

ANALISIS TEKNOLOGI MANAJEMEN ENERGI PADA KENDARAAN LISTRIK HIBRIDA BERBASIS TINJAUAN PUSTAKA

Theophilus Ezra Nugroho Pandin¹, Bryan Hulio Santoso², Rasional Sitepu^{3*}, Andrew Joewono⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

⁴Program Studi Program Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

*e-mail : rasional@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Penerapan teknologi kendaraan listrik hibrida telah berkembang pesat pada beberapa tahun terakhir. Artikel ini bertujuan memaparkan dan membahas strategi manajemen energi pada kendaraan listrik hibrida. Metode penelitian berupa kualitatif dengan tinjauan pustaka sistematis berdasarkan pencarian basis data pada IEEE, Garuda SINTA, ArXiv, Preprints. Hasil didapatkan 13 artikel berasal dari basis data IEEE dengan memaparkan hasil strategi manajemen energi masing – masing artikel. Kesimpulan didapatkan teknologi yang digunakan untuk strategi manajemen energi meliputi pengaturan algoritma yaitu *reinforcement learning* dan *Q-learning* yang dipadukan dengan beberapa sistem kontrol yaitu *predictive control model*, *Equivalent Consumption Minimization Strategy*, dan *Dynamic Programming*.

Kata kunci: kendaraan listrik hibrida, manajemen energi,

ABSTRACT

The application of hybrid electric vehicle technology has grown rapidly in recent years. This article aims to describe and discuss energy management strategies in hybrid electric vehicles. The research method is qualitative with a systematic literature review based on database searches on IEEE, Garuda SINTA, ArXiv, Preprints. The results obtained 13 articles from the IEEE database by describing the results of the energy management strategy of each article. The conclusion is that the technology used for energy management strategies includes algorithm settings, namely reinforcement learning and Q-learning combined with several control systems, namely predictive control models, Equivalent Consumption Minimization Strategy, and Dynamic Programming.

Keywords: hybrid electrical vehicle, energy management

I. Pendahuluan

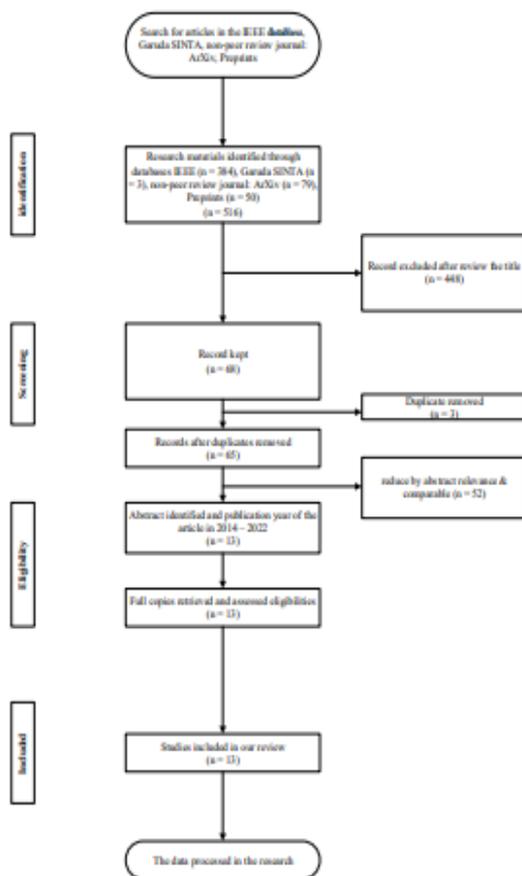
Pada abad ke-21 teknologi kendaraan bertransformasi menuju energi ramah lingkungan dan terbarukan, serta zero emission. Hal ini dipengaruhi oleh kemajuan konversi energi yang sebelumnya hanya menggunakan bahan bakar fosil berubah menjadi energi yang ramah lingkungan salah satunya ialah listrik. Teknologi hybrid menjadi salah satu jembatan untuk pengaplikasian energi yang ramah lingkungan. Hybrid yang merupakan penggabungan energi listrik dengan energi lainnya memerlukan sebuah sistem manajemen energi yang memadai untuk berbagai kebutuhan meliputi penghematan energi yang digunakan, pengoptimalan kinerja mesin dengan mengatur input energi berdasarkan sebuah algoritma atau sistem. Berdasarkan hal tersebut, artikel ini bertujuan memaparkan dan membahas teknologi manajemen energi abad awal ke 21 yang ada pada kendaraan listrik hybrid.

II. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metodologi kualitatif dengan tinjauan pustaka sistematis. Langkah penelitian tinjauan pustaka sistematis

diadaptasi berdasarkan panduan Xiao and Watson [1]. Bahan artikel diambil dari jurnal nasional Garuda SINTA, jurnal internasional: IEEE, jurnal non-peer review: ArXiv dan Preprint. Artikel yang diambil untuk bahan penelitian ini dipublikasikan dari rentang tahun 2012 – 2022. Kata kunci yang digunakan dalam menemukan artikel adalah “hybrid vehicle” dan “kendaraan hibrida” dan “energy management”. Berdasarkan pencarian kata kunci tersebut ditemukan 516 artikel pada keseluruhan basis data. Berdasarkan rincian basis data terdapat 384 artikel jurnal dari IEEE, 50 artikel dari ArXiv, 41 artikel dari preprints, dan 3 artikel pada basis data Garuda SINTA. Selanjutnya penyaringan dilakukan berdasarkan judul dan abstrak untuk melihat artikel inklusi menggunakan rayyan.ai. Sehingga didapatkan total keseluruhan data dari basis data sejumlah 13 artikel. Selanjutnya 13 artikel tersebut dimasukkan dalam tabel analisis yang akan dibahas pada bab pembahasan. Strategi Pencarian Artikel Berdasarkan pencarian, digunakan kata kunci “hybrid vehicle” pada basis data IEEE dengan rentang tahun publikasi dari 2018 – 2022 dan penggunaan reduksi “document title” untuk mereduksi banyak nya

artikel yang muncul. Pada basis data ArXiv dan Preprints digunakan kata kunci “hybrid electrical vehicle” untuk mencari sumber data artikel. Sedangkan pada basis data Garuda SINTA digunakan kata kunci “kendaraan hibrida”. Kriteria Inklusi Kriteria artikel jurnal yang digunakan ditentukan berdasarkan hal-hal sebagai berikut: 1) Judul penelitian membahas hybrid electrical vehicle atau kendaraan listrik hibrida dan energy management; 2) Abstrak jelas, lengkap, dan memiliki full-text article dapat diakses; 3) Artikel yang diambil telah diterbitkan sejak tahun 2012 hingga 2022; 4) Artikel masuk dalam proses seleksi yang dapat dibandingkan melalui rayyan.ai. Kriteria Eksklusi Kriteria artikel jurnal yang digunakan ditentukan berdasarkan hal-hal sebagai berikut: 1) Judul penelitian tidak membahas energy management, 2) Full text article tidak dapat diakses 3) Artikel tidak masuk dalam proses seleksi yang dapat dibandingkan menurut rayyan.ai. Gambar 1 menunjukkan diagram alir metode penelitian literatur yang digunakan.



berdasarkan kolom penulis dan tahun publikasi artikel, judul, dan sumber artikel didapatkan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan hasil Penelitian

Penulis	Judul artikel	Sumber Artikel
Lin, et.al., 2022 [2]	Co-Optimization of On-Ramp Merging and Plug-In Hybrid Electric Vehicle Power Split Using Deep Reinforcement Learning	IEEE
Liu, et.al., 2021 [3]	The Bionics and its Application in Energy Management Strategy of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Formation	IEEE
Wang, et.al., 2021 [4]	Hybrid Electric Vehicle Energy Management with Computer Vision and Deep Reinforcement Learning	IEEE
Yang, et.al., 2021 [5]	Energy Management for a Hybrid Electric Vehicle Based on Blended Reinforcement Learning with Backward Focusing and Prioritized Sweeping	IEEE
Yu, et.al., 2020 [6]	Mixed-Integer Optimal Design and Energy Management of Hybrid Electric Vehicles with Automated Manual Transmissions	IEEE
Gong, et.al., 2020 [7]	A secured energy management architecture for smart hybrid microgrids considering PEM-Fuel cell and electric vehicles	IEEE

Tabel 1. (lanjutan).

Lee, et.al., 2020 [8]	Online data-driven energy management of a hybrid electric vehicle using model-based Q-learning	IEEE
Fernandez, et.al., 2020 [9]	An Adaptive State Machine Based Energy Management Strategy for a Multi-Stack Fuel Cell Hybrid	EEE
Wu, et.al., 2020 [10]	A Hierarchical Energy Management for Hybrid Electric Tracked Vehicle Considering Velocity Planning with Pseudospectral Method	IEEE
Rezaei, et.al., 2019 [11]	A New Real-Time Optimal Energy Management Strategy for Parallel Hybrid Electric Vehicles	IEEE]
Zhou, et.al., 2018 [12]	Online Energy Management Strategy of Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles: A Fractional-Order Extremum Seeking Method	IEEE
Dokuyucu, et.al., 2016 [13]	Concurrent design of energy management and vehicle traction supervisory control	IEEE
Zhang, et.al., 2014 [14]	Varying-domain optimal management strategy for parallel hybrid electric vehicles	IEEE

Penelitian oleh Lin, 2022 memaparkan sebuah kebaruan pada penerapan penggabungan on-ramp berbasis DRL atau Deep Reinforcement Learning untuk kendaraan listrik hibrida jenis PHEV (Plug-in Hybrid Electrical Vehicle) serta co-optimasi dengan pendekatan sekuensial. Dalam optimasi penggabungan on-ramp dan manajemen energi PHEV dioptimalkan secara langsung mengeluarkan pemisahan daya PHEV untuk penggabungan on-ramp. Algoritma yang diterapkan memenuhi persyaratan komputasi untuk penerapan waktu nyata pada kendaraan produksi [2]. Pada penelitian Liu, 2021, memaparkan kebaruan terkait sistem algoritma manajemen energi pada kendaraan listrik hibrida jenis PHEV yang terinspirasi dari perilaku agregat kelompok ikan. Pertama, arsitektur kontrol hierarkis dibuat untuk menjaga formasi dengan optimalisasi konsumsi bahan bakar (FC) secara bersamaan. Lapisan paling atas adalah untuk menghasilkan pemimpin dengan kinerja optimal berdasarkan teknik nonlinier model predictive control (MPC). Algoritma Fish Swarm Optimization (FSO) diusulkan untuk memecahkan masalah MPC nonlinier dengan meniru perilaku predasi kawanan ikan. Lapisan tengah adalah

desentralisasi intelligent cruise control (ICC) untuk kendaraan pengikut untuk melacak pemimpin mereka meniru perilaku kawanan ikan, dan beberapa kriteria desain disajikan berdasarkan teori stabilitas Lyapunov. Lapisan bawah adalah untuk mencapai kinerja yang memuaskan untuk sistem powertrain hybrid pengikut. Akhirnya, metode bio-inspired yang diterapkan untuk pembentukan PHEV diverifikasi dengan ketahanan yang memuaskan, penghematan bahan bakar, mengikuti mobil, dan juga kinerja pemrosesan waktu nyata. Berdasarkan hasil, formasi PHEV menggunakan metode yang diusulkan mewakili kinerja mengikuti mobil yang lebih baik dibandingkan dengan metode adaptif cruise control (ACC) normal dan peningkatan FC 21,26% dibandingkan dengan strategi manajemen energi berbasis aturan (EMS). Beban komputasi juga dikurangi dengan metode bio-inspired [3]. Pada penelitian Wang, 2021, melakukan penggabungan visi komputer dan Deep Reinforcement Learning untuk meningkatkan penghematan bahan bakar kendaraan listrik hibrida. Metode yang diusulkan mampu secara mandiri mempelajari kebijakan kontrol optimal dari input visual dengan deteksi objek berbasis jaringan saraf convolutional pintar untuk mengekstrak informasi visual yang tersedia dari kamera terpasang. Peneliti membangun siklus mengemudi dalam kota dan jalan raya 100 kilometer yang sebenarnya, di mana informasi visual digabungkan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem berbasis pembelajaran penguatan mendalam dengan informasi visual mengonsumsi bahan bakar 4.3% - 8.8% lebih sedikit dibandingkan tanpa informasi visual dan metode yang diusulkan mencapai penghematan bahan bakar sebesar 96.5% dari pemrograman dinamis optimasi global. Peneliti juga menggunakan sensor lainnya, meliputi radar, lidar, ultrasonik, Global Positioning System (GPS) [4]. Penelitian Yang, 2021, energy management strategy (EMS) berbasis Reinforcement Learning (RL) diusulkan untuk mengurangi waktu learning yang berlebih dari RL langsung dan meningkatkan kinerja kontrol RL secara tidak langsung, algoritma RL campuran, Dyna, dirinci dan diperkenalkan. Dalam arsitektur Dyna selain RL langsung, model dibuat dan diperbarui secara online berdasarkan pengalaman aktual yang diterima secara terus-menerus. Interaksi antara pengontrol dan model menghasilkan pengalaman simulasi, yang melaluinya kebijakan juga diperbarui. Oleh karena itu, RL tidak langsung dapat dilakukan bersamaan dengan proses RL langsung. Pada tahap kontrol pencarian Dyna, dengan mencari pembaruan yang berguna dari semua pendahulunya dan mengeksekusinya dalam urutan prioritas, algoritma antrian Dyna dikembangkan. Dibandingkan dengan Dyna, antrian-Dyna memanfaatkan pengalaman aktual lebih lengkap, mengarah ke bagian RL tidak langsung

yang lebih efektif, dan dengan demikian mempercepat pembelajaran lebih lanjut. Hasil simulasi komparatif menunjukkan bahwa strategi yang diusulkan dapat mencapai pembelajaran yang cepat secara substansial sambil menjamin kinerja kontrol. Selain itu, percobaan HIL memverifikasi bahwa EMS yang diusulkan dapat memenuhi persyaratan komputasi waktu nyata [5]. Pada penelitian Yu, 2020, diusul sistem energy management system (EMS) untuk meningkatkan efisiensi energi bus listrik hibrida dari desain gabungan dan aspek manajemen energi. Masalah desain dan kontrol optimal campuran bilangan bulat yang menantang dirumuskan dan diselesaikan dengan metodologi yang diusulkan. Setelah validasi efektivitas pendekatan kontrol optimal dengan pemrograman dinamis dan sistem manajemen energi berbasis strategi minimalisasi konsumsi setara, hasil desain optimal gabungan dan manajemen energi bus listrik hibrida menggunakan transmisi dengan jumlah rasio roda gigi yang berbeda disajikan dan dianalisis. Dengan rasio gigi yang dioptimalkan dan strategi kontrol, bus listrik hibrida dengan transmisi empat kecepatan dapat mencapai kinerja ekonomi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan transmisi enam kecepatan asli. Pekerjaan di masa depan pada topik ini dapat fokus pada pengembangan strategi kontrol integer campuran waktu nyata dengan hasil yang optimal sebagai tolok ukur. Selain itu, pendekatan MIOCP yang diusulkan juga dapat diterapkan pada jenis lain dari desain optimal dan masalah kontrol bilangan bulat campuran [6]. Pada penelitian Gong, 2020, mengusulkan arsitektur yang aman untuk operasi optimal microgrid AC-DC hybrid pintar dengan mempertimbangkan RES yang berbeda seperti WT dan PV, penetrasi PEV yang tinggi, strategi konfigurasi ulang, dan model PEMFC yang terperinci. Kerangka yang diusulkan menggunakan pendekatan stokastik berdasarkan MTLA dan PEM untuk menyelesaikan penjadwalan daya yang optimal di microgrid hybrid, dengan benar. Dibandingkan dengan metode Monte Carlo, pendekatan PEM merupakan metode yang lebih cepat, dan akurasi dapat diterima untuk proses tersebut. Kerangka transaksi data berbasis DAG yang tepat diusulkan dalam microgrid AC-DC hybrid pintar untuk meningkatkan transparansi dan keamanan sistem [7]. Pada penelitian Lee, 2020, diusulkan kerangka kontrol baru yang mengimplementasikan Q-learning berbasis Model dikembangkan untuk masalah kontrol optimal kendaraan listrik hibrida. Sebagai strategi manajemen energi online, pendekatan baru dapat mempelajari karakteristik lingkungan mengemudi yang diberikan saat ini dan secara adaptif mengubah kebijakan kontrol melalui pembelajaran. Khususnya, untuk algoritma yang diusulkan, lingkungan powertrain internal, dan lingkungan mengemudi eksternal dipisahkan sehingga dapat dipelajari melalui kerangka

pembelajaran penguatan, yang menghasilkan strategi kontrol yang lebih sederhana dan intuitif yang dapat dijelaskan menggunakan model pendekatan keadaan kendaraan. Algoritma yang diusulkan diuji dan diverifikasi melalui simulasi, dan hasil simulasi menyajikan solusi yang mendekati optimal. Hasil simulasi dibandingkan dengan strategi berbasis aturan konvensional dan solusi kontrol optimal yang diperoleh dari Dynamic Programming [8]. Pada penelitian Fernandez, 2020, memaparkan perancangan energi strategi manajemen (EMS) untuk kendaraan listrik hibrida sel bahan bakar multi-tumpukan (FCHEV) untuk meningkatkan ekonomi bahan bakar serta masa pakai tumpukan sel bahan bakar (FCS). Dalam hal ini, strategi dua lapis diusulkan untuk berbagi daya di antara empat FCS dan satu unit baterai. Lapisan pertama (lokal untuk setiap FCS) bertanggung jawab penuh untuk secara konstan menentukan daya dan efisiensi maksimum yang sebenarnya dari setiap tumpukan karena variasi kondisi pengoperasian dan penuaan secara nyata memengaruhi kinerja tumpukan. Lapisan ini terdiri dari model semi empiris FCS dan filter Kalman. Filter yang digunakan memperbarui parameter model FCS untuk mengimbangi penyimpangan kinerja FCS. Lapisan kedua (manajemen global) bertanggung jawab untuk membagi kekuasaan di antara komponen. Lapisan ini menggunakan dua input per FCS, daya dan efisiensi maksimum yang diperbarui, serta status pengisian baterai (SOC) dan powertrain yang diminta daya untuk melakukan pembagian daya. EMS yang diusulkan, yang disebut strategi mesin keadaan adaptif, menggunakan dua input pertama untuk menyortir FCS dan input lainnya untuk melakukan alokasi daya. Hasil akhir dari strategi yang disarankan dibandingkan dengan dua metode pembagian kekuasaan yang umum digunakan, yaitu Daisy Chain dan Equal Distribution. Hasil EMS yang disarankan menunjukkan peningkatan yang menjanjikan dalam kinerja sistem secara keseluruhan. Validasi kinerja dilakukan pada bangku tes yang dikembangkan dengan menggunakan teknik hardware-in the-loop (HIL) [9]. Pada penelitian Wu, 2020, mengusulkan manajemen energi hierarkis strategi mempertimbangkan optimasi kecepatan dari dua trek untuk HETV. Pertama, lapisan atas menetapkan masalah optimasi kecepatan dengan mempertimbangkan kesalahan pelacakan jalur dan konsumsi energi kendaraan tak berawak. Selanjutnya, lapisan bawah mendistribusikan kebutuhan energi ke mesin dan baterai berdasarkan algoritma pseudospektral. Hasil simulasi menunjukkan bahwa EMS hierarkis yang diusulkan adalah 3,92% lebih hemat bahan bakar daripada DP, sementara waktu perhitungan berkurang secara signifikan. Eksperimen lapangan menunjukkan bahwa metode yang diusulkan meningkatkan penghematan bahan bakar sebesar 14,85% dibandingkan dengan strategi manajemen energi

berbasis aturan tanpa optimalisasi kecepatan. Di masa mendatang, metode yang diusulkan akan diimplementasikan lebih lanjut dalam kontrol pengoptimalan waktu nyata online untuk masalah pelacakan jalur yang lebih panjang [10]. Pada penelitian Rezaei, 2019, mengusulkan Strategi EM diperkenalkan untuk HEV yang cocok untuk aplikasi real time praktis. Strategi EM yang diperkenalkan adalah A-ECMS dan diberi nama ECMS-CESO. Persamaan yang diperlukan untuk menerapkan ECMS CESO untuk HEV paralel diturunkan. Berdasarkan hasil simulasi untuk HEV paralel ringan dan penuh, kinerja ECMS CESO mendekati optimal. Dibandingkan dengan A-ECMS seketika, rata-rata, ECMS-CESO meningkatkan FE sebesar 7%. Tidak seperti strategi EM optimal kausal lainnya, seperti MPC atau A-ECMS berbasis prediksi, ECMS-CESO tidak memerlukan daya yang diminta oleh pengemudi prediksi. Mempertimbangkan biaya perangkat keras tambahan untuk memprediksi permintaan daya di masa depan, ECMS-CESO adalah strategi EM manfaat biaya [11]. Pada penelitian Zhou, 2018, manajemen energi online strategi kontrol diusulkan berdasarkan metode pencarian ekstrem orde fraksional (ES) baru. Metode yang diusulkan adalah algoritma optimasi adaptif online, yang dapat digunakan secara efektif dalam aplikasi kendaraan listrik hibrida sel bahan bakar (FCHEVs). Dibandingkan dengan metode ES orde bilangan bulat tradisional, metode yang disajikan menggunakan kalkulus orde fraksional berbasis aproksimasi Oustaloup, untuk mencapai kecepatan konvergensi yang lebih cepat dan ketahanan yang lebih tinggi. Analisis matematis terperinci dari metode yang diusulkan disajikan untuk memberikan bukti stabilitas dan menunjukkan bagaimana kalkulus orde pecahan meningkatkan metode ES orde bilangan bulat. Untuk mendukung hasil analisis stabilitas dan menunjukkan efektivitas dan kekokohan metode yang diusulkan, bangku uji Hardware-In-the Loop (HIL) dikembangkan untuk menyediakan dua studi kasus eksperimental. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa, dengan menggunakan pendekatan ES orde fraksional yang disajikan, titik operasi sistem tumpukan sel bahan bakar membran pertukaran proton (PEMFC) dapat dikontrol secara efektif di area efisiensi maksimumnya. Selain itu, daya tahan sistem sel bahan bakar dapat ditingkatkan [12]. Pada penelitian Dokucuyu, 2016, mengusulkan desain konkuren manajemen energi dan algoritma kontrol traksi untuk kendaraan yang dilengkapi dengan powertrain hybrid paralel dipelajari. Pekerjaan kami berfokus pada perancangan dua algoritme kontrol bersama sebagai satu masalah desain kontrol, yang secara tradisional dianggap terpisah. Pertama, tindakan kontrol dan titik operasi yang optimal diperoleh dengan menerapkan pemrograman dinamis. Kemudian, informasi ini digunakan untuk mengembangkan

pengontrol pengawasan berbasis aturan. Tujuan kami adalah meminimalkan konsumsi bahan bakar dan slip roda secara bersamaan. Dua masalah kontrol juga diselesaikan secara terpisah dan dibandingkan dengan solusi bersamaan. Hasil menunjukkan manfaat yang menjanjikan dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan desain konkuren daripada mempertimbangkan dua masalah kontrol secara terpisah. Dalam kondisi yang sama, kendaraan dengan pengontrol pengawasan bersamaan 16% lebih efisien dalam konsumsi bahan bakar dan mengalami slip roda 12% lebih sedikit dengan asumsi kondisi gesekan jalan licin [13]. Pada penelitian, Zhang, 2014, dikembangkan strategi manajemen untuk mewujudkan distribusi torsi optimal real time antara mesin pembakaran internal (IC) dan motor listrik kendaraan listrik hibrida paralel (HEV). Tanpa bergantung pada informasi masa depan, serangkaian fungsi biaya sesaat didefinisikan sebagai tujuan dari masalah multi-tujuan, yang mencakup konsumsi energi kendaraan, spesies emisi yang dipilih, dan kriteria evaluasi untuk status pengisian baterai (SOC). Metode domain-variasi kemudian digunakan untuk memperkenalkan prioritas yang fleksibel antara tujuan dan untuk mengubah masalah multiobjektif menjadi masalah pemrograman nonlinier, solusi optimal yang kemudian ditemukan oleh algoritma genetika, yaitu, GENOCOP III. Perbandingan hasil simulasi menunjukkan fleksibilitas dari strategi manajemen optimal domain-bervariasi yang diusulkan (VOMS) di bawah kondisi mengemudi yang berbeda. Dibandingkan dengan strategi manajemen berbasis aturan (RBMS) dan strategi manajemen jumlah tertimbang (WSMS), VOMS berpotensi meningkatkan ekonomi bahan bakar, pengurangan emisi, dan stabilitas SOC [14]

Tidak seperti kendaraan konvensional hybrid electrical vehicle memiliki lebih dari satu sumber energi. Strategi untuk membagi energi yang dibutuhkan dari sumber energi sangat berdampak pada ekonomi bahan bakar kendaraan listrik hibrida. Ada beberapa macam strategi manajemen energi untuk meningkatkan efisiensi dan penghematan. Beberapa jenis tersebut di antaranya Model Predictive Control (MPC), Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS), Dynamic Programming (DP), Rules-Based Control (RBC). Deep Reinforcement Learning pada penelitian Lin, 2022 merupakan salah satu strategi manajemen energi terbaru dengan menggunakan optimalisasi algoritma visi komputer. Penggunaan paling umum terletak pada teknologi Rule-Based Control yang ada pada kendaraan konvensional. Teknologi Model Predictive Control sesuai dengan namanya yang memprediksi jangka pendek kebutuhan energi di masa depan sehingga prakiraan energi yang dibutuhkan dapat disampaikan. Sedangkan ECMS atau Equivalent Consumption

Minimization Strategy menggunakan prinsip kerja variasi calculus [15]. Dalam kendaraan listrik hybrid memiliki beberapa jenis di antaranya yang dibahas pada artikel inklusi meliputi Plug in Hybrid Electrical Vehicle (PHEV), Hybrid Electrical Vehicle (HEV). Kendaraan PHEV merupakan kendaraan listrik hibrida yang baterainya dapat diisi ulang dengan menancapkannya pada sumber daya listrik eksternal, serta oleh mesin dan generatonya. Prinsip kerja sama halnya dengan kendaraan listrik pada umumnya dengan memindahkan emisi menuju generator untuk menghidupkan jaringan listrik [16]. Pengisian daya baterai dari grid bisa lebih murah *menggunakan engine on-board*. Perbedaan PHEV dan HEV dan kendaraan konvensional (KK) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan PHEV, HEV dan KK.

Jenis Kendaraan	Sistem Start dan Stop	Pengeneran Regeneratif	Dibantu motor	Penggerak Listrik	Pengisian Baterai eksternal
KK	tidak	tidak	tidak	tidak	tidak
Mikro HEV	ya	minimum	tidak	tidak	tidak
Mid HEV	ya	ya	minimum	tidak	tidak
Full HEV	ya	ya	ya	ya	tidak
PHEV	ya	ya	ya	ya	ya

Sumber: [16]

Berdasarkan hasil inklusi terdapat penelitian yang menggunakan strategi manajemen energi dengan deep reinforcement learning, DRL ialah sebuah sistem pembelajaran mesin menyediakan metode otomatis yang dapat mendeteksi pola dalam data dan menggunakannya untuk mencapai beberapa tugas, khususnya pembelajaran penguatan atau reinforcement learning (RL) adalah area pembelajaran mesin yang berhubungan dengan pengambilan keputusan berurutan [17]

IV. Kesimpulan

Hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa teknologi strategi manajemen energi meliputi pengaturan algoritma yaitu *reinforcement learning* dan *Q-learning* yang dipadukan dengan beberapa sistem kontrol yaitu model *predictive control*, *Equivalent Consumption Minimization Strategy*, dan *Dynamic Programming*

Daftar Pustaka

1. Y. Xiao dan M. Watson, "Guidance on Conducting a Systematic Literature Review," *J. Plan. Educ. Res.*, vol. 39, no. 1, hal. 93–112, 2019, doi: 10.1177/0739456X17723971.
2. Y. Lin, J. McPhee, dan N. L. Azad, "Co-Optimization of On-Ramp Merging and Plug-In Hybrid Electric Vehicle Power Split Using Deep Reinforcement Learning," hal. 1–11, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <http://arxiv.org/abs/2203.03113>.
3. C. Z. Liu et al., "The Bionics and its Application in Energy Management Strategy of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Formation," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 22, no. 12, hal. 7860–7874, 2021, doi: 10.1109/TITS.2020.3017571.
4. Y. Wang, H. Tan, Y. Wu, dan J. Peng, "Hybrid Electric Vehicle Energy Management with Computer Vision and Deep Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 17, no. 6, hal. 3857–3868, 2021, doi: 10.1109/TII.2020.3015748.
5. N. Yang, L. Han, C. Xiang, H. Liu, dan X. Hou, "Energy Management for a Hybrid Electric Vehicle Based on Blended Reinforcement Learning with Backward Focusing and Prioritized Sweeping," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 70, no. 4, hal. 3136–3148, 2021, doi: 10.1109/TVT.2021.3064407.
6. H. Yu, F. Zhang, J. Xi, dan D. Cao, "Mixed-Integer Optimal Design and Energy Management of Hybrid Electric Vehicles with Automated Manual Transmissions," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 11, hal. 12705–12715, 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.3018445.
7. X. Gong, F. Dong, M. A. Mohamed, O. M. Abdalla, dan Z. M. Ali, "A secured energy management architecture for smart hybrid microgrids considering PEM-Fuel cell and electric vehicles," *IEEE Access*, vol. 8, hal. 47807–47823, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978789.
8. H. Lee, C. Kang, Y. Il Park, N. Kim, dan S. W. Cha, "Online data driven energy management of a hybrid electric vehicle using model based Q-learning," *IEEE Access*, vol. 8, hal. 84444–84454, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992062.
9. A. M. I. Fernandez, M. Kandidayeni, L. Boulon, dan H. Chaoui, "An Adaptive State Machine Based Energy Management Strategy for a Multi Stack Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 1, hal. 220–234, 2020, doi: 10.1109/TVT.2019.2950558.
10. J. Wu, Y. Zou, X. Zhang, G. Du, G. Du, dan R. Zou, "A Hierarchical Energy Management for Hybrid Electric Tracked Vehicle Considering Velocity Planning with Pseudospectral Method," *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 6, no. 2, hal. 703–716, 2020, doi: 10.1109/TTE.2020.2973577.

11. A. Rezaei, J. B. Burl, B. Zhou, dan M. Rezaei, "A New Real-Time Optimal Energy Management Strategy for Parallel Hybrid Electric Vehicles," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 27, no. 2, hal. 830–837, 2019, doi: 10.1109/TCST.2017.2775184.
12. D. Zhou, A. Al-Durra, I. Matraji, A. Ravey, dan F. Gao, "Online Energy Management Strategy of Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles: A Fractional-Order Extremum Seeking Method," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 8, hal. 6787– 6799, 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2803723.
13. H. I. Dokuyucu dan M. Cakmakci, "Concurrent design of energy management and vehicle traction supervisory control algorithms for parallel hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 2, hal. 555–565, 2016, doi: 10.1109/TVT.2015.2405347.
14. Y. Zhang, H. Liu, dan Q. Guo, "Varying-domain optimal management strategy for parallel hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 2, hal. 603–616, 2014, doi: 10.1109/TVT.2013.2276432.
15. A. Rezaei, "An Optimal Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicles." Michigan Technology University, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1385&context=etdr>.
16. Y. Yang, "Plug-In Hybrid Electric Vehicles," *Adv. Electr. Drive Veh.*, no. October 2014, 2014, doi: 10.1201/b17506-15.
17. V. François-lavet et al., "An Introduction to Deep Reinforcement Learning," *Found. trends Mach. Learn.*, vol. II, no. 3–4, hal. 1–140, 2018, doi: 10.1561/22000000071.Vincent