pengereman regeneratif. Kondisi ini terjadi apabila tegangan yang diberikan pada MAS 2 lebih besar dibandingkan MAS 1. Maka kondisi motor listrik saat itu sebagai generator. Tegangan yang dihasilkan generator ini digunakan untuk pengisian superkapasitor.

3.3 Skema Pengereman Regeneratif



Gambar 7 Skema pengereman regeneratif

Skema pengereman regeneratif ditunjukkan pada Gambar 7 dimana terlihat tegangan untuk pengisian superkapasitor berasal dari MAS 1 yang difungsikan sebagai generator. Selanjutnya konverter boost berfungsi untuk menaikkan tegangan dari generator yang bertujuan agar tegangan generator menjadi lebih besar dari tegangan superkapasitor, lalu arus mengalir dari generator ke superkapasitor. Untuk menghitung besar arus pengisian superkapasitor dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = dQ/dt \quad (5)$$

Dikarenakan $dQ = C \times dV$, maka :
 $I = CdV/dt$ (6)

Dimana

I = arus (A).

Q = muatan (C).

t = waktu (s).

V = tegangan (V).

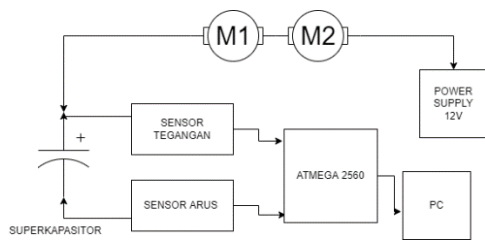
C = kapasitansi (F).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pengereman Regeneratif

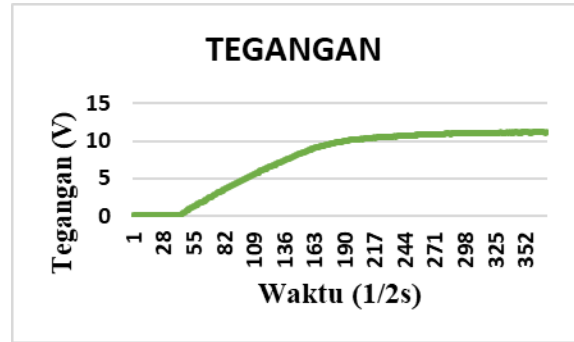
Pada pengujian pengereman regeneratif dilakukan dua pengujian yang berbeda yaitu pengujian dengan kecepatan konstan sebesar 1490 rpm yang diberi tegangan 12V dan pengujian dengan kecepatan yang berubah yang diberi sumber 12V

4.1.1 Pengujian Dengan Kecepatan Konstan

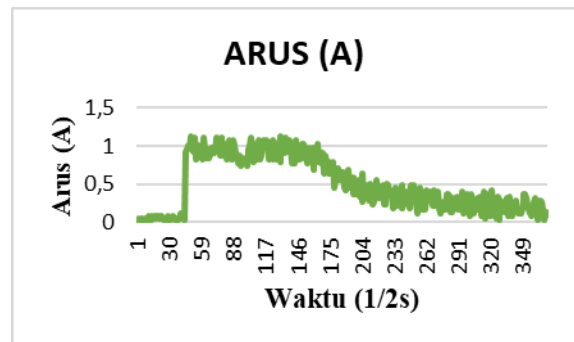


Gambar 8 Pengujian kecepatan konstan

Dapat dilihat pada Gambar 8 pada mode pengereman regeneratif MAS 1 berfungsi untuk memperlambat MAS 2. Kemudian MAS 1 bekerja dengan arah sebaliknya sehingga memperlambat mobil. Hal ini diasumsikan pengemudi menekan pedal rem kemudian MAS 1 mengisi ulang superkapasitor dan bertindak sebagai generator.



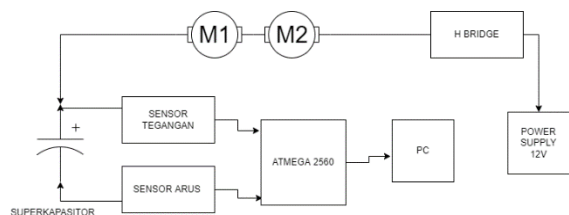
Gambar 9 Tegangan superkapasitor kecepatan konstan



Gambar 10 Arus superkapasitor kecepatan konstan

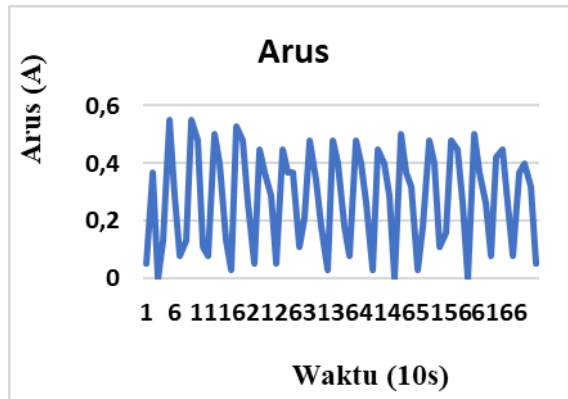
Terlihat pada Gambar 9 saat *power supply* dioperasikan pada 12V maka tegangan pada superkapasitor mulai terisi sampai dengan 11,3V dengan waktu tiga menit. Lalu pada Gambar 10 terlihat saat *power supply* dioperasikan maka terdapat lonjakan arus sampai dengan 1,13A dengan tegangan yang terisi pada superkapasitor sebesar 0,73V lalu arus mulai stabil saat superkapasitor melakukan pengisian. Saat pengisian arus dapat diketahui bahwa semakin besar tegangan yang terisi pada superkapasitor maka semakin kecil nilai arus yang terbaca.

4.1.2 Pengujian Dengan Kecepatan Berubah

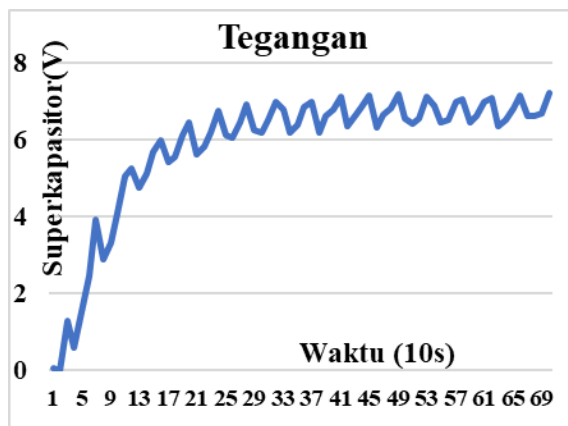


Gambar 11 Pengujian kecepatan berubah

Pada pengujian kecepatan berubah MAS 2 akan diberi tegangan melalui power supply konstan sebesar 12V lalu L298N yang berfungsi sebagai mengontrol kecepatan motor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. MAS 1 akan bertindak sebagai generator untuk mengisi superkapasitor. Selain itu superkapasitor dihubungkan sensor arus dan sensor tegangan lalu di monitoring melalui PC.



Gambar 12 Arus superkapasitor kecepatan berubah



Gambar 13 Tegangan superkapasitor kecepatan berubah

Terlihat pada Gambar 12 saat *power supply* dioperasikan pada 12V atau saat kecepatan motor konstan di 1490 RPM, maka tegangan pada superkapasitor mulai terisi sampai dengan 7,23V dengan waktu dua belas menit. Lalu pada Gambar 13 terlihat ketika *power supply* dioperasikan maka arus pada superkapasitor tidak konstan dikarenakan kecepatan yang berubah.

5. KESIMPULAN

Pengujian yang dilakukan yaitu dengan memberikan kecepatan konstan dan kecepatan berubah pada MAS 2. Hasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan besarnya tegangan pengisian superkapasitor pada kecepatan konstan dan berubah, dimana kecepatan konstan sebesar 1490 RPM dan diberi tegangan 12V menghasilkan pengisian tegangan pada superkapasitor sebesar 11,3V dengan waktu 3 menit sedangkan pada kecepatan berubah pengisian yang dihasilkan sebesar 7,23V dengan waktu 12 menit dikarenakan kecepatan yang berubah. Dengan demikian dalam keadaan kecepatan konstan saat pengereman regeneratif, maka akan semakin cepat pula pengisian superkapasitor..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. al Tahtawi and S. A. Rohman, "Simple supercapacitor charging scheme of an electric vehicle on small-scale hardware simulator: a prototype development for education purpose," *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 77–86, Dec. 2016, doi: 10.14203/j.mev.2016.v7.77-86.
- [2] R. A. al Tahtawi and S. A. Rohman, "Simple supercapacitor charging scheme in electrical car simulator by using direct current machines," *The 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, pp. 562–567, Aug. 2015.
- [3] T. Dhia, N. A. Mardiyah, and N. Nurhadi, "Fuzzy logic control design in hybrid energy storage system supercapacitor battery for electric vehicle," *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, pp. 75–86, Nov. 2018, doi: 10.22219/kinetik.v4i1.658.
- [4] R. A. al Tahtawi, "Pemodelan dan simulasi kendaraan listrik berbasis motor arus searah pada matlab/simulink," *INKOM*, vol. 10, no. 2, pp. 75–80, 2016, doi: 10.14203/j.inkom.464.
- [5] A. O. Kiyaklı and H. Solmaz, "Modeling of an electric vehicle with matlab/simulink," *International Journal of Automotive Science And Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 9–15, Jan. 2019, doi: 10.30939/ijastech..475477.

- [6] F. Mohammadi, S. Member, G.-A. Nazri, and M. Saif, "Modeling, simulation, and analysis of hybrid electric vehicle using MATLAB/Simulink," Aug. 2019.
- [7] Abulifa A.A and etc, Modelling and simulation of battery electric vehicle by using MATLAB-Simulink. IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCOReD), 2017.
- [8] K. D. Sandilya, S. Goswami, B. Kalita, and S. Chakrabort, "A study on regenerative braking system with matlab simulation," International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2), 2017.
- [9] 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," Dalian, Jul. 2017.
- [10] E. R. Aswathi, P. K. Prathibha, and R. N. Jayasri, Regenerative braking of BLDC motor using fuzzy control for electric vehicles. Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT 2018)IEEE Xplore Compliant - Part Number: CFP18BAC-ART; ISBN:978-1-5386-1974-2978-1-5386-1974-2/18/\$31.00 ©2018 IEEE1661, 2018.
- [11] D. Danendra, S. Prasetya, and P. Jannus, "Analisis dan perancangan untuk mengetahui besaran daya yang dihasilkan pada pengereman regeneratif," Depok, 2021. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [12] R. A. Hamzah, A. Rusdinar, and R. Nugraha, "Implementasi sistem monitoring dan manajemen baterai pada kendaraan listrik," Aug. 2017.
- [13] D. R. Brafianto, I. Wijono, and T. Nurwati, "Aplikasi kontrol fuzzy pada manajemen penyimpanan energi kendaraan listrik," Seminar Nasional Forte7-3ISSN (Print): 2621-3540 Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia Regional VII, pp. 267–272, 2021.
- [14] A. Rafi and A. Tahtawi, "Ulasan Desain dan Implementasi Simulator Mobil Listrik Berbasis Motor Arus Searah."
- [15] I. S. Chandra, K. Kunci, S. Uji, and Z. Operasi, "Pemodelan dan simulasi kendaraan hibrid seri-paralel dengan customized matlab/simulink," 2017.
- [16] R. A. Al Tahtawi, "Skema sederhana pengisian superkapasitor pada simulator mobil listrik menggunakan mesin arus searah," Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2015.