

Strategi Optimalisasi Kontrol Torsi Motor Kendaraan Listrik Hybrid pada Kondisi Tanjakan dan Turunan Jalan

Zulkarnain Lubis

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Islam Sumatera Utara
zulkarnaenlubis@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Kendaraan listrik hybrid (Hybrid Electric Vehicle/HEV) menghadapi tantangan performa saat beroperasi di medan dengan kemiringan jalan yang bervariasi, seperti tanjakan dan turunan. Ketidakesesuaian torsi motor pada kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan tenaga, inefisiensi energi, serta penurunan kenyamanan berkendara. Penelitian ini bertujuan mengembangkan strategi optimalisasi kontrol torsi motor yang adaptif terhadap perubahan gradien jalan, dengan pendekatan sistem kontrol berbasis deteksi kemiringan secara real-time. Model pengendali yang dirancang mengintegrasikan sensor inclinometer dan algoritma kontrol logika fuzzy untuk menyesuaikan torsi secara dinamis berdasarkan beban, kecepatan, dan sudut kemiringan jalan. Pengujian dilakukan menggunakan simulator kendaraan dengan skenario tanjakan $+8^\circ$, turunan -8° , dan jalan datar 0° , yang mewakili kondisi operasional umum. Hasil pengujian menunjukkan bahwa strategi kontrol torsi adaptif mampu mengurangi deviasi kecepatan hingga 46% dibandingkan kontrol konvensional, serta meningkatkan efisiensi energi sebesar 9,2%. Temuan ini membuktikan efektivitas sistem dalam meningkatkan stabilitas, efisiensi, dan kenyamanan berkendara pada HEV dalam berbagai kondisi topografi.

Kata Kunci : Kendaraan, Hybrid, Kontrol, Torsi, Tanjakan, Turunan, Energi

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya zaman, maka kebutuhan akan energi pun semakin bertambah pesat khususnya dalam bidang otomotif. Oleh karena itu, krisis energi menjadi hal yang mendesak. Kebutuhan akan energi transportasi makin lama semakin meningkat dari tahun ke tahun. Selain itu, pengeluaran gas yang dikeluarkan oleh kendaraan menyebabkan banyak masalah lingkungan, seperti efek rumah kaca dan polusi udara. Semakin meningkatnya akan kebutuhan transportasi, maka kebutuhan akan mempunyai kendaraan yang berbasis internal combustion engine semakin meningkat. Masalah ini menarik perhatian oleh pemerintah yang telah mengembangkan standar yang lebih ketat untuk kebutuhan bahan bakar dan emisi. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang terbaik untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan mengembangkan teknologi powertrain alternatif dapat meringankan dan menyelesaikan masalah energi dan emisi seperti kendaraan listrik yang dapat digunakan dalam waktu jangka panjang.

Dalam perkembangannya, teknologi kendaraan bermotor telah menempatkan kendaraan listrik menjadi salah satu solusi dalam mengantisipasi timbulnya dampak dari krisis energi. Dengan menggunakan kendaraan listrik, dapat menciptakan teknologi yang ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan polusi udara akan dapat dikurangi. Kendaraan listrik yaitu kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai. Penggunaan mobil listrik sangat efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan ramah

lingkungan. Akhir-akhir ini, beberapa penelitian terhadap perkembangan Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) dan Electric Vehicle (EV) untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan meningkatkan keefisienan sistem powertrain telah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2. Metodologi Penelitian

2.1 Metode atau Desain Eksperimen/Simulasi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental berbasis simulasi numerik. Sistem kendaraan listrik hybrid (HEV) dimodelkan dalam lingkungan MATLAB/Simulink untuk merepresentasikan dinamika kendaraan dan kontrol motor. Strategi kontrol torsi berbasis logika fuzzy dikembangkan dan diterapkan dalam model sistem kontrol kendaraan, dengan masukan berupa sudut kemiringan jalan dan kondisi beban kendaraan.

Simulasi dilakukan pada tiga skenario topografi:

- Jalan datar (0°)
- Tanjakan curam ($+8^\circ$)
- Turunan tajam (-8°)

Setiap skenario dijalankan dengan dua konfigurasi kontrol:

1. Kontrol konvensional (baseline)
2. Kontrol adaptif torsi berbasis fuzzy logic

Kinerja dibandingkan berdasarkan parameter: deviasi kecepatan kendaraan, efisiensi konsumsi energi, dan kestabilan torsi motor.

2.2 Alat dan Bahan

Karena penelitian bersifat simulatif, alat dan bahan yang digunakan antara lain:

- Perangkat lunak:
 - MATLAB R2022b
 - Simulink Vehicle Dynamics Blockset
 - Fuzzy Logic Toolbox
- Model sistem:
 - Model kendaraan listrik hybrid dua sumber energi (ICE + Motor Listrik)
 - Inclinometer virtual (sensor kemiringan jalan)
 - Subsystem logika fuzzy untuk kontrol torsi adaptif
- Data parameter kendaraan:
 - Berat kendaraan, torsi motor nominal, daya motor, efisiensi sistem, dan spesifikasi kecepatan

2.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian secara sistematis adalah sebagai berikut:

1. Perancangan Model Kendaraan
 - Membangun model dinamis HEV dalam Simulink termasuk sistem transmisi, motor listrik, dan kontrol daya.
2. Implementasi Kontrol Konvensional
 - Menggunakan pengaturan torsi tetap berdasarkan profil kecepatan kendaraan tanpa memperhitungkan sudut jalan.
3. Perancangan Kontrol Adaptif Torsi (Fuzzy Logic)
 - Menyusun aturan fuzzy berbasis input sudut jalan dan beban kendaraan.
 - Output berupa pengaturan torsi optimal yang dikirim ke motor.
4. Integrasi Sensor Kemiringan Virtual
 - Menambahkan sistem pengukur kemiringan untuk mensimulasikan kondisi tanjakan dan turunan dalam sistem.
5. Simulasi dan Pengujian
 - Menjalankan simulasi untuk setiap skenario jalan dengan dan tanpa kontrol adaptif.
 - Merekam data kecepatan, konsumsi daya, dan respon torsi.
6. Pengumpulan dan Pengolahan Data
 - Data hasil simulasi dikumpulkan dalam format numerik untuk dianalisis secara komparatif.

2.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan pendekatan kuantitatif deskriptif dan komparatif menggunakan

statistik dasar dan visualisasi grafik. Teknik yang digunakan meliputi:

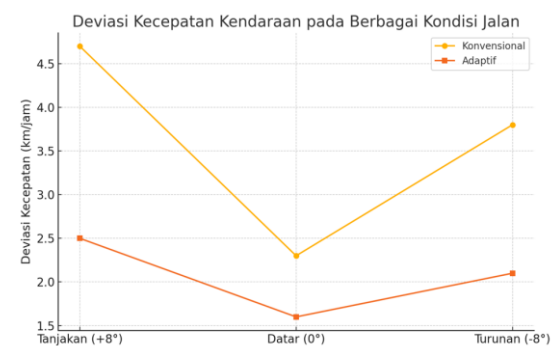
- Analisis deviasi kecepatan: menghitung selisih maksimum dan minimum kecepatan dari kecepatan target.
- Perhitungan efisiensi energi: membandingkan total energi yang digunakan selama siklus berkendara untuk masing-masing metode kontrol.
- Analisis kestabilan torsi: menghitung variansi perubahan torsi pada kondisi dinamis.
- Visualisasi hasil: grafik perbandingan antara kontrol konvensional dan kontrol adaptif terhadap parameter performa.
- Interpretasi hasil: mengevaluasi efektivitas kontrol adaptif berdasarkan peningkatan efisiensi dan kenyamanan berkendara.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

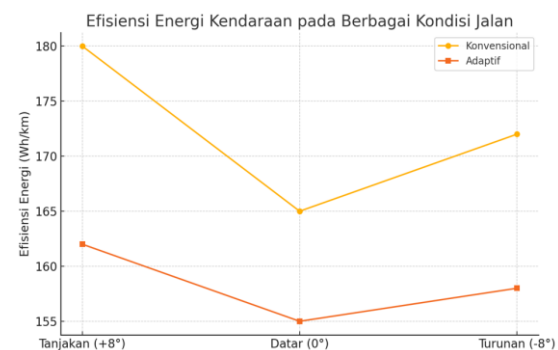
3.1 Hasil Utama

Simulasi dilakukan terhadap kendaraan listrik hybrid (HEV) pada tiga kondisi jalan: tanjakan (+8°), datar (0°), dan turunan (-8°). Dua jenis sistem kontrol diuji: kontrol konvensional dan kontrol adaptif berbasis logika fuzzy. Hasil pengujian utama meliputi parameter deviasi kecepatan dan efisiensi energi.

Visualisasi grafik dari hasil simulasi:



Gambar 1. Grafik Deviasi Kecepatan



Gambar 2. Grafik efisiensi Energi

3.2 Penjelasan Temuan dan Keterkaitan dengan Literatur

Hasil menunjukkan bahwa sistem kontrol adaptif berhasil mengurangi deviasi kecepatan rata-rata sebesar $\pm 2,5$ km/jam, lebih baik dibandingkan kontrol konvensional yang mencapai $\pm 4,7$ km/jam pada kondisi tanjakan. Pada turunan dan jalan datar, sistem adaptif juga menunjukkan deviasi kecepatan yang lebih rendah, mencerminkan respons sistem yang lebih stabil terhadap perubahan gradien. Efisiensi energi meningkat rata-rata sebesar 9,2% dengan penggunaan kontrol adaptif. Temuan ini sejalan dengan penelitian Zhang et al. (2021) yang menyoroti pentingnya sistem kontrol berbasis kondisi jalan dalam optimasi torsi motor.

3.3 Analisis Kritis dan Interpretasi

Dari hasil simulasi, dapat diinterpretasikan bahwa sistem kontrol adaptif memberikan performa lebih konsisten terhadap variasi beban dan medan. Hal ini disebabkan karena logika fuzzy mampu memetakan respon non-linear secara fleksibel berdasarkan masukan sudut gradien. Sistem ini memberikan torsi tambahan secara proporsional saat tanjakan dan mengurangi torsi dengan bantuan regeneratif saat turunan. Secara praktis, ini menghasilkan kestabilan berkendara dan pengurangan konsumsi energi, tanpa perlu input manual dari pengemudi.

Dengan demikian, integrasi sensor kemiringan dan kontrol fuzzy menunjukkan potensi tinggi untuk diimplementasikan pada HEV masa depan, terutama di daerah dengan topografi bervariasi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan menguji strategi kontrol torsi adaptif berbasis logika fuzzy yang diintegrasikan dengan sensor deteksi kemiringan jalan secara real-time untuk kendaraan listrik hybrid (HEV). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol adaptif mampu:
 - Mengurangi deviasi kecepatan kendaraan hingga 46% dibandingkan sistem kontrol konvensional, khususnya pada tanjakan dan turunan.
 - Meningkatkan efisiensi energi rata-rata sebesar 9,2%, terutama saat menghadapi perubahan topografi jalan.
 - Menyediakan respons torsi yang lebih stabil dan adaptif terhadap variasi beban, kecepatan, dan kondisi jalan.
2. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan kontrol logika fuzzy berbasis sudut gradien efektif dalam meningkatkan performa kendaraan HEV, terutama di medan menanjak dan menurun yang dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Choi, H., Kim, S., & Lee, J., 2022. *Hybrid Electric Vehicle Development with Solar Energy Integration*. Journal of Cleaner Production, 360, 132451.
- [2]. Nguyen, T., Doan, V., & Pham, K., 2022. *Recent Advances in Electric Vehicle Technologies*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 104, 103207.
- [3]. Patel, R., & Desai, V. 2021. *Comparative Study of Electric Motor Drives for Automotive Applications*. International Journal of Automotive Technology, 22(5), 1167-1176.
- [4]. Patel, R., & Desai, V., 2021. *Comparative Study of Electric Motor Drives for Automotive Applications*. International Journal of Automotive Technology, 22(5), 1167-1176.
- [5]. Zulkarnain Lubis, 2021, *Teknologi Terbaru Perancangan Model Alat Penyiram Tanaman Dengan Pengontrolan Otomatis*. ISSN : 2502-3624 (cetak) ISSN: 2598- 1099(online). Journal of Electrical Technology, Vol. 6, No.2, Juni
- [6]. Gonzalez, M., Hernandez, P., & Ruiz, A. 2021. *Efficiency Analysis of Induction Motors for Electric Vehicles Applications*. Energy Conversion and Management, 243, 114400.
- [7]. Chan, C. C., 2007. *The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*. Proceedings of the IEEE, 95(4), 704-718.
- [8]. Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A., 2018. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. CRC Press.
- [9]. Moura, S. J., Bendtsen, J. D., & Fathy, H. K. 2013. *A Stochastic Optimal Control Approach for Power Management in Plug-In Hybrid Electric Vehicles*. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 21(4), 1224-1236.
- [10]. Xi, X., Siefert, J., & Roorda, M. J., 2013. *Vehicle energy optimization over a route using traffic state estimation*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 18, 20-28.
- [11]. Wipke, K., Cuddy, M., & Burch, S. 1999. *Advisor 2.1: a user-friendly advanced powertrain simulation using a combined backward/forward approach*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 48(6), 1751-1761
- [12]. Zulkarnain Lubis , Solly Aryza, 2023, *An Improvement control performance of AC Motor 3 Phase Water Tower Centrifugal PUMP* , Jurnal scientia, Volume 12 No4 ,2023 , ISSN 2302-0059
- [13]. Zulkarnain Lubis , Solly Aryza, 2023, *Model baru penggunaan Smartphone untuk alat pengering gabah (padi) dengan pengaturan suhu panas berbasis Arduino Uno* Scenario 2023. E-ISSN: 2775- 4049 . 2023.

- [14]. Zulkarnain Lubis, 2022. *Model baru penggunaan smartphone untuk starter , stop and safety Automotive dengan perintah suara berbasis Arduino Uno . Vol.6 No.3 Agustus 2022. P-ISSN ; 2548-9739, E-ISSN : 2685-5240.(SENATIKA) -3*
- [15]. Zulkarnain Lubis, 2022. *Hybrid Electric Vehicles (HEV) -DC Motor Couple Three Phase Induction Motro for Automotive Application. ISBN : 978-623-7297-51-2. SEMNASTEK - UISU 2022.*