

## Studi Sistem Pengisian Cepat Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Papan Pengendali OpenEVSE

Calvin Mamahit<sup>1</sup>, Janne Ticoh<sup>2</sup>, Nontje Sangi<sup>3</sup>, dan Harrychoon Angmalisang<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado

\*Corresponding author, e-mail: calvinmamahit@unima.ac.id<sup>1</sup>

Received: January 11, 2022. Revised: April 4, 2022. Accepted: April 19, 2022

Available online: April 19, 2022. Published: April 19, 2022

**Abstract**– This study aims to study the electric vehicle battery fast charging system using the OpenEVSE control system board. Along with the increasing number of electric vehicles in the green energy ecosystem, the need for public electric vehicle charging stations (in Indonesia, abbreviated as SPKLU) also increases. We need a fast and reliable electric vehicle battery charger, no longer a prototype, because this technology has developed rapidly since a decade ago. This electric vehicle battery charging system already uses superior fabrication technology. The latest technology is the development of integrated control system boards specifically for the design of electric vehicle battery chargers. This system board is open source, so it can be developed as needed.

**Keywords:** battery fast charging system, electric vehicle, OpenEVSE control board

**Abstrak**– Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sistem pengisian cepat baterai kendaraan listrik dengan menggunakan papan sistem kontrol OpenEVSE. Seiring bertambahnya jumlah kendaraan listrik yang masuk dalam ekosistem energi hijau, maka kebutuhan terhadap stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU) juga meningkat. Kita membutuhkan perangkat pengisi baterai kendaraan listrik yang cepat dan handal, bukan lagi sebuah prototype, karena teknologi ini sudah berkembang pesat sejak satu dekade yang lalu. Sistem pengisian baterai kendaraan listrik ini sudah menggunakan teknologi fabrikasi yang sangat baik. Teknologi terkini adalah dikembangkannya papan sistem kontrol terpadu yang khusus untuk desain perangkat pengisi baterai kendaraan listrik. Papan sistem ini adalah bersifat open source sehingga bisa dikembangkan sesuai kebutuhan.

**Kata Kunci:** sistem pengisian cepat baterai, kendaraan listrik, papan kontrol OpenEVSE

Copyright (c) 2022. Calvin Mamahit, Janne Ticoh, Nontje Sangi, and Harrychoon Angmalisang.

### I. PENDAHULUAN

Kesadaran atas berkurangnya sumber daya alam minyak bumi sebagai penyebab semakin mahalnya harga bahan bakar minyak (bbm), mengakibatkan berkembangnya teknologi yang tidak lagi mengandalkan bbm. Selain masalah cadangan bbm yang berkurang, ada juga masalah lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan bbm yang terus menerus dalam semua aplikasi industri (Omer, 2008). Emisi atau gas buang hasil pembakaran mesin ini, tidak ramah lingkungan, meskipun terus dikembangkan jenis bbm yang meminimalisir pencemaran udara. Sehingga penelitian dan pengembangan teknologi di masa sekarang menjadi berorientasi pada kawasan energi hijau (green energy environment).

Kendaraan listrik adalah satu pengembangan teknologi yang ramah lingkungan (Stephan & Sullivan, 2008). Kendaraan bermotor yang

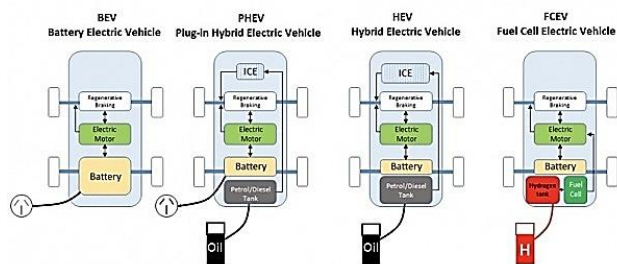
menggunakan bbm adalah salah satu penyumbang utama pada pencemaran udara. Apabila jumlah kendaraan bermotor dengan bbm, bisa kita gantikan dengan sebagian kendaraan listrik, maka tentunya pencemaran udara dapat dikurangi.

Kendaraan listrik dikembangkan dengan berbasis teknologi motor listrik dan elektronika. Kita mengenal ada tiga jenis prinsip kerja motor listrik yaitu: i) Motor DC; ii) Motor Induksi; dan iii) Motor Sinkron (Chalmers, 2013). Motor DC mempunyai dua terminal yang membutuhkan tegangan catu arus searah untuk mengoperasikannya. Motor induksi atau yang disebut mesin asinkron berjalan dalam kecepatan operasi yang tidak sinkron. Berbeda dengan motor sinkron yang sesuai namanya, yang rotornya bekerja secara sinkron.

Kendaraan listrik sebagai alat transportasi darat adalah: kereta rel listrik, mobil listrik, dan sepeda (motor) listrik (Machedon-Pisu & Borza, 2020). Pada penelitian ini, kendaraan listrik yang akan dibahas adalah mobil listrik. Pengembangan

mobil listrik sudah sejak abad ke-19 dari desain Karl Benz, William Morrison, dan Thomas Alva Edison, sampai pada desain General Motors abad ke-20 dan Tesla abad ke-21. Sekarang hampir semua produsen mobil di dunia sudah mengembangkan desain mobil listrik sendiri.

Sekarang ini ada empat arsitektur desain mobil listrik. Keempat jenis arsitektur mobil listrik itu adalah: i) Battery Electric Vehicle (BEV) (Dong et al., 2014); ii) Hybrid Electric Vehicle (HEV) (Zia, 2016); iii) Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) (Banvait et al., 2009); dan iv) Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) (Muthukumar et al., 2021). Pada sistem hibrid HEV dan PHEV masih menggunakan teknologi mesin pembakaran internal/ internal combustion engine (ICE) (Pero et al., 2018). Komponen utama dari keempat jenis mobil listrik ini tentunya adalah motor listrik dan baterai penyimpan energi listrik (Gambar 1).



Gambar 1. Empat sistem mobil listrik

Sumber: <https://www.omazaki.co.id/jenis-mobil-listrik-dan-prinsip-kerjanya/>

Mobil listrik adalah kendaraan yang memiliki banyak keuntungan dan menjadi harapan dunia bagi tersedianya kendaraan yang ramah lingkungan. Ada dua kelebihan mobil listrik, diantaranya: i) memiliki biaya rendah dalam pengisian ulang energi baterai (Tushar et al., 2016); dan ii) lebih ramah terhadap lingkungan (Tushar et al., 2016). Kata kunci dari kelebihan mobil listrik ini adalah efisien dan ramah lingkungan.

Di samping kelebihan dari mobil listrik tersebut, ada beberapa kekurangan yang benar-benar menjadi masalah yang sampai saat ini masih terus diperbaiki dalam pengembangannya (Tarei et al., 2021). Kekurangan-kekurangan tersebut adalah: i) Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) yang masih sangat sedikit (bahkan tidak ada di beberapa daerah) (Dharmawan et al., 2021); ii) Mobil listrik sekarang harganya masih sangat mahal; iii) Baterai pengisi ulang energi menjadi komponen yang sangat mahal; dan iv) Jumlah bengkel dan teknisi mobil listrik yang masih sedikit.

Kurangnya SPKLU disebabkan karena memang masih kurangnya jumlah mobil listrik di suatu daerah, khususnya di negara-negara miskin dan berkembang (Dharmawan et al., 2021). Pengisi energi

baterai mobil listrik biasanya didapatkan satu paket dengan mobil listrik yang dibeli. Pengisi ulang energi baterai tersebut biasanya dipasang di rumah atau di garasi pemilik mobil listrik itu.

Pengisi ulang energi baterai tersebut membutuhkan input daya AC yang besar. Umumnya paling kurang 6600 VA (Watt). Jika melihat spesifikasi pengisi ulang baterai mobil listrik yang ada sekarang maka dapat dilihat bahwa besar input daya AC berpengaruh terhadap output daya DC yang disalurkan ke baterai. Semakin besar input daya AC maka semakin besar pula output daya DC yang masuk ke baterai (Aggeler et al., 2010). Apabila daya DC yang disalurkan semakin besar maka semakin cepat pula waktu pengisian ulang energi baterai mobil listrik. Sebenarnya bisa menggunakan suplai daya 2200 VA – 4400 VA, tapi waktu pengisiannya sangat lama mencapai 10-12 jam (Pareek et al., 2020).

Pengisi ulang baterai mobil listrik itu sebenarnya ada yang portable, sehingga bisa dibawa ke mana-mana. Masalahnya suplai daya yang besar tidak tersedia bebas di semua tempat. Bagaimana jika baterai kehabisan energi di jalan atau di lokasi yang tidak ada suplai daya yang memadai untuk pengisi ulang portable kita? Dengan adanya masalah ini maka sudah menjadi keharusan untuk tersedianya SPKLU yang banyak atau memadai di suatu daerah. Ini tentunya diikuti dengan bertambahnya jumlah mobil listrik yang digunakan di suatu daerah.

Sistem pengisian ulang energi baterai mobil listrik harus tersedia dalam input AC tiga fasa dan satu fasa (Arancibia & Strunz, 2012). Desainnya bukan hanya sekedar mengatur besar output daya DC tapi juga menyangkut kestabilan output daya DC yang disalurkan (Matsuo et al., 2004). Hal ini menyangkut kestabilan arus yang disalurkan. Selain besar arus dan kestabilan arus listrik output, alat pengisi ulang baterai ini harus mendukung pembacaan informasi pada display, monitoring suhu, serta mendukung pemutusan arus secara otomatis jika pengisian sudah mencapai kapasitas maksimal baterai yang diisi (Arancibia & Strunz, 2012).

Ada banyak sistem pengisi ulang baterai mobil listrik yang sudah dikembangkan oleh pabrikan maupun teknisi dan akademisi. Secara umum pengisi ulang baterai mobil listrik itu terdiri dari modul konverter AC-DC untuk mengubah arus AC dari grid menjadi arus DC, modul konverter DC-DC untuk menaikkan besar arus DC, dan mini control board yang umumnya berbasis Arduino (di dalamnya terdapat mikrokontroler) untuk mengatur arus, sensor-sensor dan peripheral-perifer lainnya (J.-M. Kim et al., 2018).

Seiring dengan perkembangan teknologi modul konverter-konverter daya maka sistem fabrikasinya dibuat terpadu dalam bentuk mini sistem

yang bisa diprogram sesuai kebutuhan desain (Brown, 2013). Seperti pada mini sistem terbuka (open source) papan Arduino yang intinya adalah mikrokontroler ATmega yang sudah lengkap dengan antarmuka yang mendukung untuk perancangan banyak sistem elektronika analog dan digital dengan memprogram sesuai kebutuhan. Hal tersebut juga mirip dengan mini sistem terbuka pada papan OpenEVSE.

OpenEVSE adalah papan mini sistem terbuka (open source) dimana modul konverter AC-DC, modul konverter DC-DC, mikrokontroler, dan antarmukanya sudah terpasang bersama-sama. Jika kita akan mengaplikasikan pada suatu sistem pengisi ulang baterai kendaraan listrik, maka yang kita butuhkan adalah memprogram mini sistem OpenEVSE tersebut sesuai desain output yang dibutuhkan dan sesuai dengan perifer output yang kita gunakan (Jar et al., 2016).

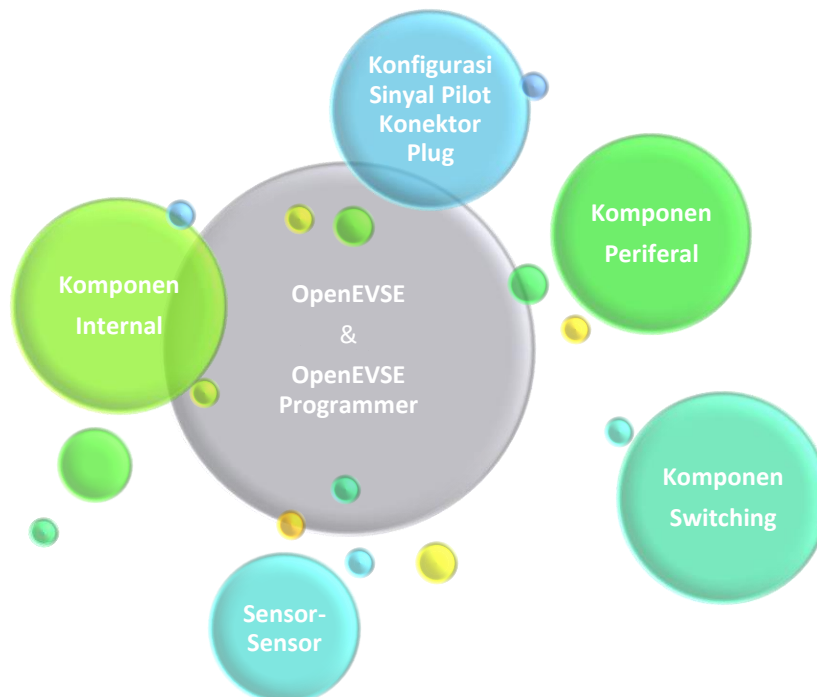
Electrical Vehicle Supply Equipment (EVSE) dengan sistem terbuka atau lebih dikenal dengan OpenEVSE dikembangkan sejak 2011 oleh Christopher Howell dan Sam C. Lin ("OpenEVSE," 2021). Mini sistem ini berbasis mikrokontroler ATmega. Kita bisa membangun sebuah alat pengisi ulang kendaraan listrik sesuka kita dengan menyesuaikan output yang kita perlu dan perifer output yang mendukungnya sesuai program yang kita tulis (coding). Kita akan mempelajari dan membahas pengisi ulang berbasis OpenEVSE sebagai tujuan dari penelitian ini.

## II. METODE

Penulis menggunakan jenis penelitian yang bersifat deskriptif untuk mendeskripsikan ataupun menjelaskan dan memvalidasi informasi pengetahuan teknologi pengisi ulang baterai kendaraan listrik berbasis sistem mini OpenEVSE (Siedlecki, 2020). Semua data tentang sistem mini OpenEVSE dikumpulkan lalu dibahas satu persatu mulai dari komponen, prinsip kerja, dan penerapan pada desain sistem pengisi ulang baterai kendaraan listrik. Hasil pembahasan tersebut itu divalidasi dengan simulasi sistem dengan aplikasi simulator sistem elektronik.

Metode penelitian yang digunakan adalah kombinasi antara penelitian studi literatur (Buell et al., 2011). Dengan metode ini dikumpulkan sumber-sumber dari artikel-artikel jurnal, buku-buku, dan data sheet komponen elektronika. Semua informasi yang dikumpulkan dari semua literatur lalu dibahas satu persatu.

Obyek dalam penelitian ini adalah apa yang sedang dibahas yaitu sistem pengisi cepat kendaraan listrik berbasis sistem mini OpenEVSE. Sedangkan subyek dalam penelitian ini adalah literatur yang bisa memberikan data dan informasi tentang obyek penelitian ini. Gambar 2 adalah bagian-bagian yang akan dibahas dan dianalisa pada penelitian ini.

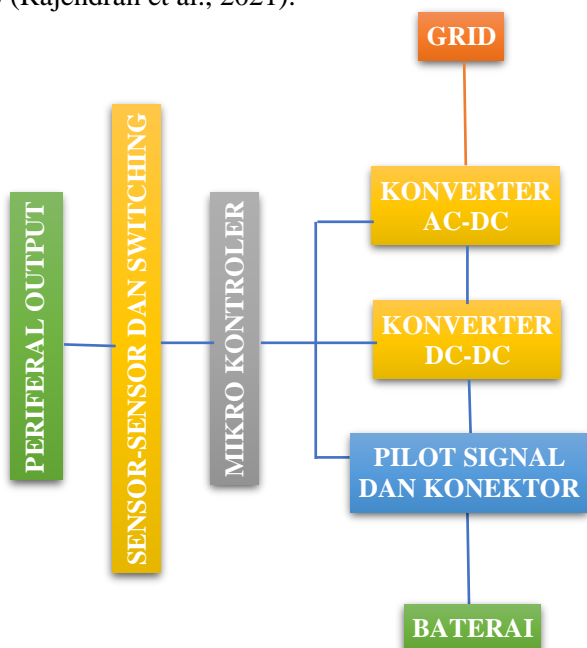


Gambar 2. OpenEVSE dan sistem pendukungnya

Pada penelitian ini akan dibahas deskripsi dari mini sistem OpenEVSE yang adalah papan kontrol yang bersifat open-source yang bisa diprogram/dikoding sesuai kebutuhan desain alat pengisi ulang energi baterai kendaraan listrik. Koding dilakukan dengan OpenEVSE programmer yang pemrograman/pengkodingannya dibuat di computer (PC). Komponen internal dari papan mini sistem OpenEVSE adalah terdiri dari mikrokontroler ATmega 328, konverter AC-DC, konverter DC-DC, dan antarmuka-antarmuka yang dibutuhkan. Semua komponen-komponen internal tersebut sudah terpasang terpadu dan siap diprogram/ dikoding. OpenEVSE juga mendukung semua sensor-sensor seperti pada desain dengan Arduino. Komponen periferil berupa display (LCD) dan wifi juga didukung oleh mini sistem OpenEVSE. Dukungan untuk komponen auto switching seperti relay juga bisa dengan sistem ini. Bagian yang penting juga adalah pengaturan sinyal pilot yang akan disesuaikan dengan konektor plug yang akan dicolokkan ke baterai kendaraan. Semuanya itu dikoding dulu sesuai dengan yang dibutuhkan dalam desain.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum sistem pengisian ulang baterai kendaran listrik dapat dirancang seperti pada Gambar 3 (Rajendran et al., 2021).



Gambar 3. Skema Umum Perancangan Sistem Pengisian Ulang Cepat Baterai Kendaraan Listrik

Adapun prinsip kerja dari sistem pengisian ulang cepat ini adalah berbasis pengendali yang mengatur komponen-komponen seperti konverter AC-DC, konverter DC-DC, pilot signal (Lewandowski et al., 2012), sensor-sensor, dan

beberapa switching. Pengaturan arus pada mikrokontroler berfungsi untuk menjaga kestabilan arus output dalam proses pengisian baterai. Mikrokontroler juga mengatur switching dan periferil-periferil output seperti penampil LCD, pemutus arus, dan sensor-sensor yang digunakan. Arus AC yang masuk kemudian diubah menjadi arus DC melalui konverter AC-DC. Konverter AC-DC terdiri dari rangkaian filter, penyearah, power factor corection (PFC) control, pulse width modulation (PWM) control,  $X_{FMR}$  (transformator), dan rangkaian output tegangan DC 12volt, 9volt, 3,3 volt. Konverter DC-DC adalah bagian yang paling penting dalam mendesain efisiensi waktu pengisian baterai. Semakin besar arus output dari konverter DC-DC maka makin cepat pula waktu pengisian. Bagian ini berfungsi menaikkan arus output yang akan digunakan untuk pengisian baterai. Arus yang keluar dari konverter DC-DC lalu diinputkan ke baterai kendaraan listrik.

OpenEVSE adalah platform terbuka (open source) dalam perancangan perangkat pengisi baterai kendaraan listrik/ electrical vehicle supply equipment (EVSE) (*Open EVSE: About*, 2022). OpenEVSE mendukung sistem pengisian cepat yang kompatibel dengan banyak komponen pendukung yang tersedia. OpenEVSE mendukung desain yang bisa diadaptasi sesuai kebutuhan. OpenEVSE mendukung fitur pengaturan arus, suhu, dan tampilan yang real time. OpenEVSE mendukung konektor standar SAE J1772 (Bohn & Chaudhry, 2012). Konektor type 2 yang banyak digunakan di Eropa dan Indonesia juga didukung oleh platform terbuka ini. Sebelumnya OpenEVSE hanya berupa mini sistem yang berbasis mikrokontroler (on Arduino board), namun dalam perkembangannya sudah banyak produk pendukung yang dikembangkan OpenEVSE.

Papan (board) mini sistem OpenEVSE adalah papan rangkaian terpadu (terintegrasi) yang terdiri atas tiga komponen utama yaitu: mikro kontroler AVR ATmega 328, modul konverter AC-DC, modul konverter DC-DC, dan rangkaian antarmuka (interface). Bentuk dari papan OpenEVSE adalah seperti pada Gambar 4.



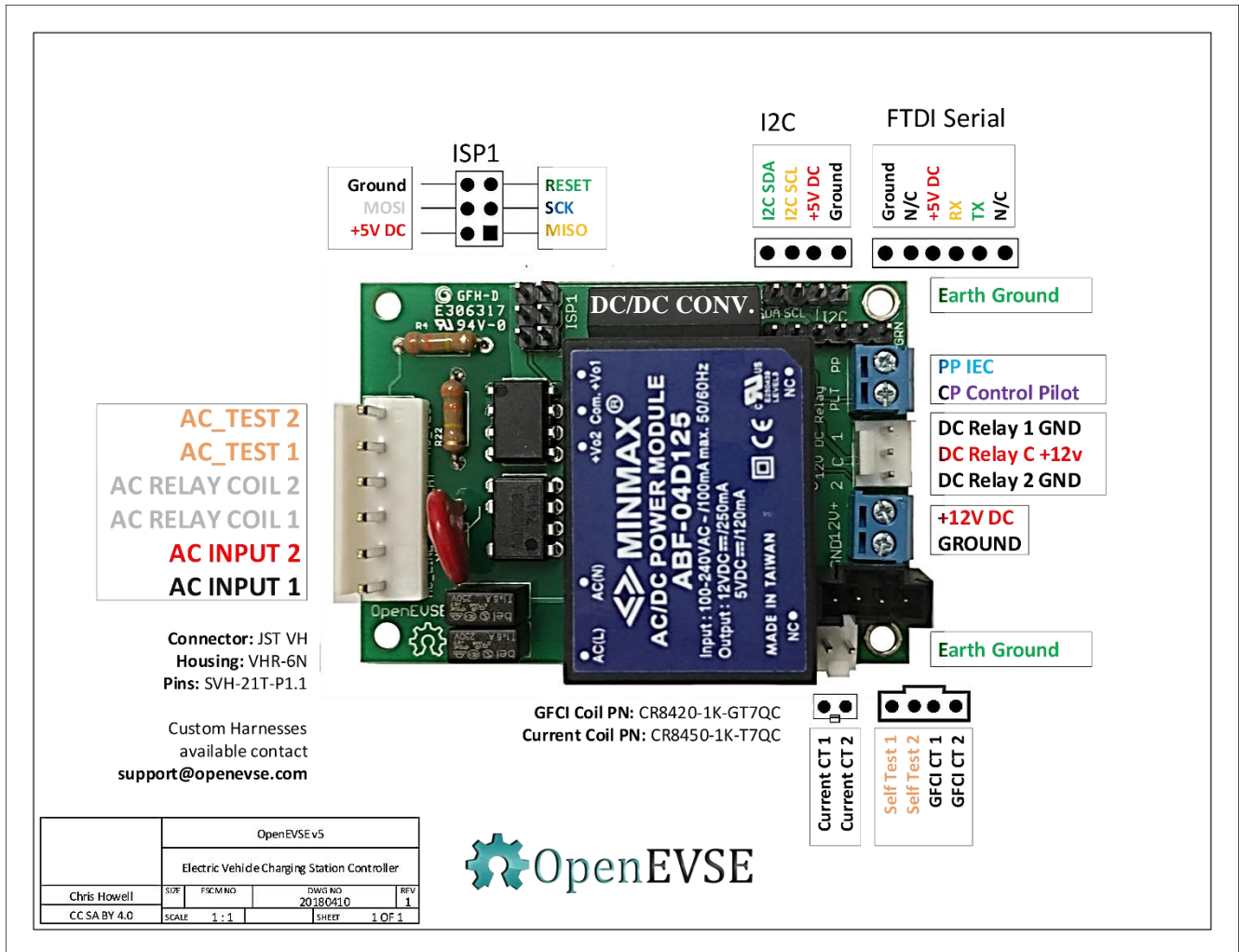
Gambar 4. Papan Kontroler OpenEVSE Universal v5

Sumber: <https://store.openevse.com/collections/all-products/products/openevse-plus-v4-universal-charging-station-controller>

## Studi Sistem Pengisian Cepat Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Papan Pengendali OpenEVSE

Pada Gambar 4 yang kelihatan adalah bagian depannya dengan modul konverter AC-DC yang tampak dominan yang menempati separuh papan. Konverter DC-DC ada di samping (bagian atas di Gambar 4) modul konverter AC-DC. Mikro kontrolernya ada di bawah papan dalam bentuk system on chip (SoC) (Schaumont, 2013), bukan bentuk IC yang biasanya kita lihat.

Lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 5 yang sudah diberi keterangan pada setiap komponen, konektor, dan pin-pin. Antarmuka yang standar, mendukung banyak komponen dan modul-modul elektronika modern, seperti wifi dan koneksi internet. Sistem kontrol yang handal dan bersifat terbuka memungkinkan desain sistem yang fleksibel dan kompatibel dengan sensor-sensor dan periferil.



Gambar 5. Kontroler OpenEVSE dan keterangannya

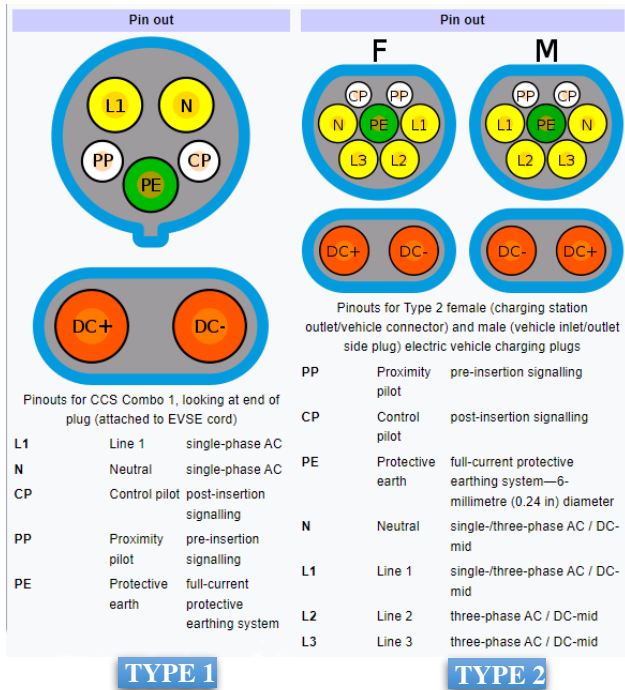
Sumber: <https://store.openevse.com/collections/all-products/products/openevse-plus-v4-universal-charging-station-controller>

Input AC dari grid masuk melalui konektor JST VH (AC input 1 dan 2) dan Earth Ground. Input dan output ini bisa dihubungkan dengan relay sebagai mekanisme pensaklaran otomatis. Antarmuka ISP1 memungkinkan papan kontroler ini terhubung dalam jaringan internet. Antarmuka serial I2C seperti pada Arduino mendukung sistem ini untuk koneksi langsung LCD I2C sebagai penampil digital (Eka Maulana MT., M.Eng., Taufiq Yudi Sulistiyono., Ir. Nurussa'adah, MT, 2014). FTDI Serial juga sangat bermanfaat jika dihubungkan dengan modul wifi kit yang juga memiliki koneksi FTDI Serial, sehingga sistem ini bisa bekerja dengan wifi. Koneksi FTDI

juga bisa dihubungkan dengan kit konverter FTDI ke USB, sehingga bisa transfer data dari computer (PC).

PP IEC adalah power plug standar International Electrotechnical Commission (IEC). CP Control Pilot adalah konektor untuk disambungkan dengan baterai kendaraan listrik (D. H. Kim & Choi, 2020). Konektor ini menggunakan konfigurasi **SAE J1772** (IEC 62196 Type 1) (Falvo et al., 2014). Konektor ini standar untuk mobil listrik buatan Amerika Serikat seperti Tesla juga Jepang dan Asia. Sedangkan untuk mobil listrik Eropa menggunakan standar yang berbeda yaitu konektor IEC 62196 **Type 2** (Falvo et al., 2014). Hal ini tentunya harus

dipertimbangkan referensi desainnya. Bisa juga dengan menggunakan adapter type 2 untuk konektor type 1 (SAE J1772). Adapun perbedaan antara konektor type 1 dan type 2 dapat dilihat pada Gambar 6. Kedua konektor digunakan di Indonesia karena konsumen menggunakan mobil buatan produsen Amerika, Eropa, dan Asia (Tarei et al., 2021).



Gambar 6. Konfigurasi PIN Out pada Kedua Konektor Output Pengisi Baterai Kendaraan Listrik

Sumber: [https://en.wikipedia.org/wiki/SAE\\_J1772](https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772) dan [https://en.wikipedia.org/wiki/Type\\_2\\_connector](https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector)

Spesifikasi dari kontroler OpenEVSE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Papan Kontroler OpenEVSE

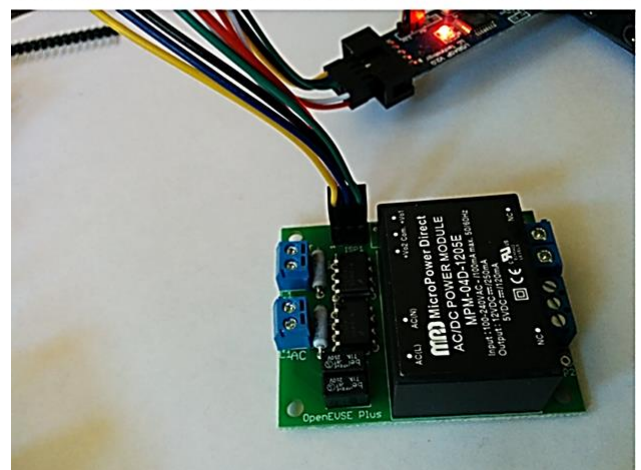
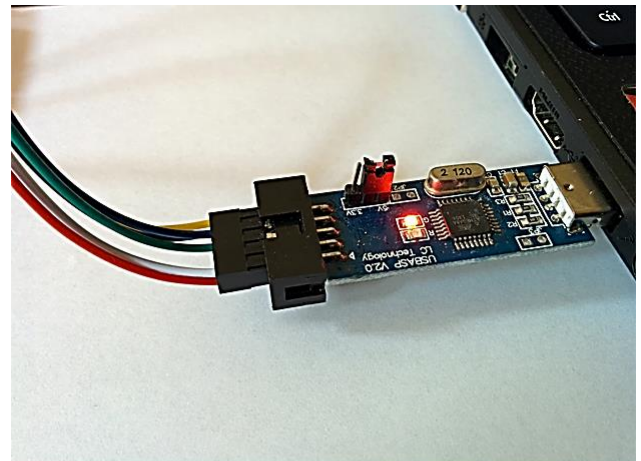
INPUT AC		
Tegangan operasi	90-264 VAC	
Frekuensi AC	50/60 Hz	
OUTPUT		
Arus	1 Fasa	6-80 A
	3 Fasa	6-63 A
Relay DC	12v DC	2 outputs - 200ma (2,5w) Total
	Relay AC	AC line
Daya Output	120 V	720 W - 2880 W
	208 VAC	1248 W - 8320 W
	240 VAC	1440 W - 10000 W

Sumber: <https://store.openevse.com/collections/all-products/products/openevse-plus-v4-universal-charging-station-controller>

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa input tegangan grid AC di kisaran 90-264 VAC dengan frekuensi 50/60 Hz yang memenuhi standar tegangan layanan listrik di Indonesia yaitu 220-240 VAC. Daya yang dibutuhkan adalah sebesar 1440-10000 W.

Untuk pengisian cepat dibutuhkan daya yang lebih besar. Jika menggunakan jaringan 1 fasa maka arusnya berkisar 6-80 A dan jika menggunakan jaringan 3 fasa maka arus maksimalnya hanya 63 A.

Untuk bisa mengimplementasikan kontroler OpenEVSE ini pada desain pengisian baterai kendaraan listrik, maka mikrokontroler harus diprogram terlebih dulu. Karena papan kontrol OpenEVSE ini berbasis Arduino maka koding yang digunakan adalah sama dengan pemrograman Arduino yang menggunakan bahasa C++. Tidak seperti papan Arduino yang memiliki antarmuka USB, papan OpenEVSE justru tidak terdapat antarmuka komunikasi USB, sehingga kita membutuhkan kit programmer. Kit programmer ini berfungsi sebagai konverter dari port ISP1 ke port USB sehingga bisa dihubungkan ke computer (PC) seperti memprogram Arduino (lihat Gambar 7).



Gambar 7. Pemrograman Papan OpenEVSE

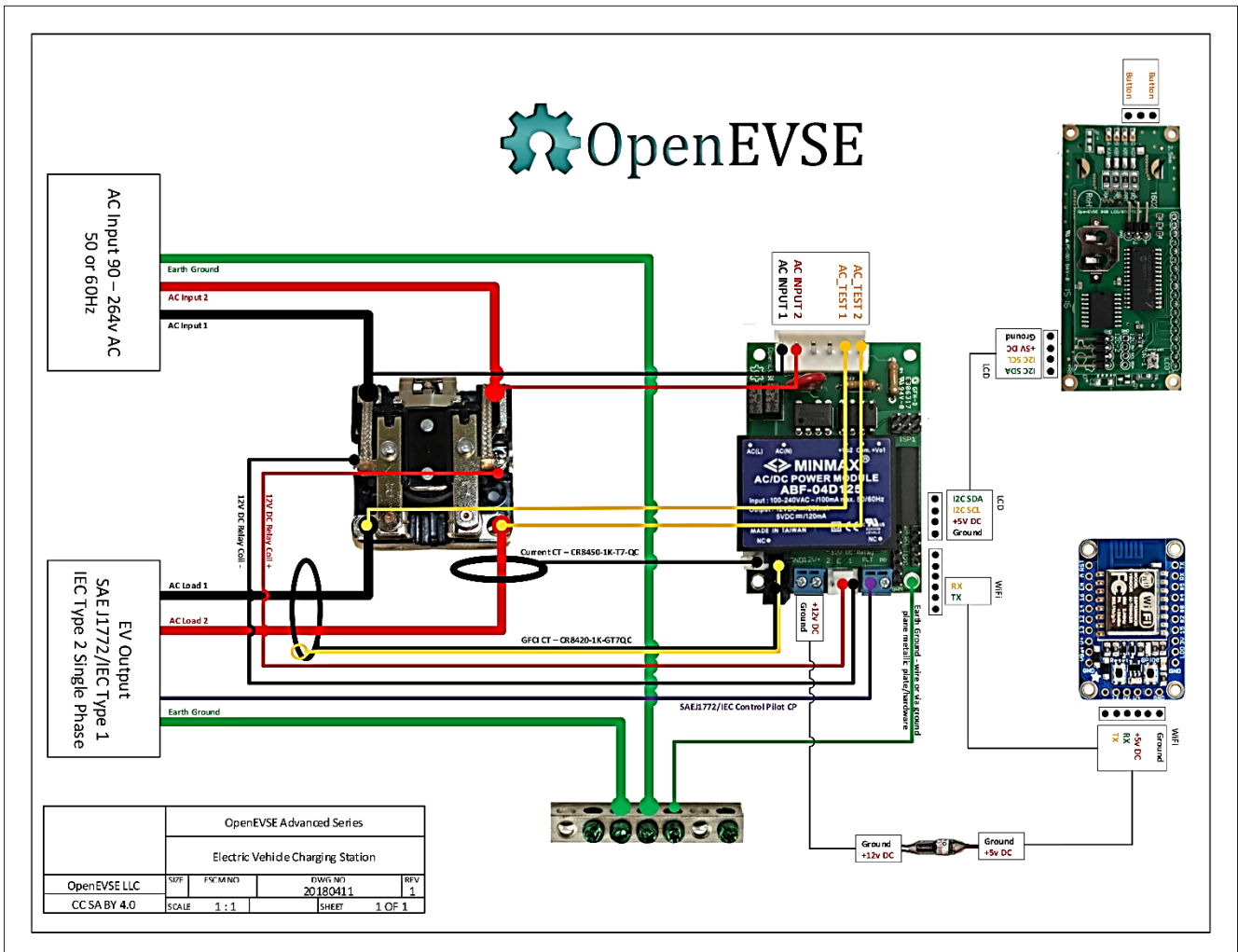
Sebelum bisa menghubungkan Papan OpenEVSE - Programmer OpenEVSE - PC (Windows, Mac, Linux) maka terlebih dulu menginstal driver (kecuali Linux tidak perlu driver) untuk Windows dan Mac. Dukungan driver dan software pada papan OpenEVSE dapat diunduh di website yang mendukung open source seperti

# Studi Sistem Pengisian Cepat Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Papan Pengendali OpenEVSE

github.com (<https://github.com/openevse>). Di situ banyak sekali software open-source yang sudah dikembangkan oleh beberapa orang yang gratis untuk diunduh dan dikembangkan lagi.

Dengan menggunakan papan kontroler OpenEVSE ini kita bisa membangun desain pengisi

baterai kendaraan sesuai kebutuhan kita. Gambar 8 adalah sebuah contoh perancangan rangkaian pengisi baterai kendaraan listrik yang dibuat berbasis papan kontrol OpenEVSE. Perancangan menjadi sangat mudah apabila menggunakan papan kontroler OpenEVSE.



Gambar 8. Contoh Implementasi Papan Kontroler OpenEVSE dalam Desain Alat Pengisi Baterai Kendaraan Listrik

Sumber: <https://store.openevse.com/collections/all-products/products/openevse-plus-v4-universal-charging-station-controller>

## IV. KESIMPULAN

Papan kontroler OpenEVSE adalah sebuah sistem terintegrasi yang mampu mendukung perancangan perangkat pengisi baterai kendaraan listrik. Papan kontroler EVSE adalah sistem terbuka yang bisa diprogram sesuai kebutuhan perancangan. Papan kontroler OpenEVSE sangat mudah diimplementasikan dalam sebuah desain stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU). Papan kontrol OpenEVSE memiliki tingkat keandalan tinggi karena sudah diuji dan terus dikembangkan oleh banyak teknisi sampai pada versi ke 5.5.

Sudah sangat layak jika pembangunan SPKLU menggunakan sistem pengisian baterai berbasis

papan kontroler OpenEVSE. Teknisi dan akademisi bisa mengembangkan sistem pengisi baterai ini dengan desainnya sendiri.

## REFERENSI

Aggeler, D., Canales, F., Parra, H. Z.-D. La, Coccia, A., Butcher, N., & Apeldoorn, O. (2010). Ultra-fast DC-charge infrastructures for EV-mobility and future smart grids. *2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638899>



- Arancibia, A., & Strunz, K. (2012). Modeling of an electric vehicle charging station for fast DC charging. *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IEVC.2012.6183232>
- Banvait, H., Anwar, S., & Chen, Y. (2009). A rule-based energy management strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV). *2009 American Control Conference*, 3938–3943. <https://doi.org/10.1109/ACC.2009.5160242>
- Bohn, T., & Chaudhry, H. (2012). Overview of SAE standards for plug-in electric vehicle. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2012.6175597>
- Brown, K. J. (2013). Electric vehicle supply equipment; a safety device. *2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ITEC.2013.6573505>
- Buell, L., Heise, U. K., & Thornber, K. (2011). Literature and environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 36(1), 417–440. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-111109-144855>
- Chalmers, B. J. (2013). *Electric Motor Handbook* (Ed). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/electric-motor-handbook/chalmers/978-0-408-00707-8>
- Dharmawan, I. P., S Kumara, I. N., & Budiastra, I. N. (2021). *Perkembangan Infrastruktur Pengisian Baterai Kendaraan Listrik Di Indonesia*. 8(3), 90–101.
- Dong, J., Liu, C., & Lin, Z. (2014). Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 44–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.11.001>
- Eka Maulana MT., M.Eng., Taufiq Yudi Sulistiyono., Ir. Nurussa'adah, MT, S. T. (2014). Komparasi Sistem Komunikasi Serial Multipoint Pada Robot Management Sampah Menggunakan I2C Dan SPI. *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, 2(3).
- Falvo, M. C., Sbordone, D., Bayram, I. S., & Devetsikiotis, M. (2014). EV charging stations and modes: International standards. *2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2014*, 1134–1139. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2014.6872107>
- Jar, B., Miler, A. J. V., & Watson, N. R. (2016). Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger. *EEA Conference & Exhibition*.
- Kim, D. H., & Choi, J. H. (2020). Analysis of the Transmission Performance of Control Pilot Signal Lines for Charging Communication in Electric Vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 21(2), 519–525. <https://doi.org/10.1007/s12239-020-0049-0>
- Kim, J.-M., Lee, J., Eom, T.-H., Bae, K.-H., Shin, M.-H., & Won, C.-Y. (2018). Design and Control Method of 25kW High Efficient EV Fast Charger. *2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2603–2607. <https://doi.org/10.23919/ICEMS.2018.8549491>
- Lewandowski, C., Gröning, S., Schmutzler, J., & Wietfeld, C. (2012). Interference analyses of Electric Vehicle charging using PLC on the Control Pilot. *2012 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, 350–355. <https://doi.org/10.1109/ISPLC.2012.6201296>
- Machedon-Pisu, M., & Borza, P. N. (2020). Are Personal Electric Vehicles Sustainable? A Hybrid E-Bike Case Study. In *Sustainability* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/su12010032>
- Matsuo, H., Lin, W., Kurokawa, F., Shigemizu, T., & Watanabe, N. (2004). Characteristics of the multiple-input DC-DC converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51(3), 625–631. <https://doi.org/10.1109/TIE.2004.825362>
- Muthukumar, M., Rengarajan, N., Velliyangiri, B., Omprakas, M. A., Rohit, C. B., & Kartheek Raja, U. (2021). The development of fuel cell electric vehicles – A review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1181–1187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.>



2020.03.679

- Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265–2300.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>
- Open EVSE: About. (2022).  
<https://www.openevse.com/about-us.html>
- OpenEVSE. (2021). In WIKIPEDIA. Wikimedia.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/OpenEVSE>
- Pareek, S., Sujil, A., Ratra, S., & Kumar, R. (2020). Electric Vehicle Charging Station Challenges and Opportunities: A Future Perspective. *2020 International Conference on Emerging Trends in Communication, Control and Computing (ICONC3)*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1109/ICONC345789.2020.9117473>
- Pero, F. Del, Delogu, M., & Pierini, M. (2018). Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car. *Procedia Structural Integrity*, 12, 521–537.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.066>
- Rajendran, G., Vaithilingam, C. A., Misron, N., Naidu, K., & Ahmed, M. R. (2021). A comprehensive review on system architecture and international standards for electric vehicle charging stations. *Journal of Energy Storage*, 42, 103099.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103099>
- Schaumont, P. R. (2013). *System on Chip BT - A Practical Introduction to Hardware/Software Codesign* (P. R. Schaumont (Ed.); pp. 237–265). Springer US.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3737-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3737-6_8)
- Siedlecki, S. L. (2020). Understanding Descriptive Research Designs and Methods. *Clinical Nurse Specialist*, 34(1), 8–12.  
<https://doi.org/10.1097/NUR.0000000000000493>
- Stephan, C. H., & Sullivan, J. (2008). Environmental and energy implications of plug-in hybrid-electric vehicles. *Environmental Science and Technology*, 42(4), 1185–1190.  
<https://doi.org/10.1021/es062314d>
- Tarei, P. K., Chand, P., & Gupta, H. (2021). Barriers to the adoption of electric vehicles: Evidence from India. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125847.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125847>
- Tushar, W., Yuen, C., Huang, S., Smith, D. B., & Poor, H. V. (2016). Cost Minimization of Charging Stations With Photovoltaics: An Approach With EV Classification. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(1), 156–169.  
<https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2462824>
- Zia, A. (2016). A comprehensive overview on the architecture of Hybrid Electric Vehicles (HEV). *2016 19th International Multi-Topic Conference (INMIC)*, 1–7.  
<https://doi.org/10.1109/INMIC.2016.7840143>



