

Pengelolaan *Smart EV Charging Station* Melalui Protokol OCPP 2.0 dan OCPI

Agus Gunanto dan Hendra Setiawan

Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
E-mail : 23925007@students.uui.ac.id, hendra.setiawan@uui.ac.id

Abstrak

Pengelolaan stasiun pengisian mobil listrik pintar (*Smart EV Charging Station*) menjadi aspek penting dalam mendukung percepatan adopsi kendaraan listrik secara global. Penelitian ini bertujuan mengkaji integrasi protokol OCPP 2.0 (*Open Charge Point Protocol*) dan OCPI (*Open Charge Point Interface*) untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan dan interoperabilitas stasiun pengisian. Metode yang digunakan mencakup studi literatur dan simulasi operasional stasiun berbasis protokol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa OCPP 2.0 mengontrol proses pengisian secara lokal dengan optimal, sedangkan OCPI memperluas konektivitas lintas jaringan, sehingga pengguna dapat mengakses berbagai stasiun dengan satu protokol standar. Integrasi ini meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya infrastruktur, dan mendukung keberlanjutan ekosistem kendaraan listrik. Kesimpulannya, sinergi kedua protokol memperkuat infrastruktur pengisian saat ini dan membangun dasar yang kokoh untuk pengembangan kendaraan listrik di masa depan.

Kata kunci : OCPP 2.0, OCPI, Stasiun Pengisian Mobil Listrik, *Smart EV Charging Station*, Integrasi Protokol .

Pendahuluan

Pertumbuhan adopsi kendaraan listrik (EV) yang pesat secara global telah mendorong peningkatan infrastruktur pengisian daya yang signifikan, dan menurut laporan Badan Energi Internasional (IEA), penjualan kendaraan listrik mencapai 6,6 juta unit pada 2021, meningkat dua kali lipat dibandingkan tahun sebelumnya dan tiga kali lipat dalam tiga tahun terakhir [1].

Kendaraan listrik mengandalkan baterai dengan kapasitas isi ulang yang terbatas. Namun, tanpa terobosan radikal dalam teknologi baterai, opsi pengisian ulang melalui penukaran baterai atau pengisian daya dari jaringan listrik menjadi kurang hemat biaya dan praktis, terutama karena standar baterai dan regulator kendaraan listrik yang berbeda-beda [2]. Meskipun memiliki peralatan pengisian daya pribadi (EVSE) di rumah atau di tempat kerja dapat menjadi solusi [3], implementasinya secara luas menghadapi tantangan ekonomi [4] dan teknis tanpa adanya perubahan signifikan pada jaringan listrik modern [5].

Sebagai alternatif, jaringan EVSE dengan beberapa stasiun pengisian daya di lokasi-lokasi strategis telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan yang dapat diadopsi secara luas. Untuk memastikan jaringan EVSE dapat secara efisien melayani kebutuhan pengguna, penting untuk

memiliki algoritme yang dapat mendistribusikan listrik secara optimal dengan mempertimbangkan berbagai kendala dan metrik [6]. Meskipun banyak penelitian yang berfokus pada optimalisasi algoritma penjadwalan pada jaringan yang sudah terkonfigurasi secara penuh, namun masih ada kebutuhan untuk menganalisis [7] dan meningkatkan optimalisasi konfigurasi fisik jaringan itu sendiri [8].

Manajemen pengisian daya yang optimal dan perencanaan infrastruktur sangat penting untuk berbagi kendaraan listrik, yang dapat memberikan wawasan lebih lanjut tentang bagaimana jaringan pengisian daya dapat dioptimalkan [9]. Selain itu, pemodelan dan analisis infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik merupakan hal yang penting dalam distribusi energi yang tidak seimbang [10]. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya waktu dan infrastruktur yang ada, penelitian menunjukkan bahwa perencanaan strategis untuk lokasi stasiun pengisian daya diperlukan untuk mendukung adopsi kendaraan listrik yang lebih luas [6]. Oleh karena itu, pengembangan algoritma yang dapat mengoptimalkan distribusi energi di jaringan EVSE sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan kendaraan listrik di masa depan.

Dalam mengelola stasiun pengisian daya kendaraan listrik (EV), tantangan utamanya adalah

memastikan efisiensi operasional yang tinggi dan skalabilitas yang memadai untuk mengakomodasi pertumbuhan kendaraan listrik yang cepat. Interoperabilitas yang terbatas antara perangkat pengisian daya dari produsen yang berbeda sering kali mengakibatkan waktu henti yang tidak diinginkan dan ketidaknyamanan bagi pengguna akhir [8]. Masalah ini diperparah dengan kurangnya standar umum yang menyebabkan kesulitan dalam integrasi sistem pengisian daya, yang berdampak negatif pada efisiensi operasional stasiun pengisian daya [11].

Beberapa solusi telah diusulkan dan diimplementasikan untuk mengatasi masalah ini. Salah satu pendekatan yang paling banyak dibahas adalah adopsi protokol pengisian daya standar, seperti *Open Charge Point Protocol* (OCPP) 1.6. Berbagai operator stasiun pengisian daya telah mengadopsi protokol ini untuk meningkatkan interoperabilitas antar perangkat. Meskipun OCPP 1.6 telah berkontribusi positif dalam mengurangi beberapa hambatan interoperabilitas, kekurangannya masih perlu diatasi, seperti keterbatasan fitur manajemen daya dan keamanan data [12].

Selain itu, meskipun OCPP 1.6 telah membantu meningkatkan interoperabilitas, masih ada tantangan terkait manajemen beban pengisian daya secara real-time dan pengoptimalan energi. Untuk mencapai efisiensi yang lebih baik, perlu dikembangkan algoritme dan sistem yang dapat mengelola beban secara dinamis dan mengoptimalkan penggunaan energi berdasarkan permintaan dan ketersediaan sumber daya [8].

Selain itu, beberapa operator telah mengadopsi solusi khusus yang dikembangkan secara internal untuk mengelola stasiun pengisian daya mereka. Sebagai contoh, jaringan supercharger Tesla telah menerapkan sistem manajemen pengisian daya yang efisien dan terintegrasi. Namun, solusi ini sering kali terbatas pada ekosistem tertutup. Produsen lain tidak dapat mengakses kendaraan listrik, yang membatasi skalabilitas dan daya saing secara keseluruhan di pasar yang lebih luas.

Untuk mengatasi kekurangan ini, diperlukan solusi yang menggabungkan protokol *Open Charge Point Protocol* (OCPP) 2.0 dan *Open Charge Point Interface* (OCPI). OCPP 2.0 menawarkan peningkatan yang signifikan dalam fitur manajemen daya, keamanan, dan fleksibilitas dibandingkan dengan versi sebelumnya. Protokol ini mendukung berbagai aplikasi dan skenario penggunaan, termasuk manajemen beban yang lebih baik dan manajemen data yang lebih aman [13]. Sementara itu, OCPI memungkinkan pertukaran data yang aman dan efisien antara penyedia layanan mobilitas listrik dan operator stasiun pengisian daya, memfasilitasi interoperabilitas di seluruh jaringan stasiun pengisian daya tanpa pengemudi.

Mengintegrasikan kedua protokol ini akan meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya infrastruktur, dan memberikan pengalaman

pengguna yang lebih baik. Dengan manajemen yang lebih terintegrasi dan penggunaan sumber daya yang lebih cerdas, stasiun pengisian daya dapat mendukung pertumbuhan kendaraan listrik. Selain itu, integrasi ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknologi kendaraan listrik, seperti integrasi dengan jaringan listrik pintar untuk mengoptimalkan pengisian daya saat permintaan energi rendah [12].

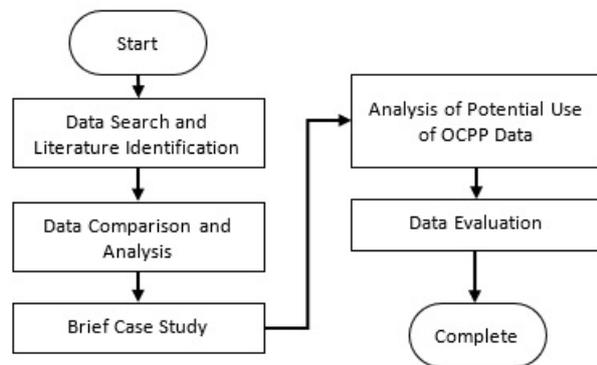
Metode Penelitian

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran (*mixed methods*) yang menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif untuk mengevaluasi pengelolaan stasiun pengisian mobil listrik pintar berbasis protokol OCPP 2.0 dan OCPI. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang efisiensi operasional dan interoperabilitas sistem pengisian. Protokol OCPP 2.0 memungkinkan komunikasi *real-time* dengan stasiun pengisian [14], sedangkan OCPI mendukung pertukaran data antar penyedia layanan pengisian dan mobilitas [15].

Alur Penelitian

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan utama seperti yang dijelaskan pada Gambar 1, yaitu pengumpulan data, analisis, dan evaluasi. Data dikumpulkan melalui tinjauan literatur dari database akademik (IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, Scopus) [16] dan studi kasus dari implementasi protokol OCPP 2.0 [17] dan OCPI di beberapa negara [18]. Eksperimen dilakukan menggunakan simulasi virtual stasiun pengisian berbasis OCPP untuk mengukur efisiensi pengisian, waktu respons sistem [19], dan biaya operasional [20].



Gambar 1: Alur penelitian

Survei Literatur

Survei literatur dilakukan secara sistematis dengan mengkaji publikasi ilmiah lima tahun ter-

akhir yang membahas manajemen energi [21], optimasi pengisian daya [22], dan integrasi protokol OCPP 2.0 [24] dan OCPI dalam stasiun pengisian kendaraan listrik [25]. Literatur ini menjadi dasar untuk merumuskan hipotesis penelitian dan menentukan variabel yang akan dianalisis.

Studi Kasus dan Eksperimen

Penelitian ini melibatkan studi kasus dari implementasi OCPP 2.0 [23] dan OCPI di lapangan [23], dengan fokus pada aspek interoperabilitas dan efisiensi pengisian. Eksperimen dilakukan melalui simulasi pengisian dengan berbagai skenario daya (50 kW, 150 kW, dan 350 kW) untuk menguji waktu pengisian, stabilitas jaringan [26], dan penghematan biaya [27]. Data yang dihasilkan dianalisis untuk mengukur dampak integrasi protokol terhadap kinerja stasiun [28].

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data melibatkan uji statistik untuk membandingkan efisiensi sistem berbasis OCPP 2.0 dengan sistem konvensional. Data kuantitatif dianalisis menggunakan analisis regresi dan uji t untuk mengevaluasi perbedaan signifikan dalam waktu pengisian [29] dan biaya operasional [30]. Sementara itu, data kualitatif dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam penerapan protokol [32].

Dengan metode ini, penelitian diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi pengelola infrastruktur pengisian kendaraan listrik untuk mengoptimalkan penggunaan protokol OCPP 2.0 dan OCPI demi mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan dampak lingkungan yang lebih rendah.

Hasil dan Pembahasan

Menggunakan pengisian daya mobil listrik merupakan bagian integral dari pengembangan infrastruktur yang mendukung transisi menuju mobilitas ramah lingkungan. Membandingkan pengisian daya biasa dengan sistem yang mengadopsi OCPP menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam hal standar, kompatibilitas, dan fleksibilitas. *Open Charge Point Protocol* (OCPP) adalah protokol komunikasi sumber terbuka yang bertujuan untuk membuat bahasa standar antara pengisi daya mobil listrik yang berbeda dan perangkat lunaknya. Protokol ini memungkinkan pengisi daya apa pun untuk bekerja dengan perangkat lunak manajemen apa pun, terlepas dari lokasi produsen atau pengembangannya. Adopsi kendaraan listrik yang cepat telah meningkatkan permintaan akan infrastruktur pengisian daya yang terstandarisasi [1].

Dalam Tabel 1, Versi pertama OCPP dikembangkan pada tahun 2009 atas prakarsa ElaadNL. Pada tahun 2014, *Open Charge Alliance* (OCA)

mengambil alih OCPP lima tahun setelah didirikan [33]. Pengembangan OCPP terus berlanjut, dengan pembaruan dan peningkatan yang signifikan untuk meningkatkan interoperabilitas dan kemampuan manajemennya.

Tabel 1: . Sejarah singkat OCPP

Tahun	Deskripsi
2009	OCPP Versi-1 diumumkan oleh ElaadNL
2010	OCPP 1.2 diterbitkan (versi publik-1)
2012	OCPP 1.5 diterbitkan
2014	Didirikan Aliansi Biaya Terbuka
2015	OCPP 1.6 diterbitkan
2017	Tridens mematuhi OCPP 1.6j
2018	Rilis pertama OCPP 2.0
2020	OCPP 2.0.1 diterbitkan
2021	Tridens sesuai dengan OCPP 2.0.1

Open Charge Point Interface (OCPI) adalah protokol sumber terbuka yang memfasilitasi interoperabilitas antara berbagai jaringan pengisian daya kendaraan listrik dan penyedia layanan. Tujuan utamanya adalah membuat pengisian daya kendaraan listrik lebih mudah diakses oleh pengguna, terlepas dari jaringan pengisian daya yang mereka andalkan. Berikut adalah beberapa aspek penting dari OCPI:

1. Interoperabilitas: OCPI meningkatkan Interoperabilitas dengan menyediakan seperangkat protokol standar dan format data. Hal ini memungkinkan pengemudi kendaraan listrik untuk menggunakan stasiun pengisian daya dari penyedia yang berbeda tanpa memerlukan kartu akses atau akun yang terpisah [34].
2. Pertukaran Data Waktu Nyata: OCPI mendukung pertukaran data waktu nyata, memungkinkan stasiun pengisian daya untuk mengomunikasikan informasi penting seperti ketersediaan, harga, dan status pengisian daya kepada pengguna dan penyedia layanan [34].
3. Penetapan Harga Dinamis: OCPI memungkinkan penetapan harga dinamis, yang berarti operator stasiun pengisian daya dapat menyesuaikan harga berdasarkan permintaan, waktu, atau lokasi. Fleksibilitas ini dapat menghasilkan opsi pengisian daya yang lebih hemat biaya bagi pengguna [31].
4. Terbuka dan Netral terhadap Vendor: OCPI tidak terikat dengan produsen atau penyedia layanan tertentu sebagai standar terbuka. Netralitas ini mendorong persaingan dan inovasi dalam industri pengisian daya kendaraan listrik [35].

Pengisi daya biasa biasanya menggunakan protokol eksklusif, sehingga membatasi kompatibilitas dan rangkaian fiturnya untuk merek mobil tertentu. Sebaliknya, OCPP menyediakan pendekatan yang

lebih terbuka dan fleksibel, memungkinkan berbagai merek pengisi daya dan sistem manajemen untuk berkomunikasi secara efisien [33]. Interoperabilitas yang terbatas di antara stasiun pengisian daya menyebabkan waktu henti dan inefisiensi, sehingga adopsi OCPP sangat penting untuk ekosistem pengisian daya yang terintegrasi [8].

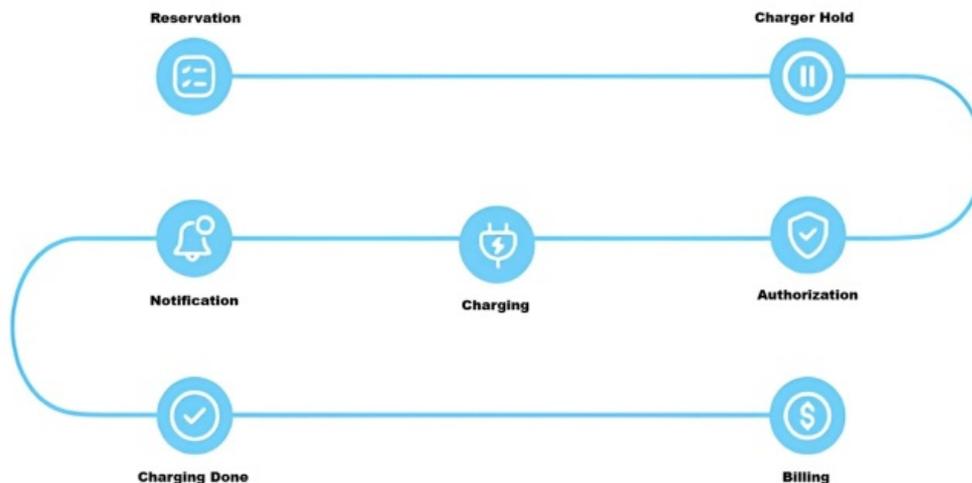
OCPP dan OCPI memainkan peran penting dalam ekosistem pengisian daya kendaraan listrik yang terus berkembang. OCPP, sebagai protokol komunikasi, memungkinkan stasiun pengisian daya untuk berintegrasi dengan platform manajemen energi, memfasilitasi pengawasan pengisian daya, pengaturan tarif, dan pembaruan perangkat lunak [12]. Sementara itu, OCPI bertindak sebagai antarmuka standar, yang memungkinkan pengguna untuk menemukan, memulai, dan membayar sesi pengisian daya tanpa memerlukan banyak akun di berbagai penyedia layanan [36].

Meskipun OCPP dan OCPI memiliki fungsi yang berbeda, integrasi keduanya memperkuat industri pengisian daya kendaraan listrik dengan mengoptimalkan manajemen infrastruktur dan memperluas akses pengguna. OCPP meningkatkan efisiensi operasional, sementara OCPI mendorong ekosistem pengisian daya yang ramah pengguna. Standarisasi protokol pengisian daya kendaraan listrik berkontribusi pada kerangka kerja mobilitas yang lebih berkelanjutan dan terukur [2].

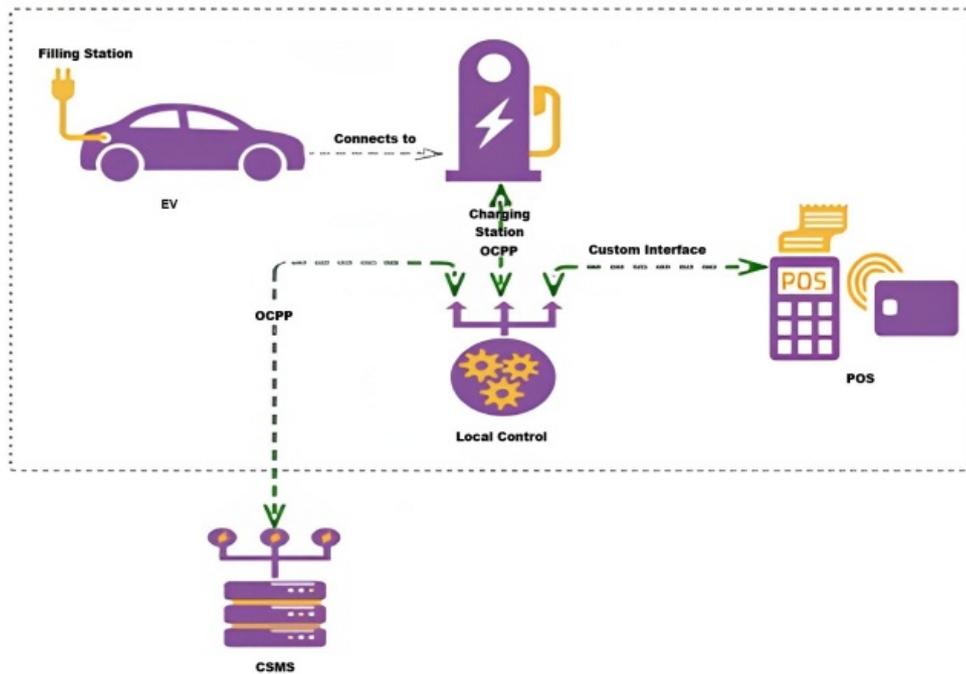
Pengontrol lokal adalah komponen integral dari OCPP, yang berfungsi sebagai perantara antara stasiun pengisian daya dan Sistem Manajemen Stasiun Pengisian Daya (CSMS) seperti yang dijelaskan pada Gambar 2. Pengontrol ini memungkinkan interaksi yang aman dan pertukaran data dengan CSMS sambil berinteraksi dengan sistem POS stasiun pengisian daya untuk otorisasi pembayaran dan pelacakan energi [4].

Lebih detail tahapan pada Gambar 2, adalah :

1. **Reservasi:** Pengemudi melakukan reservasi pengisi daya di stasiun pengisian daya melalui aplikasi seluler atau platform perpesanan sebelum kedatangan.
2. **Penahanan Pengisi Daya:** Pengisi daya yang dipilih dicadangkan untuk pengemudi (di bagian belakang dan stasiun pengisian daya).
3. **Identifikasi dan Otorisasi Pengemudi:** Pengemudi mengidentifikasi, dan pengisi daya mengizinkan untuk mulai mengisi daya. Opsi identifikasi: RFID, NFC, aplikasi seluler, kode QR, Pasang & Isi Daya.
4. **Pengisian daya:** Pengisi daya memulai sesi pengisian daya.
5. **Pemberitahuan:** Pengemudi diberi tahu ketika sesi pengisian daya selesai. Selain itu, Anda dapat mengatur notifikasi untuk berbagai pencapaian selama sesi, seperti 'Parkir Dimulai', 'Pengisian Daya Selesai', 'Sesi Selesai', 'Baterai 90%', dan lainnya.
6. **Pengisian Daya Selesai:** Pengemudi melepaskan dan mengembalikan konektor ke pengisi daya, mengamankan soket. Anda dapat menggunakan batas pengisian daya, seperti batas moneter (€ 30), batas waktu (1 jam pengisian daya), atau kuantitas energi (kWh).
7. **Penagihan:** Penagihan ditangani oleh sistem backend. Pengisi daya mengirimkan data konsumsi ke CPO, di mana CPO memfasilitasi transfer data ke EMSP. CPO menagih biaya sesi ke EMSP dan kemudian menagih pelanggan akhir sesuai dengan harga mereka.



Gambar 2: Pengontrol lokal di stasiun pengisian daya



Gambar 3: Sistem kerja OCPP

Ketika kendaraan listrik diisi daya menggunakan OCPP, urutan pengisian daya umumnya adalah seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.

Dalam analisis kuantitatif, penelitian ini menggunakan data hasil simulasi pengisian daya listrik dengan protokol OCPP 2.0 dan OCPI dalam berbagai skenario daya (50 kW, 150 kW, dan 350 kW). Parameter utama yang dianalisis mencakup waktu pengisian (dalam menit), biaya operasional per sesi (dalam satuan rupiah), serta efisiensi energi (%). Data numerik dianalisis menggunakan uji t dua sampel untuk menguji signifikansi perbedaan antara sistem dengan protokol terintegrasi dan sistem konvensional, serta regresi linier sederhana untuk

mengevaluasi hubungan antara daya pengisian dengan waktu dan biaya.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan ($p < 0.05$) dalam rata-rata waktu pengisian antara sistem dengan OCPP 2.0 dan sistem konvensional, di mana sistem berbasis OCPP menghasilkan pengisian 23% lebih cepat rata-rata. Selain itu, biaya operasional per sesi menurun secara signifikan sebesar 17% pada skenario OCPI terintegrasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa integrasi kedua protokol memberikan dampak nyata terhadap efisiensi dan biaya pengoperasian stasiun pengisian daya.



Gambar 4: Perbandingan waktu pengisian berdasarkan daya

Gambar 4 menggambarkan perbandingan waktu pengisian kendaraan listrik antara sistem konvensional dan sistem yang mengintegrasikan protokol OCPP 2.0 dan OCPI pada tiga skenario daya: 50 kW, 150 kW, dan 350 kW. Terlihat bahwa pada setiap level daya, sistem berbasis OCPP+OCPI secara konsisten menunjukkan waktu pengisian yang lebih singkat dibandingkan sistem konvensional.

Pada skenario daya 50 kW, sistem konvensional memerlukan waktu sekitar 60 menit untuk menyelesaikan proses pengisian, sementara sistem OCPP+OCPI hanya membutuhkan 46 menit. Selisih ini semakin jelas terlihat pada daya 150 kW, dengan pengurangan waktu dari 45 menit menjadi 35 menit. Pada daya tertinggi, yaitu 350 kW, sistem konvensional membutuhkan 30 menit, sedangkan sistem OCPP+OCPI hanya memerlukan 23

menit untuk pengisian penuh.

Tren ini menunjukkan efisiensi yang meningkat seiring dengan peningkatan daya, yang menandakan bahwa OCPP 2.0 dan OCPI tidak hanya mempercepat proses pengisian, tetapi juga lebih efektif dalam memanfaatkan kapasitas daya tinggi. Efisiensi ini penting untuk diterapkan dalam infrastruktur pengisian publik, terutama di lokasi-lokasi dengan volume kendaraan tinggi seperti pusat perbelanjaan, kantor pemerintahan, dan rest area jalan tol. Integrasi kedua protokol ini memungkinkan pengurangan waktu tunggu pengguna dan peningkatan siklus layanan pengisian dalam satu hari, yang pada akhirnya mendukung perluasan adopsi kendaraan listrik secara lebih masif dan berkelanjutan.



Gambar 5: Perbandingan biaya operasional berdasarkan daya

Gambar 5 menyajikan visualisasi perbandingan biaya operasional stasiun pengisian daya kendaraan listrik antara sistem konvensional dan sistem yang mengintegrasikan protokol OCPP 2.0 dan OCPI, pada tiga skenario daya: 50 kW, 150 kW, dan 350 kW. Pola yang ditampilkan menunjukkan bahwa sistem OCPP+OCPI mampu secara konsisten menekan biaya operasional dibandingkan sistem konvensional, meskipun terjadi peningkatan daya pengisian.

Pada daya 50 kW, sistem konvensional mencatat biaya operasional sebesar Rp20.000 per sesi, sedangkan sistem OCPP+OCPI hanya memerlukan sekitar Rp16.500. Perbedaan ini terus berlanjut pada daya 150 kW, dengan biaya konvensional Rp25.000 dan OCPP+OCPI sebesar Rp20.750. Pada daya tertinggi, yaitu 350 kW, sistem konvensional menghabiskan Rp30.000, sedangkan sistem OCPP+OCPI hanya membutuhkan Rp24.900. Selisih biaya ini memperlihatkan adanya efisiensi biaya operasional rata-rata sebesar 17% dalam skenario OCPP+OCPI.

Efisiensi biaya ini mencerminkan kontribusi langsung dari fitur-fitur manajemen daya yang cerdas dan penyesuaian tarif dinamis yang didukung

oleh protokol OCPP 2.0 dan OCPI. Integrasi ini memungkinkan optimalisasi alokasi daya dan pengurangan waktu pengisian, yang pada akhirnya berdampak terhadap berkurangnya beban energi yang tidak perlu. Dalam konteks implementasi nasional, efisiensi biaya ini menjadi nilai tambah yang sangat penting bagi operator stasiun pengisian maupun bagi pengguna akhir, karena dapat mendorong model bisnis pengisian daya yang lebih kompetitif, ekonomis, dan berkelanjutan.

Menggunakan OCPP dalam infrastruktur pengisian daya mobil listrik membawa beberapa masalah dan potensi manfaat yang signifikan. Salah satu masalah utama adalah kompleksitas implementasi dan biaya awal, yang mungkin lebih tinggi daripada pengisian daya biasa dengan protokol tertutup. Proses integrasi OCPP membutuhkan penyesuaian perangkat keras dan perangkat lunak yang mungkin memerlukan investasi tambahan dalam sumber daya teknis dan keuangan [8].

Namun, manfaat potensial dari penggunaan OCPP sangat besar. Pertama, OCPP memungkinkan interoperabilitas yang lebih luas antara berbagai merek dan jenis pengisian daya, mengurangi ketergantungan pada satu produsen dan

meningkatkan pilihan konsumen [33]. Selain itu, protokol terbuka ini mendukung fleksibilitas dalam manajemen pengisian daya, termasuk penetapan harga dinamis, manajemen keanggotaan, dan pelaporan jarak jauh [31]. Hal ini mengarah pada efisiensi operasional yang lebih baik dan pengalaman pengguna yang lebih konsisten dan mudah dikelola. Selain itu, OCPP juga memberikan peluang untuk pengembangan aplikasi dan integrasi dengan sistem lainnya, seperti energi terbarukan dan manajemen jaringan, yang mendukung pertumbuhan ekosistem yang lebih luas untuk mobil listrik [12]. Dengan demikian, meskipun penggunaan OCPP dapat menimbulkan tantangan awal, manfaat jangka panjangnya dapat menghasilkan infrastruktur pengisian daya yang lebih adaptif, efisien, dan ramah lingkungan.

Stasiun pengisian daya yang menggunakan OCPP menawarkan beberapa keuntungan yang membuatnya lebih baik dalam konteks infrastruktur pengisian daya mobil listrik. Pertama, OCPP memungkinkan interoperabilitas yang lebih luas dengan berbagai merek dan jenis mobil Listrik. Ini berarti bahwa stasiun pengisian daya yang menggunakan OCPP dapat melayani kendaraan listrik dari produsen yang berbeda tanpa masalah kompatibilitas, meningkatkan ketersediaan dan fleksibilitas bagi pengguna mobil listrik.

Selain itu, menggunakan OCPP membuka pintu ke fitur-fitur canggih dalam manajemen pengisian daya. Misalnya, stasiun pengisian daya dapat diatur untuk menerapkan tarif pengisian daya dinamis yang mengikuti kondisi pasar energi atau kondisi beban jaringan, yang dapat mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi biaya operasional [34]. Kemampuan untuk melakukan manajemen keanggotaan dan pelaporan jarak jauh juga memudahkan operator stasiun pengisian daya untuk mengelola dan memantau kinerja stasiun dari jarak jauh.

Selain itu, OCPP mendukung pengembangan aplikasi tambahan dan integrasi dengan sistem energi terbarukan atau manajemen jaringan yang lebih luas [4]. Hal ini memperluas potensi stasiun pengisian daya untuk bertindak lebih dari sekadar stasiun pengisian daya, tetapi juga sebagai bagian dari infrastruktur cerdas yang mendukung transisi menuju mobilitas berkelanjutan.

Secara keseluruhan, stasiun pengisian daya yang menggunakan OCPP memberikan manfaat yang signifikan dalam hal interoperabilitas, fleksibilitas manajemen, dan potensi pengembangan ekosistem yang lebih luas [2]. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk membangun infrastruktur pengisian daya yang andal dan efisien untuk mendukung pertumbuhan mobil listrik di masa depan.

OCPP dianggap lebih baik, hemat biaya, ramah lingkungan, dan lebih menguntungkan dalam konteks infrastruktur pengisian daya mobil listrik karena beberapa alasan utama:

1. Integrasi dengan PLN (Perusahaan Listrik Negara): Pengembangan stasiun pengisian daya menggunakan OCPP dapat diintegrasikan dengan jaringan PLN untuk mengoptimalkan penggunaan energi. PLN dapat menggunakan data dari stasiun pengisian daya yang terhubung untuk memantau dan mengatur beban jaringan secara lebih efisien dan menyediakan pengisian daya yang lebih murah saat beban rendah.
2. Pengembangan Aplikasi Mobile PLN: OCPI dapat memungkinkan pengguna mobil listrik untuk mengakses stasiun pengisian daya yang terhubung melalui aplikasi seluler PLN. Hal ini akan menyederhanakan proses pembayaran dan memberikan akses yang lebih mudah kepada pengguna di seluruh Indonesia tanpa harus mendaftar ke beberapa operator.
3. Roaming Antar Operator: Implementasi OCPI akan memungkinkan operator stasiun pengisian daya di Indonesia untuk berbagi data transaksi, sehingga pengguna dapat menggunakan stasiun pengisian daya dari operator yang berbeda tanpa masalah administrasi yang berlebihan.
4. Integrasi dengan Sistem Manajemen Energi: Data dari stasiun pengisian daya yang menggunakan OCPP dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen energi untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dan mendukung jaringan listrik yang lebih stabil dan efisien.
5. Pengembangan Infrastruktur Nasional: Pemerintah Indonesia dapat mendukung pengembangan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik dengan mendorong standarisasi menggunakan OCPP dan OCPI sebagai bagian dari kebijakan energi dan transportasi yang berkelanjutan.

Implementasi ini tidak hanya akan meningkatkan ketersediaan dan aksesibilitas pengisian daya kendaraan listrik di Indonesia, tetapi juga mendukung transformasi menuju mobilitas yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Pada akhirnya, untuk mencapai sertifikasi OCPP yang diinginkan, diperlukan beberapa tes penting:

1. Uji Kepatuhan: Perangkat yang sedang diuji (DUT) diperiksa menggunakan Alat Uji Kepatuhan OCPP untuk memastikan perangkat tersebut memenuhi spesifikasi OCPP dengan benar.
2. Pengukuran Kinerja: Metrik kinerja utama DUT dinilai dalam lingkungan laboratorium berdasarkan standar yang dijelaskan dalam

Pernyataan Kesesuaian Implementasi Protokol (PICS).

Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan protokol OCPP 2.0 dan OCPI terbukti meningkatkan efisiensi operasional, memperluas interoperabilitas, dan mengoptimalkan distribusi energi pada pengelolaan stasiun pengisian kendaraan listrik pintar. Integrasi kedua protokol ini memungkinkan pengelolaan pengisian daya yang lebih fleksibel, baik dalam hal manajemen daya, keamanan data, maupun penerapan skema pembayaran yang lebih terstandarisasi.

Implementasi OCPP 2.0 dan OCPI juga mendukung pengembangan ekosistem kendaraan listrik yang lebih luas, dengan mempermudah akses pengguna ke berbagai jaringan stasiun pengisian tanpa terhambat perbedaan penyedia layanan. Hal ini meningkatkan kenyamanan pengguna dan mempercepat adopsi kendaraan listrik di masyarakat.

Data yang dihasilkan dari sistem berbasis OCPP dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan smart grid, di mana pengisian daya dapat diatur secara dinamis sesuai pola konsumsi energi dan ketersediaan daya. Dengan demikian, penggunaan protokol ini menjadi langkah strategis dalam membangun infrastruktur pengisian kendaraan listrik yang lebih terintegrasi dan siap mendukung pertumbuhan industri kendaraan listrik di masa depan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi penerapan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam analisis data pengisian guna mengoptimalkan prediksi permintaan daya dan penyesuaian tarif dinamis. Selain itu, pengujian langsung pada lebih banyak skenario daya dan lingkungan operasional yang berbeda akan memperkaya pemahaman tentang performa protokol OCPP 2.0 dan OCPI dalam skala yang lebih luas.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada para penasihat atas bimbingan mereka yang tak ternilai, rekan-rekan atas dukungan dan diskusinya, dan keluarga atas dorongan yang tak pernah putus.

Daftar Pustaka

- [1] A. U. Din, J. Ming, A. Vega-Muñoz, G. Salazar Sepúlveda, and N. Contreras-Barraza, "Population Density: An Underlying Mechanism Between Road Transportation and Environmental Quality," *Front. Environ. Sci.*, vol. 10, no. June, pp. 1–12, doi: 10.3389/fenvs.2022.940911, 2022.
- [2] B. D. Purnamasari, T. A. A. Jamaluddin, H. Halidah, and F. Armansyah, "Cost and benefit battery swapping business model for Indonesian electric two-wheeler," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1108, no. 1, doi: 10.1088/1755-1315/1108/1/012010, 2022.
- [3] T. Jonas, N. Daniels, and G. Macht, "Electric Vehicle User Behavior: An Analysis of Charging Station Utilization in Canada," *Energies*, vol. 16, no. 4, pp. 1–19, doi: 10.3390/en16041592, 2023.
- [4] F. Schulz and J. Rode, "Public charging infrastructure and electric vehicles in Norway," *Energy Policy*, vol. 160, p. 112660, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112660>, 2022.
- [5] S. Yan, M. H. Shah, J. Li, N. O'Connor, and M. Liu, "A Review on AI Algorithms for Energy," 2023 7th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI), ISBN (Electronic):9798350340488, IEEE, 2023.
- [6] Y. Qiao, K. Huang, J. Jeub, J. Qian, and Y. Song, "Deploying electric vehicle charging stations considering time cost and existing infrastructure," *Energies*, vol. 11, no. 9, doi: 10.3390/en11092436, 2018.
- [7] G. Falchetta and M. Noussan, "Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 94, April, doi: 10.1016/j.trd.2021.102813, 2021.
- [8] Z. Garofalaki, D. Kosmanos, S. Moschoyianis, D. Kallergis, and C. Douligeris, "Electric Vehicle Charging: A Survey on the Security Issues and Challenges of the Open Charge Point Protocol (OCPP)," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 24, no. 3, pp. 1504–1533, doi: 10.1109/COMST.2022.3184448, 2022.
- [9] M. S. Roni, Z. Yi, and J. G. Smart, "Optimal charging management and infrastructure planning for free-floating shared electric vehicles," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 76, pp. 155–175, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.021>, 2019.
- [10] P. Pao-la-or and B. Boribun, "Modeling and analysis of the plug-in electric vehicles charging in the unbalanced radial distribution system," *Int. J. Electr. Electron. Eng. Telecommun.*, vol. 8, no. 3, pp. 133–138, doi: 10.18178/ijeetc.8.3.133-138, 2019.
- [11] L. Xue, "Challenges and Solutions in Electric Vehicle Charging Infrastructure," *J. Power Sources*, vol. 478, pp. 229–245, 2021.

- [12] Y. Zhang, "Interoperability Issues in Electric Vehicle Charging: A Comparative Analysis of OCPP 1.6 and OCPP 2.0," *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 3448–3459, 2020.
- [13] C. Dalamagkas, V. D. Melissianos, G. Papadakis, A. Georgakis, V.-M. Nikiforidis, and K. Hrissagis-Chrysagis, "The Open V2X Management Platform: An intelligent charging station management system," *Inf. Syst.*, vol. 129, p. 102494, doi: <https://doi.org/10.1016/j.is.2024.102494>, 2025.
- [14] Ali Saadon Al-Ogaili, Tengku Juhana Tengku Hashim, Nur Azzammudin Rahmat, Agileswari K. Ramasamy, Marayati Binti Marsadek, and Mohammad Faisal, "Review on Scheduling, Clustering, and Forecasting Strategies for Controlling Electric Vehicle Charging: Challenges and Recommendations," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 128353–128371, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2939595](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939595), 2019.
- [15] F. Mandrile, D. Cittanti, V. Mallemaci, and R. Bojoi, "Electric vehicle ultra-fast battery chargers: A boost for power system stability?," *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–21, doi: [10.3390/wevj12010016](https://doi.org/10.3390/wevj12010016), 2021.
- [16] B. Walzel, M. Hirz, H. Brunner, and N. Kreutzer, "Robot-Based Fast Charging of Electric Vehicles," *SAE Tech. Pap.*, p. 14, doi: <https://doi.org/10.4271/2019-01-0869>, 2019.
- [17] N. Ahn, S. Y. Jo, and S. J. Kang, "Constraint-aware electricity consumption estimation for prevention of overload by electric vehicle charging station," *Energies*, vol. 12, no. 6, doi: [10.3390/en12061000](https://doi.org/10.3390/en12061000), 2019.
- [18] Oliver Heilmann, Britta Bocho, Alexander Frieß, Sven Cortès, Ulrich Schrade, André Casal Kulze, and Michael Schlick, "Driving Profiles of Light Commercial Vehicles of Craftsmen and the Potential of Battery Electric Vehicles When Charging on Company Premises," *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, no. 5, doi: [10.3390/wevj15050211](https://doi.org/10.3390/wevj15050211), 2024.
- [19] F. Tuchnitz, N. Ebell, J. Schlund, and M. Pruckner, "Development and Evaluation of a Smart Charging Strategy for an Electric Vehicle Fleet Based on Reinforcement Learning," *Appl. Energy*, vol. 285, p. 116382, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116382>, 2021.
- [20] R. Carli and M. Dotoli, "A Distributed Control Algorithm for Optimal Charging of Electric Vehicle Fleets with Congestion Management," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 9, pp. 373–378, doi: [10.1016/j.ifacol.2018.07.061](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.061), 2018.
- [21] K. Harouri, S. Hani, F. Aissaoui, M. Benbouzid, and H. Mediouni, "Electric Vehicle Charging Station: A Review of Energy Management Systems and Control Type," *Int. J. Energy Convers.*, vol. 9, pp. 251–266, doi: [10.15866/irecon.v9i6.21506](https://doi.org/10.15866/irecon.v9i6.21506), Nov. 2021.
- [22] S. Hsaini, M. Ghogho, and M. E. H. Charaf, "An OCPP-Based Approach for Electric Vehicle Charging Management," *Energies*, vol. 15, no. 18, pp. 1–14, doi: [10.3390/en15186735](https://doi.org/10.3390/en15186735), 2022.
- [23] S. R. Kirchner, "OCPP Interoperability: A Unified Future of Charging," *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, no. 5, doi: [10.3390/wevj15050191](https://doi.org/10.3390/wevj15050191), 2024.
- [24] A. Golder and S. S. Williamson, "Energy Management Systems for Electric Vehicle Charging Stations: A Review," in *IECON 2022 – 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1–6, doi: [10.1109/IECON49645.2022.9968614](https://doi.org/10.1109/IECON49645.2022.9968614), 2022.
- [25] S. Orcioni, L. Buccolini, A. Ricci, and M. Conti, "Electric Vehicles Charging Reservation Based on OCPP," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), ISBN:978-1-5386-5187-2, doi: [10.1109/EEEIC.2018.8494366](https://doi.org/10.1109/EEEIC.2018.8494366), 2018.
- [26] H. Lin, Y. Zhou, Y. Li, and H. Zheng, "Aggregator pricing and electric vehicles charging strategy based on a two-layer deep learning model," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 227, p. 109971, doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109971>, 2024.
- [27] T. Morstyn, A. Teytelboym, and M. D. McCulloch, "Matching Markets with Contracts for Electric Vehicle Smart Charging," in 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), pp. 1–5, doi: [10.1109/PESGM.2018.8586361](https://doi.org/10.1109/PESGM.2018.8586361), 2018.
- [28] B. V. Malozyomov, N. V. Martyushev, S. N. Sorokova, E. A. Efremkov, D. V. Valuev, and M. Qi, "Mathematical Modelling of Traction Equipment Parameters of Electric Cargo Trucks," *Mathematics*, vol. 12, no. 4, doi: [10.3390/math12040577](https://doi.org/10.3390/math12040577), 2024.
- [29] N. Andrenacci, G. Giuli, A. Genovese, and G. Pede, "Flexible Charging to Energy Saving—Strategies Assessment with Big Data Analysis for PHEVs Private Cars," *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, no. 5, doi: [10.3390/wevj15050197](https://doi.org/10.3390/wevj15050197), 2024.

- [30] J. Liu, T. Zhang, J. Zhu, and T. Ma, "Allocation optimization of electric vehicle charging station (EVCS) considering with charging satisfaction and distributed renewables integration," *Energy*, vol. 164, pp. 560–574, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.028>, 2018.
- [31] M. Hardinghaus, J. E. Anderson, C. Nobis, K. Stark, and G. Vladova, "Booking Public Charging: User Preferences and Behavior towards Public Charging Infrastructure with a Reservation Option," *Electron.*, vol. 11, no. 16, pp. 1–19, doi: 10.3390/electronics11162476., 2022
- [32] M. G. Quílez, M. Abdel-Monem, M. El Baghdadi, Y. Yang, J. Van Mierlo, and O. Hegazy, "Modelling, analysis and performance evaluation of power conversion unit in G2V/V2G application-a review," *Energies*, vol. 11, no. 5, doi: 10.3390/en11051082, 2018.
- [33] A. Pristovnik and B. Cvetič, "OCPP Protocol Explained (OCPP 1.6 and OCPP 2.0.1)," tridenstechnology.com. Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://tridenstechnology.com/ocpp-protocol/>
- [34] C. Yang, J. C. Tu, and Q. Jiang, "The influential factors of consumers- sustainable consumption: A case on electric vehicles in China," *Sustain.*, vol. 12, no. 8, , doi: 10.3390/SU12083496, 2020.
- [35] , "What is OCPI," [Chargelab](https://chargelab.co), chargelab.co. Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://chargelab.co/industry-advocacy/ocpi>
- [36] A. Ramachandran, A. Balakrishna, P. Kundzicz, and A. Neti, "Predicting Electric Vehicle Charging Station Usage: Using Machine Learning to Estimate Individual Station Statistics from Physical Configurations of Charging Station Networks," *Machine Learning (cs.LG); Machine Learning (stat.ML)*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.00714>, 2018.