

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR): AI FOR SMART CHARGING MANAGEMENT

Hanifan Urfan Fiidin

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani, Mendungan, Kec. Kartasura Indonesia
L208240010@student.ums.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) telah mendorong inovasi dalam berbagai bidang, termasuk inovasi dalam manajemen pengisian daya, termasuk pengisian daya pada alat elektronik maupun kendaraan. Dalam penerapan AI untuk pengisian daya pada kendaraan telah menunjukkan peningkatan efisien yang signifikan, kajian yang secara komprehensif membandingkan penerapannya pada smartphone masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pendekatan manajemen pengisian daya berbasis AI pada kendaraan dan smartphone melalui metode Systematic Literature Review (SLR) dan analisis bibliometrik terhadap 594 dokumen dari database Scopus, yang difilter menjadi 40 artikel relevan terbitan 2020–2025. Hasil studi menunjukkan bahwa metode Neural Network, Reinforcement Learning, LSTM, dan Fuzzy Logic banyak digunakan untuk mengoptimalkan pengisian daya, memperpanjang usia baterai, dan mendeteksi kondisi baterai secara real-time. Implementasi AI terbukti meningkatkan efisiensi, menurunkan beban puncak, serta mengurangi degradasi baterai hingga 91%. Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi hambatan seperti keterbatasan komputasi perangkat, variabilitas hardware, isu privasi pengguna, serta tingginya biaya integrasi. Studi ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren, manfaat, dan tantangan utama dalam adopsi AI untuk manajemen pengisian daya smartphone, sekaligus menjadi pijakan bagi riset lanjutan dalam pengembangan sistem pengisian daya yang adaptif dan efisien.

Kata kunci : Kecerdasan Buatan, Manajemen pengisian Daya Cerdas, Neural Network, Manajemen Baterai, Systematic Literature Review

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kecerdasan buatan (AI) telah mendorong transformasi signifikan dalam berbagai sektor, termasuk sistem manajemen energi dan pengisian daya, lebih khusus dalam optimasi pengisian daya. Pengaplikasian AI untuk baterai manajemen sistem sudah banyak diteliti pada kendaraan listrik dan industri [1]. Pengisian daya yang berbasis AI pada Battery Management System (BMS) di bidang otomotif dan industri telah menunjukkan peningkatan efisiensi energi sebesar 25-30% melalui estimasi State of Charge (SOC) dan State of Health (SoH) berbasis algoritma prediktif [2]. Pengisian daya konvensional yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan lonjakan listrik, degradasi baterai, hingga peningkatan biaya operasional jangka panjang.

Dalam pengembangan manajemen pengisian daya cerdas, AI dapat mengoptimalkan jadwal pengisian daya berdasarkan permintaan, kebiasaan pengguna, dan kondisi aliran listrik secara real-time, hal tersebut terbukti dalam studi Dange et al. bahwa AI dapat mengurangi beban puncak sebesar 20% dan menekan biaya operasional sebesar 20,38% melalui teknik load balancing dan demand response yang adaptif [3]. Meskipun penerapan pengisian daya cerdas pada kendaraan listrik dan industri sudah banyak implementasinya, akan tetapi implementasi pengisian daya cerdas berbasis AI pada smartphone masih sangat terbatas padahal penggunaan smartphone cukup tinggi, sehingga bisa meningkatkan kebutuhan

manajemen pengisian daya yang akurat [4]. Padahal tingginya intensitas penggunaan smartphone menjadikan manajemen pengisian daya yang cerdas sebagai kebutuhan yang mendesak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pendekatan manajemen pengisian daya cerdas berbasis AI melalui metode Systematic Literature Review (SLR). Penelitian ini akan mengevaluasi manajemen pengisian daya baterai sehingga diharapkan memberikan gambaran yang jelas terkait penerapan AI dalam manajemen pengisian daya .

RQ1: Apa saja metode yang dapat di gunakan untuk manajemen pengisian daya dengan bantuan AI, dan apa perbedaannya dengan metode lama?

RQ2: Bagaimana pengaruh manajemen pengisian daya yang berbasis AI terhadap masa pakai dan kesehatan baterai ?

RQ3: Hambatan dan batasan utama dalam pengaplikasian pengisian daya yang berbasis AI ?

2. TINJUAN PUSTAKA

2.1. Artificial Intelligence dalam Manajemen Energi

AI telah mengubah banyak hal, termasuk sistem manajemen energi. Karena AI dapat menganalisis data secara real-time dan membuat keputusan yang sesuai dengan pola penggunaan dan kondisi lingkungan. Dalam bidang manajemen energi, AI banyak digunakan untuk mengoptimalkan distribusi energi,

memprediksi beban listrik, dan meningkatkan efisiensi konsumsi energi[1], [2].

2.2. AI pada Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) adalah bagian penting dari pengelolaan baterai, terutama untuk memantau kondisi seperti Status of Charge (SoC) dan Status Health (SoH). Dengan AI, BMS dapat mengoptimalkan proses pengisian daya dan memperkirakan kondisi baterai dengan lebih akurat. Studi menunjukkan bahwa algoritma pembelajaran mesin dapat lebih efisien dan mengurangi kerusakan baterai daripada metode konvensional[3].

2.3. Metode Artificial Intelligence dalam Smart charging

Sistem manajemen pengisian daya menggunakan berbagai pendekatan AI. Neural Networks dapat memvisualisasikan hubungan data yang kompleks dan memprediksi kondisi baterai[4]. *Reinforcement Learning* memungkinkan sistem belajar dari lingkungan dapat membuat keputusan yang lebih baik dengan penguatan pembelajaran[5]. Selain itu, fuzzy logic menangani ketidakpastian pengambilan keputusan, dan Long Short-Term Memory (LSTM) digunakan untuk memprediksi pola penggunaan berbasis data historis[6]. Metode hybrid juga digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem.

2.4. Penerapan AI pada Pengisian Daya Kendaraan dan Smartphone

AI telah digunakan untuk mengisi kendaraan listrik, terutama untuk mengoptimalkan jadwal pengisian dan mengelola energi dalam jaringan listrik pintar (smart grid)[7]. Ada bukti bahwa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi beban puncak.

Meskipun kebutuhan akan manajemen baterai cerdas semakin meningkat, AI masih belum diterapkan pada perangkat smartphone[8]. Ini menunjukkan potensi besar untuk pengembangan lebih lanjut pada perangkat mobile.

2.5. Dampak AI terhadap Kesehatan dan Umur Baterai

AI dalam manajemen pengisian daya meningkatkan efisiensi energi dan umur baterai. Sistem berbasis AI dapat mengatur arus pengisian secara fleksibel dan mencegah overcharging, yang dapat mengurangi tingkat degradasi baterai yang signifikan[9]. Selain itu, AI juga dapat memberikan estimasi kondisi baterai yang akurat dan real-time [3].

2.6. Tantangan Implementasi dalam Smart Charging

Meskipun AI memiliki banyak manfaat, aplikasinya dalam manajemen pengisian daya masih menghadapi banyak masalah. Komputasi menjadi masalah besar, terutama untuk perangkat dengan sumber daya terbatas. Selain itu, variasi perangkat

keras dan sistem operasi membuat penerapan model AI tidak mudah.

Karena sistem AI menggunakan data pengguna, privasi dan keamanan data menjadi perhatian utama. Di sisi lain, tingginya biaya pengembangan dan integrasi membuat adopsi teknologi ini menjadi sulit [9].

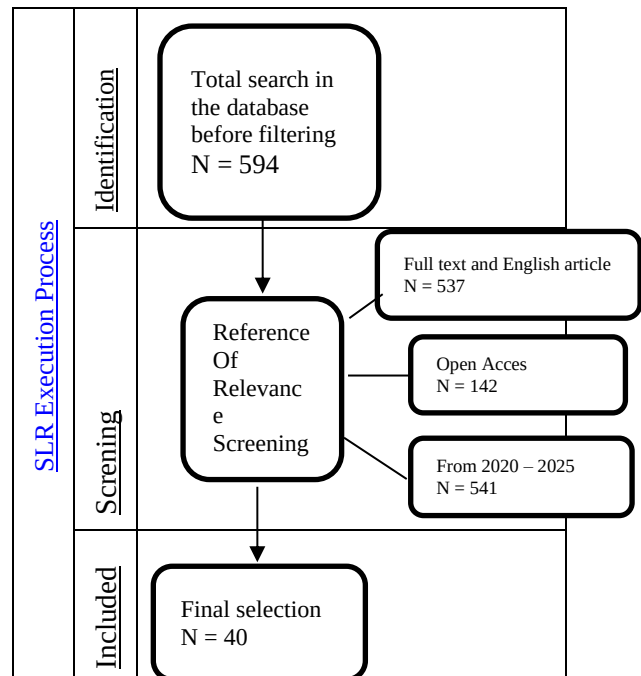
3. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) yang dikombinasikan dengan analisis bibliometrik. Analisis ini cocok untuk mengidentifikasi keadaan penelitian saat ini dan masa depan[5]. Penelitian ini menggunakan tinjauan Literature (SLR) dengan menggunakan analisis bibliometrik untuk mengevaluasi tren penelitian, keterkaitan antar topik, serta identifikasi studi terkait AI dalam manajemen pengisian daya cerdas.

3.2. Identifikasi database dan pencarian kata kunci

Pada tahap ini, pemilihan database serta kriteria inklusi di terapkan, database yang dipilih adalah scopus, karena merupakan database yang terpercaya dan baik dalam pengindeksan. Scopus memiliki cakupan yang luas dan pembaruan yang rutin dalam menyaring jurnal yang bereputasi baik.



Gambar. 1 Proses eksekusi SLR

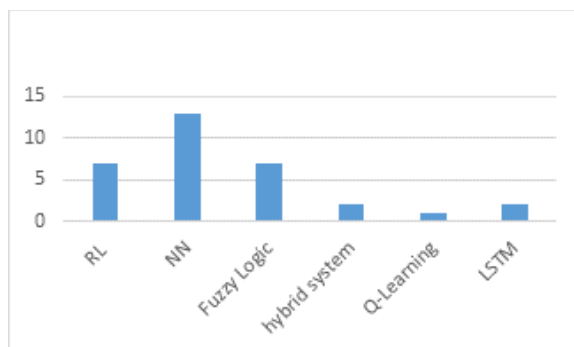
Berdasarkan gambar 1 kriteria inklusi yang diterapkan adalah pencarian jurnal yang berkisar antara tahun 2020 – 2025, dengan menggunakan kata kunci AI AND Charging, OR Battery AND Management. Dari hasil pencarian kata kunci tersebut dibagi dalam 3 bagian yakni untuk artikel yang

menggunakan bahasa inggris, jurnal yang open acces serta artikel yang terbit antara tahun 2020-2025, sehingga dari hasil pencarian tersebut, didapatkan total 594 dokumen, kemudian dari hasil tersebut dilakukan filtering secara mendalam dengan membaca abstrak serta isi dari artikel tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

RQ1: Apa saja metode yang dapat di gunakan untuk manajemen pengisian daya dengan bantuan AI, dan apa perbedaannya dengan metode lama?

Bagian ini menjawab RQ1 dengan mengidentifikasi metode-metode AI yang digunakan peneliti dalam manajemen pengisian daya berdasarkan hasil review 40 artikel terpilih. Metode yang berhasil diidentifikasi dalam hasil review jurnal ini terdiri dari beberapa metode yaitu: Reinforcement Learning (RL) yaitu metode yang bekerja berdasarkan kebiasaan pengguna, Neural Network (NN) yaitu metode yang bekerja berdasarkan prediksi State of Charge (SoC) dan estimasi State of Health (SoH) untuk memprediksi waktu pengisian daya sampai penuh berdasarkan kondisi perangkat sekarang. Dan Fuzzy Logic yaitu metode dengan pendekatan logika yang meniru cara berfikir manusia, sistem Hybrid yaitu metode yang menggunakan campuran metode AI. Q-Learning yaitu salah satu algoritma RL untuk mengambil keputusan yang optimal dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah, Long Short-Term Memory (LSTM) yaitu metode yang memprediksi berdasarkan kondisi device dan mengambil keputusan berdasarkan kondisi tersebut tanpa terpengaruh kondisi lingkungan yang berubah-ubah.



Gambar 2. Metode AI

Berdasarkan Gambar 2, ditemukan bahwa terdapat beberapa macam metode yang digunakan oleh para peneliti dalam manajemen pengisian daya berbasis AI. Berdasarkan gambar 2 Metode yang paling dominan digunakan dalam manajemen pengisian daya dengan metode Neural Network (NN) dengan jumlah 13 kali kemunculan, menunjukkan bahwa metode Neural Network menjadi pilihan utama dalam manajemen pengisian daya. Selanjutnya metode Reinforcement Learning (RL) muncul sebanyak 7 kali, menunjukkan mulai meluasnya penggunaan manajemen pengisian daya berbasis AI dengan metode

Reinforcement Learning (RL), kemudian untuk metode Hybrid muncul 2 kali menunjukkan adanya kecenderungan menggabungkan beberapa metode AI dalam satu lingkup, kemudian Q-Learning muncul sekali menunjukkan masih kurang populer penggunaan metode tersebut dalam manajemen pengisian daya, dan yang terakhir adalah Long Short-Term Memory (LSTM) muncul sebanyak dua kali menunjukkan adanya kecenderungan penggunaan metode tersebut dalam manajemen pengisian daya berbasis AI. Temuan ini menunjukkan adanya kecenderungan manajemen pengisian daya menggunakan metode Neural Network (NN) namun terdapat keberagaman dalam penggunaan metode manajemen pengisian daya yang mencerminkan luasnya cakupan metodologi manajemen pengisian daya berbasis AI.

Tabel 1. Fungsi Utama dari Metode

Metode	Jumlah Kemunculan	Fungsi utama
Neural Network	13	Prediksi Soc & Soh
Reinforcement Learning	7	Optimasi keputusan prediktif
LSTM	2	Prediksi berbasis riwayat kondisi
Hybrid	2	Kombinasi beberapa metode AI
Fuzzy Logic	2	Pendekatan logika berbasis aturan manusia
Q-Learning	1	Pengambilan keputusan optimal

Manajemen pengisian daya konvensional mengandalkan pengontrol statis, berbasis aturan, atau Proporsional-Integral-Derivatif (PID/PI) [6], Untuk pengisian tersebut masih memiliki fitur yang terbatas terhadap perubahan suhu lingkungan, kebiasaan pengguna, dan pengoptimalan waktu charging. Dengan manajemen pengisian daya berbasis AI dapat menjadi solusi untuk keterbatasan manajemen pengisian daya terdahulu, seperti halnya Fuzzy logic, Hibrid [7]. Beberapa penggunaan AI dalam studi manajemen pengisian daya terbukti meningkatkan dan mengatasi keterbatasan yang ada sehingga manajemen pengisian daya dapat lebih adaptif, dan prediktif.

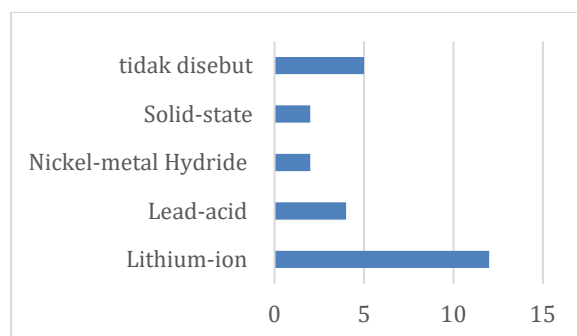
Manajemen pengisian daya berbasis AI model Machine Learning menggunakan pendekatan prediksi terhadap pengisian daya ketika penuh, estimasi pengisian daya, kebiasaan pengguna [7]. Dan ada penggunaan AI yang menggunakan metode Neural Network, Long Short-Term Memory yang digunakan untuk memprediksi waktu pengisian daya secara real time, mendeteksi anomali dalam pengisian daya[8]. Dan yang terakhir penggunaan metode Hybrid dalam manajemen pengisian daya yang menggabungkan beberapa metode AI dalam manajemen seperti Fuzzy Logic yang menggabungkan antara model Machine Learning, dan Deep Learning saling menguatkan mengisi celah kekurangan masing masing model [9].

Dalam hal ini manajemen pengisian daya berbasis AI memiliki keunggulan dalam hal efisiensi, termasuk dalam hal penggunaan energi, sistem pengisian daya baterai dibandingkan dengan dengan metode manajemen yang tidak menggunakan AI [7]. Dan termasuk juga dalam hal pengurangan biaya yang dikeluarkan dalam pengisian daya maupun penggunaannya [10]. Dan adapula keuntungan dalam hal stabilitas manajemen pengisian daya berbasis AI, serta meningkatkan akurasi dalam prediksi status pengisian daya dan kesehatan baterai [11]. Dan manajemen pengisian daya berbasis AI mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan sekitar sehingga bisa menyesuaikan pengisian daya dengan lingkungan serta mengoptimalkannya, serta dapat beradaptasi dengan perilaku pengguna, sehingga akan menyesuaikan pengisian daya sesuai dengan perilaku pengguna [6].

Secara keseluruhan, hasil RQ1 menunjukkan bahwa metode berbasis kecerdasan buatan, terutama pembelajaran penguatan dan neural network, telah menggantikan metode konvensional dengan kemampuan adaptasi dan prediksi yang lebih baik. Temuan ini membantu kita memahami dampak RQ2 terhadap kesehatan baterai.

RQ2: Bagaimana pengaruh manajemen pengisian daya yang berbasis AI terhadap masa pakai dan kesehatan baterai?

Berdasarkan berbagai jenis baterai yang digunakan dalam studi yang direview, bagian ini menjawab RQ2 dengan melihat bagaimana manajemen pengisian daya berbasis AI berdampak pada masa pakai dan kesehatan baterai.



Gambar 3. Jenis baterai

Hasil review menunjukkan bahwa pengujian manajemen pengisian daya berbasis AI dilakukan pada berbagai jenis baterai, yang menunjukkan bahwa ada banyak konteks implementasi yang berbeda yang perlu dipertimbangkan untuk mengevaluasi efektivitasnya. Terdapat empat jenis yang diidentifikasi dalam studi-studi tersebut:

- Lithium-ion yaitu jenis baterai isi ulang yang populer, yang mana ion-lithium bergerak antara elektroda negatif (anoda) dan positif (katoda) [8].
- Lead-acid yaitu jenis baterai yang menggunakan timbal dan asam sulfat sebagai bahan utama

dalam proses menghasilkan dan menyimpan energi [12].

- Nickel-metal Hydride yaitu jenis baterai isi ulang yang menggunakan nikel dan hidrogen untuk menyimpan energi [12].
- Solid-state, Litium-polymer yaitu jenis baterai yang elektrolitnya terbuat dari polimer solid, dan jenis baterai isi ulang yang menggunakan elektrolit polimer, bukan elektrolit cair [12].

Berdasarkan gambar 3 hasil review terhadap artikel dengan jenis baterai yang diuji dengan manajemen pengisian daya berbasis AI, terdapat berbagai macam baterai yang digunakan. Dengan penggunaan baterai Lithium-Ion terdapat 12 penelitian yang menyebutkan penggunaan baterai jenis tersebut yang menandakan penggunaan baterai jenis tersebut sangat populer dan banyak digunakan. Kemudian ada jenis baterai Lead-acid yang disebutkan dalam 4 penelitian menandakan sudah mulai meluasnya penggunaan baterai jenis tersebut. Kemudian baterai dengan jenis Solid-state, dan Nickel-metal Hydride disebutkan sebanyak masing-masing 2 penelitian. Namun dengan terdapatnya keberagaman jenis baterai yang digunakan dalam penelitian manajemen pengisian daya berbasis AI menunjukan mulai meluasnya penggunaan metode pengisian daya tersebut.

Manajemen pengisian daya berbasis AI bekerja antara lain dengan mengurangi beban puncak, ketika pengisian daya sudah mendekati kapasitas penuh baterai maka pengisian daya akan mengurangi arus daya yang masuk ke baterai dan terbukti mengurangi degradasi hingga 91% [13]. Dan termasuk juga manajemen status pengisian daya, sehingga dapat dilakukan pencegahan pengisian daya berlebih, serta prediksi status pengisian daya sehingga dapat memberikan estimasi terhadap waktu pengisian daya hingga penuh. [12] Dengan berbagai cara, manajemen pengisian daya berbasis AI meningkatkan masa pakai dan kesehatan baterai. memungkinkan estimasi kesehatan baterai secara real-time dan presisi, sehingga pengisian dapat disesuaikan terhadap kondisi baterai. Dengan berbagai model manajemen sistem untuk pengisian daya, diharapkan dapat memberikan dampak terhadap kesehatan dan masa pakai baterai yang lebih baik dan untuk meningkatkan pengalaman yang lebih baik untuk pengguna.

Dampak manajemen pengisian daya berbasis AI terhadap masa pakai dan kesehatan baterai dapat diukur dalam beberapa hal. Hasil utama yang diukur antara lain adalah estimasi dan prediksi pengisian daya atau status kesehatan [12], efisiensi penyimpanan energi dan pengisian daya, optimalisasi pengisian dan penyimpanan daya, dan kesehatan baterai masa pakai dan degradasi baterai [6]. Manajemen pengisian daya berbasis AI menunjukkan hasil yang berbeda dengan pengisian daya yang tidak menggunakan AI dalam optimalisasi secara real time dan pemeliharaan yang prediktif. Dalam simulasi yang dilakukan oleh (Tabassum et al) menunjukkan efisiensi energi,

pengurangan beban ketika pengisian daya sudah penuh, serta lebih hemat biaya. Peningkatan ini diukur pada tingkat sistem tidak diukur langsung pada tingkat baterai[6]. Dalam hal ini manajemen pengisian daya berbasis AI digunakan untuk menyeimbangkan beban, prediksi permintaan pengisian daya, dan kontrol secara adaptif dalam perubahan kondisi perangkat.

Dampak manajemen pengisian daya berbasis AI terhadap kesehatan dan masa pakai baterai antara lain adalah pencegahan degradasi terhadap baterai dan pengisian daya adaptif yang menyesuaikan dengan kondisi baterai[12]. Dari artikel yang sudah direview lebih banyak yang menyimpulkan manfaat kesehatan baterai dari perbaikan sistem manajemen pengisian daya dan berkurangnya degradasi baterai dibandingkan mengukur secara langsung terhadap masa pakai baterai dalam waktu yang panjang. Dan untuk dampak kesehatan yang bisa dilaporkan secara langsung melalui prediksi kesehatan baterai dan berkurangnya degradasi baterai, dan meningkatnya efisiensi dalam pengisian daya. Sehingga dengan manajemen pengisian daya berbasis AI dapat memberikan pengalaman yang lebih baik kepada pengguna dan dapat menyesuaikan kebutuhan pengguna, berdasarkan kebiasaan pengguna maupun kondisi baterai serta faktor yang mempengaruhi baterai seperti lingkungan dan kesehatan baterai.

Secara keseluruhan, hasil RQ2 menunjukkan bahwa manajemen pengisian daya berbasis AI meningkatkan kesehatan dan masa pakai baterai secara signifikan. Namun, manfaat ini tidak terlepas dari beberapa masalah implementasi yang dibahas pada RQ3 berikutnya.

RQ3: Hambatan dan batasan utama dalam pengaplikasian pengisian daya yang berbasis AI?

Terlepas dari potensi AI untuk manajemen pengisian daya, hasil review menemukan empat tantangan utama: keterbatasan komputasi, variabilitas perangkat, masalah privasi, dan biaya pengembangan.

Meskipun pengisian daya berbasis AI menunjukkan potensi dalam mengoptimalkan pengisian daya dan efisiensi energi serta dapat memperpanjang masa pakai dan kesehatan baterai, terdapat beberapa hambatan dan keterbatasan yang masih menjadi tantangan dalam implementasi pengisian daya berbasis AI, dalam bidang otomotif penggunaan pengisian daya berbasis AI sudah banyak digunakan [14]. Namun dalam perangkat mobile seperti smartphone masih terbatas dalam pengaplikasian pengisian daya berbasis AI.

Pertama, kapasitas komputasi yang terbatas. Model Deep Learning seperti LSTM dan Neural Network membutuhkan pemrosesan data yang kompleks dan sumber daya komputasi tinggi, yang tidak selalu kompatibel dengan perangkat berdaya rendah [15]. Hal ini tidak selalu cocok dengan berbagai perangkat yang memiliki keterbatasan daya dan komponen [15].

Kedua, variabel yang berasal dari perangkat dan kondisi lingkungan. Model AI yang dilatih untuk satu perangkat mungkin tidak bekerja dengan baik pada perangkat lain karena jenis baterai, sistem operasi, dan fitur hardware yang berbeda, perbedaan penggunaan baterai dan jenis baterai, serta sistem operasi yang terdapat pada jenis perangkat yang digunakan menyebabkan metode manajemen berbasis AI sulit diimplementasikan secara universal. Model AI yang dilatih untuk suatu perangkat seperti merk kendaraan yang berbeda atau untuk smartphone yang berbeda belum tentu akan bekerja secara optimal jika digunakan untuk pengisian daya, sehingga diperlukan model yang lebih efisien dan bisa digunakan secara universal untuk jenis perangkat yang sama [15].

Ketiga, masalah dengan privasi data pengguna adalah sistem AI perlu memantau kebiasaan dan lokasi pengguna dengan ketat. Ini menimbulkan kekhawatiran tentang keamanan data pengguna, terutama jika pengguna tidak memberikan persetujuan jelas untuk pengumpulan data. Sehingga hal ini menimbulkan kekhawatiran terhadap privasi serta keamanan data pribadi, terlebih lagi ketika data dapat dikumpulkan tanpa persetujuan dari pengguna maka hal tersebut menimbulkan kekhawatiran terhadap pengguna[16]. Untuk hal ini diperlukan sistem yang dapat memberikan jaminan atas data privasi pengguna, sehingga pengguna tidak perlu merasa khawatir terhadap penyalahgunaan data privasi tersebut, dalam hal ini privasi merupakan hal yang penting dikarenakan terkait dengan data pribadi pengguna, rentannya perlindungan terhadap privasi pengguna menyebabkan ketidaknyamanan pengguna dan pengalaman pengguna yang tidak baik, sehingga perlindungan privasi ini sangat penting dan diperlukan tindakan perlindungan terhadap privasi pengguna.

Keempat, tingginya biaya integrasi dan pengembangan. Produsen menghadapi kendala keuangan karena implementasi sistem berbasis AI membutuhkan perangkat lunak tambahan, sensor pendukung, dan pemeliharaan berkelanjutan. Hal tersebut menjadi hambatan bagi produsen yang memerlukan efisiensi dalam anggaran. Dalam penggunaan AI untuk manajemen pengisian daya membutuhkan biaya yang cukup besar dikarenakan biaya pengembangan dan pelatihan AI termasuk biaya yang diluar produk yang dijual, akan tetapi penggunaan AI sangat diperlukan untuk menunjang kebutuhan konsumen yang lebih kompleks dan dengan kepuasan pengguna akan memberikan dampak penjualan produk tersebut.

Keempat hambatan tersebut terkait satu sama lain: keterbatasan komputasi membuat generalisasi model lebih sulit, keberagaman perangkat mempersulit standarisasi, masalah privasi membatasi pengumpulan data pelatihan, dan biaya tinggi memperlambat adopsi industri. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang terintegrasi yang mencakup pengembangan model AI yang sederhana, standarisasi protokol, dan peraturan perlindungan data yang cukup.

Secara keseluruhan dari manfaat penggunaan AI dalam manajemen pengisian daya yang menawarkan berbagai keunggulan, namun dalam implementasi AI untuk manajemen pengisian daya menemui berbagai kendala dalam segi teknis, komputasi, aspek sosial dan etika. Keterbatasan data, beragamnya kondisi lingkungan yang tidak selalu menentu, hingga perihal isu privasi menjadi tantangan utama yang perlu menjadi pembahasan yang perlu diselesaikan sebelum teknologi pengisian daya berbasis dapat digunakan dan disebarluaskan dan dapat digunakan secara berkelanjutan. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan yang fokus untuk mengatasi beberapa hambatan tersebut sehingga dapat memberikan hasil pengembangan model yang mudah dan peningkatan keamanan data pengguna, serta adanya standarisasi sistem yang memungkinkan untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan dalam jangka yang panjang, seperti penggunaan AI dalam manajemen pengisian daya berbasis AI yang bisa digunakan secara universal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan kajian literatur sistematis terhadap 40 artikel terpilih dari tahun 2020 hingga 2025, dapat ditarik kesimpulan bahwa penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam manajemen pengisian daya pada kendaraan dan alat elektronik menunjukkan adanya potensi dalam meningkatkan efisiensi energi, memperpanjang masa pakai dan kesehatan baterai, serta meminimalkan degradasi melalui metode seperti Neural Network, Reinforcement Learning, LSTM, dan sistem hybrid. Sistem berbasis AI lebih baik daripada pendekatan konvensional berbasis logika statis seperti PID/PI karena memiliki kemampuan untuk beradaptasi secara real-time terhadap pola perilaku pengguna, kondisi perangkat, dan perubahan lingkungan.

Secara khusus, penelitian ini menemukan bahwa: (1) Neural Network adalah teknik yang paling banyak digunakan (13 dari 40 artikel), diikuti oleh Reinforcement Learning (7 artikel); (2) penggunaan AI telah terbukti dapat mengurangi kerusakan baterai hingga 91% melalui mekanisme pengurangan beban puncak; dan (3) hambatan utama termasuk tingginya biaya integrasi sistem, variabilitas hardware, keterbatasan komputasi perangkat, dan masalah privasi data. Meskipun demikian, AI dalam pengisian daya masih menghadapi banyak masalah teknis dan non-teknis, seperti keterbatasan komputasi dan keragaman hardware, masalah privasi data, dan tingginya biaya integrasi.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan yang teridentifikasi, penelitian ini merekomendasikan beberapa arah pengembangan ke depan. Pertama, pengembangan model AI ringan berbasis edge computing yang dapat digunakan pada perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas. Ini akan memungkinkan implementasi yang lebih luas pada perangkat mobile. Kedua, membuat dataset standar

yang representatif yang menggabungkan berbagai jenis perangkat, jenis baterai, dan kondisi lingkungan penggunaan. Ketiga, membuat peraturan teknis dan protokol privasi yang jelas untuk melindungi data pengguna dalam sistem pengisian daya berbasis AI, terutama pada perangkat mobile yang sangat pribadi. Keempat, karena sebagian besar penelitian yang direview masih berbasis simulasi atau pengujian pada kendaraan listrik, penelitian lanjutan harus melakukan pengujian langsung (empiris) terhadap model AI pada perangkat smartphone nyata. Diharapkan penelitian ini akan membantu peneliti dan pengembang sistem membuat solusi manajemen pengisian daya berbasis AI yang lebih fleksibel, efektif, dan aman khususnya untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat dari pengguna perangkat mobile.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Eissa and P. Chen, "Machine Learning-based Electric Vehicle Battery State of Charge Prediction and Driving Range Estimation for Rural Applications," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 56, no. 3, pp. 355–360, 2023, doi: 10.1016/j.ifacol.2023.12.050.
- [2] Z. Ren and C. Du, "A review of machine learning state-of-charge and state-of-health estimation algorithms for lithium-ion batteries," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 2993–3021, 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2023.01.108.
- [3] M. SivaramKrishnan, N. Kathirvel, C. Kumar, and T. Senjyu, "Smart charging solution for electric vehicles: Leveraging grid connected solar PV with UPQC using HBA- MORARNN approach," *Energy Reports*, vol. 13, no. February, pp. 2454–2467, 2025, doi: 10.1016/j.egyr.2025.02.004.
- [4] R. Aravind and S. N. R. Dolu Surabhi, "Smart Charging: AI Solutions For Efficient Battery Power Management In Automotive Applications," *Educ. Adm. Theory Pract.*, no. July, 2024, doi: 10.53555/kuey.v30i5.6498.
- [5] C. Chan and A. Nurrosyidah, "Democratizing Artificial Intelligence for Social Good: A Bibliometric–Systematic Review Through a Social Science Lens," *Soc. Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–27, 2025, doi: 10.3390/socsci14010030.
- [6] S. Tabassum, A. R. Vijay Babu, and D. K. Dheer, "Adaptive energy management strategy for sustainable xEV charging stations in hybrid microgrid architecture," *Sci. Technol. Energy Transit.*, vol. 80, 2025, doi: 10.2516/stet/2025002.
- [7] A. R. Singh, R. S. Kumar, K. R. Madhavi, F. Alsaif, M. Bajaj, and I. Zaitsev, "Optimizing demand response and load balancing in smart EV charging networks using AI integrated blockchain framework," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-82257-2.
- [8] R. Manoharan and R. S. Wahab, "Model predictive controller-based Convolutional Neural

- Network controller for optimal frequency tracking of resonant converter-based EV charger,” *Results Eng.*, vol. 24, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103658.
- [9] A. Osama, D. Allam, and M. B. Eteiba, “A Novel Real-Time Fuzzy-Based Optimal Control of the Charging Cycle of a Renewable Energy Microgrid Storage System,” *Int. J. Fuzzy Syst.*, 2025, doi: 10.1007/s40815-024-01924-8.
- [10] P. Jamjuntr, C. Techawatcharapaikul, and P. Suanpang, “Adaptive Multi-Agent Reinforcement Learning for Optimizing Dynamic Electric Vehicle Charging Networks in Thailand,” *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, no. 10, 2024, doi: 10.3390/wevj15100453.
- [11] S. J. Shern, M. T. Sarker, M. H. S. M. Haram, G. Ramasamy, S. P. Thiagarajah, and F. Al Farid, “Artificial Intelligence Optimization for User Prediction and Efficient Energy Distribution in Electric Vehicle Smart Charging Systems,” *Energies*, vol. 17, no. 22, 2024, doi: 10.3390/en17225772.
- [12] M. K. Farman, J. Nikhila, A. B. Sreeja, B. S. Roopa, K. Sahithi, and D. Gireesh Kumar, “AI-Enhanced Battery Management Systems for Electric Vehicles: Advancing Safety, Performance, and Longevity,” in *E3S Web of Conferences*, N. K.P., G. J. J., R. K., and P. B., Eds., Department of EEE, B V Raju Institute of