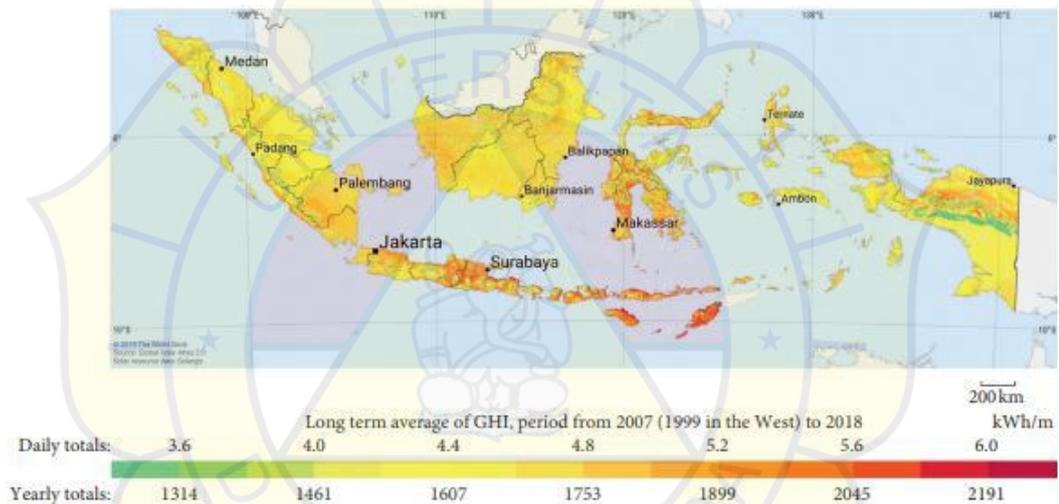


BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Energi Surya: Karakteristik dan Implementasi Teknologi

Energi surya merupakan energi yang dapat mengonversi panas matahari menjadi listrik dengan memanfaatkan panas tersebut melalui berbagai komponen pendukung untuk menghasilkan efek fotovoltaik [7]. Peta radiasi matahari ditampilkan pada Gambar 2.1.

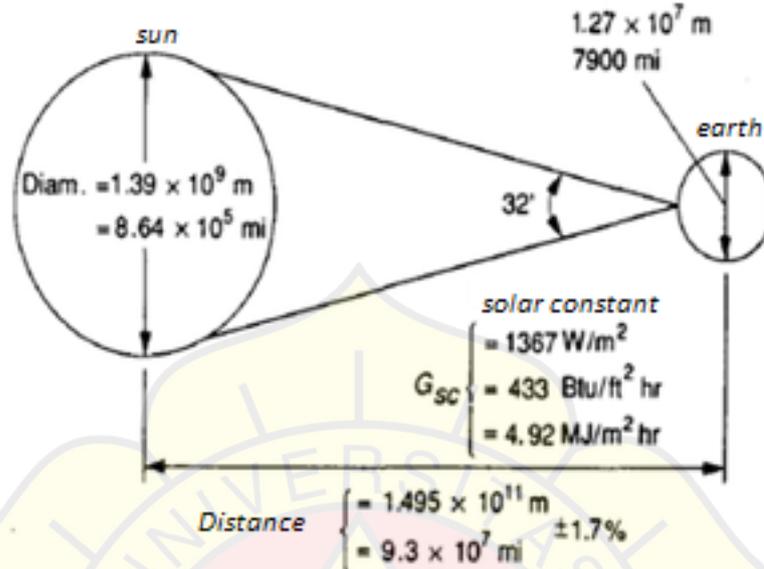


Gambar 2.1 Peta Radiasi Sinar Matahari di Indonesia

Menurut data dari Indonesian Renewable Energy Agency (IRENA), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 [8]. Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar, dengan radiasi matahari yang bervariasi antara wilayah barat dan timur. Di Kawasan Barat Indonesia (KBI), rata-rata intensitas penyinaran mencapai sekitar 4,5 kWh/m² per hari dengan variasi bulanan sekitar 10%. Sementara itu, Kawasan Timur Indonesia (KTI) memiliki intensitas penyinaran rata-rata sekitar 5,1 kWh/m² per hari dengan variasi bulanan 9%. Secara keseluruhan, rata-rata penyinaran matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² per hari dengan variasi bulanan 9%. Matahari, sebagai sumber energi utama, memancarkan energi dalam jumlah sangat besar ke permukaan bumi, yang berpotensi untuk pengembangan teknologi yang bermanfaat [4].

2.1.1 Kualitatif Pancaran Radiasi Matahari

Peristiwa momentum eksentrisitas orbit menyebabkan jarak antara matahari dan bumi berfluktuasi sebesar 1,7%, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.

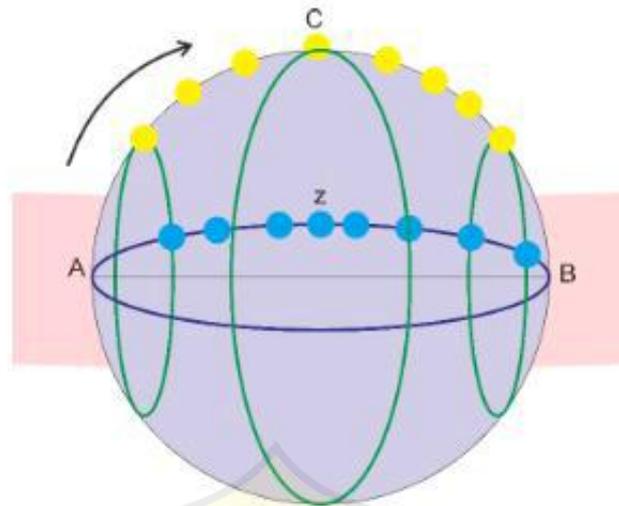


Gambar 2.2 Solar Konstanta dan jarak antara Matahari dan Bumi

Menurut pengukuran astronomi yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, jarak rata-rata antara bumi dan matahari adalah sekitar $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$. Oleh karena itu, konstanta matahari (G_{sc}) merepresentasikan energi matahari per satuan waktu yang diterima pada area permukaan yang tegak lurus 90 derajat terhadap arah radiasi pada jarak rata-rata antara matahari dan bumi di luar atmosfer. Berdasarkan data dari World Radiation Center (WRC), konstanta matahari (G_{sc}) ditetapkan sebesar 1367 W/m^2 dengan toleransi sebesar 1% [9].

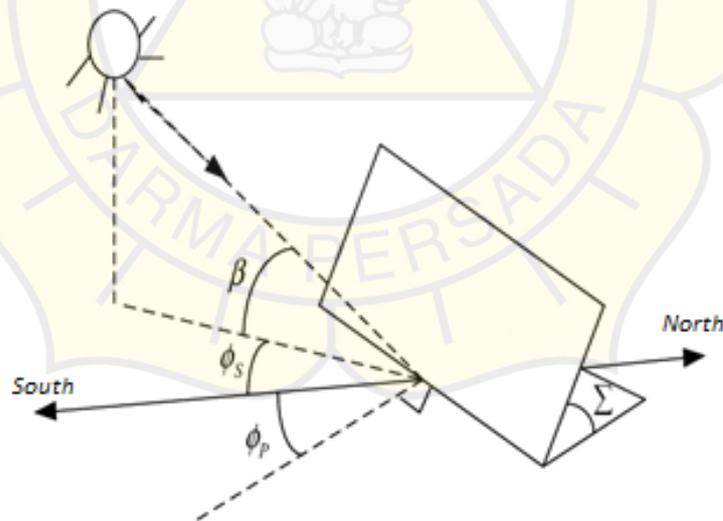
2.1.2 Sudut Azimut Matahari

Azimut adalah sudut yang berbentuk dua garis lurus yang dimana menjadi acuan sudut azimut ini utara sebagai acuan peta atau titik 0 yang kemudian sudut azimut ini dihitung dengan searah jarum jam yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sudut Azimut Matahari

Berdasarkan Gambar 2.3 garis jalur matahari memiliki titik A, B, C titik arah ini dapat berubah berubah sedangkan untuk sudut azimut matahari pada titik A, Z, B tetap berada pada posisi nya karena pada titik A, Z, B berada pada posisi horizontal yang tegak lurus sejajar dengan arah gerak matahari. Matahari pada posisi terhadap bidang horizontal dengan acuan di bumi setiap sudut berdasarkan titik koordinat di bumi perlu diperhatikan dan dipahami yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Posisi Matahari di Ilustrasikan dengan Sudut Matahari

Berdasarkan Gambar 2.4 Azimut (Ψ) ada metode untuk deklarasi untuk menentukan sudut azimut. Sudut azimuth (θ) matahari adalah sudut permukaan horizontal yang dimana proyeksi sinar radiasi matahari terhadap arah mata angin, khususnya acuan nya utara atau selatan. Pada sudut azimuth bernilai positif maka

matahari pada posisi sebelah barat dari arah selatan dan bernilai negatif maka letak posisi berada di posisi timur dari selatan, azimut bergerak searah arah jarum jam [10].

2.1.3 Jenis Jenis Panel Surya

Memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik, energi terbarukan merupakan solusi masa depan serta bersih dan bebas polusi. Terdapat beberapa arsitektur produksi sel pada panel surya, dan terdapat berbagai jenis panel surya dengan tingkat efisiensi yang berbeda-beda. Memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik, energi terbarukan adalah solusi masa depan serta bersih dan bebas polusi. Ada beberapa arsitektur produksi sel pada panel surya, dan terdapat berbagai jenis panel surya dengan tingkat efisiensi yang berbeda-beda.

A. Panel Surya Tipe Monocrystalline

Merupakan panel surya yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Panel Fotovoltaik Jenis Monocrystalline

Menurut Gambar 2.5, panel surya monocrystalline dirancang untuk kebutuhan listrik berkapasitas besar, khususnya di wilayah beriklim ekstrem dan kondisi alam yang sangat panas. Panel ini memiliki efisiensi antara 15% hingga 25%. Jenis monocrystalline memiliki karakteristik berwarna hitam karena terbuat dari silikon murni yang terbentuk dalam struktur segi delapan [11].

B. Panel Surya Tipe Polycrystalline

Panel surya yang memiliki susunan kristal acak yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Panel Fotovoltaik Jenis Polycrystalline

Berdasarkan Gambar 2.6 jenis ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristalin. Karena cuaca khususnya, jumlah sinar matahari yang menyinari permukaan dasar panel surya menentukan hasilnya. Efisiensi panel semacam ini bisa mencapai 12% hingga 15% [11].

C. Panel Surya Tipe Perovskite

Perkembangan teknologi solar panel dengan jenis sel surya berbasis perovskite (PSC) yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



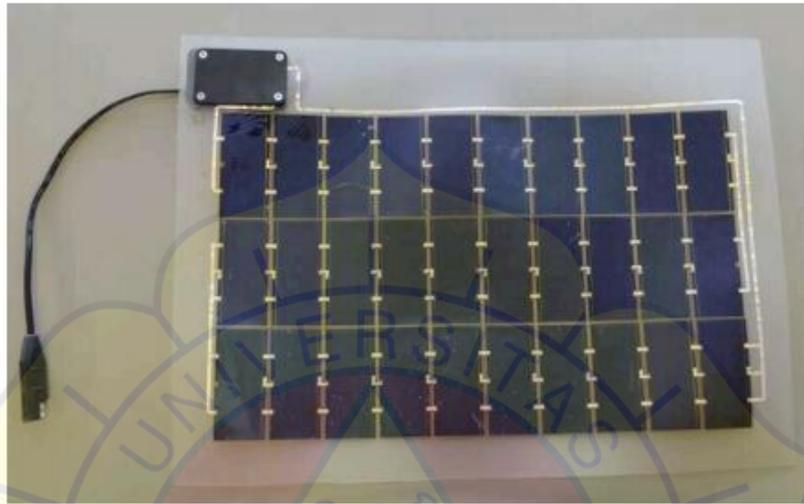
Gambar 2.7 Panel Fotovoltaik Jenis Perovskite

Berdasarkan Gambar 2.7 Panel jenis perovskite telah diimplementasikan beberapa tahun terakhir, dengan asumsi efisiensi dari sel surya perovskite ini mencapai

sebesar 22,7%. Efisiensi ini memiliki daya saing yang tinggi untuk teknologi PV konvensional, PSC ini memiliki potensi besar untuk kemajuan teknologi PV [11].

D. Panel Surya Tipe Flexible Monocrystalline

Fleksibel monocrystalline panel yang ringan dan bisa ditekuk (tidak kaku) hal ini membuat para pelanggan tertarik seperti yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



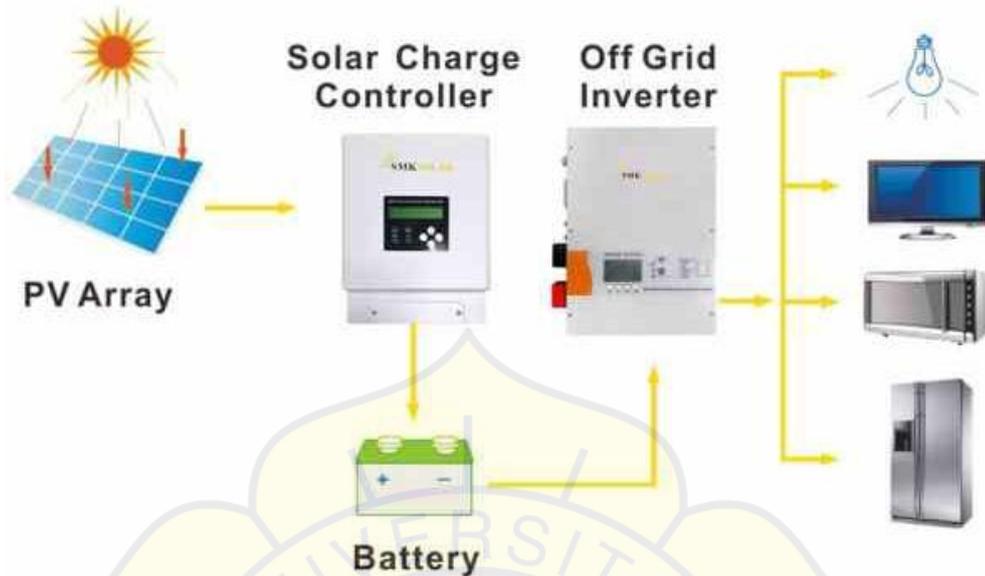
Gambar 2.8 Panel Fotovoltaik Fleksibel Jenis Monocrystalline

Berdasarkan Gambar 2.8 panel surya flexible dapat menghasilkan output yang lebih besar dibandingkan panel surya vertikal. Flexible Solar Cell (FCS) dalam arsitekturnya yang paling luas dirakit dengan dual film planar yang berlawanan atau substrat foil dalam kombinasi logam plastik. Tinjauan pengoperasian DSC menunjukkan bahwa target pasar awal diwakili oleh aplikasi dalam ruangan dimana kepadatan keluaran daya lebih unggul dibandingkan teknologi photovoltaic flexible yang bersaing [11].

2.1.4 PLTS Off-grid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid merupakan pembangkit energi ramah lingkungan yang dikenal dengan sistem PV stand alone, artinya tidak bergantung pada jaringan PLN sebagai sumber daya cadangan. Fokus utama pembangkit listrik semacam ini adalah energi matahari sebagai sumber radiasi global. PLTS semacam ini sangat disarankan di daerah-daerah yang sulit diakses melalui jaringan listrik, seperti daerah perbatasan, terpencil, dan tertinggal. Sistem rangkaian PLTS off-grid terdiri dari solar charge controller, baterai VRLA, inverter,

dan beban listrik yang diinginkan. Sistem ini dilindungi oleh MCB DC, MCB AC, dan sekering, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



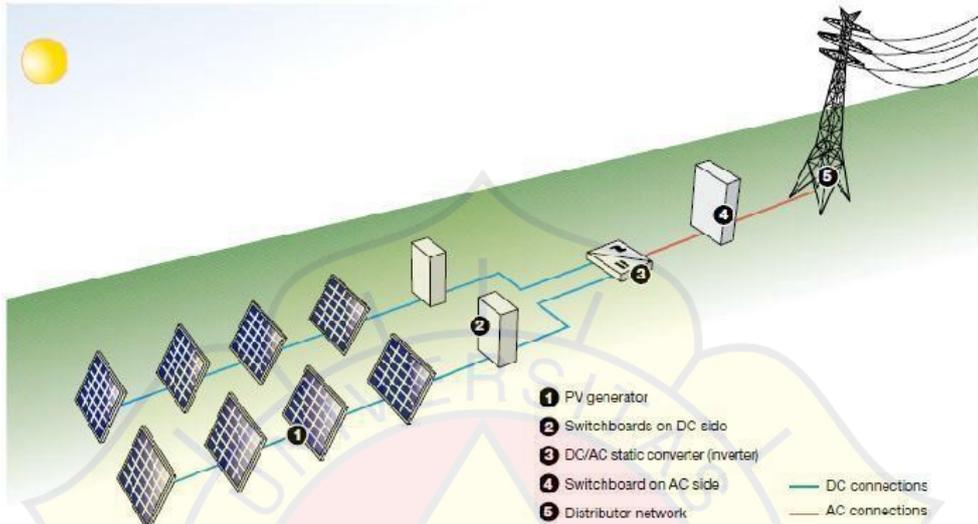
Gambar 2.9 Sistem PLTS Mandiri (Off-grid)

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9, sistem tenaga listrik off-grid ini mengatasi kesulitan hidup di tempat-tempat di luar jangkauan jaringan listrik PLN dengan mengkonversi energi matahari menggunakan efek fotovoltaik. Isu perencanaan utama dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga surya untuk sistem off-grid mencakup jaminan pemeliharaan rumah, penanganan transportasi yang sulit diakses di wilayah tersebut, dan penilaian distribusi radiasi matahari untuk memenuhi kebutuhan energi sistem off-grid. Metode PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) terbagi menjadi tiga jenis: PLTS on-grid yang menggunakan jaringan PLN; PLTS off-grid yang menggunakan penyimpanan energi (baterai); dan PLTS hybrid yang menggabungkan jaringan PLN dengan penyimpanan baterai dan genset [12].

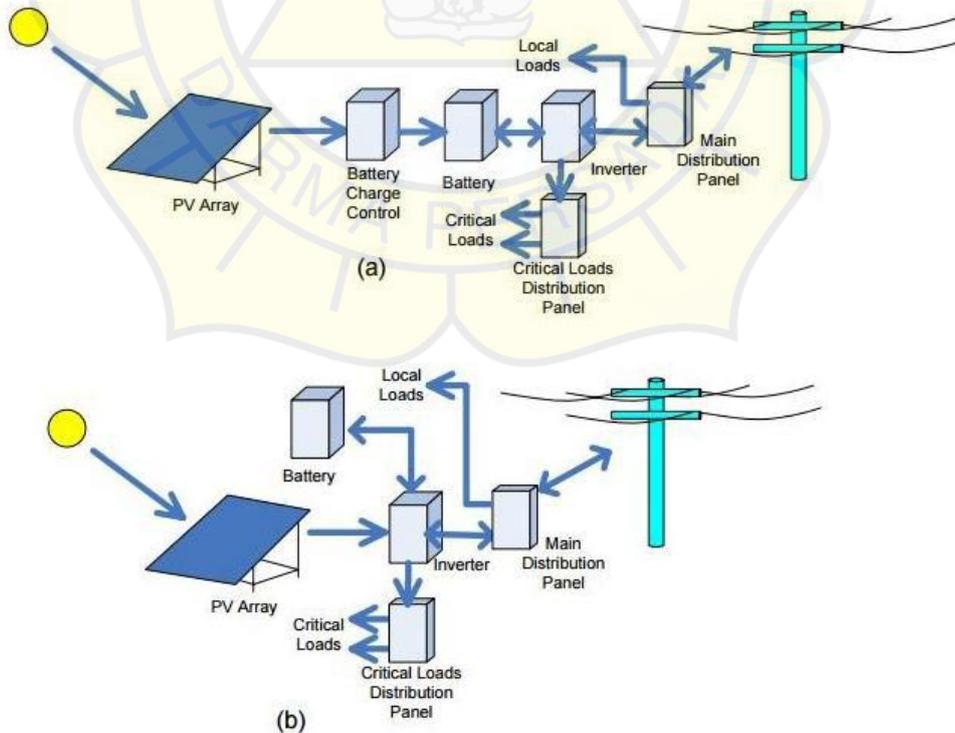
2.1.5 PLTS On-grid

PLTS On-Grid mengacu pada sistem tenaga surya yang terhubung langsung dengan jaringan listrik. Sistem ini diklasifikasikan menjadi dua kategori berdasarkan pola distribusi daya: sistem dengan penyimpanan (PV yang terhubung ke jaringan dengan cadangan baterai), yang menggunakan baterai untuk cadangan dan penyimpanan energi, dan sistem tanpa penyimpanan (PV yang terhubung ke

jaringan tanpa cadangan baterai). Baterai dalam sistem PLTS On-Grid menyediakan daya cadangan untuk beban listrik selama gangguan jaringan sekaligus menyuplai kelebihan daya yang dihasilkan kembali ke jaringan energi nasional (PLN). Sistem ini dibagi lagi menjadi dua jenis aplikasi: PV terdistribusi yang terhubung ke jaringan dan PV terpusat yang terhubung ke jaringan.



Gambar 2.10 Diagram Prinsip PLTS Terhubung Jaringan



Gambar 2.11 Sistem PLTS Grid-Connected dengan Penyimpanan (storage)
(a) kontrol pengisian daya dan inverter kontrol pengisian terpisah, (b) kontrol pengisian daya terintegrasi.

2.2 Energi Angin: Karakteristik dan Teknologi Turbin Angin

Angin merupakan pergerakan udara yang terjadi di atas permukaan bumi. Angin disebabkan oleh perubahan tekanan udara, ketinggian, dan suhu. Kecepatan angin meningkat seiring dengan meningkatnya perbedaan tekanan udara. Selain itu, kecepatan angin pada siang hari akan lebih tinggi dibandingkan pada malam hari karena udara seringkali lebih hangat pada siang hari. Di wilayah khatulistiwa, udara menjadi panas, mengembang, dan menjadi lebih ringan, naik ke tempat yang lebih tinggi dan berpindah ke lokasi yang lebih dingin, sedangkan udara menjadi dingin dan turun ke tempat yang lebih rendah.

Pada metode ini, udara berputar dengan cara bergerak dari kutub utara menuju ekuator sepanjang permukaan bumi, dan sebaliknya melalui lapisan udara yang lebih tinggi. Energi angin sudah tersedia, namun jarang digunakan sebagai sumber energi alternatif. Sebelumnya, angin digunakan untuk irigasi, pemotongan tanaman, dan pengeringan. Seiring dengan menipisnya stok energi fosil, pemanfaatan angin dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik atau dikenal dengan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu).

Tenaga angin pada umumnya kurang dihargai di Indonesia. Faktanya, kapasitas pembangkit listrik tenaga angin global telah meningkat pesat, dengan tingkat pertumbuhan total lebih dari 20% per tahun hingga tahun 2004. Dari kapasitas 5 GW pada tahun 1995 menjadi sekitar 48 GW pada akhir tahun 2004, tersebar di 74.400 pembangkit listrik tenaga angin di sekitar 60 negara.

2.2.1 Karakteristik Angin

Perbedaan kecepatan udara yang disebabkan oleh fluktuasi suhu menyebabkan udara berpindah dari satu ketinggian ke ketinggian lainnya, dengan arah pergerakannya dikendalikan oleh kecepatan rotasi bumi. Hal inilah yang menyebabkan disparitas kecepatan angin antara daerah khatulistiwa dan kutub. Perbedaan ini pula yang menimbulkan perbedaan kecepatan angin di Indonesia jika

dibandingkan dengan negara-negara Eropa lainnya. Angin di daerah tropis akan bergeser dari daerah subtropis yang bertekanan tinggi ke daerah khatulistiwa yang bertekanan rendah.

Angin pasat timur laut di belahan bumi utara dan angin pasat tenggara di belahan bumi selatan, umumnya bergerak menuju ekuator. Karena melewati wilayah perairan terbuka, angin pasat membawa banyak uap air. Namun, di beberapa lokasi di permukaan bumi, arah angin pasat dapat berubah karena pengaruh lingkungan setempat. Di Indonesia, yang terletak di antara dua benua dan dua samudra, angin pasat ini berubah menjadi angin muson barat dan timur setiap enam bulan ketika posisi matahari bergeser ke utara dan selatan.

Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh sejumlah faktor lokal, termasuk bukit, pepohonan, dan perbedaan suhu. Beberapa karakteristik angin di Indonesia dibawah ini.

- Arah angin sering berubah-ubah
- Turbulensi sering terjadi
- Kecepatan angin rata-rata cukup rendah

Jika kita ingin menggunakan energi angin, kita harus mempertimbangkan hal-hal berikut:

- Tentukan lokasi kincir angin
- Berapa kisaran angin tahunan yang terdapat pada daerah tersebut
- Menentukan pola sebaran kecepatan angin di daerah tersebut

Untuk mengetahui rata-rata kecepatan angin pada suatu lokasi diperlukan data kecepatan angin dari BMKG.

2.2.2 Pemanfaatan energi Angin

Energi angin menawarkan berbagai keuntungan, antara lain:

- Energi angin bersifat terbarukan dan tersedia di banyak wilayah
- Bebas emisi dan ramah lingkungan
- Biaya konversi lebih murah dibandingkan energi fosil
- Cocok untuk daerah terpencil atau kepulauan tanpa akses jaringan listrik

Energi angin berlimpah di alam dan tidak memerlukan biaya untuk menggunakannya. Selain itu, energi angin bebas polusi. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) terbagi dalam dua kategori: kincir angin, yang mengubah energi angin menjadi energi kinetik, dan turbin angin, yang mengubahnya menjadi energi listrik.

2.2.3 Definisi Turbin Angin

Turbin angin mengubah energi angin menjadi energi listrik. Secara umum turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT). Kincir angin dengan poros vertikal memiliki sumbu vertikal dan bilah yang sejajar dengannya. Pengoperasian dasar turbin angin adalah mengubah energi mekanik dari angin menjadi energi rotasi pada kincir angin, yang kemudian digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik.

Turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan arah sumbu gerakannya: sumbu horizontal dan sumbu vertikal. Sedangkan turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan gaya aerodinamis pengoperasiannya: gaya angkat dan gaya tarik. Kategori ini mengacu pada bagaimana rotor turbin angin menangkap energi angin, baik melalui gaya tarik aliran udara yang melewati rotor maupun gaya angkat yang dihasilkan oleh aliran udara yang melewati desain aerodinamis sudu-sudunya.

Ada yang berpendapat bahwa turbin angin tertentu mempunyai rotor tipe angkat, sedangkan turbin angin lainnya mempunyai rotor tipe tarik. Kecepatan putaran rotor jelas berbeda antara kedua kelompok ini. Turbin angin tipe tarik disebut juga turbin angin putaran rendah karena rotornya berputar lambat. Turbin angin tipe angkat dikenal sebagai turbin angin putaran cepat karena rotornya biasanya berputar lebih cepat daripada tipe tarik.

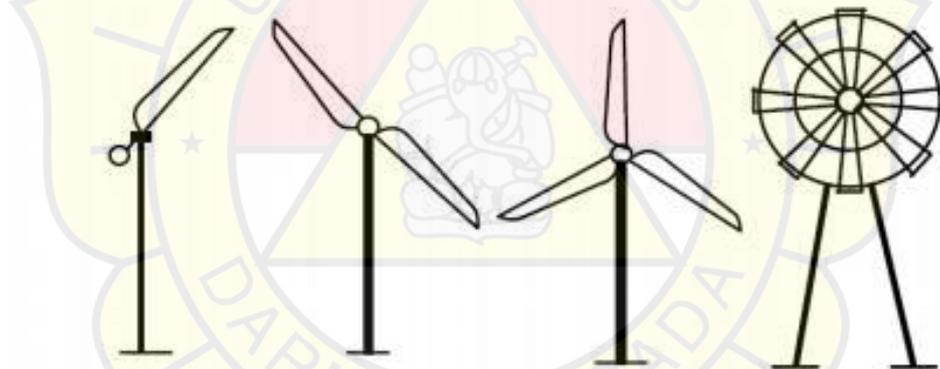
2.2.4 Jenis-Jenis Turbin Angin

Berdasarkan letak porosnya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal

Turbin angin yang sumbu rotornya sejajar dengan tanah disebut turbin angin sumbu horizontal. Turbin ini diorientasikan ke arah angin untuk memanfaatkan energi angin, dan berisi poros rotor utama dan generator listrik di bagian atas menara.

Dengan konfigurasi sudu yang lurus, rotor turbin angin kecil dapat diorientasikan ke arah angin, sedangkan turbin angin besar biasanya memiliki motor dan sensor angin yang memutar rotor menghadap arah angin terkuat. Meskipun rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya angkat dan gaya tarik sesuai dengan prinsip aerodinamis, namun gaya angkat tersebut jauh lebih kuat dibandingkan dengan gaya tarik, sehingga rotor turbin ini lebih sering disebut sebagai rotor tipe angkat.



Gambar 2.12 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu

Pada Gambar 2.12, turbin horisontal dikategorikan berdasarkan jumlah bilahnya, yaitu:

- Turbin angin dengan satu bilah (single blade)
- Turbin angin dengan dua bilah (double blade)
- Turbin angin dengan tiga bilah (three blade)
- Turbin angin dengan banyak bilah (multi blade)

2. Turbin angin sumbu vertikal

Turbin angin yang sumbu rotornya tegak lurus dengan bumi disebut turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal lebih efisien dibandingkan turbin angin sumbu vertikal dalam memanfaatkan energi angin.

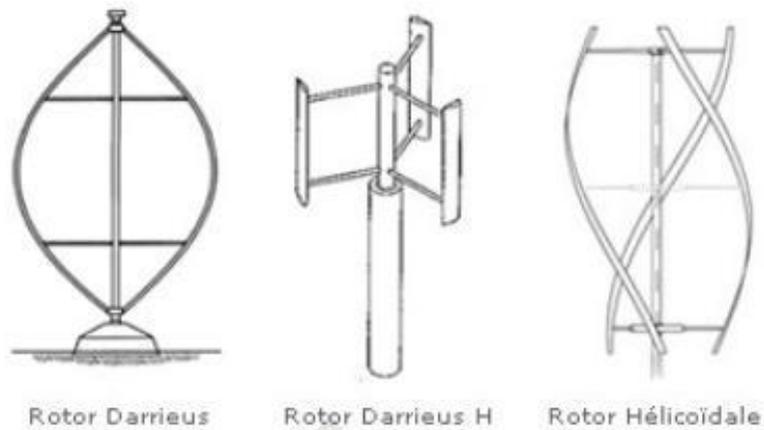
Meskipun demikian, terdapat sejumlah manfaat dari turbin angin sumbu vertikal, antara lain:

- Berbeda dengan turbin angin horizontal yang memerlukan perangkat tambahan untuk menyesuaikan rotor dengan arah angin, turbin angin sumbu vertikal tidak perlu mengubah posisinya seiring dengan perubahan arah angin.
- Tidak diperlukan struktur menara besar.
- Desain turbin yang lebih sederhana.
- Karena turbin angin sumbu vertikal dapat diposisikan dekat dengan tanah, lebih mudah untuk menemukan bagian listrik dan mekanik yang diperlukan agar turbin dapat berfungsi.

Berdasarkan prinsip aerodinamis rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

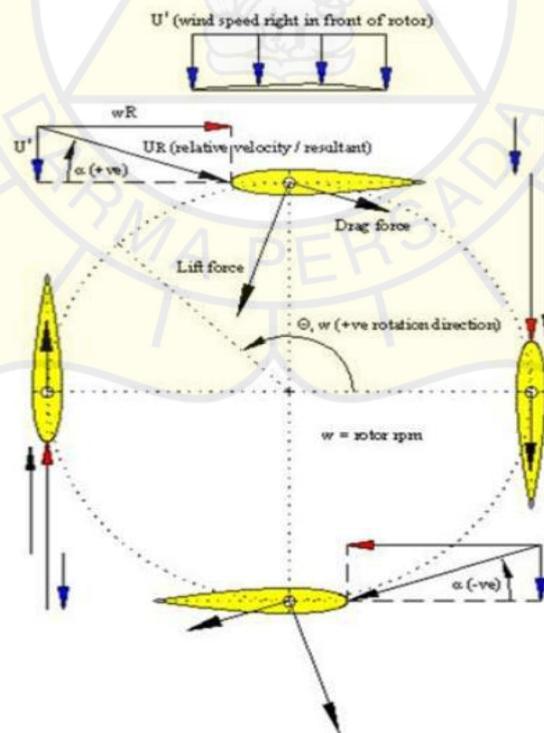
A. Turbin angin darrieus

Turbin angin Darrieus, yang umumnya dikenal sebagai turbin eggbeater, pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Sejak saat itu, turbin angin Darrieus telah menjadi subjek banyak penelitian, menghasilkan berbagai bentuk yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 2.13. Turbin ini menggunakan prinsip aerodinamis dengan memanfaatkan gaya lift pada penampang sudu rotornya untuk mengekstrak energi angin. Meskipun turbin Darrieus memiliki torsi rotor yang rendah, putarannya lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin Savonius, sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun, turbin ini memerlukan energi awal untuk memulai putaran. Rotor turbin angin Darrieus biasanya memiliki variasi bilah, yaitu dua atau tiga bilah. Modifikasi rotor turbin angin Darrieus dikenal sebagai turbin angin H.



Gambar 2.13 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal darrieus

Prinsip kerja rotor Darrieus dapat dijelaskan dengan cara yang lebih sederhana. Pertama, anggaplah arah angin datang dari depan rotor. Ketika kecepatan rotor meningkat hingga menyamai kecepatan angin yang tidak terganggu, yaitu pada rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan angin bebas ($t_{sr} > 3$). Gambar 2.14 menggambarkan garis vektor percepatan dari bentuk airfoil bilah pada posisi sudut yang berbeda.



Gambar 2.14 Gaya-gaya pada setiap sudu

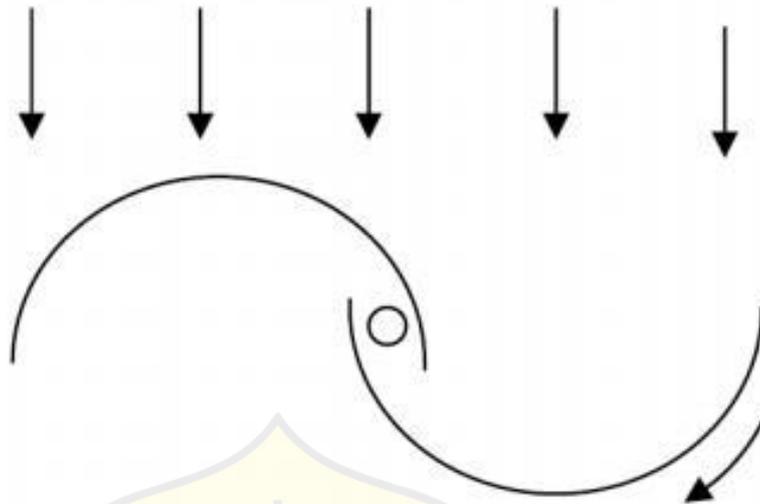
Dengan penjelasan sebagai berikut:

- A. Panah biru menunjukkan kecepatan angin relatif.
- B. Panah merah menggambarkan kecepatan relatif terhadap baling – baling.
- C. Panah hitam menunjukkan resultan kecepatan udara yang relatif terhadap baling – baling.
- D. Panah hijau mewakili gaya angkat (lift force).
- E. Panah abu-abu menunjukkan gaya seret (drag force)

Dengan nilai t_{sr} yang tinggi, sudu akan memotong angin dengan sudut serang (*angle of attack*) yang kecil. Resultan gaya angkat (lift) akan mendukung perputaran rotor, sementara gaya seret (drag) akan berlawanan dengan perputaran rotor tersebut. Ketika gaya angkat menjadi nol di sisi kiri (0°) dan sisi kanan (180°) dengan sudu simetris bergerak sejajar dengan arah angin, torsi menjadi negatif di sekitar posisi ini. Saat mendekati posisi depan (90°) dan posisi belakang (270°), komponen gaya angkat (lift) menjadi lebih besar dibandingkan dengan gaya seret (drag), sehingga menghasilkan torsi. Torsi total dalam satu putaran akan bernilai positif jika sudu diposisikan dengan tepat, sehingga rotor dapat berputar dalam arah yang benar.

B. Turbin angin savonius

Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal ini terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang disusun membentuk huruf "S", di mana satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lainnya berbentuk cekung, yang dilalui angin seperti terlihat pada Gambar 2.15. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (drag) untuk mengekstrak energi dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat pada permukaan cekung lebih besar dibandingkan dengan permukaan cembung. Oleh karena itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan menghasilkan gaya hambat yang lebih besar dibandingkan sisi lainnya, sehingga rotor dapat berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas, karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.



Gambar 2.15 Prinsip rotor savonius

Dengan mengandalkan gaya hambat, turbin angin Savonius menghasilkan putaran dan daya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin angin Darrieus. Namun, salah satu keunggulan turbin Savonius adalah tidak memerlukan energi awal untuk memulai putaran rotor, yang menjadi kelebihan dibandingkan dengan turbin Darrieus.

2.2.5 Prinsip konversi energi angin

Energi kinetik pada objek yang bergerak dirumuskan dengan persamaan

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

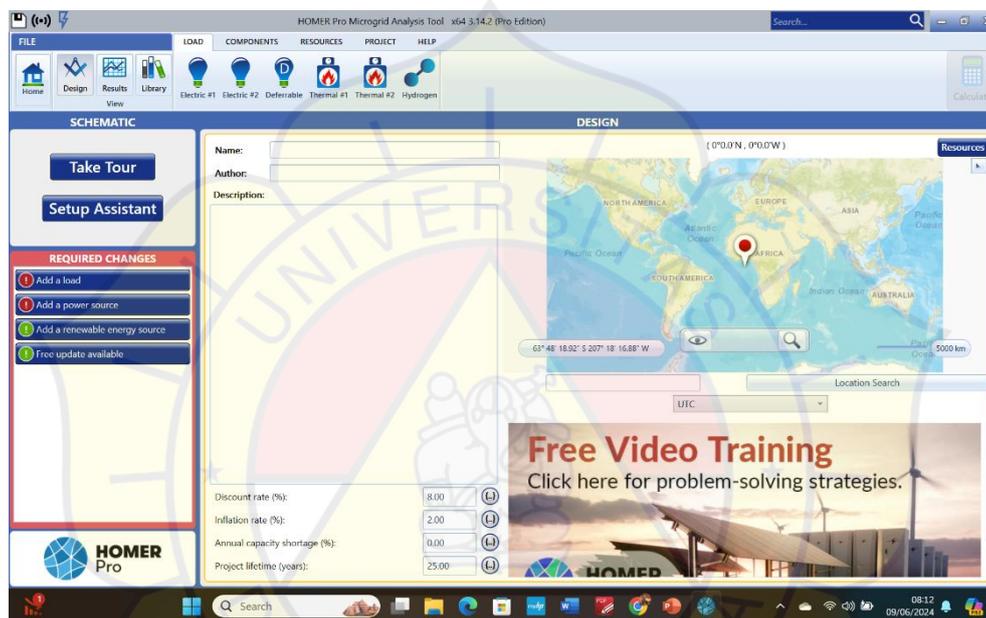
Di mana m adalah massa udara yang bergerak (kg), dan v adalah kecepatan angin dalam satuan m/s. Energi kinetik yang terdapat dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Untuk menganalisis seberapa banyak energi angin yang dapat diserap oleh turbin, digunakan teori momentum Elementer Betz [13].

2.3 Aplikasi Homer Pro

Aplikasi Homer Pro adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang sistem pembangkit listrik hybrid yang menggabungkan berbagai sumber energi menjadi satu sistem pembangkit. Homer Pro juga meningkatkan akurasi perhitungan, baik untuk biaya investasi maupun memberikan gambaran

keseluruhan tentang proyek yang akan dirancang, serta menciptakan algoritma analisis optimasi yang memudahkan evaluasi sistem.

Saat pengguna mengakses aplikasi Homer Pro, mereka harus memasukkan lokasi tempat. Selanjutnya, Homer Pro akan menggunakan data iradiasi matahari dan kecepatan angin untuk lokasi tersebut, termasuk GHI dan kecepatan angin di kota yang diinginkan. Aplikasi ini juga menyediakan berbagai fungsi yang sangat membantu dan memudahkan pengguna. Tampilan proyek dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Aplikasi tampilan Homer Pro

2.4 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

Stasiun pengisian kendaraan listrik umum, atau disingkat SPKLU, adalah stasiun yang dirancang khusus untuk pengguna kendaraan listrik, baik mobil listrik maupun sepeda motor listrik, untuk mengisi daya baterai kendaraan mereka. Dengan kata lain, sementara kendaraan berbahan bakar fosil mengisi bahan bakar di SPBU, kendaraan listrik dapat mengisi daya baterai mereka di SPKLU.

2.4.1 Jenis jenis Steker pengisian daya pada SPKLU

Pengisian daya cepat membuat mobil listrik lebih bermanfaat karena pengemudi merasa tenang karena mengetahui bahwa mereka dapat mengisi ulang daya dengan cepat, dan kecepatan perjalanan yang lebih efektif. Tampaknya pemilik mobil yang memiliki mobil yang mampu mengisi ulang daya dengan cepat, dengan stasiun

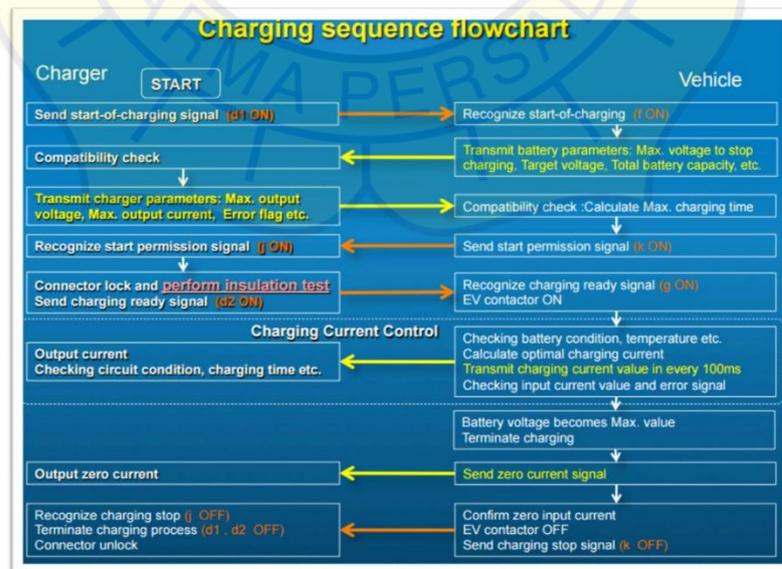
pengisian daya cepat yang cukup di sekitar mereka, merasa mampu melakukan perjalanan yang lebih lama.

Dibawah ini adalah penjelasan mengenai jenis jenis steker pengisian daya listrik pada baterai yang ada di Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum:

A. Protokol CHAdeMO

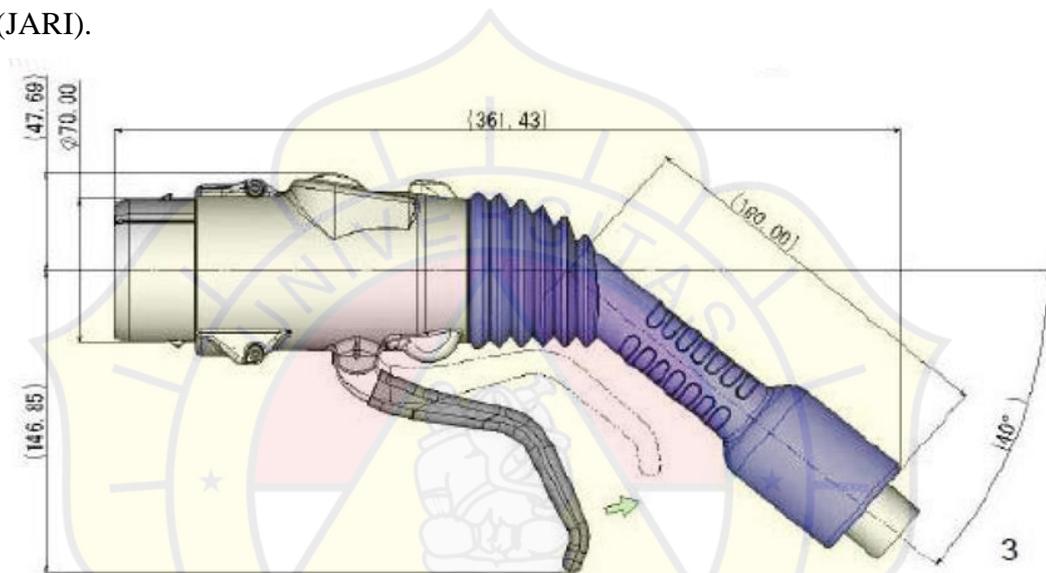
CHAdeMO adalah protokol pengisian daya cepat yang dikembangkan bersama oleh produsen mobil Jepang dan Tokyo Electric Power Company (TEPCO). CHAdeMO adalah standar pengisian daya cepat DC pertama di dunia yang dirancang untuk Kendaraan Listrik modern, yang menampilkan baterai lithium-ion dengan kepadatan tinggi dan motor tersinkronisasi magnetik yang ringkas namun bertenaga. Penelitian dan pengembangan CHAdeMO dimulai sejak tahun 2005. Setelah lebih dari empat tahun pengujian menyeluruh dan demonstrasi di lokasi, infrastruktur pengisian daya CHAdeMO komersial pertama ditugaskan pada tahun 2009.

CHAdeMo mendukung daya hingga 62,5 kW, CCS-Standard hingga 90 kW, dan Tesla Supercharger (TSC) hingga 120 kW. Namun, batas daya ini kemungkinan akan meningkat seiring dengan pengembangan lebih lanjut. Urutan pengisian daya pada pengisi daya cepat DC berdasarkan protokol CHAdeMO dapat dilihat pada Gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Rangkaian urutan pengisian daya CHAdeMO [14]

Setelah pengguna memutuskan untuk memulai proses pengisian daya dan setelah koneksi yang diperlukan dibuat dan pengguna menekan tombol Start, CAN, komunikasi dimulai. Sekarang, uji isolasi dilakukan. Jika uji isolasi lulus, konduktor K1 dan K2 ditutup. Dengan bantuan protokol komunikasi CAN, proses pengisian daya dimulai dan dihentikan sesuai dengan masalah yang dihadapi oleh sistem. Setelah proses pengisian selesai, konduktor K1 dan K2 dibuka dan konektor dibuka. Dengan proses membuka kunci, protokol CHAdeMO berakhir. Konektor protokol CHAdeMO dirancang oleh Japanese Automotive Research Institute (JARI).



Gambar 2.18 Konektor protokol CHAdeMO [14]

Gambar 2.18 menunjukkan konektor yang digunakan dalam protokol CHAdeMO. Antarmuka pengisi daya berbentuk bulat dan berdiameter 70 mm. Untuk pengisian daya AC normal, kendaraan yang kompatibel dengan CHAdeMO menggunakan konektor Tipe 1 atau Tipe 2 (IEC62196-2), tergantung pada standar setempat.

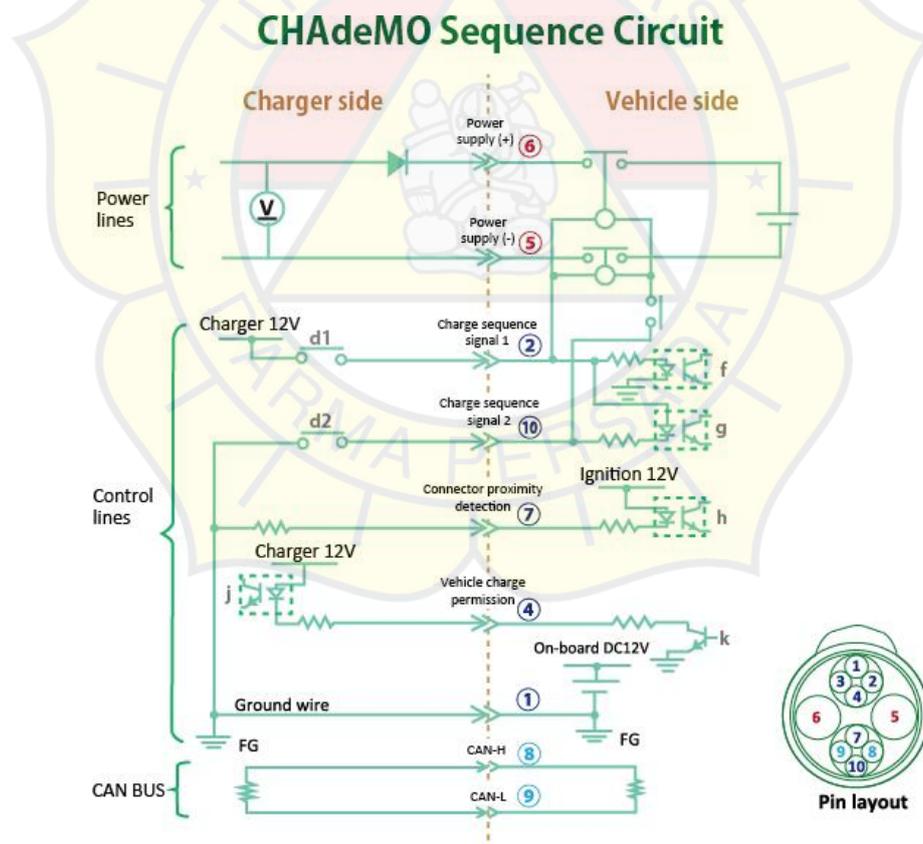
Saluran masuk AC dan DC dapat diposisikan secara independen di sisi atau depan kendaraan. Merupakan praktik umum dalam industri peralatan listrik untuk membedakan desain geometris antarmuka penghubung ketika tingkat daya yang lebih tinggi diperlukan. Menggunakan konektor tunggal yang menggabungkan pengisian daya normal AC dan pengisian daya cepat DC dapat menghasilkan geometri yang lebih kecil di sisi kendaraan, tetapi mungkin tidak berarti kekompakan konektor yang dipegang oleh pelanggan.

Independensi antara inlet AC dan DC CHAdeMO memiliki keuntungan yang jelas untuk memungkinkan desain kendaraan yang fleksibel terutama mengingat teknologi pengisian daya AC nirkabel di masa depan. Diameter eksternal adalah 9mm dan diameter eksternal terminal sinyal adalah 1,9mm.



Gambar 2.19 Dimensi konektor protokol CHAdeMO

Konektor jari yang digunakan dalam protokol CHAdeMO memiliki 10 pin. Antarmuka konektor seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

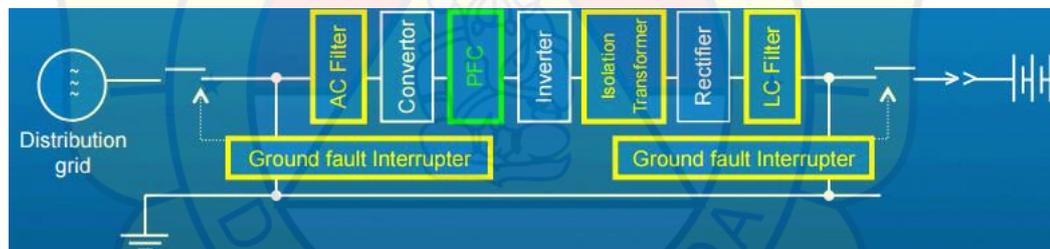


Gambar 2.20 Konektor jari untuk protokol CHAdeMO [15]

Pada konektor yang dirancang jari yang digunakan untuk protokol CHAdeMo, Pin 1,2,4,7 dan 10 dihubungkan ke jalur kontrol. Pin 2 dan 10 masing-masing terhubung

ke sinyal urutan pengisian daya 1 dan 2. Pin 7 terhubung ke deteksi jarak Konektor dan pin 4 membawa sinyal kontrol untuk izin pengisian daya Kendaraan. Pin 1 terhubung ke kabel arde. Pin 8 dan 9 digunakan oleh bus komunikasi CAN. Pin 8 terhubung ke jalur CAN-H dan pin 9 terhubung ke jalur CAN-L. Pin 6 dan Pin 5 dihubungkan ke saluran listrik. Pin 6 terhubung ke terminal positif catu daya sedangkan pin 5 terhubung ke terminal negatif catu daya. Ukuran pin daya lebih besar daripada jalur kontrol dan jalur komunikasi.

Pin daya DC memiliki diameter 8,5 mm, sedangkan pin arde berdiameter 2,5 mm dan pin untuk jalur komunikasi berdiameter 1,5 mm. Terdapat perbedaan ukuran yang serupa pada kabel yang digunakan untuk menghubungkan ke konektor JARI yang sesuai dengan protokol CHAdeMO. Kabel yang terhubung ke pin daya memiliki ukuran 50 mm², sedangkan pin sistem komunikasi menggunakan kabel berukuran 0,75 mm², dan kabel yang digunakan untuk sinyal kontrol berukuran 2,5 mm². Tata letak pengisi daya cepat DC yang mengikuti protokol CHAdeMO ditampilkan pada gambar di bawah ini.

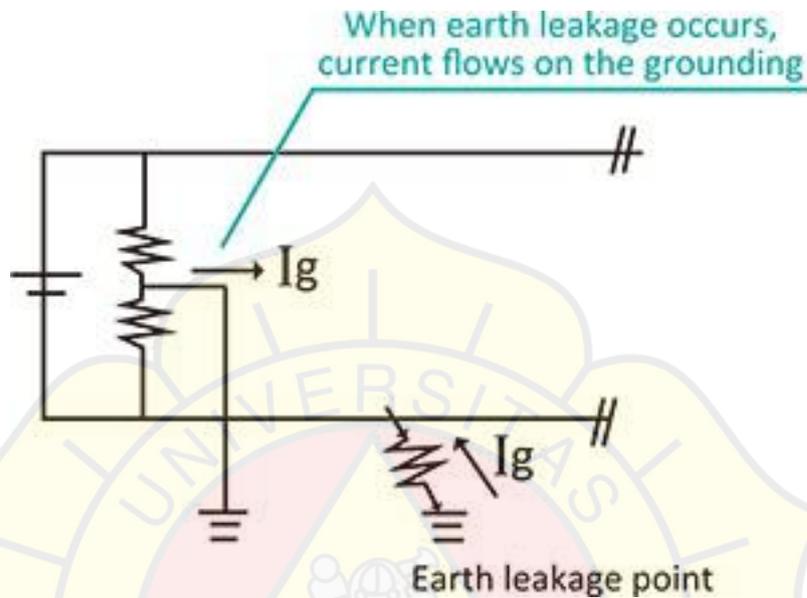


Gambar 2.21 Tata letak umum pengisi daya cepat DC [14]

Seperti yang dapat dilihat dari gambar di atas, ini menunjukkan jaringan yang terhubung ke trafo untuk mengubah tegangan output diikuti oleh sekering untuk alasan keamanan dan choke daya opsional untuk mengubah daya hubung singkat koneksi. Di sini DC Quick Charger (DCQC) terhubung yang sering kali terdiri dari penyearah yang diikuti oleh transformasi dc/dc. Agar proses pengisian daya dapat dimulai, protokol CHAdeMO misalnya perlu mengukur tegangan balik yang diberikan oleh sumber tegangan.

Dioda yang diterapkan menghindari aliran daya ke sumber tegangan ketika pengisian DCQC aktif. Power sink diberikan oleh resistansi variabel Rload. Selain itu, komunikasi dengan DCQC harus dibuat. Ini bervariasi dengan standar yang diberikan dan direalisasikan misalnya sebagai komunikasi saluran listrik atau

komunikasi CAN. Di sini pengontrol bertanggung jawab atas komunikasi dan mewujudkan komunikasi tergantung pada jenis pengisi daya. Informasi rinci dari komunikasi serta nilai yang diukur dapat direkam dan dianalisis dengan komputer. Daya output yang diminta dapat dicapai dengan variasi resistensi dan permintaan arus atau tegangan yang ditransmisikan.



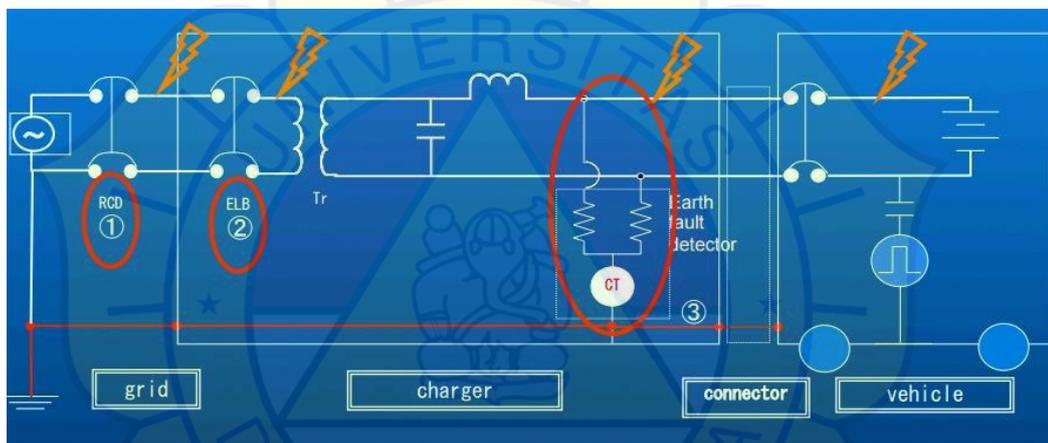
Gambar 2.22 Interrupter gangguan tanah untuk melindungi operator [14]

Protokol CHAdeMo menggunakan banyak fitur keamanan untuk melindungi pengguna dari segala jenis cedera. Setiap komponen yang digunakan memiliki fungsi khusus. Filter AC yang digunakan dalam rangkaian membantu menghilangkan distorsi harmonisa yang lebih tinggi untuk melindungi efek buruk dari jaringan distribusi. Korektor Faktor Daya (PFC) digunakan untuk meningkatkan efisiensi konversi. Trafo isolasi adalah peralatan yang sangat penting yang digunakan dalam rangkaian. Trafo isolasi membantu memisahkan sirkuit baterai dari jaringan untuk keselamatan operator. Filter LC mengurangi kebisingan riak dari arus keluaran untuk melindungi sistem baterai.

Protokol CHAdeMo juga memiliki interupsi Ground Fault yang cepat untuk melindungi operator dari sengatan listrik yang fatal jika terjadi kesalahan pada sistem. Perangkat pemantau arus bocor dipasang di sisi DC dan juga sisi AC dan mematikan daya input ke pengisi daya segera setelah arus bocor terdeteksi. Perlindungan sengatan listrik di zona DC-2 yang ditetapkan dalam IEC60479-1 direalisasikan dengan menggabungkan pemantauan arus bocor dan pemutusan

otomatis segera. Komunikasi analog membuat desain yang aman dari kegagalan. EV dan pengisi daya secara berlebihan mengawasi kondisi pengisian daya. Dan uji Isolasi mencegah korsleting yang tidak disengaja. Salah satu fitur yang sangat penting yang digunakan dalam protokol ini adalah trafo isolasi yang mencegah segala jenis sengatan listrik.

Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini, RCD (1) [Perangkat Arus Sisa] memonitor antara jaringan dan ELB [Pemutus Kebocoran Pembumian] pengisi daya. Pemutus Kebocoran Bumi pada pengisi daya memantau ELB pengisi daya dan sisi primer transformator. Detektor gangguan bumi (3) pada pengisi daya memonitor antara sisi sekunder trafo dan kendaraan. Keberadaan trafo isolasi tergantung pada konverter yang digunakan juga.



Gambar 2.23 Isolasi antara converter [15]

Ketika membahas tentang pengisian daya cepat DC, satu pertanyaan yang sering muncul di benak kita adalah tentang efeknya terhadap baterai. Apakah sistem pengisian cepat DC akan menurunkan masa pakai baterai?

Penyebab utama degradasi baterai adalah suhu tinggi dan tegangan berlebih. Oleh karena itu, tergantung pada jenis baterainya, suhu dan voltase harus dibatasi. Protokol CHAdeMo memiliki sistem Manajemen Baterai (BMS) bawaan yang mengawasi suhu dan voltase secara real time. Beberapa parameter yang diamati oleh BMS adalah tegangan total baterai, tegangan sel, suhu baterai, dan arus input. Dalam protokol CHAdeMO, proses pengisian daya dikendalikan oleh kendaraan listrik (EV). Unit komputer pada EV menentukan kecepatan pengisian daya berdasarkan pengamatan BMS. Sinyal arus pengisian daya dikirim ke pengisi daya

menggunakan bus CAN. Pengisi daya kemudian memasok arus DC mengikuti permintaan dari EV [15]. Karena pengisi daya cepat CHAdeMO dapat mengubah kecepatan pengisian daya berdasarkan karakteristik dan kondisi masing-masing baterai, kerusakan yang dapat ditimbulkan pada baterai sangat kecil. Tidak akan ada dampak negatif pada baterai jika kecepatan pengisian daya dikontrol dengan baik. Baterai canggih yang dapat menyerap lebih banyak daya akan diisi dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi.

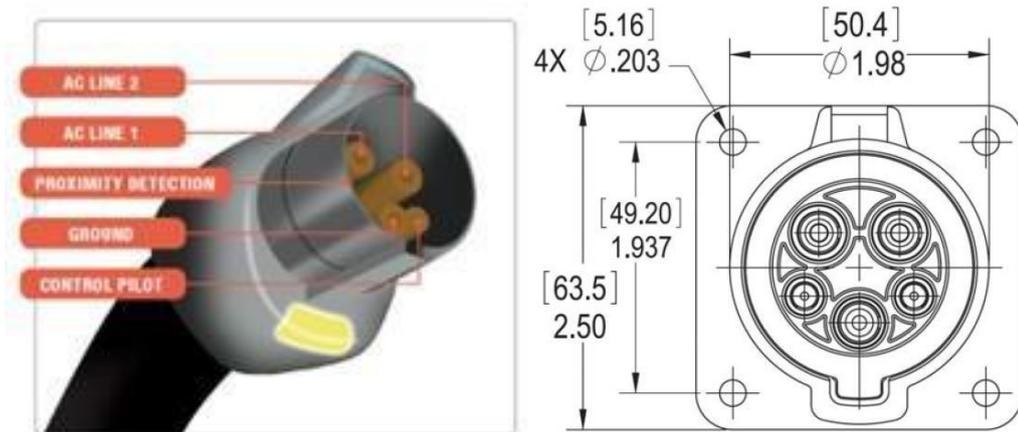
B. Standar SAE (Society of Automotive Engineers)

SAE International adalah asosiasi global yang beranggotakan lebih dari 128.000 insinyur dan pakar teknis terkait di industri kedirgantaraan, otomotif, dan kendaraan komersial. Lembaga ini merupakan organisasi pengembangan standar untuk rekayasa kendaraan bertenaga dari semua jenis, termasuk mobil, truk, kapal, pesawat terbang, dan lainnya. Standar SAE terutama digunakan di Amerika Serikat. Penjelasan menyeluruh tentang standar SAE diberikan dalam bab ini.

Kendaraan Listrik dan Plug in Conductive Charge Coupler Kendaraan Listrik Hybrid- J1772.

Menurut SAE, J1772 adalah standar pertama dan satu-satunya di dunia yang mencapai konsensus industri. Standar ini menjelaskan karakteristik fisik dan elektrik dari konektor dan saluran masuk listrik kendaraan. Hal ini memungkinkan pengisian daya pada 120 atau 140V dengan konektor berdimensi dan fungsi standar untuk mengoptimalkan kemudahan penggunaan bagi konsumen sekaligus memecahkan masalah yang mungkin timbul dari beberapa antarmuka pengisian daya yang tidak terstandarisasi untuk produsen mobil, pemasok, dan pihak lain, termasuk konsumen.

Baik IEC maupun JESV mengadopsi desain standar SAE J1772 untuk pengisian daya satu fase. Untuk mengembangkan pengisian daya tinggi tiga fase yang akan datang, IEC telah mengklasifikasikan pengganggeng pengisian daya satu fase sebagai Tipe-1, pengganggeng pengisian daya satu / tiga fase sebagai Tipe-2, sedangkan Tipe-3 dapat dipadatkan ke suplai satu dan tiga fase. Standar China GB mengadopsi pengganggeng pengisian daya IEC Tipe-2 untuk pengisian daya fase tunggal.



Gambar 2.24 Konektor Tipe SAE J1772 dan Konfigurasi Pin SAE J1772 [16]

Kedua gambar di atas menunjukkan konektor SAE J1772. Terdapat 5 pin pada konektor tipe 1 ini. Fungsi pin yang berbeda adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Pin konektor SAE J1772

| Contact # | Connector Function | Vehicle Inlet Function | Description |
|-----------|---------------------|------------------------|---|
| 1 | AC Power (L1) | Charger 1 | Power of AC level 1 and Level 2 |
| 2 | AC Power (L2) | Charger 2 | Power of AC Level 1 and Level 2 |
| 3 | Equipment Ground | Chassis Ground | Connect EVSE grounding conductor to EV/PEV chassis ground during charging |
| 4 | Control Pilot | Control Pilot | Primary control conductor |
| 5 | Proximity Detection | Proximity Detection | Allows the vehicle to detect the presence of charge connector. |

Dimensi SAE J1772 diberikan dalam gambar kedua. Panjang ujung atas ke ujung bawah adalah 63,5 mm. Lebar pengisi daya adalah 50,4 mm. pin-pinnya berada dalam struktur berbentuk lingkaran. Jarak dari salah satu ujung struktur berbentuk lingkaran ke ujung bawah sekitar 49,20 mm.

Pilot kontrol adalah peralatan yang sangat penting. Ini adalah satu-satunya peralatan yang menginformasikan tentang pengoperasian sirkuit pengisi daya yang benar saat

menyambungkan EV/PEV ke EVSE. Operasi penting yang dilakukan oleh pilot kontrol diberikan di bawah ini.

- Verifikasi koneksi kendaraan
- Indikasi status siaga EVSE
- Indikasi status EVSE yang siap memasok energi
- Indikasi status EV/PEV - siap menerima energi
- Penentuan ventilasi dalam ruangan
- Memeriksa kapasitas EVSE saat ini

C. Standar Sistem Pengisian Daya Gabungan (CCS)

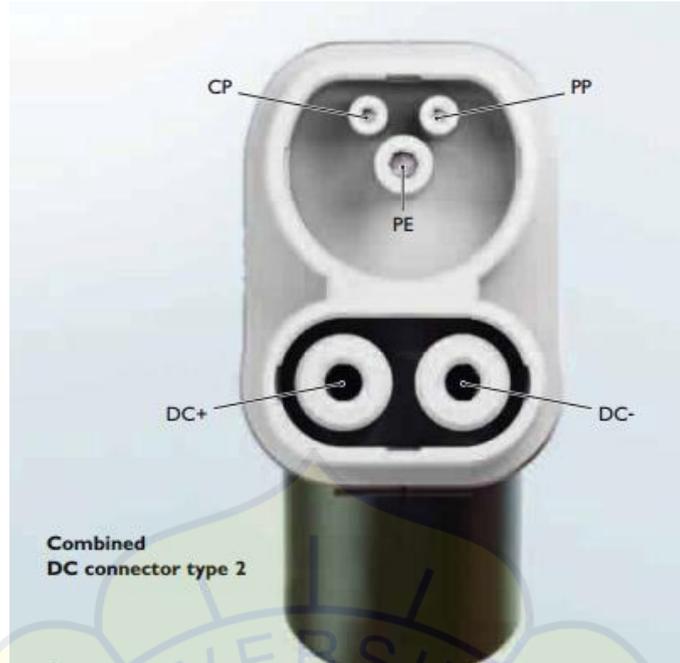
Combined Charging System adalah standar yang didukung oleh total 7 produsen mobil AS dan Eropa yang dirancang untuk menjadi standar *de facto* baru untuk semua mobil listrik Amerika Utara dan Eropa. Sistem ini lebih ringkas dan tidak terlalu rumit secara mekanis dibandingkan CHAdeMO, karena hanya menambahkan dua konektor DC bertenaga tinggi di bawah konektor pengisian daya AC standar J1772 (AS) dan Tipe 2 (Eropa). Konektor ini memiliki pin komunikasi dan sinyal yang sama dengan yang digunakan untuk pengisian daya AC berdaya rendah, sehingga hanya menghasilkan satu port pengisian daya yang mampu melakukan pengisian daya AC dan DC, bukan dua port pengisian daya terpisah seperti pada CHAdeMO.

Standar SAE CCS (Standar Pengisian Gabungan) atau standar "Combo" dikembangkan dalam proses komite SAE yang terbuka bagi semua produsen mobil untuk berpartisipasi. Karena berbagai alasan (termasuk keyakinan bahwa penggandeng SAE J1772 secara umum dianggap sebagai standar pengisian daya AC Level-1 dan Level-2 yang diterima di A.S.), anggota komite SAE ingin membuat penggandeng yang kompatibel ke atas untuk DCFC. Beberapa keuntungan dari pendekatan ini adalah pengurangan biaya dan kompleksitas dua antarmuka terpisah (J1772 menggunakan Control Pilot, CHAdeMO menggunakan bus CAN) dan penghindaran kebutuhan akan pintu besar untuk dua konektor terpisah. Antarmuka yang kompatibel ke atas dibuat dengan menambahkan pin DC+ dan DC- berkapasitas lebih tinggi dan memperbarui spesifikasi untuk

menggabungkan komunikasi power line carrier (PLC) yang dimodulasi pada sinyal Control Pilot untuk mendukung DCFC.

Standar CCS memungkinkan bukaan fender berukuran pengisi gas tunggal, biaya yang lebih rendah, dan penggandeng yang kompatibel ke atas ke penggandeng AC J1772 yang sudah ada dan digunakan secara luas. Posisi pendukung CCS tampaknya adalah bahwa satu standar antarmuka pengisian daya lebih baik daripada dua standar untuk mengurangi biaya guna membantu membuat PEV menjadi kompetitif, bahwa ada sejumlah kecil kendaraan listrik di jalan saat ini sebagai teknologi yang baru lahir sehingga industri tidak boleh terikat pada standar lama yang kurang optimal, dan ada metode untuk mengakomodasi transisi ke CCS. Persyaratan terpenting untuk infrastruktur pengisian daya E-Mobilitas modern adalah koneksi yang andal dan terstandarisasi untuk stasiun pengisian daya dan soket kendaraan. Kendaraan dapat diisi ulang dengan arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC). Jika AC digunakan untuk pengisian daya, energi dipasok langsung dari jaringan tegangan rendah yang ada ke konverter AC/DC terintegrasi di dalam kendaraan.

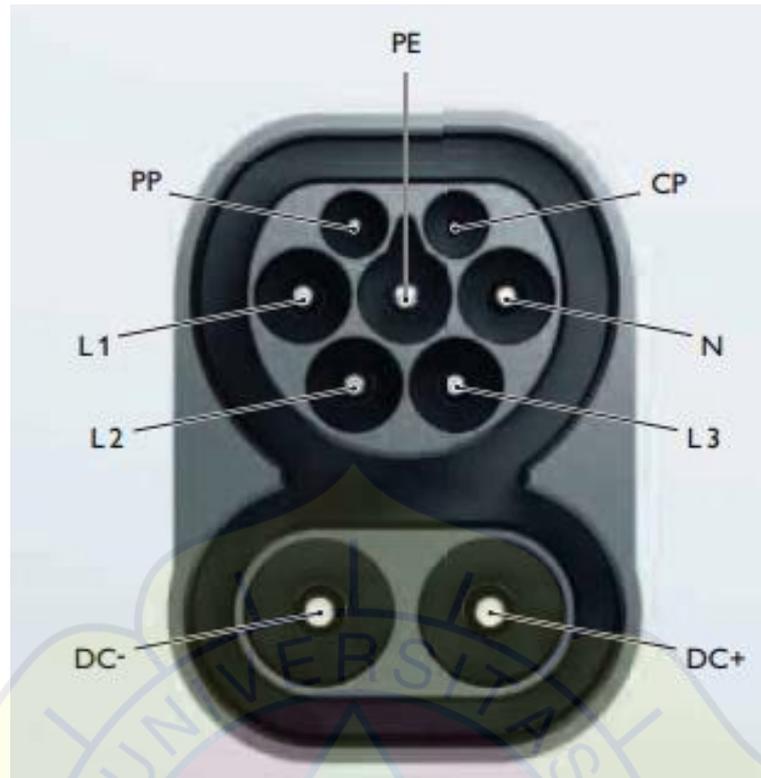
Untuk pengisian daya DC, konverter AC/DC terletak di dalam stasiun pengisian daya, sehingga mengurangi beban pada kendaraan. Sistem pengisian daya AC/DC gabungan tipe 2 memungkinkan pengisian daya AC dan pengisian daya DC yang lebih cepat saat bepergian. Sistem pengisian daya AC/DC gabungan tipe 2 adalah antarmuka pengisian daya yang ideal untuk situasi pengisian daya sehari-hari di Eropa. Kendaraan listrik ini dirancang untuk pengisian daya AC yang mapan dan pengisian daya DC saat bepergian. Konektor DC gabungan mentransmisikan arus DC hingga 125 A. Konektor ini dimasukkan ke dalam saluran masuk kendaraan dengan sangat mudah dan dengan sedikit tenaga. Konektor DC gabungan untuk pengisian daya Tipe 2 ditunjukkan pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Konektor DC gabungan TIPE 2

Konektor DC gabungan tipe 2 memiliki 5 pin (3+2) untuk pengisian daya DC. Biasanya sangat mudah ditangani dan gaya penyisipan yang diterapkan juga rendah. Konektor ini memenuhi spesifikasi IEC 62196. Colokan pengisian daya terkunci di dalam kendaraan untuk mencegah busur yang disebabkan oleh pelepasan saat di bawah beban. Steker dirancang untuk menahan gaya tarik tertinggi. Pemantauan suhu terintegrasi melindungi dari kebakaran jika terjadi kontak yang salah. Mekanisme dan urutan pengisian daya yang sudah ditentukan sebelumnya dilakukan untuk pengisian daya AC dan DC. Untuk kedua jenis pengisian daya, kontak sinyal dan kontrol, CP dan PP, digunakan untuk komunikasi dan kontrol.

Serupa dengan konektor yang ditunjukkan pada gambar di atas, ada konektor yang menggabungkan pin AC dan DC untuk tipe 2. Konektor jenis ini memiliki 9 pin. Pengisi daya AC/DC gabungan untuk tipe 2 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.26.



Gambar 2.26 Pengisi Daya AC/DC Gabungan untuk Tipe 2

Data teknis untuk pengisian daya AC/DC gabungan diberikan dalam table dibawah ini.

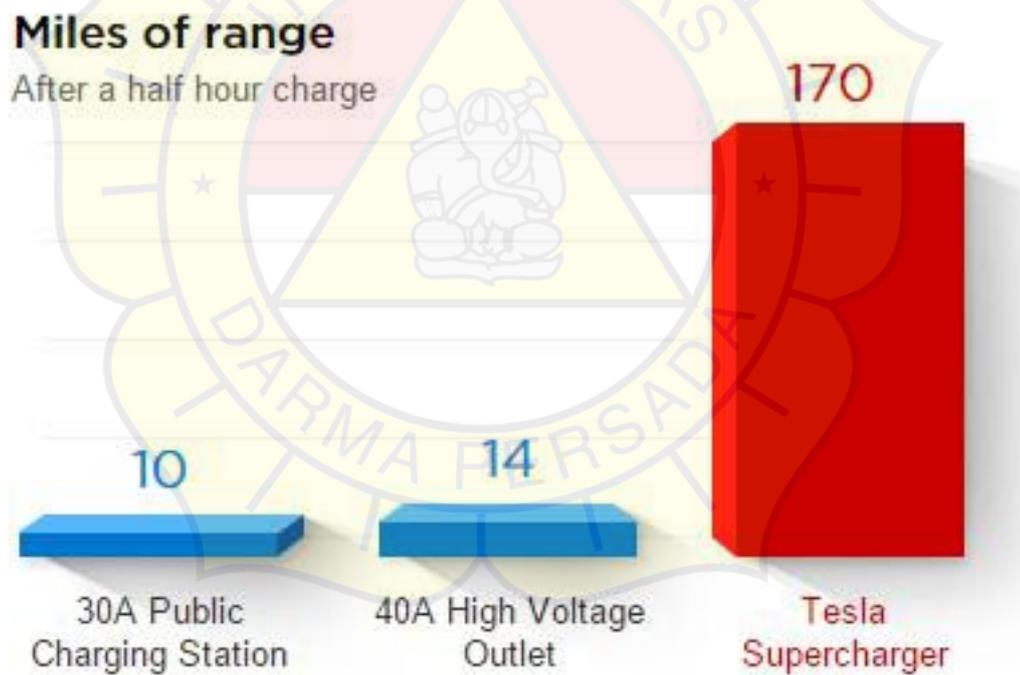
Tabel 2.2 Technical Data of Combined AC/DC connector

| Parameter | Vehicle inlet | Connector |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| AC Unit Type 2 | | |
| Nominal Voltage | Up to 480 V | - |
| 1/3 Phase Nominal Current | Up to 32 A | - |
| Standard | IEC 62196-2, 62196-3 (draft) | IEC IEC 62196-3 (draft) |
| DC Unit Type 2 | | |
| Nominal Voltage | Up to 850 V | Up to 850 V |
| Nominal Current | Up to 125 A | Up to 125 A |
| Standard | IEC 62196-2, 62196-3 (draft) | IEC IEC 62196-3 (draft) |
| Degree of Protection | | |
| IP protection when plugged in | IP44 | IP44 |
| IP protection when not plugged in | IP20 | IP20 |
| IP protection when covered | IP55 (road position) | IP24 (with protective cap) |

D. Tesla Supercharger

Tesla Supercharger adalah sistem untuk pengisian daya baterai yang sangat cepat yang dikembangkan oleh perusahaan mobil listrik Amerika, Tesla Inc. Supercharger terdiri dari beberapa pengisi daya yang bekerja secara paralel untuk menghasilkan daya arus searah (DC) hingga 120 kW secara langsung ke baterai. Biasanya, mobil ini menggunakan pengisi daya terpasang untuk mengubah arus bolak-balik (AC) dari pengisi daya dinding menjadi DC yang disimpan di dalam baterai. Saat baterai mendekati pengisian penuh, komputer di dalam mobil secara bertahap mengurangi arus ke tingkat optimal untuk mengisi ulang sel.

Saat baterai mencapai sekitar 80% dari pengisian daya, arus secara bertahap dikurangi sehingga menghindari tumpahan yang berlebihan dari sel baterai. Supercharger terkenal dengan pengisian daya berkecepatan tinggi. Biasanya diperlukan waktu sekitar 30 menit untuk menyelesaikan pengisian total baterai.



Gambar 2.27 Jarak tempuh mil

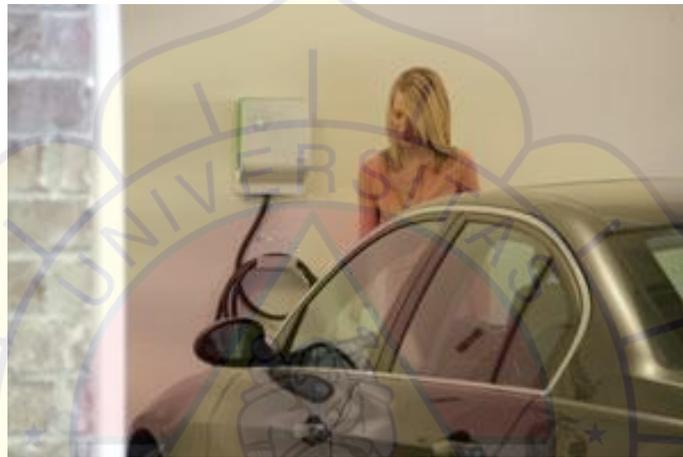
Masalah utama dengan jenis sistem khusus ini adalah bahwa hanya model mobil Tesla Inc. yang dapat digunakan untuk pengisian daya dan penyebaran teknologi Supercharger ini tidak terlalu luas. Oleh karena itu, hal ini menjadi kendala besar bagi perluasan stasiun pengisian daya yang cepat. Meskipun, akhir-akhir ini telah ada upaya untuk membuat paten teknologi Supercharger yang dipegang oleh Tesla

Inc. menjadi publik dalam upaya mendorong produsen lain untuk mengikuti protokol umum dan dengan demikian membantu dalam perluasan dan pengoperasian kendaraan Listrik [17].

2.4.2 Infrastruktur pengisian daya

Stasiun pengisian daya EV ketika dikategorikan dalam hal peringkat tegangan, peringkat daya, dan tempat aplikasi, dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis stasiun pengisian daya yang berbeda, yaitu:

A. Perumahan



Gambar 2.28 Pengisi daya rumah tangga di area perumahan

B. Perkantoran



Gambar 2.29 Pengisi daya di area komersial dan perkantoran

C. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)



Gambar 2.30 Pengisian daya cepat di lokasi strategis

Dalam dokumen ini, stasiun pengisian daya yang dibahas akan berfokus pada pengisian daya konduktif karena metode pengisian daya induktif masih dalam tahap pengembangan. Menurut Kepala Mobilitas Masa Depan Daimler, pengisian daya induktif masih 15 tahun lagi dan aspek keamanan pengisian daya induktif untuk EV masih harus dikaji lebih dalam. Sebagian besar mobil listrik dan peralatan yang dapat diisi ulang dapat diisi ulang dari stopkontak di rumah. Namun, stasiun pengisian daya mungkin diperlukan karena alasan berikut:

- Pengisian daya dapat dilakukan untuk beberapa pemilik mobil listrik sekaligus.
- Fasilitas ini mungkin memiliki mekanisme penginderaan arus atau koneksi tambahan untuk memutuskan daya ketika EV tidak benar-benar mengisi daya.
- Menyediakan opsi bagi pemasok untuk memantau atau mengenakan biaya atas listrik yang benar-benar dikonsumsi.

2.4.3 Mode Pengisian Daya

Komite IEC 61851-1 tentang "Sistem pengisian daya konduktif kendaraan listrik" kemudian mendefinisikan 4 Mode pengisian daya, mengenai:

- Jenis daya yang diterima oleh EV (DC, AC satu fase atau tiga fase),
- Tingkat voltase (untuk AC dalam kisaran antara 110V fase tunggal hingga 480V tiga fase),
- Ada atau tidak adanya arde dan jalur kontrol untuk memungkinkan dialog mono atau dua arah antara stasiun pengisian daya dan EV,

- Keberadaan dan lokasi perlindungan perangkat.

Mode pengisian ulang yang berbeda diklasifikasikan dalam standar internasional IEC 61851-1 sebagai berikut:

A. Mode 1

Pengisian daya mengacu pada koneksi EV ke jaringan suplai AC melalui saluran AC fase tunggal yang tidak melebihi 250 V AC atau saluran AC tiga fase yang tidak melebihi 480 V AC. pada 50-60 Hz, menggunakan sistem colokan dan soket nasional yang tidak melebihi 16 A dengan konduktor arde pelindung, tergantung pada negara dan standarisasinya. Mode pengisian daya kendaraan rendah ini adalah mode yang paling lambat dan dapat mengisi ulang baterai pada malam hari hingga mencapai kapasitas penuh sebelum pagi hari. Jenis pengisian ulang semalam ini memastikan beban listrik yang rendah untuk jaringan listrik dan mobil diisi ulang secara ekonomis menggunakan daya tarif malam yang murah. Mode pengisian ulang ini terutama digunakan di rumah dan kantor, karena tidak ada infrastruktur tambahan yang diperlukan.

B. Mode 2

Pengisian daya mengacu pada koneksi EV ke jaringan suplai AC dengan batas tegangan yang sama dengan Mode 1, menggunakan soket dinding standar dan colokan yang tidak melebihi 32 A dengan konduktor arde pelindung. Perbedaannya dengan Mode 1 terletak pada fakta bahwa saluran masuk kendaraan dan konektor memiliki pin kontrol. Sisi jaringan suplai kabel tidak memerlukan pin kontrol karena fungsi kontrol disediakan oleh kotak kontrol terintegrasi dengan fungsi lebih lanjut dalam perangkat perlindungan kabel. Mode pengisian ulang ini terutama digunakan untuk fasilitas pribadi khusus.

C. Mode 3

Pengisian daya mengacu pada koneksi EV ke jaringan suplai AC menggunakan peralatan suplai kendaraan listrik (EVSE), tidak melebihi 63 A, di mana fungsi pilot kontrol diperluas, seperti untuk mode 2, ke peralatan kontrol yang tersambung secara permanen ke suplai AC. Dalam hal ini, konektor dengan sekelompok pin kontrol dan sinyal diperlukan untuk kedua sisi kabel. Mode pengisian ulang ini

adalah tipikal stasiun pengisian daya umum dan umumnya dipasok dari listrik AC tiga fase pada 50/60Hz. Ini juga disebut solusi pengisian daya 'semi-cepat' karena memungkinkan untuk mengisi daya baterai dalam beberapa jam ketika pengemudi sedang bekerja atau selama aktivitas sehari-hari.

D. Mode 4

Ini telah diimplementasikan oleh konsorsium CHAdeMO dan ditandai dengan penggunaan pengisi daya off-board di mana fungsi pilot kontrol juga diperluas ke peralatan yang terhubung secara permanen ke suplai AC. Daya AC suplai diubah di stasiun pengisian daya menjadi DC dan steker memastikan bahwa hanya kendaraan listrik yang cocok yang dapat dihubungkan. Waktu pengisian daya yang umum pada mode 4 berkisar antara 20 hingga 30 menit. Dalam hal ini, waktu pengisian dibatasi oleh arus yang diperbolehkan sebesar 125 A dan tegangan 500 V dari konektor standar CHAdeMO. Menggabungkan tinggi konverter daya dengan teknologi baterai terbaru, mode pengisian daya ini dapat memungkinkan pengisian ulang dari 0 hingga 80% SOC baterai dalam waktu kurang dari 5 menit (pengisian daya sangat cepat).

Sebenarnya, situasi pasar masih menunjukkan ketidaksesuaian dengan mengacu pada mode yang disebutkan di atas karena produsen mobil listrik biasanya lebih suka melengkapi kendaraan mereka dengan pengisi daya on board Mode 1 satu fase. Dalam hal ini, soket standar 16 A dapat digunakan, diturunkan nilainya ke beban konstan 10÷12 A, membatasi daya pengisian ulang dalam kisaran 2,3 hingga 2,8 kW. Namun demikian, tren pasar di masa depan adalah menghadirkan kemungkinan untuk mengisi ulang paket baterai baik dalam mode 1÷2 maupun dalam mode4 melalui pemasangan dua soket berbeda pada mobil untuk dua jenis steker yang berbeda, seperti yang telah dilakukan untuk Nissan Leaf dan Mitsubishi i-Miev. Karena alasan ini, ada minat yang semakin besar untuk mempelajari arsitektur pengisian daya yang berbeda untuk mode 4 [18]. Tabel mensintesis karakteristik utama mode pengisian daya, menurut IEC 61851-1.

Tabel 2.3 Mode Pengisian Daya IEC 61851-1

| Mode Pengisian Daya | Arus Maks per fase | Waktu Pengisian Daya | Pengisi Daya Baterai Kendaraan |
|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|
| Mode 1 | 16 A | 4 – 8h | On Board |
| Mode 2 | 32 A | 2 – 4h | On Board |
| Mode 3 | 63 A | 1 – 2h | On Board |
| Mode 4 | 400 A DC | 5 – 30min | On Board |

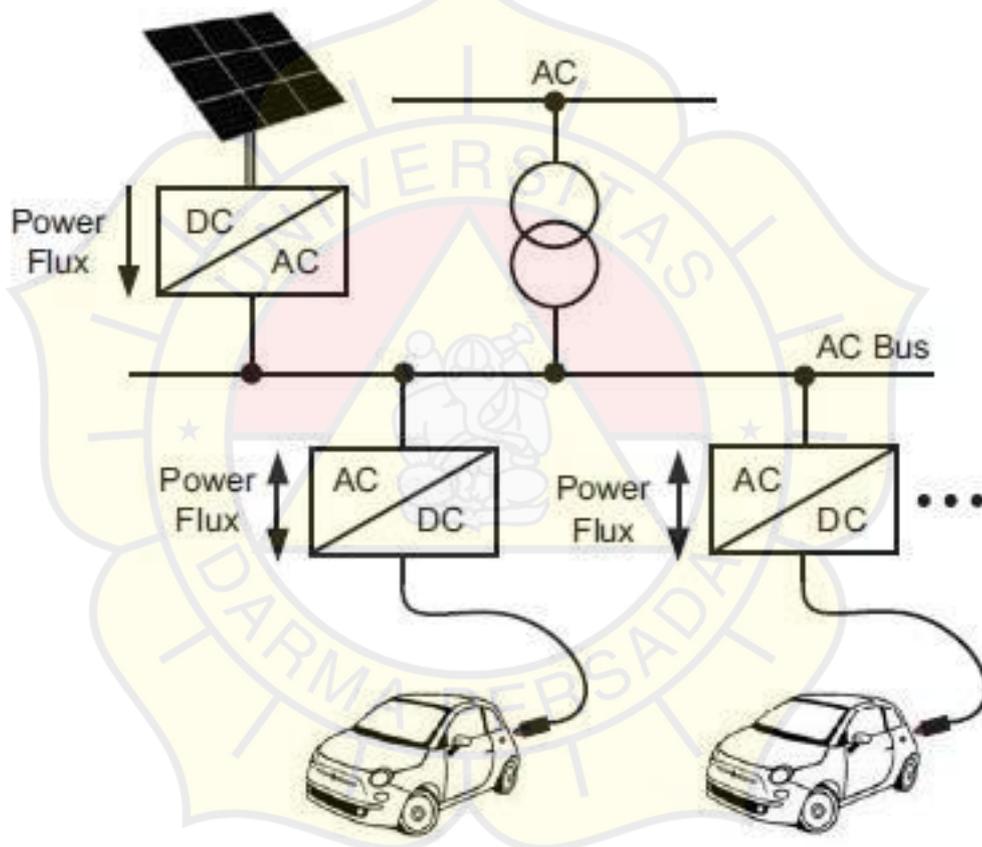
2.4.4 Arsitektur Pengisian Daya AC dan DC

Dua arsitektur pengisian daya yang berbeda diusulkan dengan bus AC atau DC [19]. Saat ini, produksi energi listrik dan infrastruktur transmisi dirancang untuk bekerja di AC dan sebagian besar beban listrik, seperti lampu, motor listrik, peralatan rumah tangga, disuplai di AC. Secara khusus, arsitektur AC pengisian daya untuk EV harus didasarkan pada bus AC untuk memungkinkan dan pada saat yang sama mengelola pembagian energi antara pengisi daya baterai, RES, dan jaringan listrik. Skema blok dari arsitektur ini diusulkan pada Gambar, di mana energi listrik dapat dibagi melalui konverter daya dua arah. Arsitektur ini akan cocok untuk mewujudkan skenario pengisian daya cerdas yang menghadirkan berbagai strategi manajemen energi V2G, yang diperoleh dengan agen agregasi EV yang tepat.

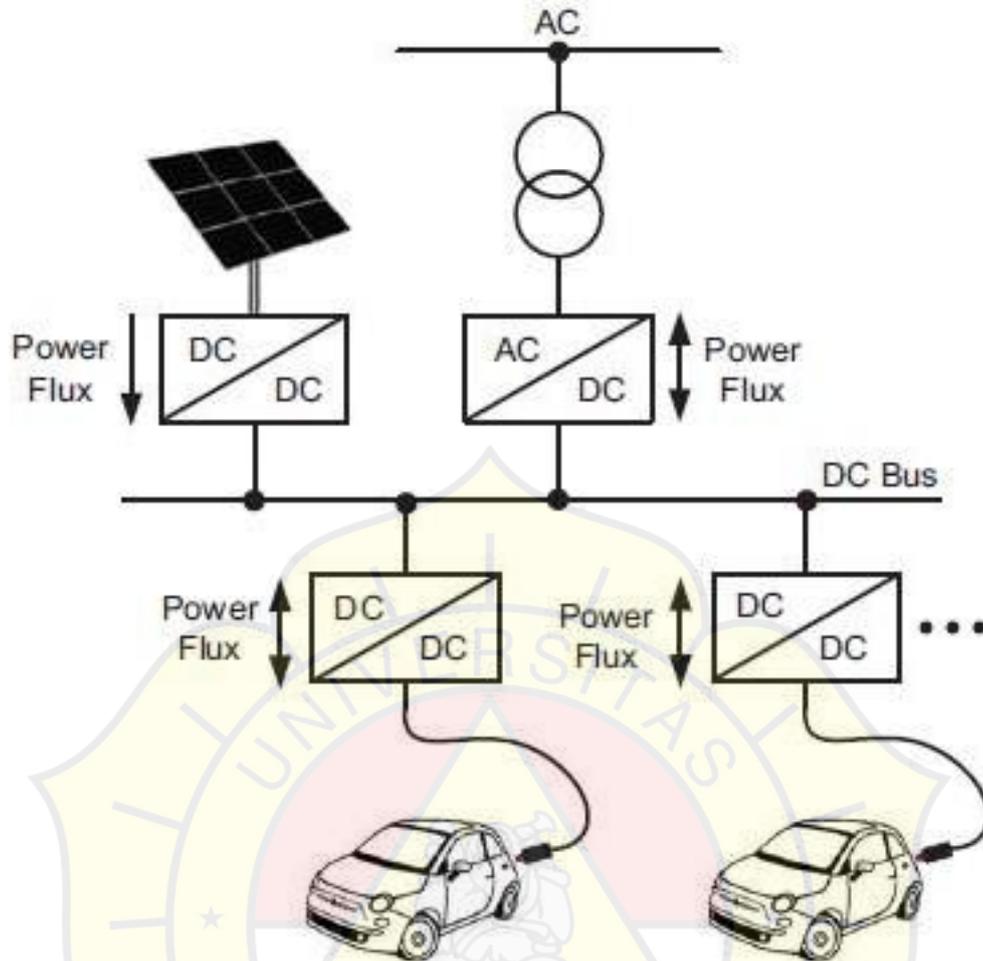
Meningkatnya minat terhadap pembangkit listrik terdistribusi, RES, EV, peralatan elektronik DC membuat kita mempertimbangkan kembali strategi manajemen energi yang baru. Faktanya, sistem penyimpanan EV perlu diisi ulang dalam DC, umumnya membutuhkan koneksi ke bus AC melalui konverter AC-DC efisiensi rendah. Selain itu, pembangkit listrik terdistribusi dengan RES sebagian besar direalisasikan dalam DC, dalam hal ini energi listrik perlu dikonversi dalam AC, untuk interkoneksi dengan jaringan listrik atau bus AC, dan kemudian dikonversi lagi dalam bentuk DC untuk memasok sebagian besar beban listrik dan untuk mengisi ulang baterai EV.

Konversi energi AC-DC ini (khususnya DC-AC-DC, dalam kasus pembangkit listrik PV) menghadirkan kerugian berupa kerugian yang tinggi. Solusi yang diusulkan untuk masalah semacam ini terdiri dari arsitektur berbasis bus DC, yang membutuhkan lebih sedikit tahap konversi daya AC-DC dan dengan demikian mengurangi kerugian dan biaya perangkat keras. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar.

Arsitektur yang diusulkan hanya menggunakan satu konverter AC-DC efisiensi tinggi, juga disebut Konverter Grid Tie, untuk mewujudkan bus DC, menghubungkan pengisian daya EV melalui konverter DC-DC dua arah, bukan konverter AC-DC setara yang diperlukan oleh arsitektur bus AC, dengan keuntungan besar dalam hal efisiensi energi dan biaya. Selain itu, bus DC memungkinkan sistem pembangkit RES untuk dihubungkan langsung melalui konverter DC-DC sederhana, menghindari kerugian konversi ganda (DC-AC-DC). Diperkirakan bahwa arsitektur ini menyajikan kerugian konversi yang berkurang dari sekitar 32% menjadi kurang dari 10%.



Gambar 2.31 Arsitektur Pengisian Daya EV dengan Bus AC



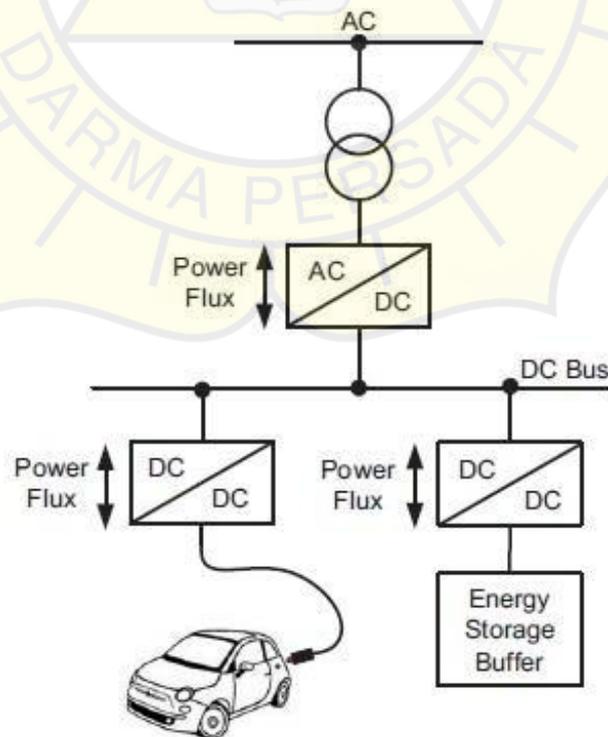
Gambar 2.32 Arsitektur Pengisian Daya EV dengan Bus DC

2.4.5 Arsitektur Pengisian Daya Ultra Cepat

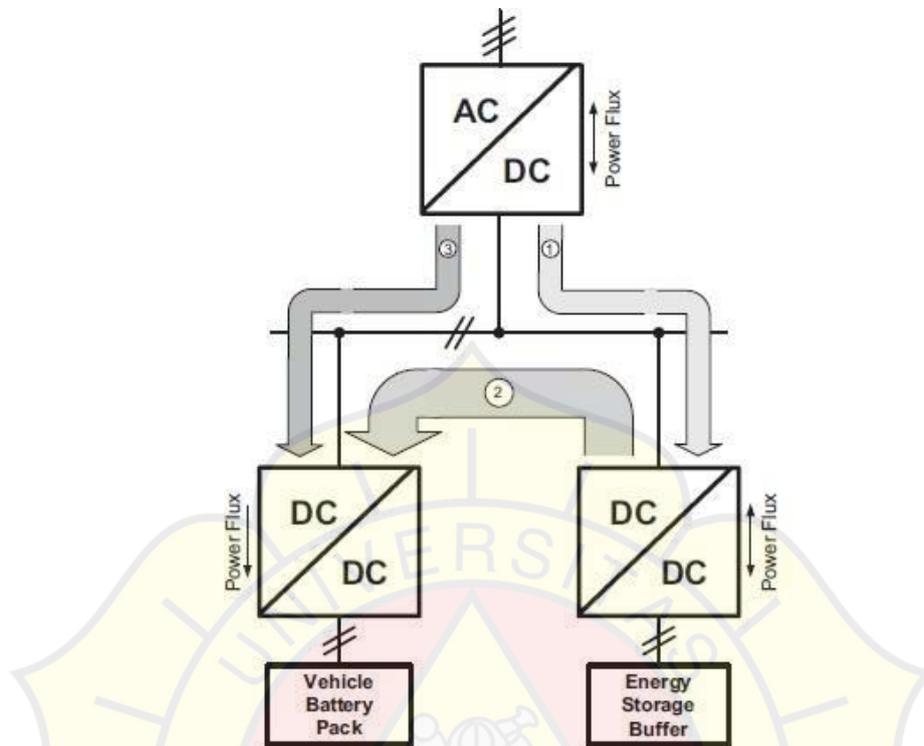
ujuan utama dari pengisian daya ultra cepat adalah pengurangan waktu pengisian daya hingga kurang dari 5 menit. Untuk memenuhi tujuan ini, sistem distribusi listrik diperlukan untuk memasok puncak daya, dan oleh karena itu sistem tersebut membutuhkan dimensi kabel, transformator daya, perangkat, dll. Kondisi kerja menjadi semakin kritis ketika banyak kendaraan yang berbeda diisi daya secara bersamaan. Berawal dari arsitektur yang ditunjukkan pada Gambar, kemungkinan pertama untuk mengurangi dampak pengisian daya ultra-cepat di atas pada jaringan didasarkan pada pemisahan beban dari jaringan suplai AC, dengan menggunakan sistem penyimpanan energi yang tidak bergerak. Dalam hal ini sistem penyimpanan energi bekerja sebagai penyangga daya yang disisipkan di antara jaringan listrik dan kendaraan pengisi daya. Konfigurasi ini juga dapat mengurangi ukuran konverter pengikat jaringan, dalam hal daya. Seperti yang ditunjukkan pada

Gambar, arsitektur pengisian daya dicirikan oleh konversi dua tahap dengan konverter AC/DC dan DC/DC. Skema tipikal arsitektur pengisian daya EV buffer dapat dilihat sebagai arsitektur bus DC tiga port, yang menghubungkan jaringan utama, kendaraan listrik, dan penyangga penyimpanan energi. Daya pengisian daya yang berasal dari konverter pengikat jaringan bergantung pada daya yang tersedia dari penyangga baterai, dan efisiensi konverter DC/DC.

Dua strategi manajemen energi yang berbeda untuk arsitektur pengisian daya ultra cepat yang baru saja dijelaskan dapat dievaluasi, yang memengaruhi desain konverter AC/DC dan penyangga baterai: strategi perataan beban dan pemindahan beban. Untuk kasus pertama, daya pengisian daya rata-rata dipasok oleh jaringan utama sedangkan puncak daya dipasok oleh penyangga baterai. Untuk strategi pemindahan beban, penyangga baterai menyimpan energi pada malam hari, saat beban jaringan secara keseluruhan minimal, dan melepaskan energi untuk pengisian daya EV pada siang hari, saat jaringan terisi penuh. Dengan cara ini, konverter AC/DC dapat dirampingkan, dengan mempertimbangkan bahwa fungsinya dapat dibatasi pada operasi pengisian daya rendah, selama fase penyangga, dan untuk mendukung daya pelepasan dari penyangga baterai, selama pengisian daya tinggi pada kendaraan.



Gambar 2.33 Arsitektur Pengisian Daya Mobil Listrik dengan Penyimpanan



Gambar 2.34 Fluks daya utama dalam arsitektur penyimpanan

- Fluks (1) menunjukkan pengisian daya pada daya rendah, ketika tidak ada kendaraan yang terhubung ke stasiun pengisian daya, dari jaringan ke penyangga penyimpanan energi untuk menjamin ketersediaan energi untuk pengisian daya EV berdaya tinggi berikutnya.
- Fluks (2) dan fluks (3) terlibat dalam pengisian daya tinggi untuk EV, ketika sebagian besar daya berasal dari penyangga dan jumlah daya yang disuplai oleh jaringan dengan fluks (3) sama dengan fluks (1), berdasarkan daya pengenal konverter AC/DC.

Melalui arsitektur yang diusulkan, pengisian ulang yang sangat cepat, dari 0 hingga 80% dari SoC, dievaluasi dalam waktu 5 menit, untuk kendaraan listrik dengan paket baterai 22kWh (yaitu Mitsubishi i-Miev), menggunakan penyangga dan daya jaringan. Dalam hal ini, infrastruktur pengisian ulang, berdasarkan konverter AC/DC 22 kW dan konverter daya tinggi DC/DC 210 kW, diusulkan dengan waktu penyangga energi (waktu yang dibutuhkan untuk mengisi ulang penyangga baterai) sekitar 45 menit untuk paket baterai stasioner LiFePO₄. Jenis paket baterai ini

diusulkan sebagai penyangga penyimpanan energi untuk mengambil keuntungan dari karakteristik baterai yang dapat dikosongkan pada tingkat yang sangat tinggi, tanpa kehilangan kapasitas aktual yang luar biasa sehubungan dengan nilai nominalnya. Di sisi lain, paket baterai kendaraan pengisian ulang dapat dipilih dengan mudah menggunakan teknologi lithium-titanat, mengambil keuntungan dari kemampuan tingkat pengisian yang tinggi [20].

2.4.6 Standar Pengisian Daya untuk Kendaraan Listrik di Eropa

Perusahaan listrik Eropa, khususnya operator sistem distribusi (DSO), berinvestasi pada infrastruktur yang diperlukan untuk berdiri di pasar tunggal Eropa untuk EV. Standar Eropa sangat diperlukan untuk memastikan bahwa pengemudi menikmati solusi pengisian daya di seluruh Uni Eropa yang nyaman yang menghindari banyaknya kabel dan adaptor dan biaya retrofit. Pada bulan Juni 2000, Komisi Eropa mengeluarkan mandat standarisasi kepada badan standarisasi Eropa CEN, CENELEC dan ETSI (M/468) mengenai pengisian daya EV. Mandat tersebut menekankan perlunya colokan dan sistem pengisi daya yang dapat dioperasikan bersama untuk mempromosikan pasar internal untuk EV dan untuk mencegah pengenaan hambatan pasar. Kelompok Fokus yang dibentuk untuk menanggapi M/468 memberikan laporan yang komprehensif dan berharga. Namun, mengingat bahwa tujuan mandatnya adalah untuk mencapai interoperabilitas, bukan adopsi konektor tunggal, tidak ada rekomendasi yang dibuat sehubungan dengan pilihan konektor listrik AC. Sebagai konsekuensinya, dua jenis konektor telah dinilai sesuai untuk situasi Eropa. Pilihan di antara keduanya diserahkan kepada pasar dan akan tergantung pada kerangka kerja peraturan Nasional yang berbeda. Saat ini satu-satunya standar yang tersedia di tingkat Eropa, yang berhubungan dengan sistem pengisian daya, colokan dan soket, terdapat dalam IEC 61851. Standar yang sebenarnya memberikan klasifikasi pertama dari jenis pengisi daya dalam fungsi daya pengenalnya dan juga waktu pengisian ulang, yang mendefinisikan tiga kategori yang tercantum di sini:

- Daya normal atau pengisian daya lambat, dengan daya terukur lebih rendah dari 3,7 kW, digunakan untuk aplikasi rumah tangga atau untuk parkir mobil listrik dalam waktu lama;

- Daya sedang atau pengisian daya cepat, dengan daya terukur dari 3,7 hingga 22 kW, digunakan untuk EV pribadi dan publik;
- Pengisian daya tinggi atau pengisian daya cepat dengan daya terukur lebih dari 22 kW, digunakan untuk EV umum.

Dalam fungsi jumlah daya, koneksi utama yang berbeda dimungkinkan dan dirangkum dalam hal peringkat listrik dalam Tabel.

Tabel 2.4 Peringkat Kelistrikan dari Berbagai Metode Pengisian Daya Mobil Listrik di Eropa

| Metode Pengisian Daya | Koneksi | Daya (kW) | Max saat ini [A] | Lokasi |
|-----------------------|--------------------------|-----------|------------------|-------------|
| Daya normal | AC 1-Fase koneksi | 3,7 | 10 – 16 | Domestik |
| Kekuatan sedang | 1 atau 3 fase Koneksi AC | 3,7 – 22 | 16 – 32 | Semi publik |
| Daya tinggi | AC 3 fase koneksi | > 22 | >32 | Publik |
| Daya tinggi | Koneksi DC | >22 | >3,225 | Publik |

Menyadari bahwa ada kebutuhan untuk menawarkan kepada pelanggan kemungkinan pengisian daya tinggi yang memungkinkan mereka untuk mengisi ulang baterai EV dalam jangka waktu yang terbatas, hanya koneksi daya tinggi yang akan memenuhi tujuan ini. Ada dua teknologi yang tersedia untuk pengisian daya tinggi: Pengisian daya off-board DC atau pengisian daya on-board AC.

Pengisian daya DC off-board lebih umum saat ini, karena diperkenalkannya generasi pertama mobil listrik Jepang di pasar otomotif Eropa. Namun demikian, produsen otomotif Eropa telah menyatakan niat mereka untuk mempromosikan EV dengan pengisi daya on-board, yang akan kompatibel dengan pengaturan suplai AC rentang daya tinggi. Untuk koneksi DC, soket Jepang (protokol CHAdeMO), dengan tingkat daya maksimum 50 kW, saat ini merupakan satu-satunya produk yang tersedia di pasar dan dengan demikian diluncurkan di beberapa negara Eropa meskipun belum distandardisasi secara internasional.

Namun, Industri Otomotif Eropa mempromosikan sistem pengisian daya gabungan dengan konektor Combo, yang memiliki fitur saluran masuk tunggal untuk pengisian daya AC dan DC di sisi EV dan berpotensi menghasilkan pengisian daya

tinggi hingga 100 kW di masa depan. Konektor Combo saat ini sedang dalam pengembangan dan melalui proses standarisasi IEC.

Komisi Eropa telah memutuskan bahwa semua kendaraan listrik harus memasang konektor "Tipe 2", seperti yang ditunjukkan pada Gbr. Hal ini akan menyelesaikan masalah utama terkait stasiun pengisian daya EV: kurangnya interoperabilitas.



Gambar 2.35 Konektor CHAdeMO



Gambar 2.36 Konektor CHAdeMO Tipe 2

Konektor ini juga dapat digunakan pada tiga fase 400 V, dengan total tujuh kontak. Konektor tipe 2 dapat mencapai nilai daya pengisian daya yang cukup tinggi: hingga 43 kW dengan kabel tetap (63A/400V), hingga 22 kW dengan kabel yang dapat dilepas (32A/400V).

Pilihan teknologi antara pengisi daya on-board atau off-board akan ditentukan oleh apa yang sesuai dengan EV yang ada di pasaran dan biaya relatif dari kedua sistem tersebut untuk penyedia infrastruktur. Untuk industri kelistrikan, tidak terlalu penting apakah konversi dari AC ke DC dilakukan di dalam atau di luar pesawat. Bagaimanapun, pengisian daya tinggi kemungkinan besar akan menjadi layanan dengan harga premium bagi pengemudi kendaraan listrik, yang penggunaannya harus didorong hanya ketika waktu pengisian daya sangat penting, yaitu di tengah perjalanan. Dalam kasus seperti itu, membatasi atau mengganggu pengisian daya untuk tujuan manajemen beban (kecuali untuk keadaan darurat) tidak mungkin dapat diterima oleh pelanggan EV. Untuk industri listrik, kemungkinan manajemen beban yang terbatas membuat pengisian daya tinggi menjadi kurang menarik.

2.4.7 Standar Pengisian Daya untuk Kendaraan Listrik di Amerika

Selama bertahun-tahun, Society of Automotive Engineering (SAE) telah mengerjakan standar J1772. Saat ini SAEJ1772 dalam versi terakhirnya mendefinisikan arsitektur sistem pengisian daya EV: ini mencakup persyaratan

fisik, kelistrikan, dan kinerja umum untuk sistem pengisian daya EV yang digunakan di Amerika Utara. Dalam fungsi daya pengenalan, tegangan dan arus, sistem pengisian daya untuk EV di Amerika Utara diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu AC Level 1, AC Level 2, dan DC Level 3. Secara khusus:

- Untuk Level I, pengisi daya terpasang dan menyediakan tegangan AC pada 120 atau 240 V dengan arus maksimum 15 A dan daya maksimum 3,3 kW.
- Untuk Level II, pengisi daya terpasang dan menyediakan tegangan AC pada 240 V dengan arus maksimum 60 A dan daya maksimum 14,4 kW.
- Untuk Level III, pengisi daya tidak terpasang, sehingga stasiun pengisian daya menyediakan tegangan DC langsung ke baterai melalui konektor DC, dengan daya maksimum 240 kW.

Tabel meringkas kebutuhan listrik dari tiga sistem pengisian daya di Amerika Utara.

Tabel 2.5 Peringkat Kelistrikan Metode Pengisian Daya yang Berbeda di Amerika Utara

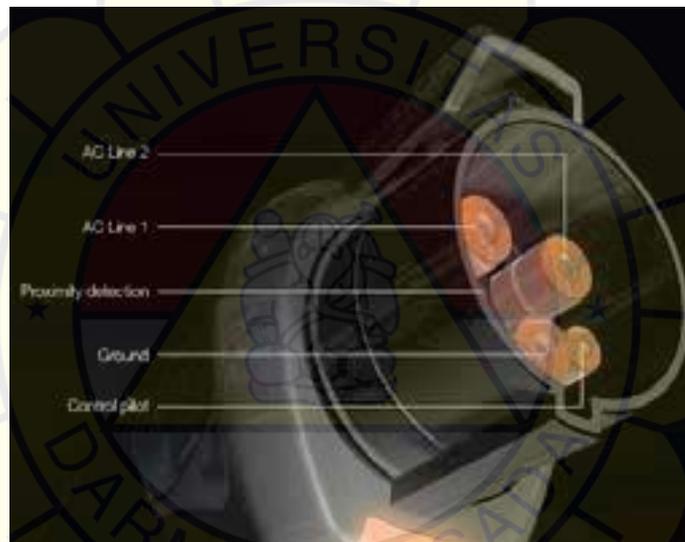
| Metode Pengisian Daya | Tegangan Suplai AC Nominal [V] | Arus Maksimum [A] | Daya Maksimum [kW] | Lokasi Pengisi Daya |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| AC level 1 | 120 | 12 | 1.44 | On-board 1-phase |
| AC level 2 | 240 | 32 | 7.7 | On-board 1 or 3 phase |
| DC level 3 | 208 – 600 | 400 | 240 | Off-board 3-phase |

SAE J1772 mendefinisikan konektor standar yang mencakup persyaratan fisik, kelistrikan, protokol komunikasi, dan kinerja umum untuk sistem pengisian daya konduktif dan penggandeng EV. Konektor SAE J1772 dianggap sebagai implementasi "Tipe 1" dari IEC 62196-2 yang menyediakan penggandeng fase tunggal.

Dalam fungsi tingkat daya pengisi daya, waktu pengisian daya berubah dan dengan itu jenis penggunaan sistem pengisian daya. Untuk alasan ini, tiga tingkat daya pengisian daya juga diklasifikasikan dalam metode rendah, primer dan cepat dalam fungsi waktu pengisian daya.



Gambar 2.37 Konektor IEC 62196-2 "Tipe 1" dengan Pinout



Gambar 2.38 Konektor IEC 62196-2 "Tipe 1" dengan Pinout

Klasifikasi lain dapat dibuat dari segi jenis stopkontak yang digunakan di stasiun pengisian daya. Standar Amerika mendefinisikan tiga jenis untuk tiga level:

- Metode pengisian daya Level 1, yang paling lambat, menggunakan stopkontak arde fase tunggal 120V/15A standar, seperti NEMA 5-15R. Sambungan dapat menggunakan konektor J1772 standar ke port EV AC. Untuk lokasi rumah atau bisnis, tidak diperlukan infrastruktur tambahan;
- Metode pengisian daya Level 2, yang utama untuk fasilitas pribadi dan publik khusus, membutuhkan peralatan khusus untuk pengisian daya di rumah atau publik;

- Metode pengisian daya Level 3, yang tercepat dan digunakan untuk aplikasi komersial, biasanya beroperasi dengan sirkuit tiga fase 480 V atau lebih tinggi dan membutuhkan pengisi daya papan untuk menyediakan konversi AC-DC yang diatur.

Standar untuk colokan dan perangkat keras DC sedang dalam proses. Protokol Jepang CHAdeMO mendapatkan pengakuan internasional. SAE juga mendefinisikan standar komunikasi untuk stasiun pengisian daya EV. Kelompok pertama berisi standar dan teknologi antara EV dan Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) yang diperlukan untuk pemantauan dan manajemen transfer energi, informasi penagihan, dan otorisasi. Standarisasi ini diperlukan untuk adopsi EV yang cepat dan berfungsinya komponen jaringan EV dengan baik. Standar utama tentang komunikasi disajikan pada gambar 2.37 dan gambar 2.38.

- SAE J2993: mencakup fungsionalitas dan arsitektur sistem yang diperlukan untuk sistem transfer energi kendaraan listrik;
- SAE J2836/1 & J2847/1: menetapkan persyaratan penggunaan dan kasus penggunaan untuk komunikasi antara EV dan jaringan listrik, terutama untuk transfer energi.

Fokus utamanya adalah transfer energi yang dioptimalkan untuk mobil listrik guna memastikan bahwa pengemudi memiliki energi yang cukup sekaligus meminimalkan tekanan pada jaringan listrik;

- SAE J2836/2 & J2847/2: menetapkan persyaratan dan kasus penggunaan untuk komunikasi antara EV dan pengisi daya DC off-board;
- SAE J2836/3 & J2847/3: ini menentukan kasus penggunaan dan pesan tambahan transfer energi (DC) dari jaringan ke kendaraan listrik. Juga mendukung persyaratan untuk jaringan ke transfer energi kendaraan;
- SAE J2931: menetapkan persyaratan komunikasi digital antara EV dan perangkat off-board.
- SAE J2931/1: menetapkan komunikasi saluran listrik untuk mobil listrik [18].