

## 4. PEMBAHASAN MASALAH

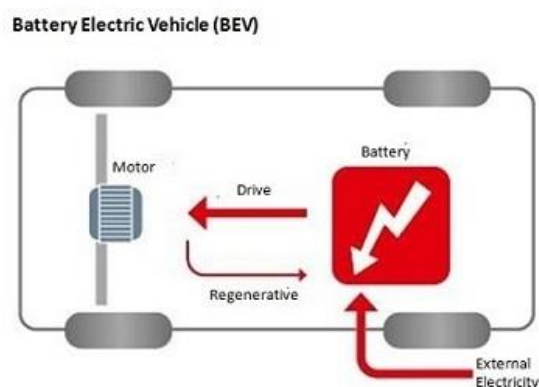
Dalam merancang pengembangan bengkel mobil konvensional menjadi bengkel mobil listrik di CV. GUT Motorsport, terdapat beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dan dievaluasi untuk efisiensi operasional bengkel. Perancangan transformasi bengkel ini ditujukan untuk GUT Motorsport cabang Citraland, Surabaya.

### 4.1 Jenis Mobil Listrik

Saat ini sudah banyak mobil listrik yang beredar, seperti namanya, mobil listrik itu sendiri bergerak menggunakan energi listrik. Akan tetapi, mobil listrik terdapat beragam jenisnya dan masing-masing memiliki ciri khasnya sendiri. Jenis-jenis dari mobil listrik yang ada saat ini adalah BEV, PHEV, HEV, FCEV (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).

#### 1) BEV

*Battery Electric Vehicle (BEV)*, juga disebut *All-Electric Vehicle (AEV)*, beroperasi sepenuhnya dengan baterai dan *drive train* listrik. Mobil listrik jenis ini tidak memiliki ICE. Listrik disimpan dalam baterai besar yang diisi dengan mencolokkannya ke jaringan listrik. Sebagai gantinya, paket baterai memberikan daya ke satu atau lebih motor listrik untuk menjalankan mobil listrik (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).



Gambar 4.1. Rancangan dan komponen utama dari BEV

Sumber: n.n. (n.d.). *Battery Electric Vehicle* [Online Image].

<https://www.omazaki.co.id/system/uploads/2019/09/Artikel-9-BEV.jpg>

Komponen BEV (*Types of electric cars and working principles*, n.d.):

- Motor listrik
- *Inverter*
- Baterai
- Modul kontrol
- *Drive Train*

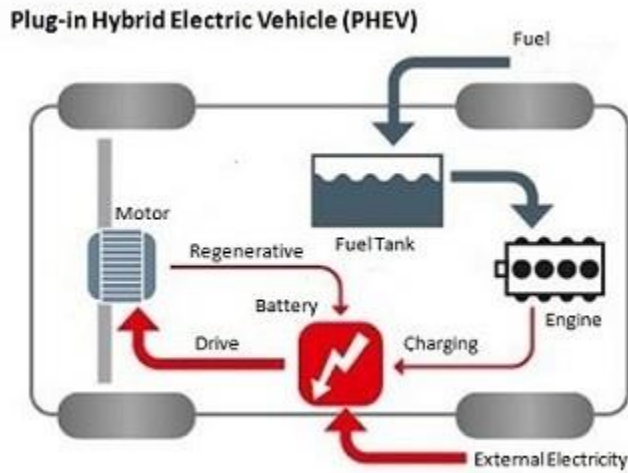
Prinsip kerja BEV (*Types of electric cars and working principles*, n.d.):

- Daya diubah dari baterai DC ke AC untuk motor listrik
- Pedal akselerator mengirimkan sinyal ke *controller* yang menyesuaikan kecepatan kendaraan dengan mengubah frekuensi daya AC dari *inverter* ke motor
- Motor menghubungkan dan memutar roda melalui roda gigi
- Ketika rem diinjak atau mobil listrik melambat, motor menjadi alternator dan menghasilkan tenaga, yang dikirim kembali ke baterai

## 2) PHEV

PHEV merupakan salah satu jenis kendaraan *hybrid* baik ICE maupun motor, sering juga disebut dengan *hybrid* seri. Jenis mobil listrik ini menawarkan pilihan bahan bakar. Jenis mobil listrik ini ditenagai oleh bahan bakar konvensional (seperti bensin) atau bahan bakar alternatif (seperti bio-diesel) dan dengan baterai yang dapat diisi ulang. Baterai dapat diisi dengan listrik dengan mencolokkannya ke stopkontak listrik atau stasiun pengisian kendaraan listrik (EVCS). PHEV umumnya dapat berjalan dengan setidaknya 2 mode (*Types of electric cars and working principles*, n.d.):

- Mode *All-electric*, di mana motor dan baterai menyediakan semua energi mobil
- Mode *Hybrid*, di mana listrik dan bensin digunakan
- Beberapa PHEV dapat melakukan perjalanan lebih dari 70 mil dengan listrik saja



Gambar 4.2. Rancangan dan komponen utama PHEV

Sumber: *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* [Online Image].

<https://www.omazaki.co.id/system/uploads/2019/09/Artikel-9-PHEV.jpg>

Komponen PHEV (*Types of electric cars and working principles, n.d.*):

- Motor listrik
- Mesin
- *Inverter*
- Baterai
- Tangki bahan bakar
- Modul kontrol
- Pengisi Daya Baterai (jika terpasang)

Prinsip Kerja PHEV:

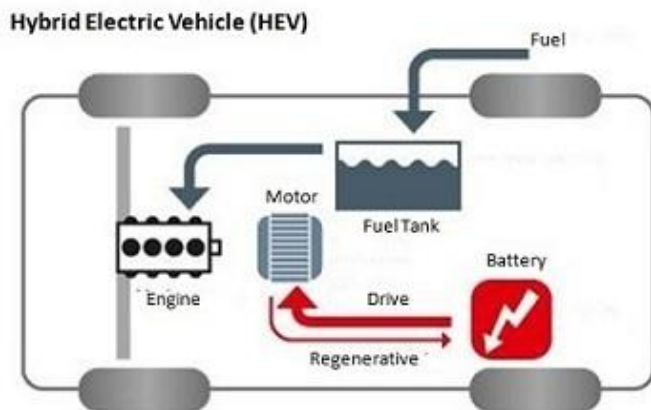
PHEV biasanya menyala dengan mode semua serba listrik dan beroperasi dengan listrik sampai baterainya habis. Beberapa model beralih ke mode *hybrid* ketika mencapai kecepatan jalan raya, umumnya di atas 60 atau 70 mil per jam. Setelah baterai kosong, mesin mengambil alih dan kendaraan beroperasi sebagai kendaraan konvensional, *non-plug-in hybrid* (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).

Selain dicolokkan ke sumber daya listrik luar, baterai PHEV dapat diisi oleh mesin pembakaran internal atau pengereman regeneratif. Selama pengereman, motor listrik bertindak sebagai generator, menggunakan energi dari pengereman untuk mengisi baterai. Motor listrik melengkapi tenaga mesin, alhasil, kendaraan dapat menggunakan mesin yang lebih kecil, meningkatkan efisiensi bahan bakar mobil tanpa mengurangi performa (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).

### 3) HEV

Jenis mobil *hybrid* ini sering disebut dengan *standard hybrid* atau *parallel hybrid*. HEV memiliki ICE dan motor listrik. Pada mobil listrik jenis ini, mesin pembakaran dalam mendapatkan energi dari bahan bakar (bensin dan jenis bahan bakar lainnya), sedangkan motor mendapatkan listrik dari baterai. Mesin bensin dan motor listrik secara bersamaan memutar transmisi yang menggerakkan roda (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).

Perbedaan antara HEV dibandingkan dengan BEV dan PHEV adalah baterai di HEV hanya dapat diisi oleh ICE, gerakan roda atau kombinasi keduanya. Tidak ada *charging port*, sehingga baterai tidak dapat diisi ulang dari luar sistem, misalnya dari jaringan listrik (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).



Gambar 4.3. Rancangan dan komponen utama HEV

Sumber: n.n. (n.d.). *Hybrid Electric Vehicle* [Online Image].

<https://www.omazaki.co.id/system/uploads/2019/09/Artikel-9-HEV.jpg>

Komponen HEV (*Types of electric cars and working principles, n.d.*):

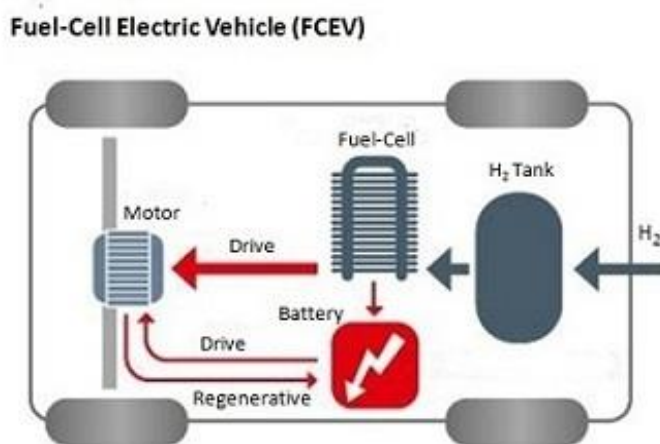
- Mesin
- Motor listrik
- Paket baterai dengan *controller* dan *inverter*
- Tangki bahan bakar
- Modul kontrol

Prinsip Kerja HEV (*Types of electric cars and working principles, n.d.*):

- Memiliki tangki bahan bakar yang menyuplai bensin ke mesin seperti mobil biasa
- Kendaraan ini juga memiliki satu set baterai yang menjalankan motor listrik
- Baik mesin dan motor listrik dapat memutar transmisi secara bersamaan

#### 4) FCEV

*Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)* dikenal sebagai kendaraan berbahan bakar sel (FCVs) atau *Zero Emission Vehicle*, adalah jenis mobil listrik yang menggunakan 'teknologi bahan bakar sel' untuk menghasilkan listrik yang dibutuhkan untuk menjalankan kendaraan. Pada kendaraan jenis ini, energi kimia bahan bakar diubah langsung menjadi energi listrik (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).



Gambar 4.4. Rancangan dan komponen utama FCEV

Sumber: n.n. (n.d.). *Fuel-Cell Electric Vehicle* [Online Image].

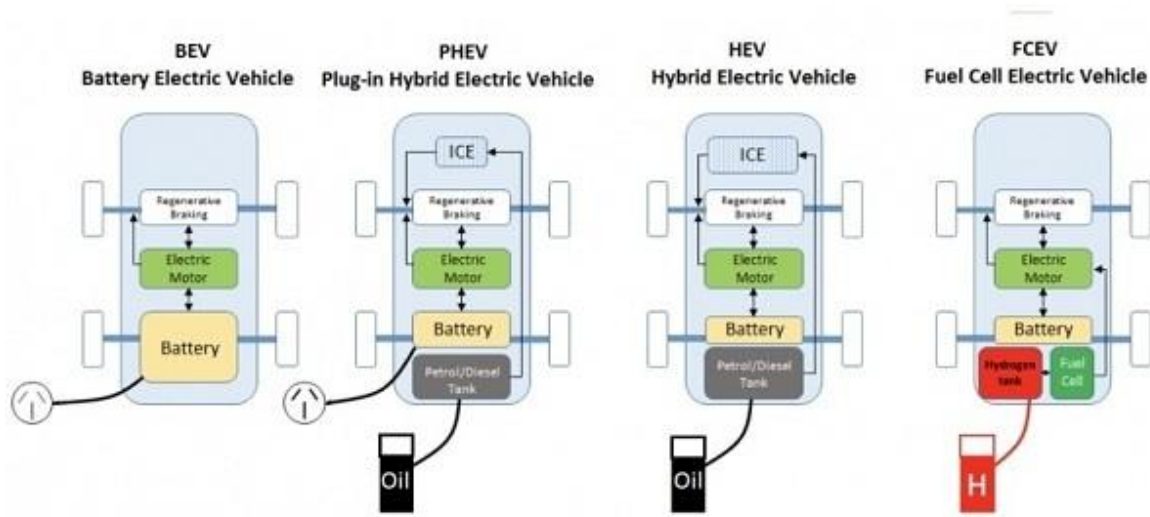
<https://www.omazaki.co.id/system/uploads/2019/09/Artikel-9-FCEV.jpg>

Komponen FCEV (*Types of electric cars and working principles, n.d.*):

- Motor listrik
- Tumpukan *fuel-cell*
- Tangki penyimpanan hidrogen
- Baterai dengan *converter* dan *controller*

Prinsip Kerja FCEV:

Prinsip kerja mobil listrik 'berbahan bakar sel' berbeda dengan mobil listrik '*plug-in*'. Hal ini dikarenakan FCEV menghasilkan listrik yang dibutuhkan untuk menjalankan kendaraan ini pada kendaraan itu sendiri (*Types of electric cars and working principles, n.d.*).



Gambar 4.5. Ragam Jenis Mobil Listrik

Sumber: n.n. (n.d.). *Types of electric cars* [Online Image].

<https://www.omazaki.co.id/system/uploads/2019/09/Artikel-9-BEV-PHEV-HEV-FCEV.jpg>

## 4.2 Komponen Baru pada Mobil Listrik

Untuk menyiapkan transformasi bengkel, terdapat komponen-komponen baru yang perlu diperhatikan pada mobil listrik yang tidak ada pada mobil *internal combustion engine*.

### 1) Baterai Traksi

Baterai traksi EV adalah penyimpanan energi yang dapat diisi ulang yang memasok daya ke motor listrik dengan sangat cepat, memberikan EV kinerja tinggi dan akselerasi yang cepat. Beberapa sel baterai lithium ion individual terhubung untuk membuat sebuah modul baterai. Sekelompok modul baterai yang terhubung terdapat di dalam *casing* baterai yang tertutup dengan perlindungan pada bagian bawah bodi mobil, dikenal sebagai paket baterai. Dalam kendaraan listrik penumpang, baterai biasanya terletak di sepanjang lantai kendaraan, dalam bentuk persegi panjang atau seperti huruf "T". Kendaraan listrik komersial & angkutan umum mungkin memiliki beberapa paket baterai yang terletak di depan, belakang, samping & bahkan atap kendaraan (*03.4 Electric vehicle batteries, n.d.*). Berikut adalah penjelasan mengenai baterai dan letaknya pada mobil listrik:

#### 1. Sel baterai

Sel baterai lithium silinder, prismatic, dan bentuk kantong paling sering digunakan dalam paket baterai traksi kendaraan listrik (*03.4 Electric vehicle batteries, n.d.*).



Gambar 4.6. Jenis-jenis sel baterai lithium

Sumber: n.n. (n.d.). *Battery Cells* [Online Image].

[https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1\\_e88be8ce6c45457c8aa173a3ad9eec3c~mv2.png/v1/crop/x\\_292,y\\_115,w\\_821,h\\_836/fill/w\\_134,h\\_137,al\\_c,q\\_85,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01,enc\\_auto/Electric%20Ovehicle%20lithium%20pouch%20battery%20cell.png](https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1_e88be8ce6c45457c8aa173a3ad9eec3c~mv2.png/v1/crop/x_292,y_115,w_821,h_836/fill/w_134,h_137,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/Electric%20Ovehicle%20lithium%20pouch%20battery%20cell.png)

## 2. Modul Baterai

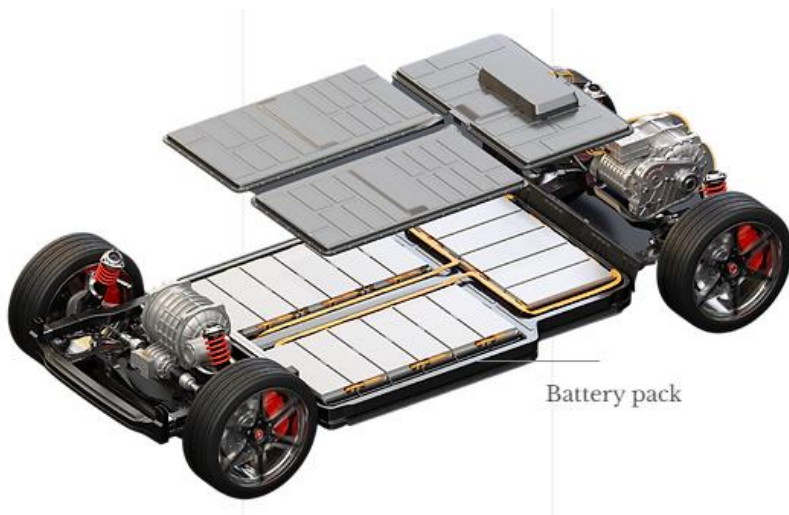


Gambar 4.7. Modul baterai

Sumber: n.n. (n.d.). *Battery Modules* [Online Image].

[https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1\\_2ae70a9c302145f989b9c4c6f3e8e091~mv2.png/v1/crop/x\\_303,y\\_322,w\\_852,h\\_536/fit/w\\_392,h\\_247,al\\_c,q\\_85,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01,enc\\_auto/37.png](https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1_2ae70a9c302145f989b9c4c6f3e8e091~mv2.png/v1/crop/x_303,y_322,w_852,h_536/fit/w_392,h_247,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/37.png)

## 3. Paket Baterai

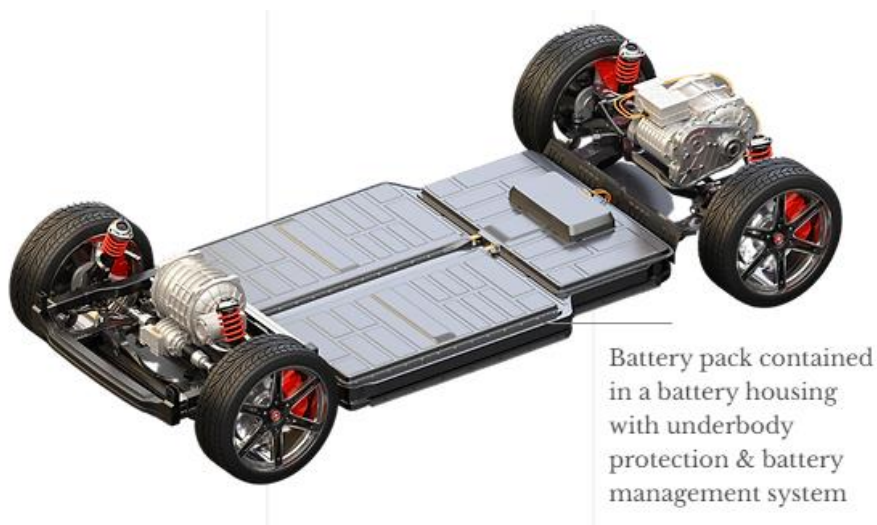


Gambar 4.8. Paket baterai

Sumber: n.n. (n.d.). *Battery Pack* [Online Image].

[https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1\\_a80bfd73d7db46efabea723ebb6a8f00~mv2.png/v1/crop/x\\_179,y\\_123,w\\_1539,h\\_1270/fit/w\\_361,h\\_302,al\\_c,q\\_85,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01,enc\\_auto/Electric%20vehicle%20battery%20pack%20exploded%20view.png](https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1_a80bfd73d7db46efabea723ebb6a8f00~mv2.png/v1/crop/x_179,y_123,w_1539,h_1270/fit/w_361,h_302,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/Electric%20vehicle%20battery%20pack%20exploded%20view.png)

#### 4. Kerangka Mobil Listrik



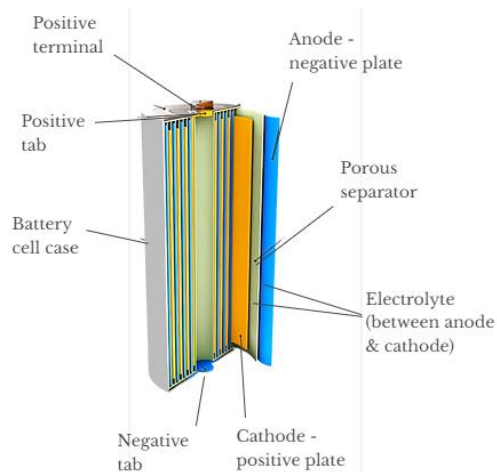
Gambar 4.9. Kerangka mobil listrik

Sumber: n.n. (n.d.). *Electric vehicle chassis (exploded view)* [Online Image].

[https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1\\_a80bfd73d7db46efabea723ebb6a8f00~mv2.png/v1/rop/x\\_179,y\\_123,w\\_1539,h\\_1270/fit/w\\_361,h\\_302,al\\_c,q\\_85,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01,enc\\_auto/Electric%20vehicle%20battery%20pack%20exploded%20view.png](https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1_a80bfd73d7db46efabea723ebb6a8f00~mv2.png/v1/rop/x_179,y_123,w_1539,h_1270/fit/w_361,h_302,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/Electric%20vehicle%20battery%20pack%20exploded%20view.png)

#### 5. Cara Kerja Baterai Lithium Ion

Seperti semua baterai, sel baterai lithium ion mengandung dua elektroda, katoda (positif) & anoda (negatif). Anoda terbuat dari karbon, terutama grafit, dan katoda dari logam oksida, termasuk lithium. Ion lithium bergerak di antara elektroda melalui elektrolit, menciptakan arus listrik melalui konversi energi kimia menjadi energi listrik. Pemisah berpori yang sangat tipis berada di antara katoda & anoda (03.4 *Electric vehicle batteries*, n.d.).



Gambar 4.10. Sel baterai lithium ion

Sumber: n.n. (n.d.). *Lithium Ion Battery Cells* [Online Image].

[https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1\\_07a1556f794549bf8d557d12db56da9b~mv2.png/v1/crop/x\\_396,y\\_0,w\\_619,h\\_1182/fit/w\\_161,h\\_308,al\\_c,q\\_85,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01,enc\\_auto/Structure%20of%20a%20lithium%20ion%20battery%20EV.png](https://static.wixstatic.com/media/8b9ad1_07a1556f794549bf8d557d12db56da9b~mv2.png/v1/crop/x_396,y_0,w_619,h_1182/fit/w_161,h_308,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/Structure%20of%20a%20lithium%20ion%20battery%20EV.png)

Pada mobil listrik, tidak ada sistem pengisian baterai yang terus menerus selama mobil jalan seperti alternator pada mobil ICE. Sehingga cara satu-satunya untuk melakukan pengisian baterai yang paling efektif pada mobil listrik adalah dengan melakukan pengisian daya ulang melalui *onboard charger* dan stasiun daya listrik.

Pengereman regeneratif sebenarnya adalah contoh terdekat dengan pengisian baterai selama mobil berjalan, hanya saja pengisian listrik pada sistem ini hanya terjadi saat pengemudi melepaskan injakkan pada pedal gas. Motor DC secara mendasar bekerja karena arus listrik mengalir melalui stator (komponen stasioner) sehingga menghasilkan medan magnet yang kemudian memutar rotor (komponen yang bergerak/berputar). Pada saat pengemudi menginjak pedal gas, arus listrik mengalir ke stator. Tetapi saat pengemudi melepaskan injakkannya pada pedal gas, mobil masih tetap berjalan dan memiliki energi untuk tetap berjalan sehingga rotor terus berputar. Di titik inilah arus listrik mengalir ke arah yang berlawanan terhadap motor sehingga motor menjadi sebuah generator yang mampu melakukan pengisian daya terhadap baterai (Sibs / Alex Sibila, 2019).

## 2) Inverter

*Inverter* mengontrol frekuensi daya yang disuplai ke motor AC untuk mengontrol kecepatan putaran motor. Tanpa *inverter*, motor AC akan beroperasi dengan kecepatan penuh sesaat setelah catu daya dihidupkan. Pengemudi tidak akan dapat mengontrol kecepatannya, menyebabkan penggunaan motor terbatas. Penggunaan inverter untuk mengatur kecepatan dan percepatan motor AC meningkatkan jangkauan penggunaan motor dibandingkan dengan motor yang beroperasi pada kecepatan konstan. Kecepatan motor biasanya diukur sebagai jumlah putaran per menit (rpm). Laju percepatan ditunjukkan sebagai perubahan kecepatan selama periode waktu tertentu (*inverters*, n.d.).



Gambar 4.11. *Inverter*

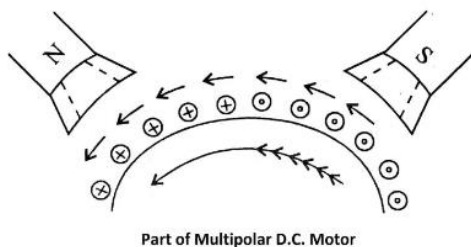
Sumber: n.n. (n.d.). *Inverter* [Online Image]. [https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/commercial-vehicles/powertrain-solutions/eregio-truck/inverter/20-10-14\\_bosch\\_20157\\_inverter\\_bildtext\\_1176x662.jpg](https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/commercial-vehicles/powertrain-solutions/eregio-truck/inverter/20-10-14_bosch_20157_inverter_bildtext_1176x662.jpg)

## 3) Motor Traksi

Motor traksi adalah komponen utama yang berfungsi menggerakkan mobil listrik. Terdapat banyak jenis motor traksi pada mobil listrik, berikut adalah jenis yang paling umum digunakan, diantaranya:

## 1. DC Motor

- Prinsip kerja: motor DC adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi arus searah dan sebaliknya. Ketika suplai utama diterapkan pada konduktor *armature* dan magnet medan dieksitasi, konduktor mengalami gaya yang cenderung memutar angker. Konduktor *armature* di bawah kutub-N diasumsikan membawa arus ke bawah dan kutub-S membawa arus ke atas. Sekarang dengan menerapkan aturan tangan kiri Fleming, arah gaya pada setiap konduktor dapat ditemukan. Ini ditunjukkan oleh tanda panah kecil pada gambar di setiap konduktor (M, 2021).



Gambar 4.12. Bagian dari motor DC multipolar

Sumber: M, S. (2021). *Part of multipolar D.C. motor* [Online Image].

<https://www.theengineerspost.com/wp-content/uploads/2019/10/Multipolar-D.C.-Motor-768x404.jpg>

Gaya 'F' yang dialami oleh masing-masing konduktor cenderung memutar *armature* dalam arah berlawanan arah jarum jam. Torsi kontinu dan searah dikembangkan oleh komutator yang membalikkan arus di setiap konduktor saat melewati dari satu kutub ke kutub lainnya. Operasi motor DC didasarkan pada prinsip kerja bahwa ketika konduktor pembawa arus terletak di medan magnet, konduktor mengalami gaya mekanik, dipandu oleh aturan tangan kiri Fleming dan besarnya diberikan oleh (M, 2021):

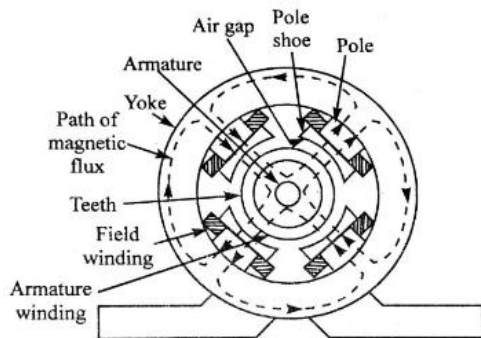
$$F = BIl \text{ newtons} \quad (4.1)$$

Di mana,

B = Kerapatan fluks dalam kubik/m<sup>2</sup>

I = Arus yang melalui penghantar dalam ampere.

l = Panjang penghantar dalam meter.



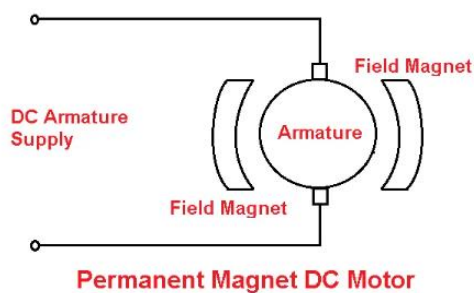
**Construction of D.C. Motor**

Gambar 4.13. Konstruksi motor DC

Sumber: M, S. (2021). *Construction of D.C. motor* [Online Image].

<https://www.theengineerspost.com/wp-content/uploads/2019/10/Coonstruction-of-D.C.-Motor-768x617.jpg>

Pada motor DC ada *Permanent Magnet DC Motor*, yaitu motor DC dengan magnet permanen yang memiliki lilitan *armature* seperti motor biasa tetapi tidak memiliki lilitan medan. Pada motor DC jenis ini, magnet permanen yang dimagnetisasi secara radial ditempatkan di dalam inti stator untuk menghasilkan fluks. Sedangkan rotor terdiri dari *armature* DC konvensional dengan segmen komutator dan sikat (M, 2021).

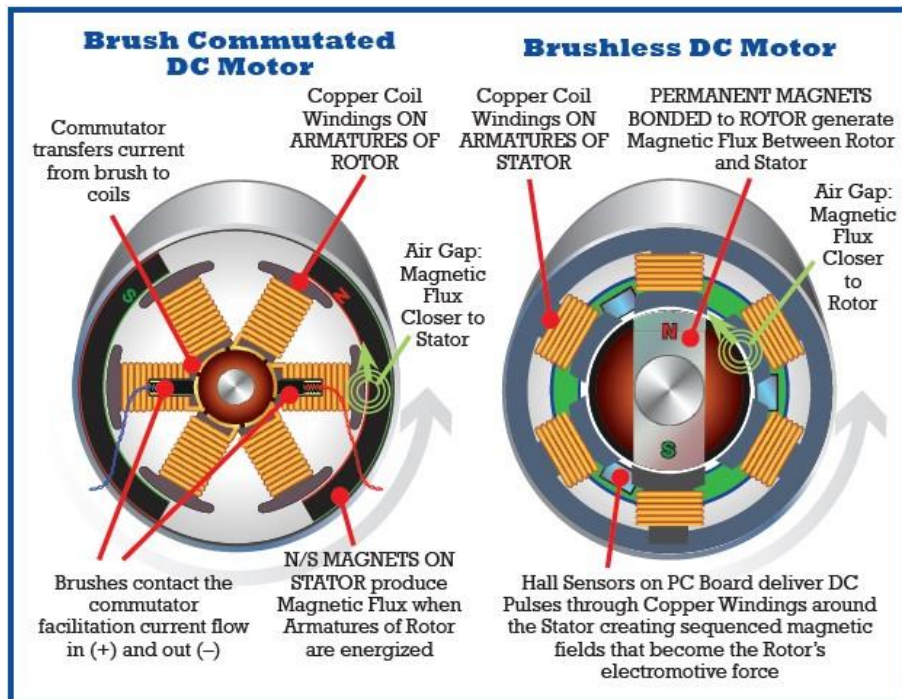


Gambar 4.14. Motor DC dengan permanen magnet

Sumber: M, S. (2021). *Permanent Magnet D.C. motor* [Online Image].

<https://www.theengineerspost.com/wp-content/uploads/2021/09/Permanent-magnet-DC-motor.png?ezimgfmt=ng:webp/ngcb19>

- Keuntungan terbesar motor DC di EV adalah konstruksi yang kuat dan kontrol yang sederhana. Motor DC memiliki karakteristik kecepatan torsi yang sesuai yang memberikan torsi tinggi pada kecepatan rendah. Kerugian utamanya adalah ukuran, efisiensi rendah, keandalan rendah, perawatan tinggi, dan kecepatan yang terbatas karena gesekan antara sikat dan kolektor. Ada dua jenis motor DC: motor DC *brushless* dan *brushed* (Osmanbasic, 2020).



Gambar 4.15. *Brush commutated DC motor dan brushless DC motor*

Sumber: n.n. (n.d.). *Illustrative Comparison of Brush vs. Brushless Motor Mechanisms*

[Online Image]. [https://www.haydonkerkpittman.com/-/media/ametekhaydonkerk/images/white-papers/dc-brush-commutated-vs-brushless-motors/figure\\_3.jpg?revision=c6b76e4b-43bc-4b4a-9c35-44b552924a17&la=en&hash=A9B4C8BF33B4C362AE65981E286595E8](https://www.haydonkerkpittman.com/-/media/ametekhaydonkerk/images/white-papers/dc-brush-commutated-vs-brushless-motors/figure_3.jpg?revision=c6b76e4b-43bc-4b4a-9c35-44b552924a17&la=en&hash=A9B4C8BF33B4C362AE65981E286595E8)

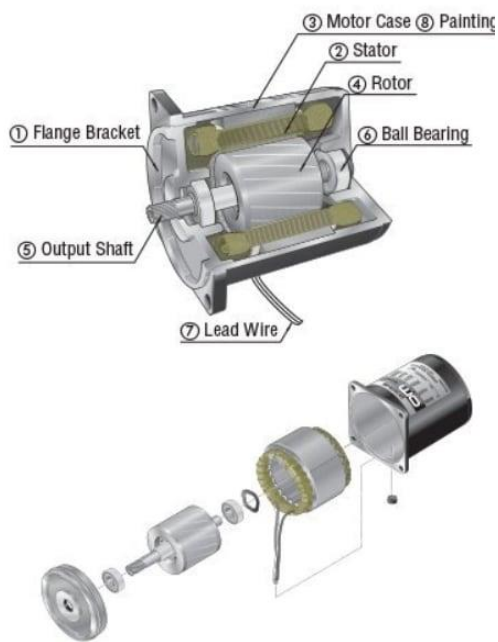
## 2. *Permanent Magnet Brushless DC Motor (PM BLDC)*

- Motor PM BLDC menggunakan magnet permanen sebagai pengganti lilitan rotor. Karena tidak termasuk *losses* rotor, efisiensinya lebih tinggi daripada motor induktif. Motor PM BLDC memiliki wilayah operasi daya konstan yang pendek karena medan magnet permanennya dilemahkan oleh medan stator. Karena EV membutuhkan wilayah daya konstan yang lebih

luas, hal ini dapat diperpanjang dengan menggunakan kontrol sudut konduksi di mana rentang kecepatan dapat mencapai tiga hingga empat kali kecepatan dasar. Magnet permanen juga membatasi torsi motor tinggi. Magnet secara signifikan dipengaruhi oleh suhu tinggi yang mengurangi sisa kerapatan fluks, demikian juga dengan kapasitas torsi motor. Kekuatan mekanik dan harga magnet adalah kelemahan terbesar dari jenis motor ini. Peningkatan gaya sentrifugal yang disebabkan oleh kecepatan putaran motor yang lebih tinggi dapat menyebabkan masalah keamanan karena kemungkinan magnet terputus (Osmanbasic, 2020).

### 3. *Induction Motor (IM)*

- Prinsip kerja: motor induksi (disebut juga sebagai motor asinkron) adalah motor AC. Saluran arus motor mengalir ke lilitan stator untuk mengatur fluks yang disebut fluks utama atau fluks stator, yang melewati celah udara untuk diputus oleh konduktor lilitan rotor. Akibatnya, sebuah gaya gerak listrik akan diinduksi dalam lilitan rotor, menghasilkan arus mengalir dalam lilitan rotor, dan menghasilkan fluks yang disebut fluks rotor. Interaksi antara dua fluks (fluks stator dan rotor) menghasilkan putaran dari bagian motor yang berputar (rotor). Rotor menerima daya listrik dengan cara yang sama seperti lilitan sekunder trafo listrik menerima daya dari lilitan primer melalui induksi listrik. Itulah sebabnya motor induksi dapat disebut sebagai trafo berputar yaitu, di mana lilitan primer stasioner, tetapi yang sekunder bebas berputar (Alkadhim, 2020).
- Jenis motor ini sangat umum di EV karena konstruksinya yang sederhana, keandalan yang tinggi, ketahanan, perawatan yang sederhana, serta biaya dan pengoperasian yang rendah pada kondisi lingkungan yang berbeda. Kerugian dari IM adalah efisiensi yang sedikit lebih rendah (dibandingkan dengan motor PM), *losses* daya yang lebih tinggi (meningkat karena *cage losses*), dan faktor daya yang relatif rendah. Pelemahan fluks dapat digunakan untuk memperpanjang rentang kecepatan di wilayah operasi daya konstan. Wilayah ini dapat diperluas dengan menggunakan inverter ganda juga. *Losses* rotor juga dapat dikurangi dengan desain motor yang hati-hati (Osmanbasic, 2020).



Gambar 4.16. Motor induksi

Sumber: Osmanbasic, E. (2020). Construction of an induction motor. (Image courtesy of Orientalmotor.) [Online Image]. [https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w\\_640,h\\_640,c\\_limit,q\\_auto,f\\_auto/image003\\_nhktje.jpg](https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w_640,h_640,c_limit,q_auto,f_auto/image003_nhktje.jpg)

#### 4. Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM)

- PMSM mirip dengan BLDC, memiliki magnet permanen di rotor. Tidak seperti motor BLDC yang memiliki bentuk gelombang gaya gerak listrik balik trapesium (EMF), PMSM memiliki EMF balik sinusoidal. PMSM memiliki konstruksi yang sederhana, efisiensi tinggi, dan kepadatan daya yang tinggi, sehingga cocok untuk digunakan sebagai motor traksi (umum pada kendaraan *hybrid*, EV, dan bus). Motor PMSM memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan IM. Kelemahan dari jenis ini adalah biaya tinggi, kehilangan arus eddy di magnet permanen pada kecepatan tinggi, dan risiko keandalan karena kemungkinan magnet terputus. Ada dua jenis motor PMSM: Surface-Mounted Permanent Magnet (SPM) dan Interior Permanent Magnet (IPM). Motor IPM memiliki kinerja yang lebih baik daripada SPM, tetapi kelemahannya adalah desainnya yang rumit (Osmanbasic, 2020).



Gambar 4.17. Motor PMSM

Sumber: Karthik, S.H. (2019). *Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM)* [Online Image].

<https://circuitdigest.com/sites/default/files/inlineimages/u1/Permanent-Magnet-Synchronous-Motor-of-Toyota-Prius-2004.jpg>

#### **4) Controller**

*Controller* kendaraan listrik adalah paket elektronik yang beroperasi antara baterai dan motor untuk mengontrol kecepatan dan akselerasi kendaraan listrik seperti yang dilakukan karburator di kendaraan berbahan bakar bensin. *Controller* mengubah arus searah baterai menjadi arus bolak-balik (hanya untuk motor AC) dan mengatur aliran energi dari baterai. Tidak seperti karburator, *controller* juga akan membalikkan putaran motor (sehingga kendaraan dapat mundur), dan mengubah motor menjadi generator (sehingga energi kinetik gerak dapat digunakan untuk mengisi ulang baterai saat rem digunakan). *Controller* pada sebagian besar kendaraan juga memiliki sistem untuk pengereman regeneratif. Pengereman regeneratif adalah suatu proses dimana motor digunakan sebagai generator untuk mengisi ulang baterai ketika kendaraan melambat. Selama pengereman regeneratif, sebagian energi kinetik biasanya diserap oleh rem dan diubah menjadi panas diubah menjadi listrik oleh motor/*controller* dan digunakan untuk mengisi ulang baterai. Pengereman regeneratif tidak hanya meningkatkan jangkauan kendaraan listrik sebesar 5 - 10%, juga mengurangi keausan rem dan mengurangi biaya perawatan (*Advanced vehicle testing activity*, n.d.).

Pada perangkat lunak *controller*, terdapat beberapa sistem kontrol (*EV design – vehicle control modes*, n.d.):

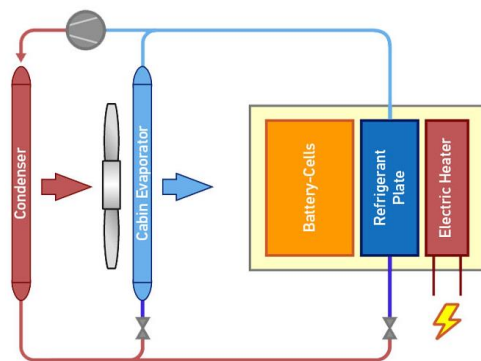
- Electric Machine Control System (EMCS)
- Stability Control System (SCS)
- Battery Management System (BMS)
- Driver Mode System (DMS)
- Vehicle Control System (VCS)

## 5) Sistem Termal

Pada saat mengoperasikan kendaraan listrik dengan tingkat efisiensi yang sangat tinggi, penting untuk menjaga kisaran suhu yang optimal untuk motor listrik dan baterai. Hal ini membutuhkan sistem manajemen termal yang canggih, berikut adalah penjelasan tentang sistem manajemen termal (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.):

### 1. Sirkuit Berbasis Refrigeran (Pendinginan Baterai secara Langsung)

- Rangkaian sistem termal berbasis refrigeran terdiri dari komponen utama, yaitu: kondensor, evaporator, dan unit baterai (sel baterai, pelat pendingin dan, pemanas bantu listrik). Sirkuit ini disuplai oleh sirkuit pendingin dari sistem pendingin udara dan dikendalikan secara terpisah melalui katup dan sensor suhu (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.).



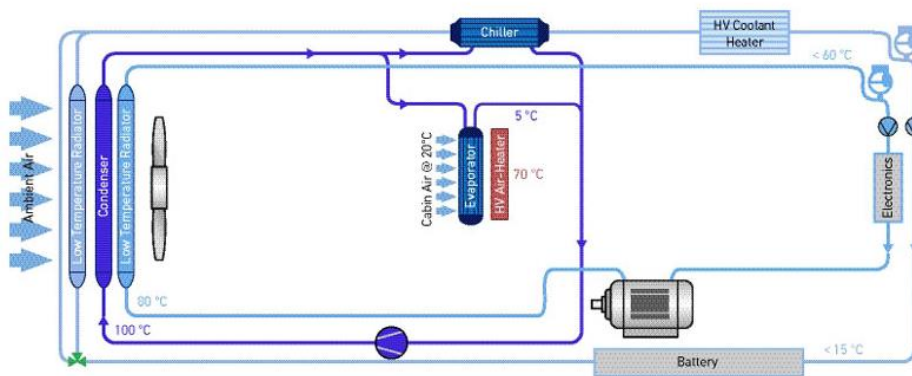
Gambar 4.18. Sirkuit sistem termal berbasis refrigeran

Sumber: n.n. (n.d.). *Refrigerant-based circuit* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

## 2. Sirkuit Berbasis *Coolant* dan Refrigeran (Pendinginan Baterai Tidak Langsung)

- Semakin kuat baterainya, semakin dibutuhkan penggunaan sirkuit berbasis refrigeran dan *coolant* yang relatif kompleks. Seluruh sistem pendingin dibagi menjadi beberapa sirkuit: pendingin suhu rendah, pompa pendingin, termostat, dan katup penghenti pendingin. Sirkuit pendingin sistem pendingin udara juga terintegrasi melalui penukar panas khusus (*chiller*). Pemanas cairan pendingin tegangan tinggi menyediakan kontrol suhu baterai yang cukup pada suhu luar yang rendah (*Thermal management in electric and hybrid vehicles, n.d.*).
- Suhu cairan pendingin untuk motor listrik dan daya elektronik dijaga di bawah 60 derajat Celcius di dalam sirkuit terpisah (sirkuit dalam pada gambar) menggunakan pendingin suhu rendah. Untuk mencapai kinerja penuh sekaligus memastikan masa pakai yang paling lama, perlu untuk selalu menjaga suhu cairan pendingin baterai antara kira-kira 15 dan 30 derajat Celcius. Ketika suhu menjadi terlalu rendah, pendingin dipanaskan melalui pemanas tegangan tinggi tambahan. Ketika suhu menjadi terlalu tinggi, *coolant* didinginkan melalui pendingin suhu rendah. Jika ini tidak mencukupi, *chiller* yang terintegrasi ke dalam sirkuit refrigeran dan *coolant* akan menurunkan suhu *coolant*. Di sini, refrigeran dari sistem AC mengalir melalui *chiller* dan selanjutnya mendinginkan cairan pendingin, yang juga mengalir melalui *chiller*. Seluruh kontrol terjadi melalui termostat, sensor, pompa, dan katup individual (*Thermal management in electric and hybrid vehicles, n.d.*).



Gambar 4.19. Sirkuit sistem termal berbasis *coolant* dan refrigeran

Sumber: n.n. (n.d.). *Coolant and refrigerant-based circuit* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

Berikut adalah komponen-komponen yang ada pada sistem termal:

- *Chiller*
  - *Chiller* adalah alat penukar panas khusus yang terhubung ke sirkuit refrigeran dan *coolant* yang memungkinkan suhu *coolant* diturunkan lebih lanjut oleh refrigeran dalam sistem pendingin udara (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.).



Gambar 4.20. *Chiller*

Sumber: n.n. (n.d.). *Chiller* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *Battery Cooler*
  - Di setiap sisi pelat pendingin ada satu segmen baterai. Segmen baterai dan pelat pendingin membentuk modul baterai permanen. Dengan pendinginan baterai langsung, refrigeran dari sistem AC mengalir melalui pelat pendingin. Dengan pendinginan baterai tidak langsung, *coolant* mengalir melalui pelat pendingin. Jika kapasitas pendinginan tidak cukup untuk pendinginan baterai secara tidak langsung, *coolant* dapat didinginkan melalui *chiller*. *Chiller* adalah penukar panas khusus yang digunakan untuk pendinginan baterai tidak langsung dan terintegrasi baik di sirkuit pendingin maupun pendingin (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.).



Gambar 4.21. Pendingin baterai

Sumber: n.n. (n.d.). *Battery cooler* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *Electrical Compressor*

- Kompresor digerakkan secara elektrik dengan tegangan tinggi. Hal ini memungkinkan penyejukan udara kendaraan bahkan ketika mesin dimatikan. Selain itu, pendingin juga dapat didinginkan dengan bantuan sistem pendingin udara (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.).



Gambar 4.22. Kompresor listrik

Sumber: n.n. (n.d.). *Electrical compressor* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *Low Temperature Cooler*

- Suhu cairan pendingin untuk motor listrik dan daya elektronik dijaga di bawah 60 derajat Celcius di dalam sirkuit pendingin terpisah menggunakan pendingin suhu rendah (*Thermal management in electric and hybrid vehicles, n.d.*).



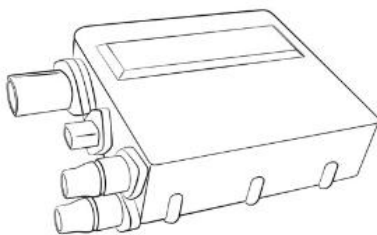
Gambar 4.23. Alat pendingin bersuhu rendah

Sumber: n.n. (n.d.). *Low temperature cooler* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *High Voltage Coolant-Heater*

- Ketika suhu menjadi terlalu rendah, *coolant* dipanaskan melalui pemanas listrik bertegangan tinggi tambahan. Hal ini terintegrasi dalam sirkuit pendingin (*Thermal management in electric and hybrid vehicles, n.d.*).



Gambar 4.24. Alat pemanas *coolant* bertegangan tinggi

Sumber: n.n. (n.d.). *High voltage coolant-heater* [Screenshot].

<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *Thermostat*

- Baik dengan sistem listrik atau mekanik, termostat berguna untuk menjaga suhu *coolant* pada tingkat yang konstan (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.).



Gambar 4.25. Termostat

Sumber: n.n. (n.d.). *Thermostat* [Screenshot]. <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *Condenser*

- Kondensor diperlukan untuk mendinginkan refrigeran yang telah menjadi panas selama kompresi di kompresor. Gas refrigeran yang panas mengalir ke kondensor, melepaskan panas ke lingkungan melalui pipa dan sirip. Pendinginan mengurangi keadaan agregasi refrigeran dari gas menjadi fluida (*Thermal management in electric and hybrid vehicles*, n.d.).



Gambar 4.26. Kondensor

Sumber: n.n. (n.d.). *Condensor* [Screenshot]. <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/>

- *Coolant switch valve*

- Katup saklar pendingin mengontrol aliran cairan pendingin di sirkuit pendingin aliran samping *powertrain* dan di sirkuit pemanas kompartemen penumpang. Dalam kendaraan hibrida dan listrik, mereka dapat digunakan untuk distribusi aliran pendingin, misal untuk mendinginkan baterai dan elektronika daya (*Coolant switch valve*, n.d.).



Gambar 4.27. Katup *switch* cairan pendingin

Sumber: n.n. (n.d.). *Switch-over and cut-out valve* [Online Image]. [https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/electromagnetic-coolant-switch-valves/thumbnail\\_kuehlmittel\\_schaltventil\\_stage\\_mobile.png](https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/electromagnetic-coolant-switch-valves/thumbnail_kuehlmittel_schaltventil_stage_mobile.png)

- *PCE electric coolant pump*

- Pompa *coolant* PCE adalah pompa sentrifugal yang digerakkan secara elektronik. Waktu pengoperasian memungkinkan penggunaan dalam kendaraan hibrida dan listrik, misal untuk kontrol suhu baterai (*PCE electric coolant pump*, n.d.).



Gambar 4.28. Pompa *coolant* PCE

Sumber: n.n. (n.d.). *PCE electric coolant pump* [Online Image]. [https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/electrical-coolant-pump-pce/thumbnail\\_elektrische\\_k%C3%BChlmittelpumpe\\_pce\\_stage\\_mobile.jpg](https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/electrical-coolant-pump-pce/thumbnail_elektrische_k%C3%BChlmittelpumpe_pce_stage_mobile.jpg)

- PAD2 *electric coolant pump*
  - Pompa *coolant* PAD2 adalah pompa sentrifugal yang digerakkan secara elektronik. Pompa ini cocok untuk berbagai aplikasi, misal untuk mendukung sirkuit pemanas, pemanfaatan panas sisa dan pendinginan komponen atau untuk *turbocharger* dan pendingin udara pengisian. Tingkat kebisingannya yang rendah dan masa pakai yang lama juga memungkinkannya dipasang di kendaraan hibrida dan listrik, di mana mereka dapat digunakan untuk mendinginkan modul elektronika daya (*PAD2 electric coolant pump*, n.d.).



Gambar 4.29. Pompa *coolant* PAD2

Sumber: n.n. (n.d.). *PAD2 electric coolant pump* [Online Image]. [https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/electrical-coolant-pump-pad2/thumbnail\\_pad2\\_stage\\_mobile.jpg](https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/electrical-coolant-pump-pad2/thumbnail_pad2_stage_mobile.jpg)

- *EC motors for electric cooling fans*
  - Kipas pendingin listrik tanpa sikat yang menggerakkan ECM dan FED dapat digunakan baik di sirkuit termal mesin pembakaran maupun di kendaraan listrik. Pergantian motor elektronik memungkinkan kontrol kecepatan terus menerus. Dibandingkan dengan motor sikat konvensional, drive baru ini memberikan keunggulan dalam hal efisiensi, pengemasan, kompatibilitas elektromagnetik, ketahanan suhu, dan ketahanan terhadap pengaruh lingkungan (*EC motors for electric cooling fans*, n.d.).



Gambar 4.30. Motor EC untuk kipas pendingin elektrik

Sumber: n.n. (n.d.). *EC Motors for electric cooling fans* [Online Image].

[https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/ecm/20-1130\\_bosc\\_20187\\_thermomanagement\\_thumbnail\\_ecm\\_fed\\_1176x662px\\_stage\\_mobile.jpg](https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-solutions/thermal-management/ecm/20-1130_bosc_20187_thermomanagement_thumbnail_ecm_fed_1176x662px_stage_mobile.jpg)

## 6) DC Converter

Kendaraan listrik (EV) menggunakan dua sistem tenaga yang berbeda; baterai tegangan tinggi (200 hingga 450 VDC) untuk traksi dan baterai tegangan rendah (12 V) untuk memasok semua peralatan listrik di dalam kendaraan. Secara tradisional, baterai tegangan rendah diisi dari alternator, tetapi di kendaraan saat ini, baterai mendapat daya dari paket baterai tegangan tinggi (Bidirectional DC/DC converter, n.d.). Konverter DC-DC yang terpasang berguna untuk menurunkan tegangan listrik dari baterai traksi ke baterai tambahan (baterai yang digunakan untuk menyalakan aksesoris-aksesoris kecil pada mobil).



Gambar 4.31. DC converter

Sumber: n.n. (n.d.). *Delphi DC/DC converter* [Online Image]. <https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/56394380e4b02ad1a9a688a4/1446776840741-KFY93O13VDMOFD59HEJJ/Delphi-DC-DC-Converter.jpg?format=750w>