

Laporan Tengah Semester
Sistem Energi Kendaraan Listrik - Tesla Model 3



Bernardus Rendy / 13317041

TF5033 Sistem Energi Kendaraan Listrik

Program Studi Teknik Fisika

Institut Teknologi Bandung 2019

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR.....	3
A. Pengantar.....	4
B. Mechanical Architecture.....	5
C. Drivetrain and Mechanical Safety System	7
D. Drive Unit	9
E. Energy Storage System, Battery Management System	10
F. Electrical System and Utilities	15
G. Pertanyaan dan Diskusi.....	16
H. Rencana Pengembangan Analisis.....	18
REFERENSI	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Hard Steel Reinforced Chassis.....	5
Gambar 2 Systems Components Placement and Manufacturing Process.....	6
Gambar 3 Mechanical Safety Collision Protection.....	7
Gambar 4 Regenerative Braking System.....	8
Gambar 5 Drive Unit	9
Gambar 6 Energy Storage System.....	10
Gambar 7 Assembly Mekanik Baterai	11
Gambar 8 Automated Charging	11
Gambar 10 BMS Balancing Process	12
Gambar 11 Multi-Channel and Bi-Directional Battery Management System	13
Gambar 12 Charging Port dan Charging Curve	13
Gambar 13 Battery Management System, Thermal Management System, dan Charging.....	14
Gambar 14 Electrical System and Utilities	15

A. Pengantar

Pada mata kuliah TF5033 Sistem Energi Kendaraan Listrik, dilakukan pembahasan berbagai macam dasar sistem energi kendaraan listrik mulai dari sumber energi dan pengelolaan energi kendaraan listrik hingga utilisasi dari energi tersebut untuk menjalankan fungsi dalam mobil listrik. Kemudian dibahas juga tentang komponen penyusun arsitektur smart grid, model arsitektur sistem manajemen baterai cerdas, konsep penyimpanan energi, dan penggunaan energi dalam kendaraan listrik. Setelah itu secara khusus *battery energy storage system*, *battery management system*, dan pengembangan yang ada di Indonesia saat ini serta yang secara khusus ada di Institut Teknologi Bandung.

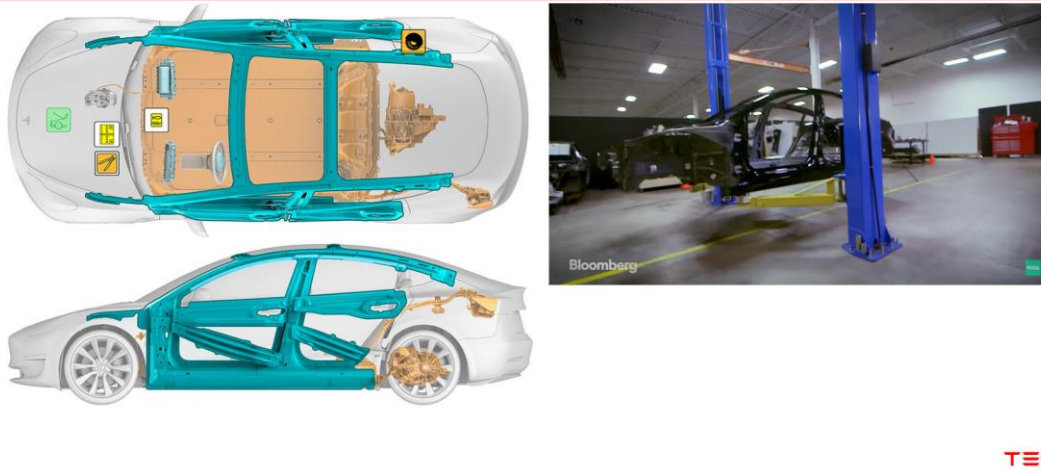
Setelah dasar teori diberikan, peserta kuliah diberikan tugas untuk secara khusus menganalisis berbagai macam topik bahasan yang secara umum menyusun sistem energi kendaraan listrik yaitu kendaraan listrik (mobil, motor, bus, sepeda) dan sistem pengisian energi kendaraan listrik. Setiap peserta kuliah mendapatkan satu topik khusus berupa satu produk yang sudah ada/sedang dikembangkan. Setelah dianalisis, setiap peserta kuliah harus membuat presentasi tentang analisis yang telah dilakukan untuk disampaikan kepada peserta kuliah dan dosen. Setelah penyampaian presentasi, dilakukan sesi tanya jawab dan diskusi untuk membahas tentang produk.

Setelah dilakukan presentasi, peserta kuliah harus membuat laporan yang berisi hasil yang telah dikerjakan, hasil tanya jawab dan diskusi, serta apa yang akan dikerjakan untuk kedepannya. Penulis menjadi peserta kuliah TF5033 dan mendapat topik khusus mobil listrik Tesla Model 3. Dalam laporan ini akan dibahas topik khusus tentang mobil listrik Tesla Model 3.

Tesla Model 3 adalah produk luaran perusahaan asal Amerika bernama Tesla, Inc. yang merupakan target fase ketiga dari rencana bisnis Tesla, Inc. untuk memproduksi mobil listrik dengan segmentasi pasar *mass market*. Tesla Model 3 merupakan kendaraan *Battery Electric Vehicle 5-Seater* dengan harga US\$39,000-US\$56,000. Akselerasi yang tinggi, jarak tempuh yang jauh, desain interior yang modern, dan *5-Star Safety* (EURO NCAP) adalah keunggulan mobil listrik baterai ini dibanding kompetitornya. Dalam laporan ini dibahas tentang *mechanical architecture*, *drivetrain and mechanical safety system*, *drive unit*, *energy storage system*, *battery management system*, *electrical system*, dan *utilities*.

B. Mechanical Architecture

BODY DESIGN



Gambar 1 Hard Steel Reinforced Chassis

Pada presentasi telah dibahas dan didiskusikan desain komponen serta body dan peletakkan komponen *drivetrain*, *energy storage system*, *cooling system*, *high voltage component*, *chassis*, dan proses manufaktur terkait yang mendasari peletakkan komponen. Arsitektur mekanik dari Tesla Model 3 didesain secara khusus untuk safety dan interior yang sesuai dengan pengguna. Chassis *hard steel reinforced* yang berwarna biru pada gambar merupakan bagian yang terkeras pada mobil. Bagian lain dari mobil dibentuk dari aluminium untuk menyerap energi jika terjadi kecelakaan sehingga memiliki safety yang tinggi. Suspensi khusus diatur sesuai riset NASA yang dimiliki CEO Elon Musk membuat kenyamanan berkendara juga meningkat. *Hard steel reinforced* juga terdapat pada bagian bawah mobil untuk melindungi baterai dan komponen pendukung penyimpanan energi lainnya.

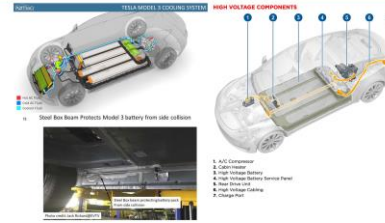
Namun menurut Sandy Munro (seorang spesialis pembongkaran), menurut hasil pembongkaran Tesla Model 3, dibandingkan dengan mobil pada umumnya, proses pembentukan body mobil Tesla masih kurang efisien. Bagian yang biasa dilakukan *molding* hanya satu kali pada mobil lain, Tesla melakukannya hingga sebanyak tujuh kali. Hal ini menurut Sandy Munro adalah sebuah *inefficiency* dalam proses manufaktur, terlebih ketika kebutuhan Model 3 adalah *mass production* dalam waktu yang singkat mengingat janji *delivery* yang sangat cepat pada *mass market consumer*.

CHASSIS AND SYSTEMS COMPONENT PLACEMENT



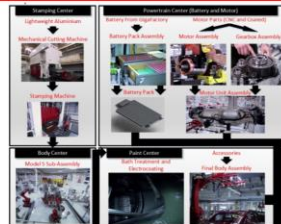
TESLA

CHASSIS AND SYSTEMS COMPONENT PLACEMENT



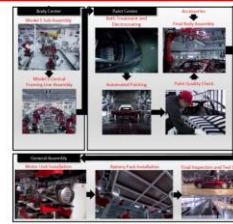
TESLA

LITTLE DETOUR: MANUFACTURING PROCESS



TESLA

LITTLE DETOUR: MANUFACTURING PROCESS



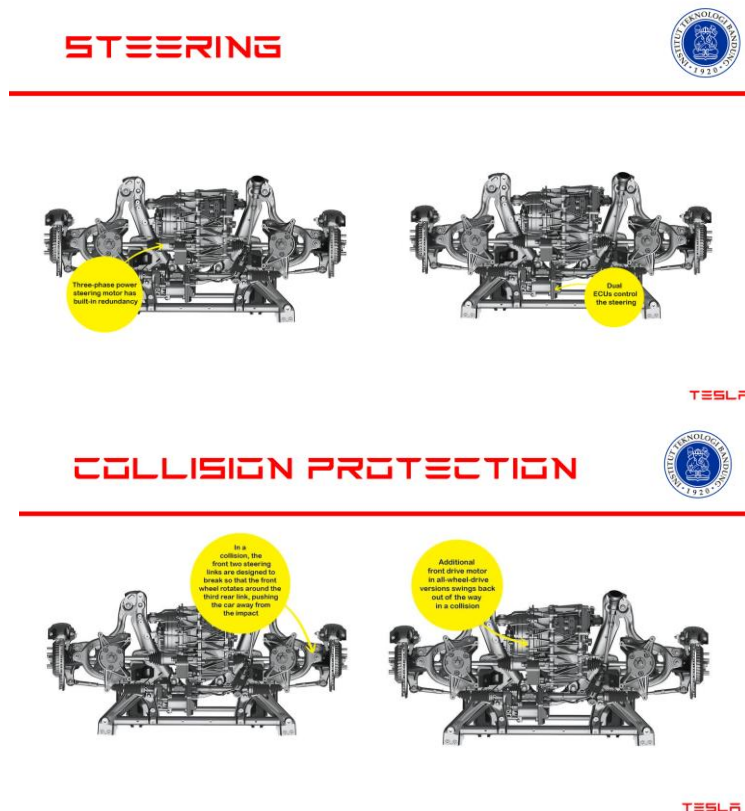
TESLA

Gambar 2 Systems Components Placement and Manufacturing Process

Peletakkan komponen baterai dan berat dibawah untuk meletakkan *center of gravity* dibawah dan menjaga inersia mobil, peletakkan motor untuk kemudahan manufaktur dan *assembly*, dan *wiring high voltage component* yang khusus dengan pengaman tambahan untuk safety. Ditinjau lebih lanjut bahwa Model 3 terfokus pada kebutuhan manufaktur yang cepat dengan 455,000 *pre-order* pada 2017 dan target produksi 6,000 per minggu dengan mementingkan keamanan pengguna dan biaya yang semurah mungkin (untuk target market *mass market medium consumer*).

Proses manufaktur mandiri yang dilakukan Tesla untuk setiap komponen yang akan diletakkan di mobil Tesla Model 3 membuat proses manufaktur cukup panjang. Setiap komponen dibuat dari dasar oleh Tesla sehingga menghilangkan ketergantungan produsen luar. Proses manufaktur komponen dibagi menjadi dua jalur, yaitu body dan powertrain. Hanya aksesoris mobil yang tidak diproduksi secara mandiri oleh Tesla. Dua jalur tersebut dilakukan secara parallel sehingga jauh lebih cepat dibanding seri. Ketika dua bagian sudah diproduksi, *assembly* dapat dilakukan dengan pemasangan *powertrain* dari bagian bawah, body dari bagian atas, diikuti dengan pemasangan aksesoris secara seri. Setelah selesai di *assembly*, dijalankan inspeksi penuh dan *test drive* untuk *quality checking*. *Test drive* yang dilakukan mengukur parameter dinamik kendaraan dan diagnosis untuk kesesuaian dengan standar produksi. Parameter tersebut antara lain: rolling resistance, aerodynamic drag, road-load coefficients, gradability, acceleration properties dan lain-lain (Goodarzi, 2018).

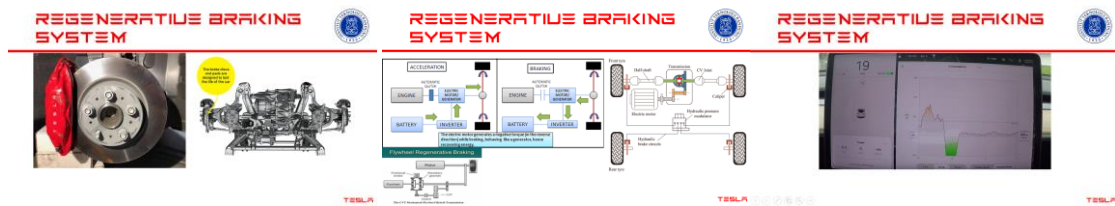
C. Drivetrain and Mechanical Safety System



Gambar 3 Mechanical Safety Collision Protection

Pada *drivetrain* dan *mechanical safety system*, dibahas tentang mekanisme *safety* yang dimiliki oleh Model 3 dan *regenerative braking system* yang merupakan keunggulan Model 3 secara teknis. Mechanical safety system yang dimiliki antara lain redundancy pada *power steering* secara mekanis, dual ECU untuk mengontrol *steering*, *sacrificial links* untuk kondisi tabrakan, dan motor yang bergeser saat tabrakan. Keunggulan keamanan mekanis ini diadakan untuk mengamankan komponen ketika terjadi kecelakaan dan mengurangi kemungkinan kecelakaan, dimana keamanan adalah poin terpenting dari Tesla Model 3.

Dari mekanisme ini dan desain body, Tesla Model 3 mendapatkan 5-Star Safety Rating dari NHTSA, Euro-NCAP, dan ANCAP. Selain mekanisme ini dan desain body, suspensi bagian depan didesain secara spesifik untuk memaksimalkan proteksi dalam *small-overlap frontal collision crash tests*. *Power steering* pada Tesla Model 3 memiliki rasio 10:1, menghasilkan dua putaran *lock-to-lock*. Sistem *Power steering* memiliki *redundancy* dengan menggunakan *power feeds* langsung dari *high-voltage battery* dengan dua modul kontrol elektronik dan dua inverter untuk menjadi backup jika terjadi kegagalan dua modul kontrol elektronik. *Sacrificial links* memungkinkan perputaran ban depan ketika terjadi tabrakan, menggerakkan ban depan ke arah luar model 3, mendorong mobil, penumpang, dan *battery pack* jauh dari titik tabrakan.



Gambar 4 Regenerative Braking System

Pada drivetrain Tesla Model 3, hal khusus yang dimilikinya adalah *regenerative braking system* yang menjadi *braking system* utama. Sistem *regenerative braking* bekerja dengan cara mengonversi kembali energi kinetik pada roda menjadi energi listrik sambil memperlambat putaran roda. Prinsip kerja sama seperti generator listrik yang diperkuat dengan sumber listrik lain. Putaran roda yang cepat menghasilkan medan magnet yang berubah sehingga menghasilkan listrik, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan arus DC melalui inverter. *Regenerative braking system* menarik energi kembali langsung melalui motor listrik yang bekerja terbalik menjadi generator listrik.

Meskipun telah memiliki *regenerative braking system*, Tesla Model 3 tetap memiliki rem hidrolik seperti mobil pada umumnya. Rem hidrolik seperti pada gambar (warna merah) menggunakan prinsip dasar hidrolik untuk mengirim fluida rem dan menggunakan gesekan untuk memperlambat putaran motor. Rem hidrolik umum ini jauh lebih tidak efisien dan tidak memberikan pengisian daya kembali pada *energy storage system*, mendisipasikan panas serta tidak awet karena adanya gesekan mekanik. Namun, rem hidrolik umum ini tetap digunakan karena kekuatan mengerem yang sangat besar sehingga dapat dengan cepat menghentikan putaran roda (diperlukan saat darurat). Rem hidrolik digunakan saat berada di *highway* karena kebutuhan keamanan.

Pada presentasi juga ditunjukkan hasil eksperimen salah satu pemilik Model 3 yang diunggah pengguna melalui situs YouTube untuk menunjukkan kemampuan *regenerative braking system* Model 3. *Regenerative braking system* memiliki keunggulan *lifetime* yang jauh lebih tinggi daripada rem hidrolik karena tidak ada interaksi langsung secara mekanik. Menurut klaim Elon Musk (CEO Tesla Motors, Inc), *brake pads* pada Model 3 memiliki *lifetime* hingga 100,000 mil akibat dari *regenerative braking system*. Namun *regenerative braking system* Model 3 memiliki kekurangan pada iklim dingin karena *battery pack* yang dingin karena sistem regeneratifnya tidak dapat mengisi baterai, sehingga hanya mendisipasi energi panas.

D. Drive Unit

PERMANENT MAGNET SWITCHED RELUCTANCE MOTOR



PERMANENT MAGNET SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

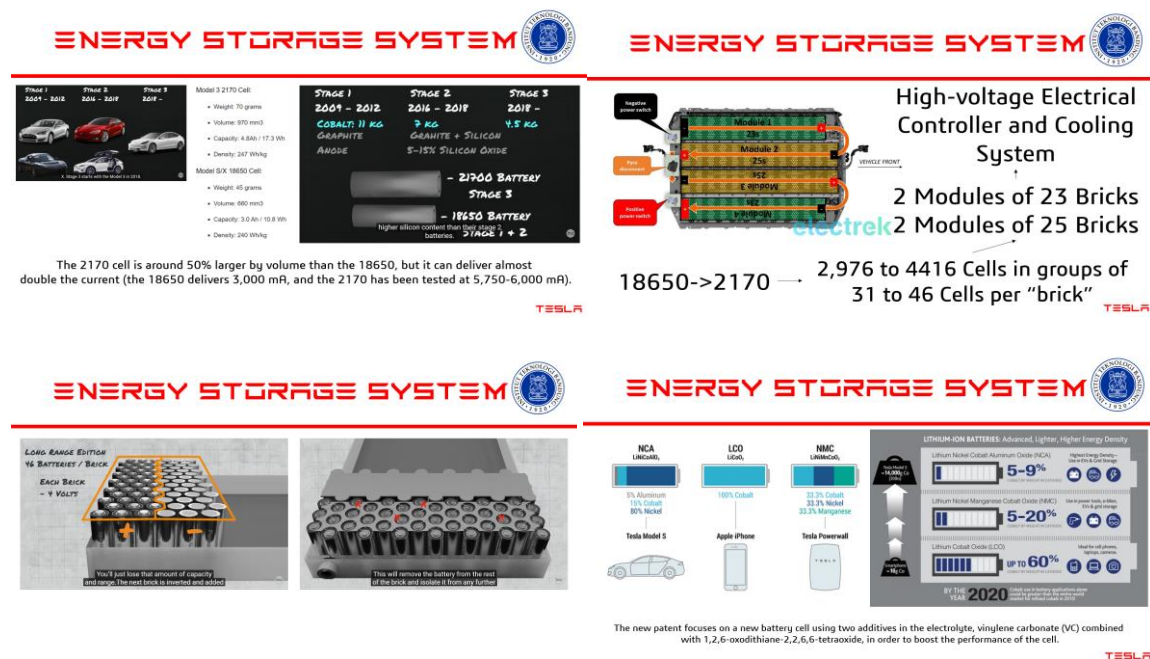
Powertrain	RWD	AWD Performance
Motor	permanent magnet switched reluctance rear	permanent magnet switched reluctance rear & induction front
Curb Weight	3,552 lb (1,611 kg)	4,072 lb (1,847 kg)
Power	283 hp (211 kW)	473 hp (353 kW) combined 283 hp (211 kW) rear & 197 hp (147 kW) front
Torque	376 lb-ft (510 N·m) combined	471 lb-ft (639 N·m) combined

Gambar 5 Drive Unit

Pada drive unit dibahas satuan sistem penggerak Tesla Model 3 yang terdiri dari PM-SRM (*Permanent Magnet Switched Reluctance Motor*), *high current cord*, *SiC MOSFET 650V Based Controller*, spesifikasi motor dan kemampuannya, serta keuntungan PM-SRM dibanding motor biasa. PM-SRM menggunakan magnet permanen pada stator yang kemudian dijalankan dengan menggunakan induksi elektromagnet yang berguna untuk *switching reluctance* yang dimiliki tiap magnet, lebih efisien dan cepat dibanding motor induksi elektromagnet pada umumnya serta mampu menghasilkan torsi yang besar.

Kabel tegangan tinggi diinsulasi dan dibentuk agar dapat diletakkan pada drive unit sehingga dapat dihubungkan dengan sistem tegangan tinggi utama. Motor PM-SRM memiliki voltage 370V, 211kW masing-masing, dan torsi hingga 639Nm untuk kedua motor digabung. Inverter diletakkan langsung dibagian dalam *driveunit*. Penentuan operating voltage motor yang tinggi ini disebabkan oleh daya yang tinggi serta keterbatasan ruangan untuk komponen transmisi energi dan untuk menekan harga pembuatan.

E. Energy Storage System, Battery Management System



Gambar 6 Energy Storage System

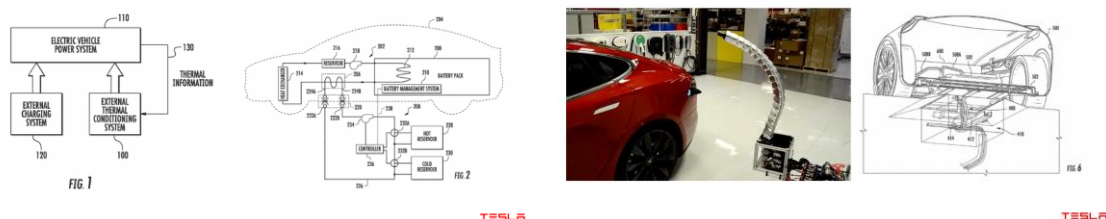
Pada bagian *energy storage system* dibahas tentang pengembangan material baterai Model 3 dengan kobalt yang direduksi, arus maksimum dua kali lipat, dengan peningkatan volume 50%, dan densitas yang lebih besar. Baterai pada Tesla Model 3 adalah sel 2170 NCA (Nickel-Cobalt-Aluminum) dengan power density yang tinggi. Sel 2170 ini merupakan pengganti sel 18650 yang sebelumnya digunakan dan umum digunakan dalam *battery pack* li-ion dengan kemudahan pendinginan dan transportasi baterai. Pemilihan tipe baterai NCA juga dipengaruhi kebutuhan relatif terhadap penggunaan NMC dan LCO yang lebih cocok pada perangkat dengan daya kecil (seperti ponsel genggam) dan stasioner (seperti powerwall tesla). Susunan sel 2170 secara parallel dalam setiap brick pada Model 3 juga khusus dengan adanya banyak brick yang dihubungkan secara seri pada setiap modul dengan 4 modul dalam satu *battery pack* dan total 4416 sel dalam Model 3 yang dijual sekarang. Hal ini dilakukan agar jika terjadi kegagalan pada sel baterai, yang berkurang hanyalah kapasitasnya bukan total tegangannya, serta dapat dengan mudah melakukan BMS pada tiap sel dengan volume sekecil mungkin. Tesla juga memiliki paten baru dalam penggunaan aditif vinylene carbonate (VC) digabung dengan 1,2,6-oxodithiane-2,2,6,6-tetraoxide pada elektrolit baterainya, serta riset tentang "single crystal" NMC cathode.



Gambar 7 Assembly Mekanik Baterai

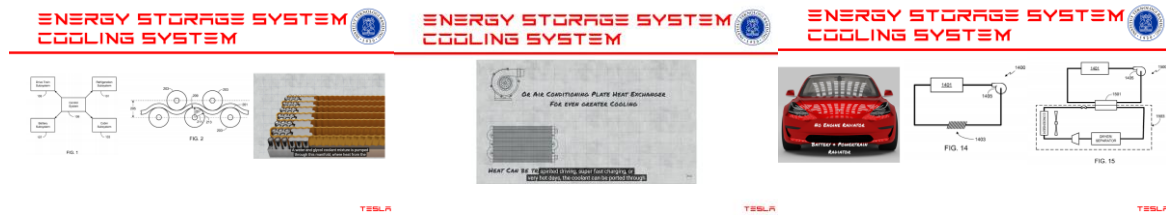
Baterai yang telah dihubungkan secara paralel dan seri kemudian direkatkan dengan silicon gel yang nampak seperti “blue goo” di gambar sebelah kiri. Hal ini digunakan untuk meningkatkan stabilitas *battery pack* dan menghindari *cascading failure* secara mekanikal. *Battery pack* kemudian ditutup dengan menggunakan *hard reinforced steel box beam* untuk menjaga integritas struktur sehingga terhindar dari tabrakan saat penggunaan sehari-hari pada contour yang tidak rata ataupun saat kecelakaan.

Battery pack juga ditutup dengan plat carbon fiber pada panelnya serta dihubungkan pada *pyro disconnect* serta terhubung langsung dengan *high-voltage controller*. Desain *battery pack* Model 3 pada awalnya dibuat agar bisa dicabut dan dipasang dengan cepat untuk mengaplikasikan suatu inisiasi penggantian baterai, namun setelah diproduksi, desain yang digunakan adalah desain untuk tidak dicopot sehingga dibaut dengan kencang pada setiap sisinya. Tesla kemudian mendesain external cooling supercharger untuk mempercepat proses pengisian baterai.



Gambar 8 Automated Charging

Pada presentasi juga dibahas paten Tesla terkait *external cooling automated charging* yang merupakan inisiatif Tesla demi pengisian baterai dengan cepat. Sistem pengisian baterai ini berbentuk seperti gambar diatas dengan sistem pendinginan tambahan di luar mobil yang terintegrasi dengan sistem pendingin mobil. *Automated charger* ini memiliki port pengisian baterai dan port pendingin pada bagian bawah. Instalasi tambahan dibutuhkan untuk pendingin bagian bawah, informasi thermal akan dikirim melalui jalur yang sama dengan informasi status baterai yaitu melalui port baterai.



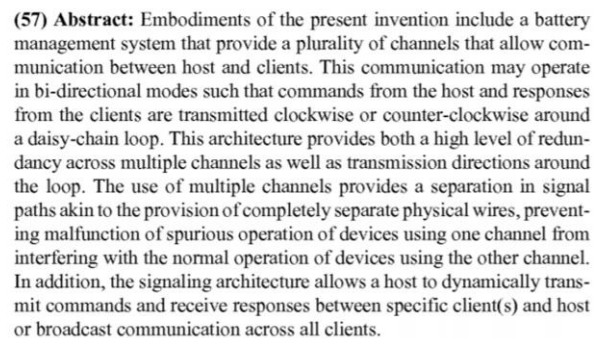
Gambar 9 Cooling System Baterai Internal Kendaraan

Sistem pendinginan pada baterai menggunakan membran tipis berbentuk seperti spline akan mengalirkan fluida pendingin dari dalam membran tersebut sehingga pendinginan baterai mendapatkan luas penampang yang maksimal. Radiator pada bagian depan hanya untuk baterai dan powertrain, serta sistem yang terintegrasi dengan pendinginan. Seperti ditunjukkan pada diagram, terdapat kondenser dan dryer seperti pada umumnya untuk radiator, hanya saja untuk kendaraan listrik.



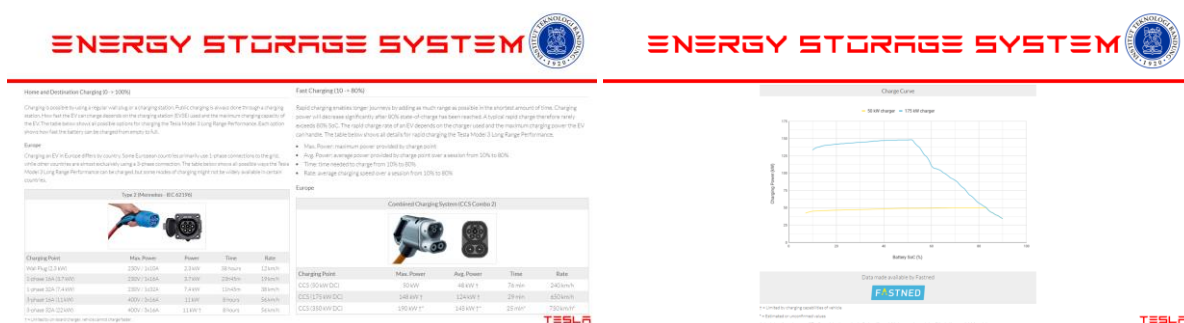
Gambar 10 BMS Balancing Process

Pada presentasi juga telah dibahas sistem manajemen baterai dan perbandingan proses konvensional serta proses dinamik. Pada proses konvensional, sistem balancing hanya dapat menyetarakan isi setiap baterai, dan baterai hanya dapat diisi sesuai dengan baterai dengan kapasitas terendah. Pada proses dinamik, penstabilan kapasitas baterai dapat dilakukan dua arah sehingga dapat distabilkan antara baterai dengan mengisi dan *men-discharge* baterai sehingga didapatkan tegangan yang dibutuhkan dan arus yang sesuai. Pada Model 3, digunakan empat modul BMS untuk setiap modul baterai, dengan monitoring pada setiap selnya. Tesla telah memiliki 10 tahun dalam pengalaman pengembangan BMS sehingga sistem *software* yang dimiliki telah jauh lebih canggih dibanding kompetitor-kompetitornya.



Gambar 11 Multi-Channel and Bi-Directional Battery Management System

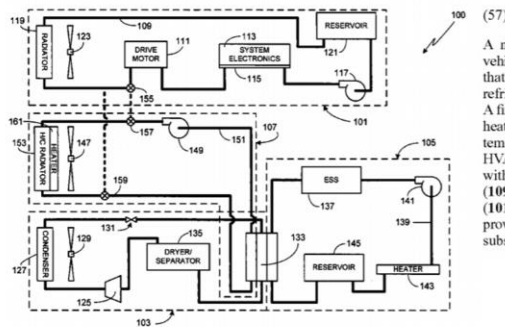
Teknologi yang mendasari kecanggihan BMS tesla adalah “*Multi-Channel and Bi-Directional Battery Management System*” (WO2019006204) yang memungkinkan BMS secara dinamik untuk dilakukan. Pada proses ini, pada setiap sel baterai terdapat client dengan primary dan secondary circuit untuk membuat redundancy dan memiliki interface dua arah dengan protokol komunikasi secara *clockwise* atau *counter-clockwise* dalam suatu loop (komunikasi dinamik antar client dapat dilakukan tanpa melalui host). Arsitektur persebaran informasi ini membuat redundancy pada sistem BMS Tesla. Keunikan tambahan adalah setiap client dapat mengukur dan melakukan fungsi untuk mengisi atau mengosongkan baterai (dan setiap sel adalah satu client sendiri) sehingga terdapat redundancy untuk mengatur baterai. Keunggulan multi-channel pada arsitektur ini adalah seperti *physical wiring* yang terpisah dan banyak, menghilangkan kemungkinan malfungsi interferensi saat melakukan tindakan pada channel lain (arus tinggi pada baterai dapat mengakibatkan interferensi tinggi).



Gambar 12 Charging Port dan Charging Curve

Pada presentasi juga dibahas mengenai port pengisian baterai dan kurva pengisian baterai yang membandingkan dua jenis pengisian baterai pada tingkat daya yang berbeda. Hasil pengisian baterai dengan charger daya tinggi membutuhkan waktu yang lebih cepat jika kondisi baterai jauh dari 100%. Saat sudah mendekati 100%, jauh lebih lambat daripada charger daya rendah.

THERMAL MANAGEMENT SYSTEM

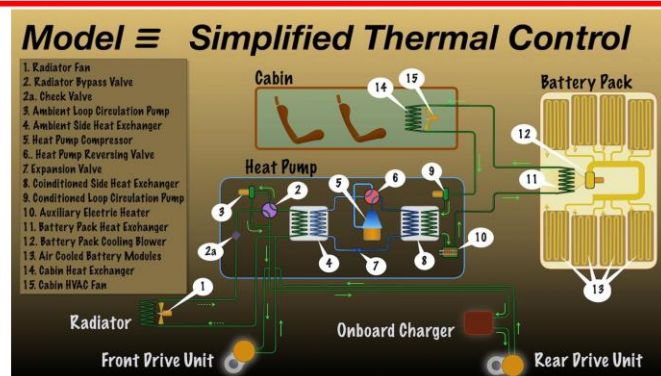


ABSTRACT

A method for managing thermal loads within an electric vehicle using an efficient thermal management system (100) that utilizes a single heat exchanger (133) is provided. A refrigeration subsystem (103) cools the heat exchanger (133). A first coolant loop (139) in thermal communication with the heat exchanger (133) is used to cool the energy storage system (137). A second coolant loop (151) corresponding to the HVAC subsystem (107) is also in thermal communication with the heat exchanger (133). Preferably a third coolant loop (109) corresponding to the drive motor cooling subsystem (101) is coupleable to the HVAC coolant loop (151), thus providing an efficient means of providing heat to the HVAC subsystem (107).

TESLA

THERMAL MANAGEMENT SYSTEM



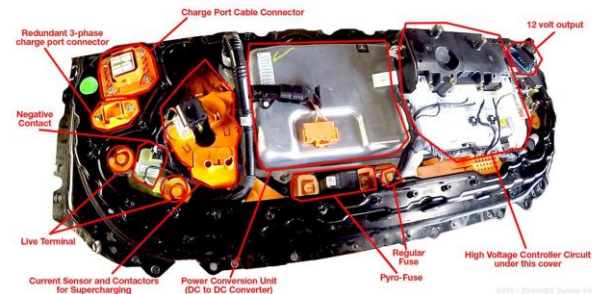
TESLA

Gambar 13 Battery Management System, Thermal Management System, dan Charging

Dibahas juga lebih lanjut tentang *thermal management system* yang terintegrasi dengan seluruh sistem yang terdapat di model 3 melalui *passive* dan *active cooling*. TMS pada Tesla menggunakan sistem terintegrasi dari sistem termal cabin hingga sistem elektrik untuk mengelola persebaran panas pada kendaraan. Pada iklim dingin, hal ini sangat dibutuhkan karena untuk dapat bekerja optimal, mesin kendaraan listrik harus dapat dipanaskan, tidak seperti mesin Internal Combustion Engine yang dapat dengan mudah memanaskan dirinya ketika sudah dinyalakan. Sehingga terdapat dua jenis TMS pada Tesla Model 3, yaitu pendinginan dan pemanasan seluruh powertrain dan Cabin. Sesuai dengan paten "*Electric Vehicle Thermal Management System*," (US7841431B2) model 3 mempunyai radiator dan heat pump serta cooler pada berbagai komponen secara khusus terlihat pada gambar 13. Fluida terpisah digunakan dari radiator hingga drive unit, heat pump hingga sisi samping mobil, dan cabin hingga battery pack dan auxiliary. Terdapat pula beberapa bypass valve untuk mengatur aliran fluida. Hal ini juga memungkinkan Tesla Model 3 mempunyai pengaturan distribusi suhu kabin. TMS yang baik juga merupakan kunci efisiensi mesin kendaraan listrik karena ketika pengaturan suhu drive unit dan baterai dapat dilakukan dengan sesuai, mereka dapat bekerja dengan optimal.

F. Electrical System and Utilities

CONTROLLER AND ELECTRICAL SAFETY

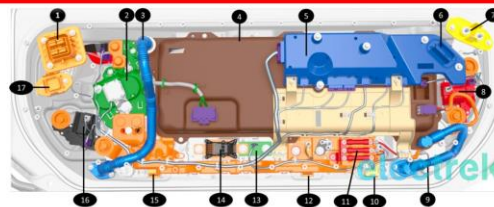


TESLA

CONTROLLER AND ELECTRICAL SAFETY



1. Charge port connector
2. Fast charge contactor assembly
3. Coolant line to PCS
4. PCS – Power Conversion System
5. HVC – High Voltage Controller
6. Low voltage connector to HVC from the vehicle
7. 12V output from PCS
8. Positive HV power switch
9. Coolant line to PCS
10. HV connector to cabin heater and compressor
11. Cabin heater, compressor and PCS DC output fuse
12. HV connector to rear drive unit
13. HV pyro fuse
14. Fuse
15. HV connector to front drive unit
16. Negative HV power switch
17. Connector for 3 phase AC charging



TESLA

CONTROLLER AND ELECTRICAL SAFETY

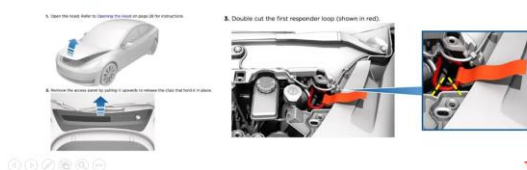


UTILITIES

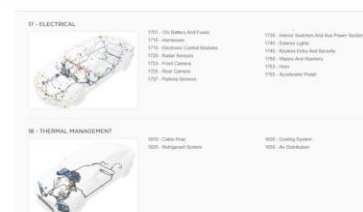


In order to disable the high-voltage components, Tesla is using the same concept as Model S and Model X with a cut loop located in the front trunk (frunk).

They explain how to access it here:



TESLA



TESLA

Gambar 14 Electrical System and Utilities

Tesla Model 3 mengutamakan *safety* dan kenyamanan pengguna, sehingga memiliki kontroler dan keamanan pada *high voltage component* yang *redundant* dalam dua lapis. Keamanan tersebut berupa kumparan yang menjadi sekering pada bagian depan kendaraan dan 12V power supply external harus dicolokkan pada penutup tertentu.

Dari komponen elektrik yang dimiliki, dapat dibagi 17 bagian yang terhubung pada satu kontroler utama seperti terlihat pada gambar. Tesla Model 3 juga memiliki *utilities* yang tertera pada bahan presentasi. *Utilities* tersebut secara penuh terhubung pada sistem elektrik kendaraan dan kontroler utama.

G. Pertanyaan dan Diskusi

1. Battery Management Sistemnya sama seperti slave-master?

Seperti slave master, namun berdasarkan claim bahwa menggunakan ring architecture dimana data dikirim ke seluruh client dan host, lebih mirip seperti I2C dengan *ring type network topology*. Seperti pada CAN-BUS.

2. Bagaimana dengan susunan parallel-seri baterai yang dimiliki? Apa kelebihanannya?

Parallel untuk setiap *brick*, kemudian seluruh *brick* di seri dengan pyro *disconnect* untuk safety. Untuk susunan ini, jika ada satu sel baterai yang rusak, tegangan total satu *brick* tetap terjaga, maka tegangan total seluruh *brick* akan tetap sama. Dengan BMS yang maju, Model 3 bisa *discharge* dengan menarik arus lebih dari tiap baterai (sesuai *balancing*), sehingga jika sel rusak, hanya mengurangi kapasitas total.

3. Kapan penggunaan rem fluida dan *regenerative braking*?

Rem fluida digunakan hanya untuk pengereman yang membutuhkan kecepatan tinggi (*highway*), pada sebuah eksperimen pemilik Model 3, rem dadakan juga menggunakan *regenerative braking*, namun didukung rem fluida. Pengereman yang mayoritas menggunakan rem fluida adalah pengereman yang dadakan oleh pengguna, kemungkinan dideteksi oleh sistem control kendaraan.

4. Bagaimana proses *balancing cell*?

Balancing cell dilakukan dengan mengirimkan pada host status client hasil pengecekan antar client, lalu digunakan *bi-directional battery management system*. Untuk baterai dengan kapasitas jauh diatas, dikurangi sehingga dapat digunakan untuk *supply* sel lain.

5. Bagaimana *Power Scheme* keseluruhan? Bagaimana *Power Scheme* per divisi?

Untuk *power scheme* keseluruhan, belum dibuat karena tidak ada referensi yang telah membuatnya. Saya juga belum membuatnya karena sistem seperti *thermal management system* dan *cooling system* terintegrasi dengan keseluruhan sistem, karena sistem yang kompleks dan harus diturunkan menjadi beberapa sub-sistem menyulitkan pembuatan *power scheme*, akan dilakukan selanjutnya. Tetapi, untuk *power scheme* tiap sub-sistem adalah yang sebelumnya telah dijelaskan pada *thermal management system*, *cooling system*, *drivetrain*, *driveunit*, *regenerative braking system*, *charging system*, dan *battery management system*.

6. Bagaimana sistem *external cooling* pada *automated charging* yang sebelumnya disebutkan?

Pada sistem *external cooling automated charging*, terdapat heat exchanger yang dialirkan secara *external* dari *thermal conditioning system* yang diberikan *thermal information system* dari sistem energi model kendaraan listrik.

7. Bagaimana algoritma setiap modul pada BMS?

Algoritma setiap modul pada BMS sesuai paten yaitu dengan mengambil data tegangan, kapasitas, temperatur, dan sifat fisis lainnya, lalu diatur secara lokal untuk tiap *client*. *Host* akan mengatur lebih lanjut setiap kebutuhan khusus diluar *balancing* dan *data acquisition* seperti memberi informasi kebutuhan arus dan tindakan pada tiap *client* secara real-time.

8. Bagaimana charging Tesla Model 3?

Alternatif *charging* telah dipaparkan, namun *charging* paling cepat saat ini adalah menggunakan Tesla Supercharger. *Charging* tersebut cepat namun akan melambat ketika baterai sudah mulai terisi dan lebih lambat daripada charger biasa pada isi yang hampir penuh.

9. Bagaimana pengaruh *climate range reduction* di Indonesia dibandingkan yang sebelumnya disebutkan pada cuaca dingin?

Climate range reduction yang sebelumnya disebutkan pada cuaca dingin diakibatkan kebutuhan heating cabin dan heating mesin agar tidak beku dan dalam temperatur operasional yang tepat. Pada iklim tropis seperti di Indonesia, *Climate range reduction* akan terjadi akibat mesin terlalu panas (sehingga *cooling system* bekerja berat) dan cabin terlalu panas (sehingga *cooling system cabin* bekerja berat).

10. Bagaimana sistem *automated charging* dari bawah?

Sistem *automated charging* dari bawah dilakukan dengan membuka panel yang sebelumnya direncanakan untuk ada di Model 3, namun karena biaya pembuatan yang mahal, projek tersebut dibatalkan. Setelah panel dibuka dari bawah, *external cooling* dilakukan bersamaan dengan pengisian daya yang jauh lebih besar. Hal ini tentunya juga akan mengimplementasi *automated cooling system*, namun bukan yang sedang dikembangkan sekarang (berupa robot “snake-like”), melainkan hanya bergerak sesuai platform yang ada dibawah mobil.

H. Rencana Pengembangan Analisis

Berdasarkan kekurangan yang terdapat pada analisis sebelumnya dan keperluan pengembangan lebih lanjut pada lapisan *high-level*:

1. Menjawab kekurangan yang ada di analisis sebelumnya:
 - a. Detail tentang algoritma dan komunikasi BMS multi-channel
 - b. Pembagian kerja sistem *regenerative braking* dan *fluid braking*
 - c. *Power Scheme* keseluruhan
 - d. Detail *external cooling system*
2. Memperluas analisis ke sistem operasi, komunikasi, fungsional, bisnis (tujuan dan sasaran), dan pasar:
 - a. Tesla App dan *user interface* dengan sistem
 - b. Sistem informasi yang digunakan untuk bertukar data antar *device* Tesla yang berkait (supercharger-kendaraan, tesla app-kendaraan, dst)
 - c. Fungsional sistem-sistem dan tujuan bisnis terkait
 - d. Pembuatan MASMBC (Model Arsitektur Sistem Manajemen Baterai Cerdas) untuk Tesla Model 3
 - e. Analisis pasar

REFERENSI

Goodarzi, Gordon A._ Hayes, John G - Electric powertrain _ energy systems, power electronics & drives for hybrid, electric & fuel cell vehicles-John Wiley & Sons (2018)

(US9527403B2) Charging station providing thermal conditioning of electric vehicle during charging session <https://patents.google.com/patent/US9527403B2/en>

(WO2019006204) Multi-channel And Bi-directional Battery Management System <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019006204>

(US20190280334) NOVEL BATTERY SYSTEMS BASED ON TWO-ADDITIVE ELECTROLYTE SYSTEMS INCLUDING 1,2,6-OXODITHIANE-2,2,6,6-TETRAOXIDE [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US251449154&tab=NATIONAL BIBLIO](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US251449154&tab=NATIONAL_BIBLIO)

(US20110212356A1) Extruded and Ribbed Thermal Interface for use with a Battery Cooling System <https://patents.google.com/patent/US20110212356A1/en>

(US7841431B2) Electric vehicle thermal management system <https://patents.google.com/patent/US7841431>

<https://www.tesla.com/model3> (diakses 25 September 2019)

<https://www.teslarati.com/tesla-high-speed-wiring-full-self-driving-safety-patent/> (diakses 25 September 2019)

<https://www.inverse.com/article/50894-tesla-model-3-charging-without-charger> (diakses 25 September 2019)

https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/regenerative_braking.html (diakses 25 September 2019)

https://www.researchgate.net/figure/Overall-structure-of-the-regenerative-and-hydraulic-blended-braking-system_fig1_268389110 (diakses 25 September 2019)

<https://ev-database.org/car/1138/Tesla-Model-3-Long-Range-Dual-Motor#charge-table> (diakses 25 September 2019)

<https://www.youtube.com/watch?v=QW3PmRp7EK8> (diakses 25 September 2019)

<https://www.teslarati.com/tesla-model-3-steering-drivetrain-suspension-secrets-revealed/> (diakses 25 September 2019)

<https://www.carthrottle.com/post/electronic-power-assisted-steering-how-does-it-work/> (diakses 25 September 2019)

<https://electrek.co/2019/04/13/tesla-model-3-longevity-claims-elon-musk/> (diakses 25 September 2019)

<https://tsportline.com/blogs/owners-guide/the-tesla-model-3-wheel-guide> (diakses 25 September 2019)

<https://electrek.co/2017/08/24/tesla-model-3-exclusive-battery-pack-architecture/> (diakses 25 September 2019)

<https://seekingalpha.com/article/3983102-teslas-gigafactory-christmas-july> (diakses 25 September 2019)