



Pembagian Daya pada Kendaraan Listrik Berbasis Sistem Hybrid Baterai dan Superkapasitor dengan *Fuzzy Logic Controller*

Yudi Andika¹, Aulia Rahma Annisa², Aminatus Sa'diyah³, Hendro Agus Widodo⁴

¹Teknik Pengelasan, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

² Teknik Otomasi, Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

³Teknologi Rekayasa Energi Berkelanjutan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁴Teknik Kelistrikan Kapal, Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

¹yudi.andika@ppns.ac.id*, ²auliaannisa@ppns.ac.id, ³am.sadiyah@ppns.ac.id, ⁴hendro.aw@ppns.ac.id

Abstract

This research discusses the application of Energy Management System on hybrid batteries and superkapasitors for power distribution as an effort to distribute the load on electric vehicles. The purpose of the research conducted is to determine whether the proposed Fuzzy Logic Controller-based control system can operate well as an effort to distribute power for the needs of operating electric vehicles. The driving cycle that will be used in the study is the Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) cycle to determine the effect of power sharing on hybrid batteries and superkapasitors in the UDDS driving cycle. Testing was carried out under 2 different conditions, namely when the SOC condition of the battery and superkapasitor was 85% and when the SOC of the battery was 20% while the SOC of the superkapasitor was 85%. From the test, it was obtained that the proposed hybrid battery and superkapasitor system based on the Fuzzy Logic Controller was able to operate well under the specified conditions. Both energy storage devices were able to share power by maintaining the battery and superkapasitor SOC not exceeding the specified operating limits. This condition allows electric vehicles to be operated for a fairly long period of time.

Keywords: Power Sharing, Fuzzy Logic Controller, UDDS

Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai pengaplikasian Sistem Manajemen energi pada *hybrid* baterai dan superkapasitor untuk pembagian daya sebagai upaya pemenuhan beban pada kendaraan Listrik. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui apakah sistem kontrol berbasis *Fuzzy Logic Controller* yang diusulkan bisa beroperasi dengan baik sebagai upaya pembagian daya untuk kebutuhan pengoperasian kendaraan listrik. Siklus berkendara yang akan digunakan pada penelitian adalah siklus *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS) untuk mengetahui efek pembagian daya pada hybrid baterai dan superkapasitor dalam siklus berkendara UDDS. Pengujian dilakukan dengan 2 kondisi yang berbeda yaitu ketika kondisi *State of Charge* (SOC) baterai dan superkapasitor 85% serta ketika SOC baterai 20% sedangkan SOC superkapasitor 85%. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem hybrid baterai dan superkapasitor berbasis *Fuzzy Logic Controller* yang diusulkan mampu beroperasi dengan baik dimana saat kondisi yang telah ditentukan. Kedua peralatan penyimpanan energi mampu melakukan pembagian daya dengan menjaga SOC baterai dan superkapasitor tidak melebihi batas pengoperasian yang ditentukan. Kondisi ini membuat kendaraan listrik mampu dioperasikan dalam jangka waktu yang cukup lama.

Kata kunci: Pembagian Daya, *Fuzzy Logic Controller*, UDDS

Diterima Redaksi : 22-05-2025 | Selesai Revisi : 28-06-2025 | Diterbitkan Online : 30-06-2025

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dan sistem kendaraan saat ini sudah mulai mengarah kepada pengaplikasian kendaraan yang ramah lingkungan yang bisa mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan penggunaan kendaraan konvensional yang menggunakan bahan bakar dengan sistem pembakaran.

Di Indonesia sendiri, pada tahun 2024 penggunaan kendaraan listrik sudah mencapai 133.225 Unit [1].

Berdasarkan data diatas, upaya pengembangan dan penelitian mengenai kendaraan yang ramah lingkungan terus dilakukan sampai saat ini. Kendaraan listrik memanfaatkan motor listrik sebagai sumber penggerakannya. Jenis motor listrik yang digunakan adalah *Permanent Magnet Sinkronus Motor* (PMSG),

Brushless Direct Current Motor (BLDC). Pemilihan jenis motor ini biasanya untuk menyesuaikan daya masukan dari kendaraan listrik dimana kendaraan listrik menggunakan sumber *Direct Current* (DC) sehingga motor yang digunakan motor DC. Penggunaan motor AC jarang digunakan karena untuk mengurangi penambahan komponen seperti inverter yang akan menambah peralatan dalam kendaraan listrik.

Permasalahan dalam penggunaan kendaraan listrik adalah saat beroperasinya kendaraan, terjadinya peningkatan arus yang membuat daya baterai banyak terserap dan mengurangi kapasitas baterai [2]-[4]. Upaya yang bisa dilakukan adalah mengkombinasikan baterai dengan sumber energi yang lain yang bisa menunjang penggunaan baterai. Penambahan lebih dari satu sumber energi ini disebut dengan *hybrid* sumber energi. Upaya ini merupakan salah satu sistem untuk menjaga manajemen energi pada kendaraan listrik bisa dilaksanakan secara optimal.

Sumber energi tambahan yang bisa digunakan adalah dengan menggunakan superkapasitor atau *ultracapacitor*, superkapasitor sudah banyak dikembangkan belakangan ini [5][6] dimana superkapasitor dan baterai memiliki kelebihan dan kekurangan yang saling melengkapi. Superkapasitor memiliki kerapatan energi yang besar sedangkan kerapatan daya yang kecil. Sedangkan baterai memiliki kerapatan energi yang kecil sedangkan memiliki kerapatan daya yang besar [7][8].

Penelitian yang akan dilakukan adalah memanfaatkan sistem *hybrid* baterai dan superkapasitor untuk menjaga motor tidak dibebankan keseluruhannya pada baterai. Sehingga baterai bisa dimanfaatkan dalam jangka waktu yang cukup lama untuk pengoperasian kendaraan listrik. Penelitian ini akan difokuskan pada saat pengoperasian kendaraan saat siklus berkendara *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS) dan bagaimana efek penggunaan superkapasitor dalam siklus berkendara UDDS dibandingkan dengan tanpa menggunakan superkapasitor.

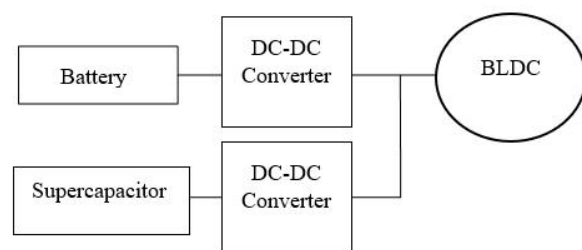
Akan dilakukan analisa mengenai penambahan superkapasitor efektif untuk menjaga SOC baterai dapat beroperasi dalam jangka waktu yang lebih lama[9]. Sistem yang digunakan ini merupakan bagian dari upaya *Energy Manjemen System* (EMS) dimana [9] membagi EMS menjadi dua kategori, yaitu EMS berbasis aturan (rules) dan EMS berbasis optimisasi. Sistem kontrol yang akan digunakan adalah menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Pemilihan sistem kontrol ini dilakukan untuk merepresentasikan sistem yang kompleks / abu-abu menjadi sistem yang pasti untuk keluaran kontrol pada sistem hybrid baterai dan superkapasitor. Sistem berbasis ini aturan lebih disukai produsen kendaraan listrik karena lebih sederhana dan lebih efektif dibandingkan dengan sistem berbasis optimisasi.

2. Metode Penelitian

Pada sistem *hybrid* baterai dan superkapasitor ini, dibutuhkan beberapa komponen dan mekanisme sistem yang mendukung pengoperasian kendaraan listrik

2.1. Konfigurasi Sistem

Sistem *hybrid* baterai dan superkapasitor merupakan bagian dari pembagian daya yaitu sistem yang menggabungkan dua sumber energi untuk mengoperasikan mesin listrik. pada penelitian ini terdapat topologi pembagian daya yang sering digunakan seperti topologi pasif topologi aktif dan semi aktif [10]. Dalam desain penelitian ini topologi aktif digunakan karena mampu mengatur pembagian daya antara dua sumber tenaga ini. desain konverter yang digunakan merupakan tipe *dc-dc converter* yang akan terhubung pada sebuah dc Bus. Adapun sistem yang diusulkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Topologi *full active* pada sistem *hybrid* baterai dan superkapasitor

Motor yang digunakan adalah motor BLDC dengan daya 5 kW. Motor BLDC termasuk salah satu jenis motor DC, karena dalam implementasinya menggunakan sumber DC sebagai energi utama dan harus diubah menjadi AC tiga fasa menggunakan inverter 3 fasa. Hal ini bertujuan untuk menciptakan medan magnet pada bagian stator agar dapat menarik rotor hingga berputar. Motor BLDC ini memiliki keuntungan dari segi biaya perawatan yang lebih rendah, dikarenakan tidak memiliki sikat dan efisiensi dan torsi awal motor BLDC lebih tinggi karena bagian rotor terbuat dari magnet permanen. Meski demikian, sistem pengendalian motor BLDC jauh lebih rumit karena kecepatan dan torsi yang konstan karena tidak adanya sikat yang mendorong proses komutasi.

Untuk daya mekanik maksimum pada kecepatan tertentu, arus (I) dan tegangan input E berada dalam satu fase. Ini juga memberikan torsi/ampere maksimum (minimum current/Nm). Motor *brushless* DC memiliki umpan balik posisi dari rotor melalui perangkat hall, perangkat optik, *encoder* dan lain-lain. Untuk menjaga sudut tertentu antara tegangan yang dibutuhkan (V) dan E , karena E berada sefase dengan posisi rotor, dan V ditentukan oleh suplai inverter ke motor. Diasumsikan bahwa $\omega L \ll R$, ketika I berada sefase dengan E , V juga akan sefase dengan E . Dengan demikian rangkaian dapat dianalisis dengan menggunakan besaran E , V ,

dan I seolah-olah merupakan rangkaian DC. Saat nilai E dan I sefase, daya keluaran elektromagnetiknya yaitu pada (1).

$$P_{em} = m |E||I| = m\omega |\lambda_m| |I| \quad (1)$$

P_m merupakan daya elektromagnetik, I merupakan arus dan ω nilai kecepatan sudut, dan m adalah jumlah fasa. λ_m merupakan nilai flux dari kumparan stator yang disebabkan oleh magnet permanen, Nilai $|E|$, $|I|$, $|\lambda_m|$ masing-masing adalah amplitudo (modulus) dari fasor E , I , λ_m . Sementara untuk nilai torsi elektromagnetiknya dapat dirumuskan sesuai persamaan (2). $\omega_r = 2\omega / p$ adalah kecepatan putar rotor (rad/s) dan p merupakan jumlah *pole*.

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_r} = \frac{m\omega |\lambda_m||I|}{\omega_r}$$

$$T_{em} = \frac{mp}{2} |\lambda_m||I| \quad (2)$$

$$T_{load} = T_{em} - T_{loss}$$

T_{load} adalah torsi beban, T_{em} merupakan torsi elektromagnetik serta T_{loss} merupakan torsi akibat gesekan, kumparan, dan rugi besi.

Baterai yang digunakan pada simulasi yang akan dilakukan adalah baterai *li-ion* 72 V kapasitas nominal 20 Ah dengan detail data spesifikasi terdapat pada tabel 1 beserta dengan nilai komponen lain yang dibutuhkan untuk simulasi.

Tabel 1. Tabel Parameter Simulasi *Hybrid* Baterai dan Supercapasitor

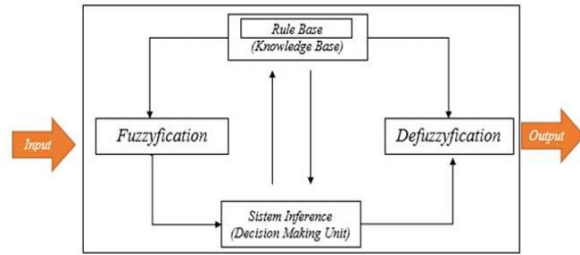
Parameter	Nilai
Daya Motor BLDC	5 kW
Tegangan Baterai	72V
Kapasitas Baterai	20Ah
Kapasitas Supercapacitor	250 F
Tegangan Supercapacitor	16,2 V
C _{bat} , C _{sc} , dan C _{bus} DC	182,21 μ F, 182,21 μ F, 97,29 mF
L _{bat} dan L _{sc}	11,52 mH

2.2. Fuzzy Logic Controller

Fuzzy Logic Controller (FLC) merupakan cara yang tepat untuk memetakan input kedalam sistem untuk menghasilkan output [11]. *Fuzzy* bisa diartikan samar atau abu-abu sehingga logika *fuzzy* berarti logika samar. Sistem FLC banyak disukai karena sistem dapat bernilai benar atau salah dalam waktu bersamaan sehingga tingkat benar atau salah dapat ditentukan berdasarkan bobot keanggotaan yang dimilikinya.

Logika *fuzzy* mempunyai derajat keanggotaan antara 0 sampai 1. Berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua keanggotaan yaitu 0 dan 1 saja pada satu waktu. Kelebihan logika *fuzzy* adalah adanya kemampuan penalaran secara bahasa. Sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematis yang kompleks dari objek yang akan

dikontrol. Proses alur logika *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 2.



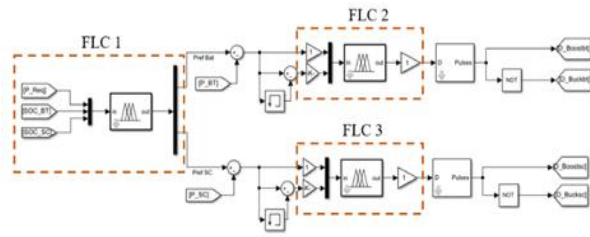
Gambar 2. Proses Alur Logika *Fuzzy Logic Controller*

Fuzzifikasi merupakan proses awal dari logika *fuzzy*, pada tahap ini, dilakukan pemetaan nilai tegas / nilai crisp dalam himpunan *fuzzy*. Proses ini menghasilkan fungsi keanggotaan yang berisi himpunan-himpunan pasti yang telah ditentukan derajat kefuzziannya. Fungsi keanggotaan (*membership function*) memiliki 2 sumbu horizontal dan vertikal yang menyatakan derajat kefuzzian dengan nilai minimal nol dan maksimal 1.

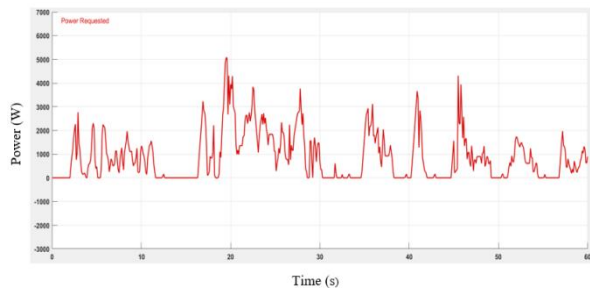
Proses selanjutnya akan dilaksanakan proses rule evaluation. Dimana pada tahap ini dilakukan evaluasi, pengecekan, pengambilan keputusan, *knowledge base* dan *rule base* yang akan diterapkan untuk menyesuaikan kondisi nilai pada himpunan-himpunan *fuzzy*. Banyaknya *rule* yang ditetapkan tergantung banyaknya nilai himpunan *fuzzy* yang tidak bernilai nol di dalamnya. Jika ada nilai yang bernilai nol, maka akan membuat antecedent pada himpunan tersebut atau tidak digunakan. Aturan, rule base, atau knowledge base memuat sejumlah fungsi yang memetakan sejumlah antecedent dengan konsekuensinya dengan bentuk *if-then*, bila (*if*) antecedent bernilai x maka (then) consequent bernilai y.

Tahapan akhir yang dilaksanakan dalam sistem fuzzy ini adalah *defuzzification*. Pada sistem ini, pemetaan nilai fuzzy dipetakan ke dalam nilai *crisp*. Nilai *crisp* inilah yang akan menjadi output dan digunakan dalam implementasi dan analisis nanti. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp*. Metode tersebut adalah *centre-of-gravity*, *centre-of-average*, *first-of-max* dan lain sebagainya. Pada dasarnya setiap metode *defuzzification* memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta kebutuhan implementasinya itu berbeda-beda.

Dalam sistem yang diusulkan ini, *Fuzzy* bertugas untuk menjaga SOC baterai dan supercapasitor tetap ada kondisi yang diinginkan saat kondisi charging dan discharging. Sistem *fuzzy* yang dirancang menggunakan tipe cascade fuzzy dimana terdapat 3 buah rules yang menentukan output sinyal untuk *switching* pada *bidirectional dc-dc Converter*. Rules yang digunakan seperti pada [7] dengan skema seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Detail Sistem kontrol yang diusulkan

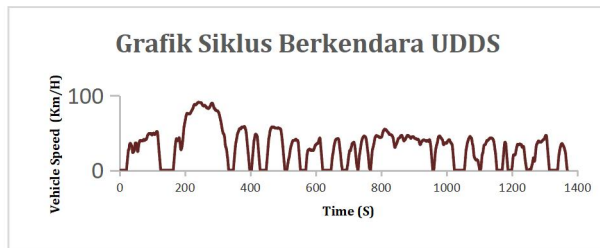


Gambar 6. Parameter kebutuhan daya yang akan dilaksanakan

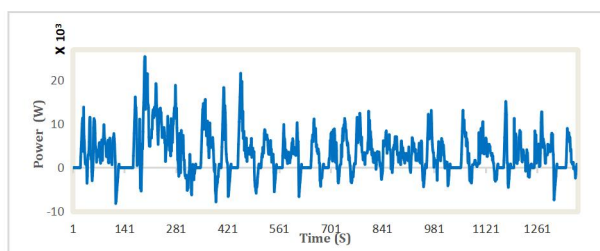
2.3. Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS).

Pada Penelitian ini, pengujian dilakukan dengan mendapatkan data daya beban dari siklus berkendara *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS). Dimana siklus ini merupakan siklus berkendara yang dibuat oleh badan lingkungan Amerika Serikat dengan keperluan simulasi pengujian kendaraan jenis FTP (*Federal Test Procedure*) -72 [12]. Waktu tempuh siklus berkendara ini selama 1369 detik dengan jarak 11,99 km. Kecepatan maksimum sebesar 91,25 km/j dengan kecepatan rata-rata 31,5 km/j.

Pada simulasi yang dilakukan, tidak menggunakan secara keseluruhan waktu siklus berkendara UDDS. Akan diambil sampel siklus berkendara UDDS dengan lama waktu simulasi selama 60 detik dengan mengabaikan kondisi pengereman regeneratif. Kondisi pengereman regeneratif diasumsikan dengan nilai nol.



Gambar 4. Grafik Siklus Berkendara UDDS



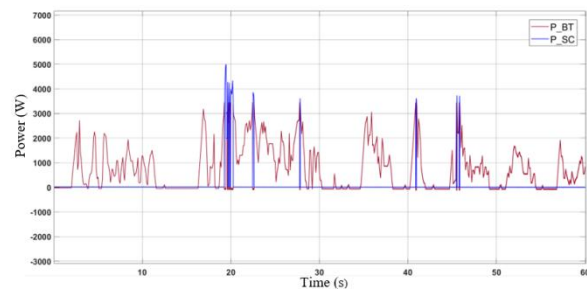
Gambar 5. Kebutuhan daya UDDS

Data parameter UDDS yang diambil dari rentang 0-60 detik dengan menyesuaikan batas daya maksimum sebesar 5000 W. simulasi akan dilakukan dalam dua kondisi SOC yang berbeda. Kondisi pertama ketika SOC baterai dan superkapasitor sama-sama 85%. Kondisi kedua ketika SOC baterai 20% dan SOC Superkapasitor 85%.

3. Hasil dan Pembahasan

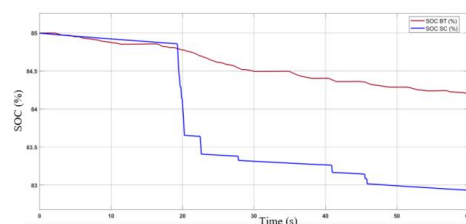
3.1. Kondisi saat SOC baterai dan Superkapasitor 85%

Pada kondisi ini soc baterai dan superkapasitor dalam kondisi 85% hal ini membuat kedua sumber energi tersebut harus mampu memenuhi permintaan daya yang diberikan sesuai dengan pengaturan pembagian daya yang telah dibuat pada sistem fuzzy. Pada sistem yang telah dibuat permintaan daya dibagi sesuai dengan rules yang telah dibuat pada pada baterai akan memenuhi permintaan daya pada batas yang telah ditentukan apabila melebihi batas operasi baterai, permintaan daya akan dipenuhi oleh superkapasitor.



Gambar 7. Pembagian daya antara baterai dan Superkapasitor saat percobaan 1

Pada sistem manajemen energi yang telah dirancang baterai beroperasi sampai pada 3500Watt dan ketika permintaan daya melebihi 3500Watt akan dipenuhi oleh super kapasitor di mana pada gambar 7 menunjukkan pada detik 19,3, 20 22 dan 27 terjadi permintaan daya diluar batas operasi baterai, permintaan daya tersebut diakomodir oleh superkapasitor. Superkapasitor akan berhenti beroperasi ketika permintaan daya kembali pada batas operasi baterai kondisi ini akan terus berlanjut sampai SOC baterai maupun superkapasitor berada pada batas minimum yang diizinkan.

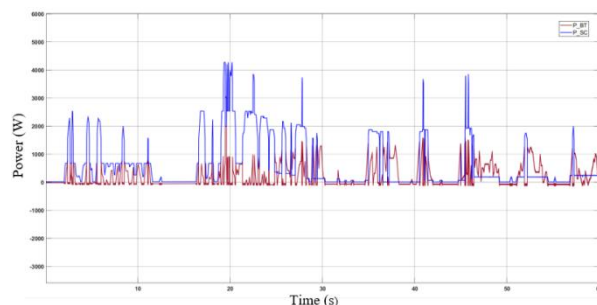


Gambar 8. SOC pada Baterai dan Superkapasitor Saat Percobaan 1

Setelah dilakukan simulasi siklus berkendara UDSS selama 60 detik, baterai mengalami penurunan SOC sebesar 0,7% dari kondisi awal yaitu dari 85% menjadi 84,2%. Superkapasitor Mengalami penurunan SOC sebesar 2,1% dari kondisi awal menjadi 82,9%. berdasarkan simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa super kapasitor mengalami pengurangan social besar dibanding baterai Hal ini dikarenakan super kapasitor memenuhi permintaan daya yang besar membuat kondisi SOC superkapasitor akan menerus secara aktif. pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa desain manajemen energi berbasis fuzzy pada sistem hybrid baterai dan superkapasitor membuat baterai tidak dibebani secara maksimum selama kendaraan beroperasi. kondisi ini membuat waktu penggunaan baterai akan lebih lama dibandingkan dengan hanya menggunakan satu sumber daya saja sehingga dapat menjaga kondisi baterai dalam waktu yang lebih lama dan bisa memperpanjang durasi kendaraan dalam beroperasi.

3.2. Kondisi saat SOC baterai 20% dan Superkapasitor 85%

Pada pengujian berikutnya siklus berkendara odds dilakukan dengan kondisi SOC baterai 20% sedangkan SOC superkapasitor 85%. kondisi ini merupakan kondisi ketika baterai memiliki SOC yang sudah berada pada batas minimum operasi. Pembagian permintaan daya untuk pengoperasian kendaraan listrik yang disuplai oleh kedua sumber energi ini adalah seperti pada gambar 9.



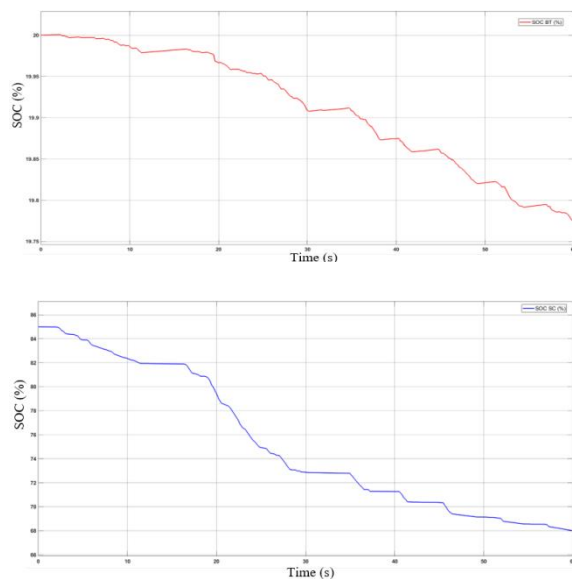
Gambar 9. Pembagian daya saat baterai 20% dan Superkapasitor 85%

Gambar 9 memperlihatkan pembagian suplai daya untuk memenuhi permintaan daya siklus berkendara UDSS di mana setelah dilakukan simulasi, terlihat bahwa superkapasitor lebih aktif beroperasi untuk memenuhi permintaan daya. situasi ini terjadi karena SOC superkapasitor masih dalam kondisi besar yaitu 85%.

Pada kondisi seperti ini kita bisa melihat bahwa peran sistem pembagian daya berbasis fuzzy mampu mengatur pembagian daya yang harus dipenuhi oleh baterai dan superkapasitor sesuai dengan batasan kondisi SOC masing-masing sistem penyimpanan energi. Dengan adanya manajemen energi yang telah dibuat membuat baterai maupun super kapasitor tidak akan mendapatkan beban maksimum maupun discharge

sampai habis hal ini dikarenakan kapasitas SOC baterai dan superkapasitor telah diatur berdasarkan batas operasi yang telah ditentukan sehingga penggunaan baterai akan lebih awet dan bisa digunakan dalam waktu yang lebih lama.

Selama pelaksanaan simulasi, baterai dijaga dalam kondisi tetap beroperasi dan tidak sepenuhnya disuplai oleh superkapasitor. Akan tetapi, baterai tidak beroperasi secara maksimal ketika SOC nya <20%. Sehingga dalam kondisi nyata, saat kapasitas baterai sudah 20%, kendaraan tidak langsung berhenti namun tidak dibebankan maksimum seperti ketika SOC baterai >20%. Kondisi ini dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Kondisi SOC akhir baterai dan supekapasitor

Gambar 10 memperlihatkan kondisi SOC baterai dan Superkapasitor setelah dilakukan simulasi siklus berkendara UDSS selama 60 detik. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa SOC baterai menurun sebesar 0,22% dari kondisi awal dan superkapasitor mengalami penurunan sebesar 17% dari kondisi awal. Superkapasitor mengalami penurunan SOC lebih besar karena lebih aktif beroperasi karena SOC baterai berada pada kondisi minimum batas operasi. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa sistem *hybrid* baterai dan superkapasitor menggunakan kontrol *fuzzy* untuk mengatur pembagian daya sesuai permintaan beban mampu beroperasi dengan baik. Kondisi ini membuat baterai tidak mendapatkan beban secara maksimum selama kendaraan beroperasi. Hal ini akan mampu memperpanjang usia penggunaan baterai pada kendaraan listrik.

4. Kesimpulan

Sistem pembagian daya pada *hybrid* baterai dan superkapasitor berbasis *Fuzzy Logic Controller* yang diusulkan mampu beroperasi dengan baik sebagai

kontrol pengaturan pada kendaraan listrik. Sistem diaplikasikan pada siklus berkendara UDDS. Terdapat 2 kondisi pengujian yaitu ketika kondisi saat SOC baterai dan superkapasitor 85% serta pada kondisi saat SOC baterai 20% dan superkapasitor 85%.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pada saat SOC baterai dan superkapasitor 85%, kontrol *fuzzy* mampu beroperasi dengan baik dimana saat permintaan daya melebihi 3500Watt suplai kebutuhan daya akan diakomodir oleh suplai oleh superkapasitor sedangkan saat dibawah 3500Watt akan diakomodir oleh baterai. Hal ini membuat baterai bisa digunakan lebih lama dimana setelah pengujian dilakukan SOC baterai hanya berkurang sebesar 0,7 % dari SOC awalnya. Pengujian berikutnya telah dilakukan dengan kondisi saat SOC baterai 20% dan Superkapasitor 85%. Setelah dilakukan pengujian, diperoleh bahwa saat SOC baterai 20%, Superkapasitor lebih aktif beroperasi sampai SOCnya sampai pada kondisi batas minimum operasi. Saat SOC nya dibawah 20%, baterai tidak langsung berhenti beroperasi, akan tetapi kemampuan untuk memenuhi permintaan dayanya akan menurun sampai kapasitas baterai tersebut habis. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem manajemen energi untuk pembagian daya pada *hybrid* baterai dan superkapasitor berbasis *fuzzy logic controller* mampu beroperasi dengan baik.

Daftar Rujukan

- [1] Chandra, Erlangga (2024). *Populasi Kendaraan Listrik Tembus 133 Ribu di Indonesia*. CNN Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20240924191025-603-1147893/populasi-kendaraan-listrik-tembus-133-ribu-di-indonesia>
- [2] Yu, J. (2015). State-of-Health Monitoring and Prediction of Lithium-Ion Battery Using Probabilistic Indication and State-Space Model. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 64(11), 2937–2949. <https://doi.org/10.1109/TIM.2015.2444237>
- [3] Lawder, M. T., Suthar, B., Northrop, P. W. C., De, S., Hoff, C. M., Leitermann, O., Crow, M. L., Santhanagopalan, S., & Subramanian, V. R. (2014). Battery energy storage system (BESS) and battery management system (BMS) for grid-scale applications. *Proceedings of the IEEE*, 102(6), 1014–1030. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2317451>
- [4] Jamahori, H. F., & Rahman, H. A. (2017). Hybrid energy storage system for life cycle improvement. 2017 IEEE Conference on Energy Conversion, CENCON 2017, 2018-Janua, 196–200. <https://doi.org/10.1109/CENCON.2017.8262483>
- [5] Zhuge, K. (2013). Development of an Efficient Hybrid Energy Storage System (HESS) for Electric and Hybrid Electric Vehicles.
- [6] Tremblay, O., Ieee, M., Dessaint, L., Ieee, S. M., & Dekkiche, A. (2007). A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles. V, 284–289.
- [7] Andika, Y., Lystianingrum, V., & Pamuji, F. A. (2021). Energy Management System Using Cascade Fuzzy for Hybrid Battery and Superkapasitor in Electric Vehicles. 2021 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology, GECOST 2021. <https://doi.org/10.1109/GECOST52368.2021.9538648>
- [8] Lystianingrum, V., Agelidis, V. G., & Hredzak, B. (2013). State of health and life estimation methods for superkapasitors. 2013 Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2013, October, 1–7. <https://doi.org/10.1109/aupec.2013.6725475>
- [9] Tie, S. F., & Tan, C. W. (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82–102. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.077>
- [10] Zhang, Q., & Li, G. (2020). Experimental study on a semi-active battery-superkapasitor hybrid energy storage system for electric vehicle application. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(1), 1014–1021.
- [11] Prabowo P. M, Rahmadya T.A.” Penerapan Soft Computing dengan Matlab. Rekayasa Sain Press. 2012
- [12] Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) Tersedia pada: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>.