

Membangun **MOBIL LISTRIK**



Tarsisius Kristyadi

MEMBANGUN MOBIL LISTRIK

Oleh:
Tarsisius Kristyadi

Cetakan 1, 2018

Hak Cipta dilindungi undang-undang
©2018, Penerbit Itenas

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak
sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

Hak Cipta pada Penerbit Itenas, 2018

Membangun Mobil Listrik / Oleh Tarsisius Kristyadi .- Cet. 1.-
Bandung: Penerbit Itenas, 2018.
110 hlm.; 25,7 cm.

1. Tajuk Subjek.

I. Tarsisius Kristyadi II. Judul

629.8

ISBN: 978-602-74127-8-1

Penerbit Itenas,
Jl. PKH. Mustopha No.23 Bandung
Telp.: +62 22 7272215, Fax: +62 22 7202892
Email: penerbit@itenas.ac.id

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunianya sehingga buku dengan judul Membangun Mobil Listrik bisa terbit.

Mobil listrik sangat populer pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, tapi kemudian popularitasnya meredup karena teknologi mesin pembakaran dalam yang semakin maju dan harga kendaraan berbahan bakar bensin yang semakin murah. Krisis energi pada tahun 1970-an dan 1980-an pernah membangkitkan sedikit minat pada mobil-mobil listrik, tapi baru pada tahun 2000-an lah para produsen kendaraan baru menaruh perhatian yang serius pada kendaraan listrik.

Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung berhasil merancang dan mewujudkan mobil masa depan, Mobil berjenis crossover yang diberi nama EVHERO (Electric Crossover) ini mengandalkan tenaga listrik.

Dengan keberhasilan ini, Itenas Bandung menjadi yang pertama di Indonesia yang mampu menciptakan mobil listrik berjenis crossover.

Mobil berkapasitas lima penumpang tersebut, dikembangkan dengan menggunakan biaya riset dan pengembangan dari Kemenristekdikti dan bekerja sama dengan perusahaan kendaraan mobil listrik yaitu Betrix.

Bandung, Mei 2018

Penulis,

Tarsisius Kristyadi.

DAFTAR ISI

	Hal.
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
 BAB 1 PERKEMBANGAN MOBIL LISTRIK DUNIA	 1
 BAB 2 SISTEM PENYEDIA ENERGI LISTRIK	 3
 BAB 3 ANALISA TEGANGAN PADA CHASIS	 13
3.1. Diagram Alir	13
3.2. Objek Analisa Tegangan	14
3.3. Pengumpulan Data	15
3.4. Pemodelan 3 Dimensi Chasis	17
3.5. Analisis Menggunakan Solidworks	18
3.5.1. Material	18
3.5.2. Fixtures	19
3.5.3. Loads	21
3.5.4. Meshing	27
3.6. Hasil Analisis	28
3.6.1. Tegangan (Von Misses Stress)	28
3.6.2. Defleksi (Displacement)	32
3.6.3. Faktor Keamanan (Factor of Safety)	35
 BAB 4 PEMBUATAN BODY MOBIL LISTRIK	 39
4.1. Pemodelan Aerodinamis	39
4.2. Pembuatan Model Clay	46
4.3. Pengujian Model	55
4.4. Pembuatan Body Skala 1 : 1	70
 BAB 5 MOTOR DAN SISTEM KENDALI	 83
5.1. BLDC Motor	83
5.2. Sistem Kendali Motor	84
 BAB 6 PENGUJIAN SIFAT SIFAT MATERIAL BODY MOBIL LISTRIK	 89
6.1. Uji Tarik	89
6.2. Uji Keras	92
6.3. Uji Impak	93
 BAB 7 PROTOTYPE MOBIL LISTRIK CROSS OVER	 101
7.1. Spesifikasi Teknis	101
7.2. Pengujian	108

1 PERKEMBANGAN MOBIL LISTRIK DUNIA

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpan energi lainnya. Mobil listrik sangat populer pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, tapi kemudian popularitasnya meredup karena teknologi mesin pembakaran dalam yang semakin maju dan harga kendaraan berbahan bakar bensin yang semakin murah. Krisis energi pada tahun 1970-an dan 1980-an pernah membangkitkan sedikit minat pada mobil-mobil listrik, tapi baru pada tahun 2000-an lah para produsen kendaraan baru menaruh perhatian yang serius pada kendaraan listrik. Hal ini disebabkan karena harga minyak yang melambung tinggi pada tahun 2000-an serta banyak masyarakat dunia yang sudah sadar akan buruknya dampak emisi gas rumah kaca. Mobil listrik memiliki beberapa kelebihan yang potensial jika dibandingkan dengan mobil bermesin pembakaran dalam biasa. Yang paling utama adalah mobil listrik tidak menghasilkan emisi kendaraan bermotor. Selain itu, mobil jenis ini juga mengurangi emisi gas rumah kaca karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya.

Mobil Listrik Pertama Kali ditemukan oleh Pembangun sebuah unit energi mobil listrik dengan sumber energi non isi ulang asal Skotlandia yaitu Robert Anderson tetapi baterai yang digunakan untuk mobil listrik tersebut tidak cukup kuat, Apalagi Robert Anderson dihadapkan dengan persaingan sengit dengan mobil bertenaga uap pada zaman itu. Tetapi banyak orang yang masih memperdebatkan siapakah penemu mobil Listrik Di dunia. Pada Saat yang sama penemu asal Belanda Sibrandus Stratingh menciptakan sebuah kendaraan bertenaga listrik dan juga Thomas Davenport dari Vermont dan itu sudah ada sejak setidaknya setengah abad sebelum Benz Paten-Motorwagen.

Thomas Edison pertama kali membuat mobil listrik yang dioperasikan menggunakan baterai nikel-alkaline pada tahun 1889. Penemu bola lampu listrik ini, melakukan percobaan dengan mobil listrik yang bertujuan untuk memasarkan baterai nikel-alkaline. Tahun 1899-1910, Perusahaan Pope Manufacturing di Hartford, Connecticut, sudah memproduksi sekitar 900 mobil listrik, sebagian besar dipakai untuk Sarana Transportasi Umum yaitu Taksi. Mobil Listrik Tersebut memiliki jangkauan hingga 40 mil. Pada Tahun 1907-1939, Detroit Electric menciptakan mobil listrik dengan sumber tenaga baterai lead-acid atau baterai nikel-iron, Mobil bertenaga listrik tersebut dapat mencapai kecepatan tertinggi sekitar 20 mph dengan jarak tempuh 80 mil. Pada tahun 1990 di Los Angeles Auto Show menciptakan Sebuah Mobil Listrik yang lebih baik dan halus daripada mobil listrik yang diciptakan di era 1939 ke bawah yaitu EV1 (Prototype), dengan jarak tempuh 80 mil dan dapat mencapai kecepatan 60km dalam 8 detik dan memiliki kecepatan tertinggi 110 mph dan merupakan kendaraan listrik pertama yang benar-benar modern pada tahun itu. Sampai bulan November 2011, model-model listrik yang tersedia dan dijual di pasaran beberapa negara adalah Tesla Roadster, REVAi, Renault Fluence Z.E., Buddy, Mitsubishi i MiEV, Tazzari Zero, Nissan Leaf, Smart ED, Wheego Whip LiFe, Mia listrik, dan BYD

e6. Nissan Leaf, dengan penjualan lebih dari 20.000 unit di seluruh dunia (sampai November 2011), dan Mitsubishi i-MiEV, dengan penjualan global lebih dari 17.000 unit (sampai Oktober 2011), adalah kedua mobil listrik paling laris di dunia.

2 SISTEM PENYEDIA ENERGI LISTRIK

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling mudah dikonversi menjadi bentuk energi lainnya. Pada era awal penemuan listrik sebagai salah satu sumber energi, sistem energi elektrokimia (baterai) memainkan peranan penting dalam menyediakan sumber listrik, baik sebagai baterai primer (penghasil listrik) atau baterai sekunder (penyimpan energi listrik). Tahun 1800 baterai primer pertama dibuat oleh Alessandro Volta (Vincent, 1997), kemudian tahun 1859, Gaston Plante membuat baterai sekunder yang kemudian dikenal sebagai adalah baterai asam timbal. Sebelum Zenobe Gramme berhasil membuat mesin dinamo yang dapat menghasilkan arus listrik (1869), baterai asam timbal „diisi“ dengan menggunakan Sel Daniel (Pavlov, 2013). Pemakaian baterai asam timbal atau sumber energi elektrokimia pada kendaraan listrik bermula pada tahun 1881 oleh Gustave Trouve dengan mobil beroda tiganya. Kecepatan “Mobil listrik” pertama ini dapat mencapai 12 km/jam (Pavlov, 2013).

Teknologi baterai kemudian juga berkembang menjadi *Fuel Cell*, pada dasarnya *Fuel Cell* juga merupakan salah satu jenis baterai yang bahan bakarnya di supply secara kontinu ke permukaan elektrodanya. Dengan demikian sistem peralatan yang beroperasi berdasarkan prinsip elektrokimia, yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik secara langsung. *Fuel Cell* merupakan sistem pembangkit energi dengan efisiensi tinggi dan ramah lingkungan (Services, 2004). *Fuel Cell* tidak menggunakan tahapan antara yang memproduksi panas dan kerja mekanik seperti sistem pembangkit energi umumnya. Karena hal tersebut, *Fuel Cell* tidak memiliki batasan termodinamika seperti efisiensi siklus Carnot. Tidak hanya itu, *Fuel Cell* juga ramah lingkungan karena hanya menghasilkan H₂O sebagai emisi dan tidak menimbulkan kebisingan karena tidak mempunyai komponen yang bergerak.

Salah satu jenis *Fuel Cell* yang merupakan penyedia energi utama pada mobil listrik adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). Bahan bakar yang digunakan pada PEMFC adalah hidrogen yang dihasilkan dari reaksi reformasi kukus bioetanol. PEMFC memiliki rentang daya keluaran tinggi dan beroperasi pada temperatur rendah sehingga cocok diaplikasikan pada kendaraan. Selain itu, PEMFC bersifat ramah lingkungan karena hanya menghasilkan air sebagai produk samping. Salah satu modifikasi dari PEMFC adalah *Direct Ethanol Fuel Cell* (DEFC) yang menggunakan etanol sebagai bahan bakar utama. DEFC dapat mengonversi bioetanol menjadi listrik secara langsung tanpa perlu adanya penambahan *reformer*. Namun, sebagai teknologi yang tergolong baru, penggunaan DEFC untuk kendaraan bermotor masih memerlukan kajian yang lebih lanjut.

Setelah lebih dari 150 tahun semenjak ditemukannya baterai sekunder asam timbal, pemenuhan energi listrik portabel untuk keperluan telekomunikasi, transport, sumber

energi cadangan mulai beralih ke teknologi baru yaitu dengan memanfaatkan litium sebagai elektrodanya. Baterai ion litium memiliki beberapa kelebihan seperti memiliki tegangan sel yang tinggi, kapasitas energi spesifik yang tinggi, daya dan densitas yang tinggi, *self-discharge* yang rendah dan ramah lingkungan membuat baterai ion litium digunakan sebagai alternatif dalam penyimpanan dan sumber energi untuk mobil listrik (Lee dan Wang, 2005). Sebagai sistem elektrokimia, baterai ion litium memiliki 3 komponen utama yaitu katoda, membran elektrolit dan anoda. Baterai komersial pada saat ini masih memiliki salah satu kekurangan seperti terjadinya kebocoran cairan elektrolit yang mudah terbakar. Sebagai alternatif untuk mengganti cairan elektrolit ini adalah membran polimer elektrolit yang berfungsi sebagai separator dan media transfer ion. Membran polimer elektrolit yang dikembangkan berbasis biopolimer yang banyak ditemukan di Indonesia seperti selulosa dan kitosan, serta limbah industri seperti limbah plastik *styrofoam*.

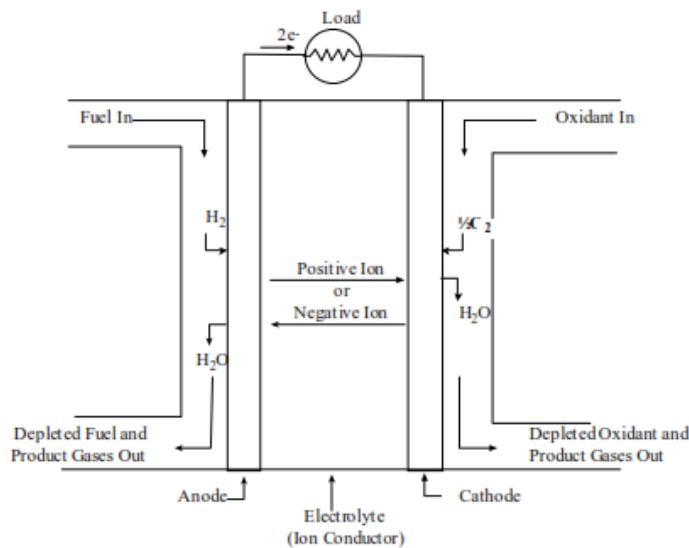
Proses penyimpanan dan pengosongan baterai pada umumnya diatur oleh sebuah sistem yang disebut sebagai *Battery Management System* (BMS). BMS ditujukan untuk membuat sistem efisien dari sisi energi, mampu melakukan kontrol penyeimbangan sel (*cell balancing*), serta mampu mencegah kerusakan baterai akibat *over charging* maupun *over discharging*.

Berdasarkan karakteristik ketenagalistrikan, pola pengendaraan mobil listrik melalui berbagai kondisi jalan akan menyebabkan perubahan beban yang sangat fluktuatif. Perubahan beban listrik dengan pola fluktuatif seperti ini tidak sesuai untuk di catu dari sumber *Fuel Cell* maupun baterai. Hal ini karena kedua sumber ini, meskipun mempunyai kepadatan energi yang tinggi, tetapi tidak mempunyai kepadatan daya yang cukup untuk merespon terhadap perubahan beban yang terjadi secara cepat. Baterai merupakan sumber catu daya yang memiliki resiko degradasi apabila mengalami proses *over-charging* maupun *over-discharging*.

Di dalam sistem penyedia energi, baterai dan juga *Fuel Cell* merupakan komponen utamanya. Komponen ini dapat menyimpan energi dalam jumlah besar per satuan volume. Walaupun begitu kedua komponen ini memiliki kelemahan. Baterai menjadi tidak baik bila menerima dan mengeluarkan energi/arus dalam jumlah besar dalam waktu singkat (daya besar). Ada dua efek buruk yang terjadi: (1) energi yang dapat dimanfaatkan menjadi berkurang (*rate capacitance effect*) dan juga (2) umur baterai menjadi pendek/lekas rusak.

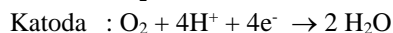
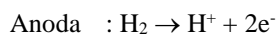
Fuel Cell adalah sistem peralatan yang beroperasi berdasarkan prinsip elektrokimia, yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik secara langsung, merupakan sistem pembangkit energi dengan efisiensi tinggi dan ramah lingkungan (Services, 2004). *Fuel cell* tidak menggunakan tahapan antara yang memproduksi panas dan kerja mekanik seperti sistem pembangkit energi umumnya. Karena hal tersebut, *fuel cell* tidak memiliki batasan termodinamika seperti efisiensi siklus Carnot. Tidak hanya itu, *fuel cell* juga ramah lingkungan karena hanya menghasilkan H₂O sebagai emisi dan tidak menimbulkan kebisingan karena tidak mempunyai komponen yang bergerak.

Prinsip dasar *fuel cell* adalah mengubah bahan bakar dan oksidan, melalui reaksi elektrokimia, menjadi energi listrik, panas, dan limbah. Saat ini, yang paling banyak diaplikasikan adalah penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar, dan oksigen yang berasal dari udara sekitar sebagai oksidannya. Limbah yang dihasilkan dari *fuel cell* hanyalah H₂O. Seperti halnya sistem penyedia energi yang konvensional, ketersediaan bahan bakar dan oksidan harus terus terjaga untuk menghasilkan energi listrik secara kontinu. Bagan skematik *fuel cell* ditampilkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja *Fuel Cell*
(Hirschenhofer et al, 2004)

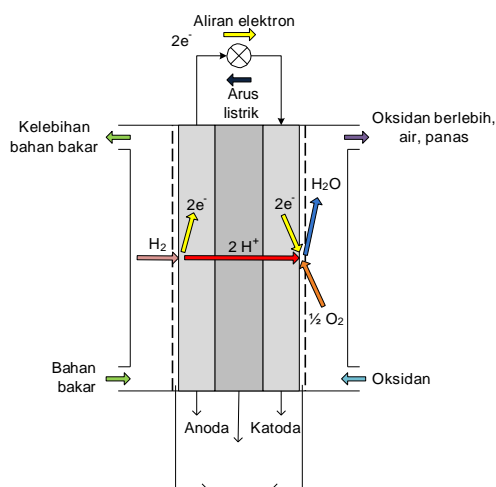
Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) merupakan perangkat elektrokimia yang mengkonversi energi kimia dari hidrogen dan oksigen secara langsung dan efisien menjadi energi listrik yang berguna, dengan produk samping berupa panas dan air. PEMFC mampu menghasilkan kerapatan energi yang besar secara efisien, sehingga sangat berpotensi untuk diaplikasikan pada peralatan jinjing dan bergerak (Services, 2004). PEMFC beroperasi pada temperatur rendah (sekitar 60-80 °C) dan memiliki beberapa keunggulan seperti kecepatan pengoperasian, tidak menyebabkan polusi, ringkas, dan hening. Keunggulan-keunggulan PEMFC tersebut membuatnya paling mungkin diterapkan di kendaraan bermotor sebagai penyedia energi utama pada mobil listrik (Larminie, 2003). Energi listrik dihasilkan oleh PEMFC melalui reaksi elektrokimia pada anoda dan katoda sebagai berikut:



Sebagai suatu sistem konversi energi dari energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia, PEMFC memiliki bagian-bagian utama penyusun sel sebagai berikut:

1. Elektroda: anoda dan katoda
Anoda dan katoda yang digunakan terbuat dari karbon dengan struktur *porous* yang telah diberi katalis platina dengan *loading* sekitar 20%.
2. Elektrolit
Elektrolit PEMFC berbentuk padatan berupa membran yang selektif terhadap ion H^+ dengan merek dagang Nafion. Nafion terdiri atas struktur polimer *sulphonated fluoroethylene* dengan ukuran pori sangat kecil yang hanya mampu dilewati oleh proton. Kuatnya ikatan antara fluor dan karbon membuatnya awet dan tahan dari serangan bahan kimia. Sifat hidrofobik dari Nafion mampu mengeluarkan air dari *fuel cell* sehingga mencegah *flooding* (Larminie, 2003).
3. Ionomer
Ionomer berperan sebagai media agar ion dan molekul dapat berpindah di dalam elektroda yang *porous*. Bahan ionomer ini sama dengan bahan elektrolit, namun dengan fasa seperti gel.
4. Rangkaian listrik
Rangkaian listrik dibutuhkan sebagai media perpindahan elektron dari anoda ke katoda karena elektron tidak berpindah melalui elektrolit.

Bagan skematik PEMFC ditampilkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Prinsip Kerja Proton Exchange Membrane Fuel Cell

Hidrogen sebagai bahan bakar dipasok dari tangki penyimpanan hidrogen, sedangkan oksigen diambil langsung dari udara bebas. Aplikasi PEMFC pada kendaraan membutuhkan pasokan hidrogen dari sumber yang lebih mudah diperoleh tanpa perlu pembangunan infrastruktur baru, seperti halnya bensin yang tersedia secara luas (de Bruijn et al, 2002, Sishitla et al, 1998). Dengan menggunakan tangki penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi pada kendaraan berpotensi menimbulkan resistensi dari masyarakat. Sehingga diperlukan alternatif bahan bakar penghasil hidrogen yang tidak membutuhkan tangki penyimpanan bertekanan tinggi untuk disimpan dalam bentuk cair, seperti etanol. Penggunaan bioetanol juga didukung potensi biomassa yang tinggi di Indonesia dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol, sehingga pemanfaatan bahan baku ini akan mengurangi kekhawatiran akan persaingan penggunaan bahan pangan untuk produksi energi.

Produksi hidrogen dari etanol dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan teknologi *steam reforming* atau reformasi kukus. Dengan teknologi reformasi kukus, senyawa hidrokarbon direaksikan dengan kukus (*steam*) sehingga menghasilkan hidrogen sebagai produk utama, telah diterapkan secara luas untuk skala industri tersebut (Chen et al, 2012). Hidrogen hasil reaksi reformasi kukus masih memiliki banyak pengotor CO dan CO₂ sebagai produk samping utama dari reaksi-reaksi yang berlangsung di dalam reaktor *reformer*. Kedua produk samping tersebut tergolong ke dalam pengotor-pengotor yang dapat menurunkan kinerja PEMFC (Akanke et al, 2006, Aboudheir et al, 2005, Sun et al, 2005, Zhang, 2010, Rodrigues et al, 1997, Camara et al, 2002, Arif dan Nurdin, 2012, Freni et al, 2000). Untuk menekan konsentrasi kedua pengotor tersebut, aliran produk *reformer* harus diberikan beberapa proses *treatment* lebih lanjut, yaitu reaksi WGS (*water-gas shift*) dan reaksi *preferential oxidation* (Loannides, 2001, Gosavi dan Biniwale, 2013, Callghan, 2006).

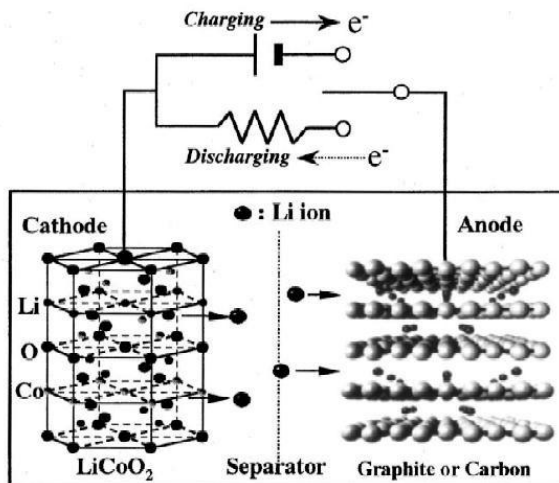
Sebuah sistem integrasi panas antara PEMFC, reaktor *reformer*, reaktor WGS, dan reaktor PrOx dapat diterapkan agar penyediaan energi yang berlangsung dalam sistem PEMFC- *reformer* tersebut dapat berlangsung secara ototermal. Pada aplikasinya nanti, sistem PEMFC- *reformer* yang diterapkan pada kendaraan harus memiliki ukuran yang *compact*. Oleh karena itu, reaktor-reaktor yang digunakan dalam sistem PEMFC-*reformer* (reaktor reformasi kukus, WGS, dan PrOx) harus berupa reaktor dengan kanal-kanal berukuran mikro sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Berbagai kajian yang mempelajari pengembangan reaktor *reformer* berskala mikro dengan umpan etanol telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu (Cai et al, 2010, Casanovas et al, 2008). Akan tetapi, penggunaan sistem PEMFC-*reformer* skala mikro dengan umpan bioetanol yang memiliki sistem *treatment* produk *reformer* berupa reaktor WGS dan reaktor PrOx, serta sistem integrasi panas ototermal yang optimal, masih memerlukan pengkajian dan pengembangan lebih lanjut dari sisi desain, operasional, dan katalis.

Aplikasi PEMFC untuk kendaraan dihadapkan pada masalah berupa ketahanan pengoperasian. Untuk kendaraan bermotor, PEMFC setidaknya harus memiliki usia pakai 5.000 jam (Wu et al, 2008). Pengoperasian kendaraan bermotor didekati dengan siklus nyala-mati, di mana beban arus pengoperasian PEMFC selalu tetap (Oyarce et

al, 2011, Le dan Wang, 2007). Siklus nyala-mati menjadi parameter untuk menentukan ketahanan operasi PEMFC selama 5.500 jam atau setara dengan 30.000 siklus nyala-mati (Paul et al, 2006).

Baterai merupakan sumber energi elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Adapun komponen dari baterai terdiri dari dua elektroda yaitu elektroda positif (katoda) dan elektroda negatif (anoda) yang dipisahkan oleh separator dan cairan elektrolit. Cairan elektrolit berfungsi sebagai media transfer elektron dan sebagai pengisolasi elektron.

Baterai terdiri atas dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai ion litium merupakan baterai sekunder atau baterai yang dapat diisi ulang. Banyak keunggulan baterai ini dibandingkan dengan jenis baterai sebelumnya, diantaranya memiliki *memory effect* yang kecil sehingga kapasitasnya cenderung konstan atau tetap, tegangan sel yang tinggi, pencemaran lingkungan yang rendah, nilai *self-discharge* yang rendah, densitas daya yang tinggi energi spesifik dan densitas energi yang tinggi serta memiliki kebebasan untuk pemilihan material yang lebih luas dan yang lebih ramah lingkungan sebagai material pembentuknya seperti polimer. Baterai ion litium bekerja dengan fenomena proses interkalasi dari transfer ion lithium. Proses ini terjadi pada proses *charge* dan *discharge*, seperti pada **Gambar 2.3**. Interkalasi terjadi pada elektroda baterai litium dan elektrolit sebagai media untuk migrasi ion litium (Lee dan Wang, 2005, Scrosati dan Garche, 2010, Meyer, 1998).



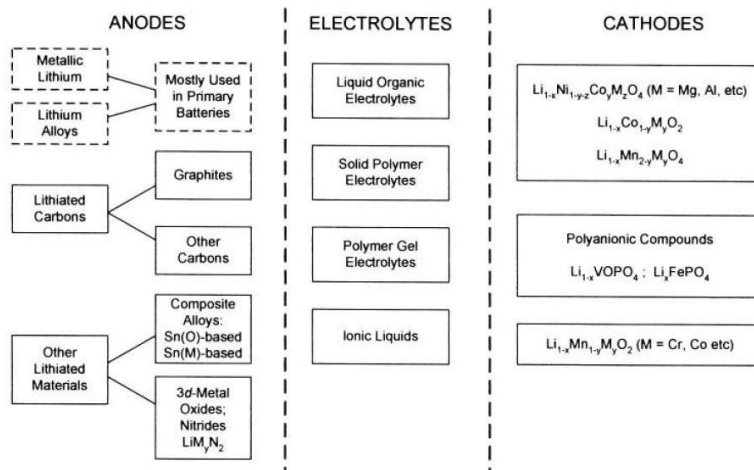
Gambar 2.3. Skema prinsip kerja baterai ion litium (Moss, 2008)

Pada prinsipnya dalam sel baterai ion litium terjadi dua mekanisme reaksi yaitu sel elektrolisis dan sel Galvani. Pada sel elektrolisis terjadi pada saat *charge* ulang dimana elektron mengalir dari katoda (elektroda negatif) ke anoda (elektroda positif).

-

Dalam sel baterai ion litium terdiri dari dua elektroda dan separator atau membran. Membran atau separator ini memisahkan antara elektroda negatif dan elektroda positif. Dalam baterai ion litium komersil, grafit biasa digunakan sebagai elektroda negatif (anoda) karena relatif lebih aman, kinerja siklus yang baik, dan strukturnya yang baik. Sedangkan sebagai elektroda positifnya (katoda) digunakan litium kobalt oksida karena relatif lebih stabil, kinerja dan densitas energinya lebih tinggi dibandingkan dengan bahan katoda lainnya. Untuk membran, pada saat ini telah digunakan membran polimer elektrolit sebagai separator sekaligus sebagai media transfer ion. Dalam membran ini biasanya digunakan garam elektrolit jenis LiClO_4 dan LiPF_6 (Moss, 2008).

Komponen lain dari baterai yang penting untuk disiapkan adalah elektroda. Elektroda memiliki peranan yang sangat penting pada baterai ion litium karena elektroda menentukan kapasitas penyimpanan energi dan performa baterai. Berbagai macam elektroda yang digunakan pada baterai ion litium dapat dilihat pada gambar ilustrasi berikut (Schalkwijk dan Scrosati, 2002).



Gambar 2.4. Ilustrasi berbagai macam elektroda dan elektrolit pada baterai ion litium

Material elektroda mempunyai peranan yang sangat penting karena terkait dengan kapasitas dan kualitas baterai yang dibuat. Elektroda disini terdiri atas dua bagian yaitu katoda sebagai elektroda positif dan anoda sebagai elektroda negatif. Elektroda ini berperan sebagai tempat transisi dari ion elektron saat membawa muatan listrik. Selain dari kapasitas baterai, pemilihan jenis material elektroda akan sangat menentukan besarnya beda potensial dari baterai tersebut, semakin beda potensialnya besar maka semakin mudah untuk diaplikasikan pada baterai mobil listrik.

Material yang sering digunakan sebagai anoda pada baterai ion litium komersial pada saat ini adalah karbon grafit. Material berjenis karbon ini harganya relatif murah dan memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan proses penyisipan dan pelepasan ion

litium. Selain itu kapasitas penyimpanan ion litiumnya relatif tinggi, potensial listriknya mendekati potensial logam litium, kemampuan *recycle*-nya yang baik, aman dan ramah lingkungan. Jenis material anoda lainnya adalah material dengan struktur berlapis anion kisi tertutup atau kisi hampir tertutup, LiTiS_2 , LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{LiNi}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_2$, dan $\text{LiNi}_y\text{Mn}_{1-2y}\text{Co}_{1-2y}\text{O}_2$.

Material yang sering digunakan sebagai katoda pada baterai ion litium relatif cukup banyak jenisnya. Secara umum, material katoda ini berfungsi sebagai sumber ion litium penghantar arus yang dapat berpindah dari katoda ke anoda dan sebaliknya, sehingga sangat menentukan performa dari baterai litium itu sendiri. Untuk itu perlu dipilih material katoda yang baik yang mempunyai kriteria sebagai berikut:

- mempunyai senyawa logam transisi dengan potensial reduksi tinggi,
- dapat bereaksi secara reversibel dengan ion litium
- mempunyai energi bebas yang tinggi,
- konduktivitas listrik dan ioniknya tinggi,
- dapat bereaksi dengan cepat terhadap ion litium,
- stabil, tidak mengalami perubahan struktur molekul yang diakibatkan oleh proses penyisipan dan pelepasan ion litium,
- harganya murah, berkelimpahan dan ramah lingkungan.

Material dari katoda pada baterai litium komersial yang paling banyak digunakan saat ini adalah material senyawa oksida dari campuran logam transisi kobalt (Co), seperti LiCoO_2 . Material ini memiliki tegangan potensial hingga 4 V. Akan tetapi, material ini mempunyai kelemahan, yaitu kapasitas reversibel yang hanya mencapai 140 mAh/g. Selain itu material ini mempunyai kekurangan dengan lingkungan, daya tahan yang buruk, tidak stabil pada temperatur kerja tinggi dan ketersediaan sumber kobalt di alam yang sedikit. Oleh karena itu dalam beberapa tahun ini penelitian bahan katoda memasuki generasi kedua dengan struktur polianion dan menggunakan logam transisi yang relatif murah dan berlimpah sumbernya di bumi seperti besi (iron Fe). Struktur polianion secara teori lebih stabil terhadap proses penyisipan dan pelepasan ion litium.

Salah satu jenis material katoda yang mempunyai struktur polianion adalah material LiFePO_4 . Material ini memiliki kapasitas spesifik teoritik mencapai 170 mAh/g dengan struktur kristal berupa olivine $(\text{XO}_4)_y$ sehingga lebih kuat dibanding LiCoO_2 dan cukup menjanjikan jika digunakan sebagai material katoda pada baterai ion litium. Pada pengukuran, material LiFePO_4 ini ternyata memiliki tegangan keluaran stabil pada 3,5 V dengan kapasitas spesifik reversibel mencapai 160 mAh/g sangat mendekati kapasitas teoritiknya. Selain itu material LiFePO_4 secara eksperimen mempunyai daya tahan lebih lama dan mampu menyimpan dan memasuk energi lebih tinggi dibanding LiCoO_2 . Material LiFePO_4 ini biasanya dibuat melalui proses pada fasa solid pada suhu pemanasan sekitar 800 derajat Celsius dengan bahan dasar misalnya LiOH , FeSO_4 dan H_3PO_4 .

Battery Management System (BMS) yang ideal adalah efisien energi (mengonsumsi daya sesedikit mungkin), melakukan kontrol penyeimbangan sel (*cell balancing*) untuk mewujudkan kapasitas penuh baterai dan memastikan bahwa baterai litium tidak rusak diakibatkan oleh *over charging* dan *over discharging* dengan algoritma-algoritma deteksi kegagalan (*fault detection*) pada sistem kelistrikan mobil listrik (Pattipati, 2011, Xing, 2011).

BMS juga berperan penting dalam melindungi baterai litium dengan cara menghindarkannya dari pengoperasian di luar *safe operating area* (SOA). BMS akan memeriksa parameter operasional kinerja baterai saat pengisian dan penggunaan energi listriknya pada seluruh sel baterai litium yang tersambung. Parameter operasionalnya adalah tegangan, arus, suhu internal dan suhu lingkungan baterai sehingga dengan algoritma tertentu akan diperoleh *State-of-Charge* (SOC) (Pattipati 2011, Xing 2011).

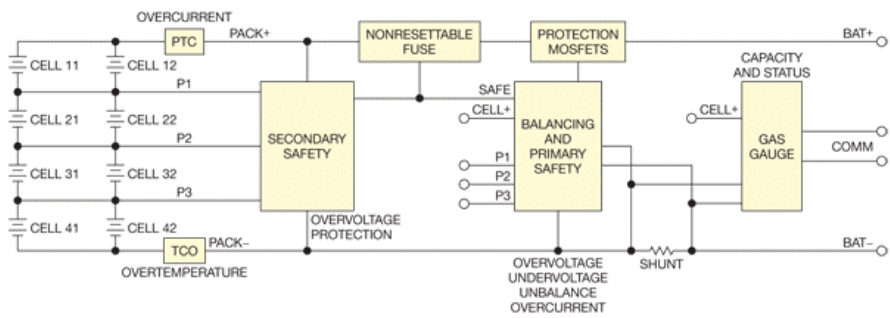
Salah satu fungsi BMS yang penting adalah perlindungan (*safety*) terhadap baterai dari pengoperasian di luar SOA. Hal-hal di luar SOA yang harus dihindari adalah:

1. *Over-current*
2. *Over-voltage* (selama proses charging)
3. *Deep-voltage* (selama proses discharging)
4. *Over-temperature*
5. *Under-temperature*
6. *Over-pressure*
7. *Current leakage*

BMS dapat mencegah baterai beroperasi di luar SOA dengan beberapa cara, antara lain:

1. Melibatkan *switch* internal (*semiconductor relay*) yang akan terbuka jika baterai beroperasi di luar SOA.
2. Mengatur perangkat yang terhubung dengan baterai untuk mengurangi bahkan memutuskan penggunaan baterai oleh perangkat tersebut.
3. Secara aktif mengatur kondisi lingkungan di sekitar baterai, misalkan dengan menggunakan pemanas, kipas angin (*fan*), *air conditioning*, atau pendingin cair.

Spesifikasi BMS yang dibutuhkan untuk memenuhi standar keselamatan kendaraan listrik menurut ISO 26262 adalah memiliki *critical fault rate* $<10^{-8} \text{ hr}^{-1}$, menjaga probabilitas operasi $> 96\%$ (dengan asumsi penggunaan dan pemeliharaan normal), serta dapat memonitor seluruh *fault* elektronik, pengkabelan, dan sensor sehingga dapat merekonfigurasi sistem ketika *fault* dideteksi. Secara umum, perangkat proteksi keselamatan baterai pada BMS ditunjukkan pada Gambar 2.5

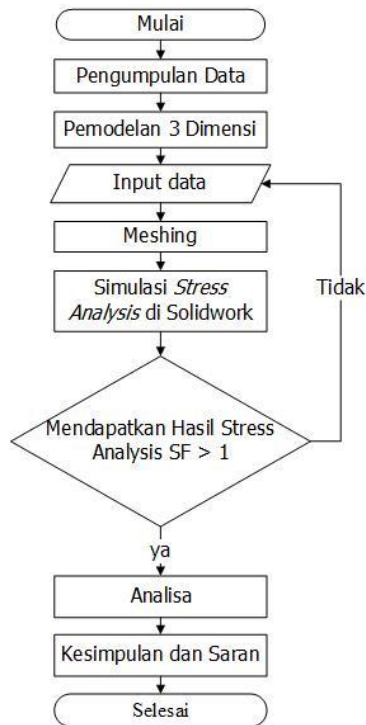


Gambar 2.5. Rangkaian umum proteksi elektronik BMS

3 ANALISA TEGANGAN PADA CHASIS

3.1. Diagram Alir

Analisa tegangan pada chassis adalah untuk mengetahui tingkat keamanan *chassis*, maka dilakukan simulasi menggunakan *stress analysis* di solidworks. Berikut ini adalah tahapan untuk melakukan simulasi:



Gambar 3.1. Diagram Alir

Diagram alir tersebut dapat di jabarkan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan yaitu data foto *chassis*, berat baterai, berat motor listrik, dimensi *chassis*, dan data material *chassis* pada umumnya, Selanjutnya melakukan sket *chassis* di *software* autocad beserta mencantumkan ukurannya.

2. Pemodelan 3 Dimensi

Pemodelan model tiga dimensi di *software* solidworks yang akan dianalisis berdasarkan sket dan ukuran, model yang dibuat ada dua yaitu pertama *chassis* dengan berlubang dan kedua *chassis* tanpa lubang dan selanjut memodelkan kapasitas jumlah baterai yang dapat diletakkan di *chassis*.

3. *Input Data*

Data yang di-*input* yaitu berupa data jenis material yang digunakan, data jenis tumpuan yang digunakan beserta lokasi tumpuan, jenis beban dan nilai beban beserta lokasi penempatan beban di *chassis*.

4. *Meshing*

Menentukan ukuran *grid* atau pembagian elemen dari *chassis*.

5. *Running Stress Analysis*

Merunning simulasi *stress analysis*.

6. Hasil Simulasi *Safety of factor* lebih besar 1

Mengecek hasil simulasi berupa *Von Misses*, *displacement*, dan *safety of factor* telah melebihi satu atau tidak, jika iya lanjut ke analisa jika tidak balik ke input data.

7. Analisa

Melakukan Analisa hasil simulasi dengan teorinya.

8. Kesimpulan dan saran

Membuat kesimpulan dari penelitian dan memberikan saran.

3.2. Objek Analisa Tegangan

Objek analisa tegangan adalah *chassis* yang memiliki khas berlubang yang bertujuan untuk mengurangi massa, seperti pada gambar 3.2. Chassis ini akan dipakai sebagai *chassis* mobil listrik.



Gambar 3.2. Objek Analisa

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan proses sebelum dilakukan simulasi di-*software*. Pertama data yang dikumpulkan yaitu berat baterai, dimensi baterai, spesifikasi baterai dan foto baterai seperti gambar 3.3, berikut data spesifikasi geometri baterai:

- Nama baterai = Global Deep cycle *battery*
- jenis baterai = Baterai basah
- kapasitas = 12V, 150 Ah / 20 Hr
- Dimensi = 400 x 250 x 300 mm
- Berat = 37 Kg



Gambar 3.3. Baterai

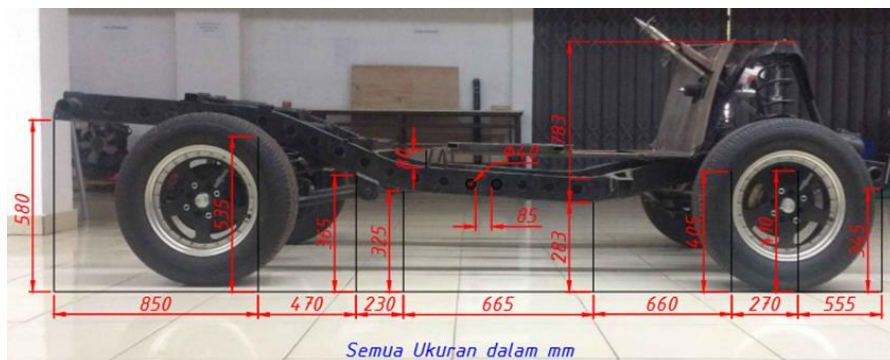
Data kedua yang dikumpulkan yaitu data foto motor listrik, berat motor listrik, dimensi motor listrik dan spesifikasi motor listrik, seperti pada gambar 3.4, berikut data motor listrik:

- Nama Motor Listrik = *High Power BLDC liquid cooling Golden Motor*
- kapasitas = 72V, 20 KW
- Dimensi = 300 x 300 x 250 mm
- Berat = 40.3 Kg



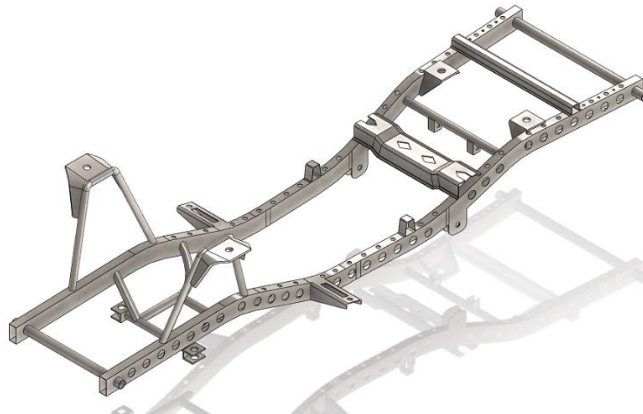
Gambar 3.1 Berat Motor Listrik

Terakhir pengumpulan data dimensi *chassis* dengan cara di foto, kemudian diukur menggunakan mistar insut dan meteran dan selanjutnya dimasukkan ke aplikasi *software* CAD, dan didapat dimensinya yaitu dengan panjang 3700 mm, lebar 1040 mm dan tinggi 783 mm, seperti Gambar 3.5. Untuk melihat lebih detail dimensi *chassis* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.5 Dimensi Chassis

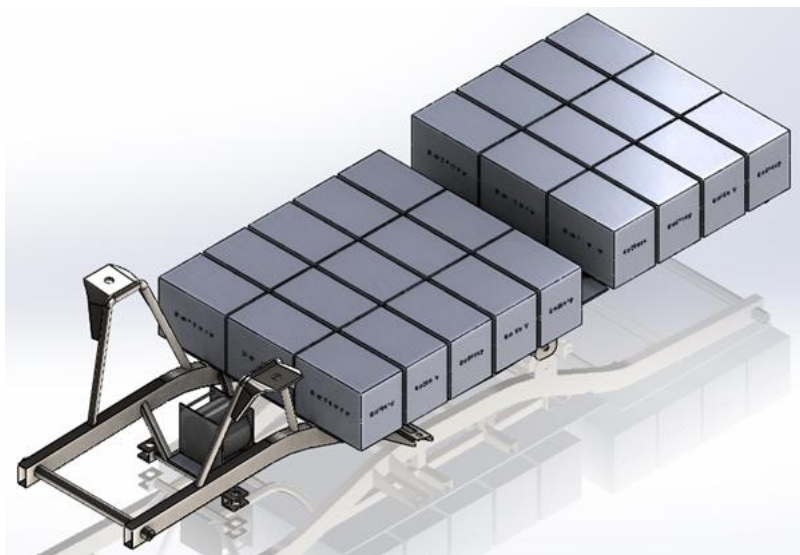
3.4. Pemodelan 3 Dimensi Chassis



Gambar 3.2 Pemodelan 3 Dimensi *Chassis*

Pemodelan *chassis* dibuat untuk menjalankan simulasi pada *software*, dimana pemodelan 3 dimensi *chassis* dibuat dengan menggunakan *software* CAD (SolidWorks). Hasil pemodelan *chassis* dapat dilihat digambar 3.6:

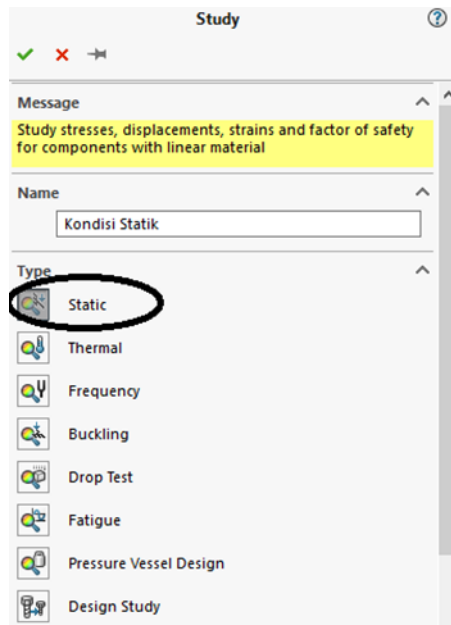
Dari hasil pemodelan, diketahui *chassis* memiliki volume 10899266.91 mm³ dan luas permukaan 7354330.98 mm². Selanjutnya, dilakukan Pemodelan *chassis* dengan baterai, dengan tujuan untuk mencari kapasitas jumlah baterai yang bisa diletakkan di *chassis* seperti gambar 3.7. Dari hasil pemodelan *chassis* dengan baterai diketahui jumlah baterai yaitu 36 baterai, dimana 15 baterai di bagian tengah *chassis*, dan 12 baterai dibagian belakang *chassis*.



Gambar 3.3 Pemodelan *Chassis* dengan Baterai

3.5. Analisis Menggunakan Solidworks

Setelah melakukan pemodelan chassis di *software* SolidWorks selanjutnya dilakukan analisis kekuatan dengan 4 keadaan yang berbeda yaitu keadaan statik, tahanan, turunan, dan pengereman, dengan menggunakan model yang sama. Untuk memulai analisis srtiap keadaan, yang pertama dilakukan yaitu memilih simulasi *study static*, seperti pada gambar 3.8.:



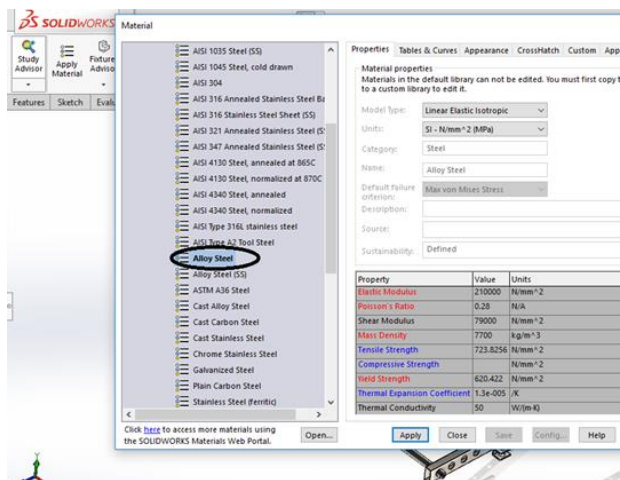
Gambar 3.4 Jenis model

Ada beberapa parameter untuk melakukan proses simulasi yaitu:

1. Material
2. *Fixtures*
3. *Loads*
4. *Meshing*
5. Hasil *Study*

3.5.1. Material

Setelah memilih jenis *simulasi*, selanjutnya memasukkan jenis material di kolom *library* material solidworks seperti pada gambar 3.9. Material yang digunakan pada saat simulasi untuk keadaan statik, tahanan, turunan, dan pengereman adalah *Alloy Steel*, material ini merupakan material *chassis* yang sering digunakan untuk mobil niaga. Selain itu material alloy steel memiliki kekuatan yang lebih tinggi dengan jenis material yang lain.



Gambar 3.5 Jenis Material Alloy Steel

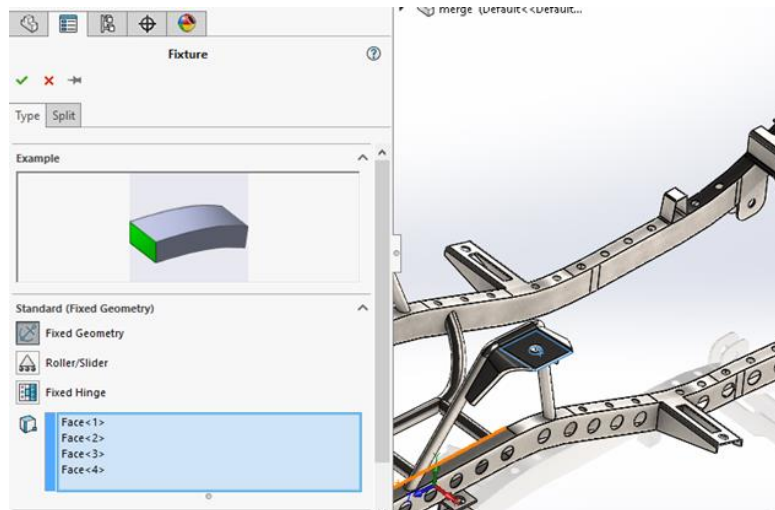
Sifat mekanik material dapat dilihat pada tabel 3.1. berdasarkan data di *library material* solidworks.

Tabel 3.1 Sifat Mekanik Material

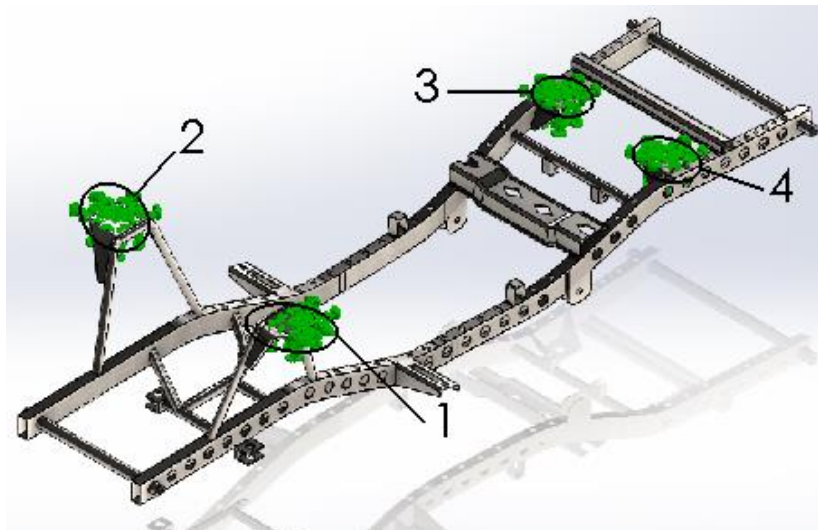
<i>Name:</i>	<i>Alloy Steel</i>
<i>Model type:</i>	<i>Linear Elastic Isotropic</i>
<i>Default failure criterion:</i>	<i>Max von Mises Stress</i>
<i>Yield strength:</i>	6.20422e+008 N/m ²
<i>Tensile strength:</i>	7.23826e+008 N/m ²
<i>Elastic modulus:</i>	2.1e+011 N/m ²
<i>Poisson's ratio:</i>	0.28
<i>Mass density:</i>	7700 kg/m ³
<i>Shear modulus:</i>	7.9e+010 N/m ²
<i>Thermal expansion coefficient:</i>	1.3e-005 /Kelvin

3.5.2. Fixtures

Fixtures merupakan istilah lain dari tumpuan di *software* solidworks, tumpuan yang terjadi pada chassis ada empat buah, yaitu *mounting* pegas yang dilas di rangka utama. Karena *mounting* ini berfungsi mengunci pegas yang dapat menahan gaya vertikal, horizontal, dan momen sehingga tumpuan yang dipilih adalah *fixed geometry* seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.6 *Fixed Geometry*

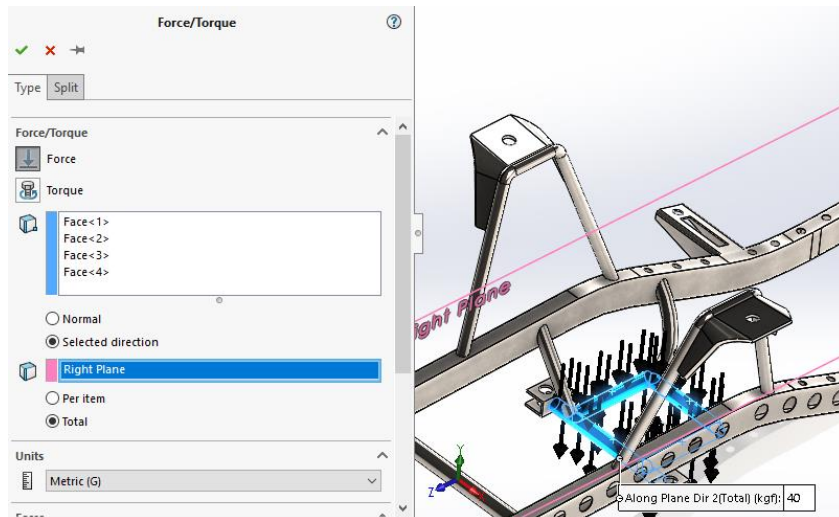


Gambar 3.7 Posisi Tumpuan

Untuk posisi tumpuan berjumlah empat seperti pada gambar 3.11.:

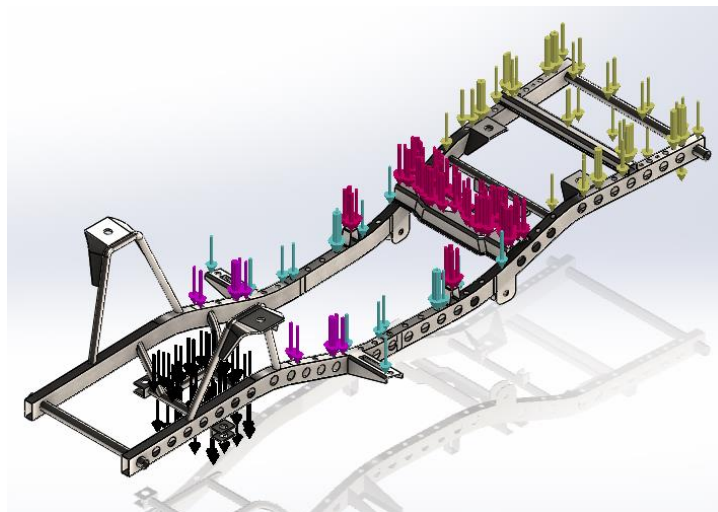
3.5.3. Loads

Setelah menentukan posisi dan jenis tumpuan, berikutnya adalah menentukan nilai dan posisi beban, untuk beban yang di-input yaitu berat baterai, berat penumpang, dan berat motor listrik. Beban yang di-input di *software* merupakan gaya terdistribusi seragam, seperti pada gambar 3.12:



Gambar 3.8 Gaya Terdistribusi Seragam

Beban Keseluruhan yang diterima chassis adalah 1514 kgf, beban tersebut terdiri dari 5 gaya (di *software* disebut *force*) yang nilainya berbeda – beda seperti pada gambar 3. 13,

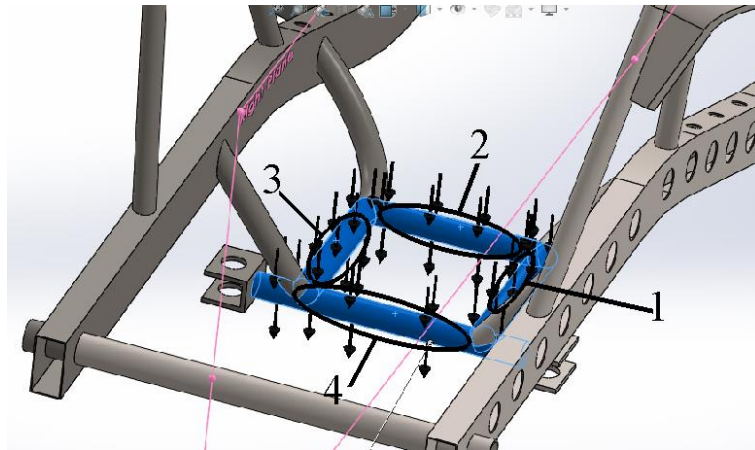


Gambar 3.9 Beban Keseluruhan di *Chassis*

berikut penjelasan tiap *force*:

- *Force 1*

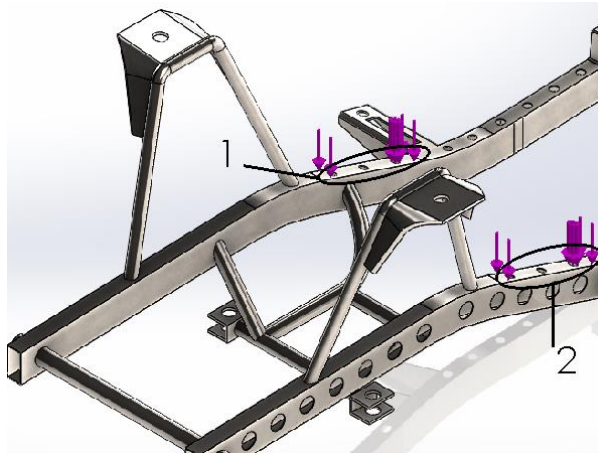
Force 1 yaitu berat motor listrik di chassis bagian depan, *force 1* ditunjukkan dengan panah warna hitam. Posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.14, nilai berat motor listrik yaitu 37 kgf.



Gambar 3.10 Posisi *Force 1*

- *Force 2*

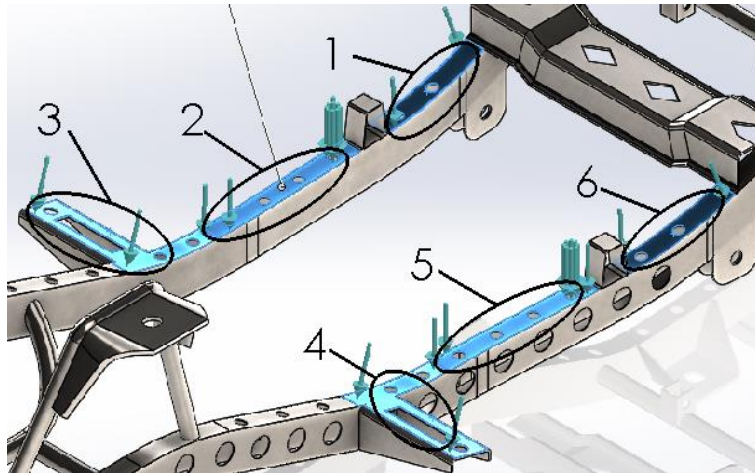
Force 2 yaitu berat dua orang penumpang di bagian depan dengan berat satu orang yaitu 80 kgf, *force 1* ditunjukkan dengan panah warna ungu dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.15:



Gambar 3.11 Posisi *Force 2*

- *Force 3*

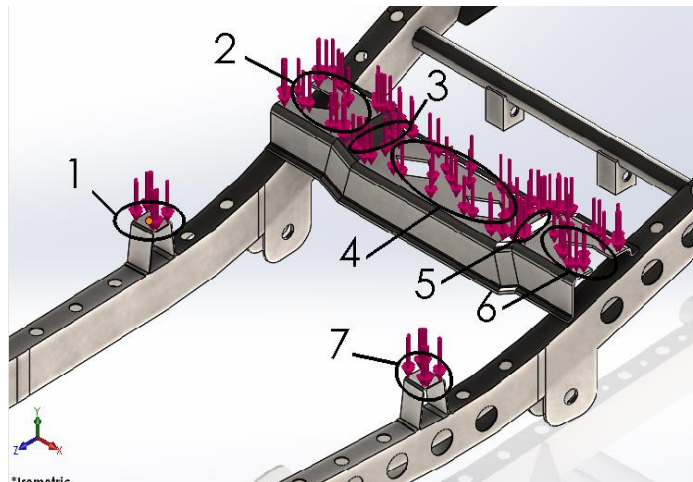
Force 3 yaitu berat baterai di chassis bagian tengah, dengan jumlah baterainya yaitu 12 sesuai dengan gambar 3.16. *Force 3* ditunjukkan dengan panah warna biru dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.16 :



Gambar 3.12 Baterai di *Chassis* bagian Tengah

- *Force 4*

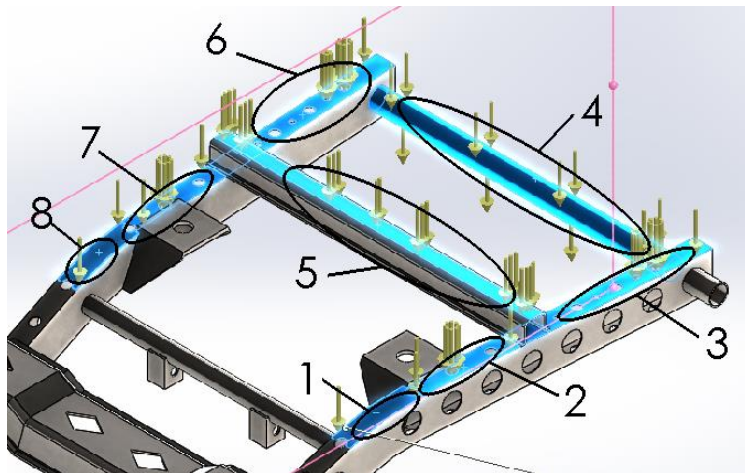
Force 4 yaitu berat empat orang penumpang di bagian tengah dan belakang dengan berat satu orang yaitu 80 kgf. *Force 4* ditunjukkan dengan panah warna merah dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.17:



Gambar 3.13 Posisi *Force 4*

- *Force 5*

Force 5 yaitu berat baterai di chassis bagian belakang dengan jumlah baterainya yaitu 15. *Force 5* ditunjukkan dengan panah warna kuning, dan posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.18:



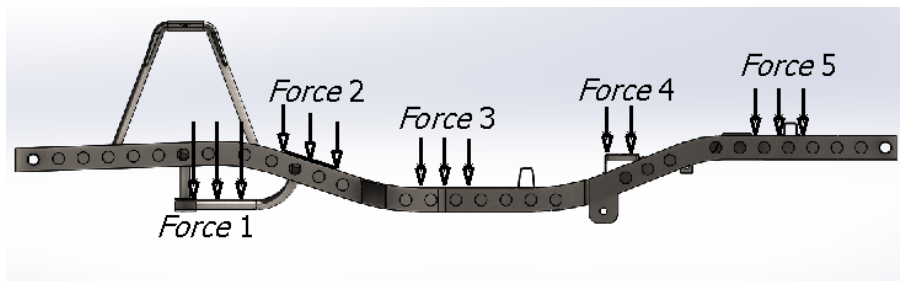
Gambar 3.14 Posisi *Force 5*

berikut penjelasan *force* untuk setiap keadaan:

3.5.3.1. Keadaan Statik

Dalam keadaan statik, beban tidak terkonsentrasi bagian belakang maupun depan, akan tetapi diam seperti pada gambar 3.19. Berikut beban yang di-*input* saat keadaan statik:

- *Force 1*
 $Force\ 1 = 40,3\ kgf$
- *Force 2*
 $Force\ 2 = 80\ kgf \times 2$
 $= 160\ kgf$
- *Force 3*
 $Force\ 3 = 37\ kgf \times 15$
 $= 555\ kgf$
- *Force 4*
 $Force\ 4 = 80\ kgf \times 4$
 $= 320\ kgf$
- *Force 5*
 $Force\ 5 = 37\ kgf \times 12$
 $= 444\ kgf$



Gambar 3.15 Beban Saat Statik

3.5.3.2. Keadaan Tanjakan

Dalam keadaan menanjak, beban dipengaruhi oleh sudut tanjakan sehingga beban terkonsentrasi di bagian belakang seperti pada gambar 3.20. Berikut nilai beban yang di-input saat keadaan menanjak:

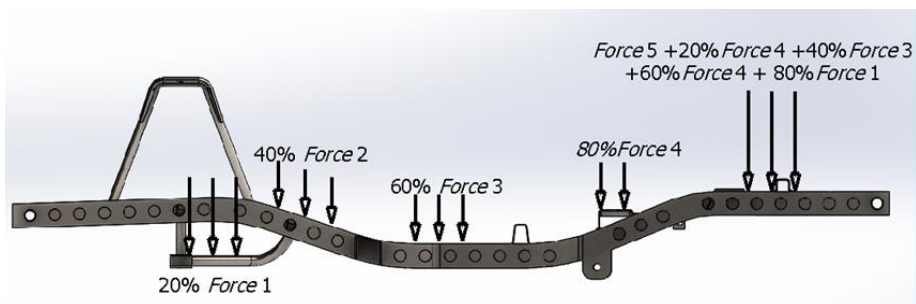
$$\begin{aligned} \text{Force 1} &= 40 \text{ kgf} \times 20\% \\ &= 8 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 2} &= 160 \text{ kgf} \times 40\% \\ &= 64 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 3} &= 555 \text{ kgf} \times 60\% \\ &= 333 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 4} &= 320 \text{ kgf} \times 80\% \\ &= 256 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Force 5} &= 444 \text{ kgf} + 80\% \text{ Force 1} + 60\% \text{ Force 2} + 40\% \text{ Force 3} + 20\% \text{ Force 4} \\ &= 444 \text{ kgf} + 32 \text{ kgf} + 96 \text{ kgf} + 222 \text{ kgf} + 64 \text{ kgf} \\ &= 858 \text{ kgf} \end{aligned}$$

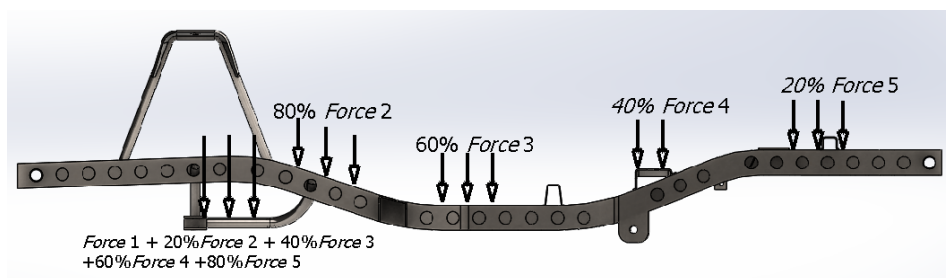


Gambar 3.16 Persentase Beban Saat Tanjakan

3.5.3.3. Keadaan Turunan

Dalam keadaan menurun, beban dipengaruhi oleh sudut turunan sehingga beban terkonsentrasi di bagian depan, seperti pada gambar 3.21. Berikut nilai beban yang di-input saat keadaan menurun:

$$\begin{aligned} \text{Force 1} &= 40 \text{ kgf} + 20\% \text{ Force 2} + 40\% \text{ Force 3} + 60\% \text{ Force 4} + 80\% \text{ Force 5} \\ &= 40 \text{ kgf} + 32 \text{ kgf} + 222 \text{ kgf} + 192 \text{ kgf} + 352.2 \text{ kgf} \\ &= 841 \text{ kgf} \\ \text{Force 2} &= 160 \text{ kgf} \times 80\% \\ &= 64 \text{ kgf} \\ \text{Force 3} &= 555 \text{ kgf} \times 60\% \\ &= 333 \text{ kgf} \\ \text{Force 4} &= 320 \text{ kgf} \times 40\% \\ &= 256 \text{ kgf} \\ \text{Force 5} &= 444 \text{ kgf} \times 20\% \\ &= 88,8 \text{ kgf} \end{aligned}$$

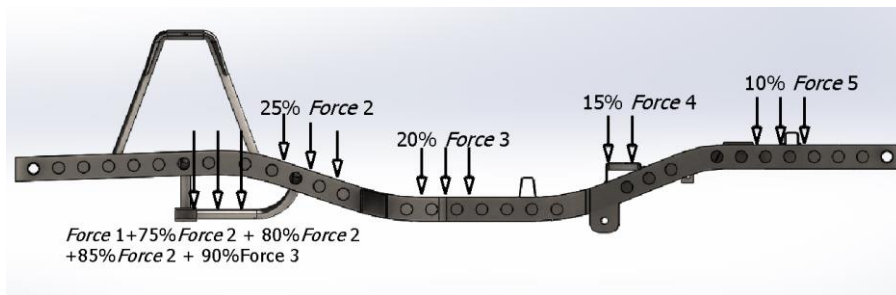


Gambar 3.17 Persentase beban Saat Turunan

3.5.3.4. Keadaan Pengereman

Dalam keadaan ngerem, beban dipengaruhi oleh perlambatan sehingga beban terkonsentrasi di bagian depan, seperti pada gambar 3.22. Berikut nilai beban yang di-input saat keadaan ngerem:

$$\begin{aligned} \text{Force 1} &= 40 \text{ kgf} + 75\% \text{ Force 2} + 80\% \text{ Force 3} + 85\% \text{ Force 4} + 90\% \text{ Force 5} \\ &= 40 \text{ kgf} + 120 \text{ kgf} + 444 \text{ kgf} + 272 \text{ kgf} + 399,6 \text{ kgf} \\ &= 1275,6 \text{ kgf} \\ \text{Force 2} &= 160 \text{ kgf} \times 25\% \\ &= 40 \text{ kgf} \\ \text{Force 3} &= 555 \text{ kgf} \times 20\% \\ &= 111 \text{ kgf} \\ \text{Force 4} &= 320 \text{ kgf} \times 15\% \\ &= 48 \text{ kgf} \\ \text{Force 5} &= 444 \text{ kgf} \times 10\% \\ &= 44,4 \text{ kgf} \end{aligned}$$



Gambar 3.18 Persentase Beban Saat Pengereman

3.5.4. Meshing

Tahapan *meshing* pada model menggunakan *software* SolidWorks, bertujuan untuk mendiskrit model menjadi elemen-elemen kecil yang saling terintegrasi. Dari hasil *meshing* untuk *chassis* mobil listrik didapatkan 448939 total *nodes*, 224123 total elemen. Dengan jumlah elemen sebanyak ini dengan volume yang besar, dapat dikatakan bahwa proses *meshing* dapat menghasilkan keakuratan yang tinggi dalam perhitungan di *software*. Data input parameter *mesh* dapat dilihat di tabel 3.2:

Tabel 3.2 Parameter *input mesh*

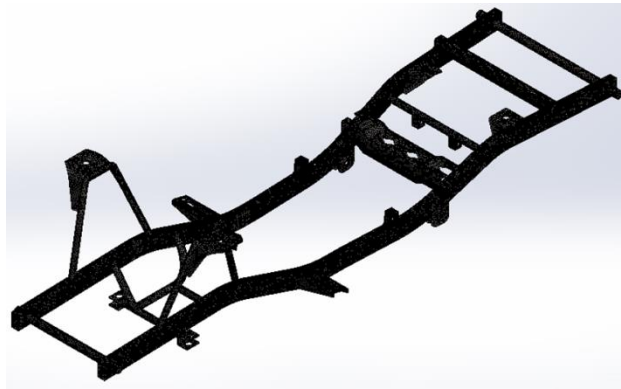
Mesh type	Solid Mesh (Tetrahedral element)
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	13 mm
Minimum element size	2.6 mm
Mesh Quality	High

Tabel 3.3 menunjukkan hasil *meshing*

Tabel 3.3 Hasil *Meshing*

Total Nodes	448939
Total Elements	224123
Maximum Aspect Ratio	159.83
% of elements with Aspect Ratio < 3	36
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.906
% of distorted elements (Jacobian)	0

Gambar 3.23 menunjukkan hasil *meshing*



Gambar 3.19 Hasil *Meshing*

3.6. Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis *chassis* terhadap keadaan statik, tanjakan, turunan, dan pengereman maka hasil yang diperoleh adalah:

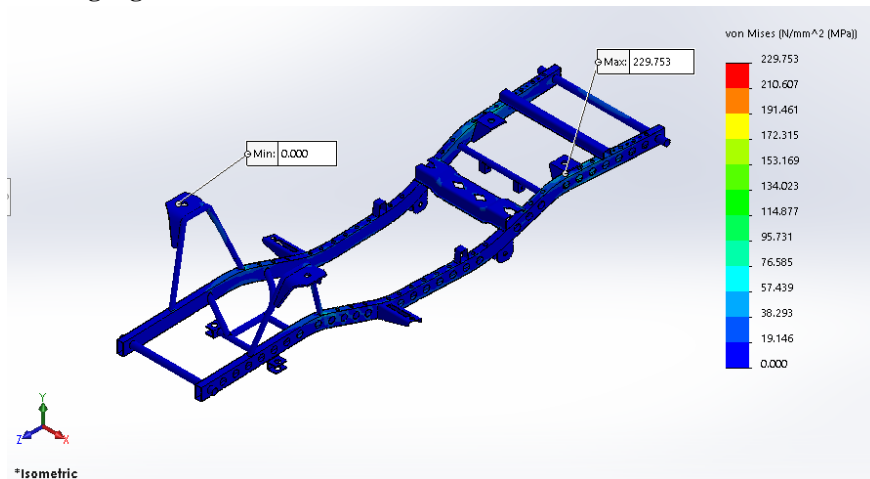
Tegangan (Von Misses Stress)

Defleksi (*Displacement*)

Faktor Keamanan (*Factor of safety*)

3.6.1. Tegangan (*Von Misses Stress*)

3.6.1.1. Tegangan Saat Keadaan Statik



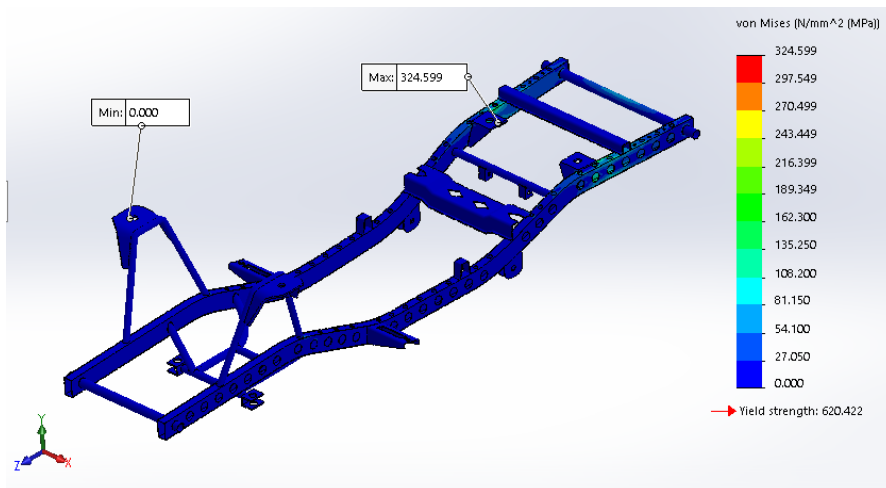
Gambar 3.20 Tegangan Saat Keadaan Statik

Gambar 3.24 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan statik, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan statik dengan jenis material alloy steel adalah $229,753534 \text{ N/mm}^2$ (Mpa) di *node* 87773 atau terletak pada posisi lasan *mounting* pegas belakang (tumpuan). Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar $0,000427737 \text{ N/mm}^2$ (Mpa) di *node* 226969. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.4:

Tabel 3.4 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Statik

Name	Type	Min		Max
Stress1	VON: Von Mises Stress	0,000427737 Mpa Node 226969		229,75353 Mpa Node 87773
Node	Value	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
226969	0,000427737 Mpa	-530,1034	1084,301	1056,6031
87773	229,75353 Mpa	369,1518	608	-1221,179

3.6.1.2. Tegangan Saat Keadaan Tanjakan



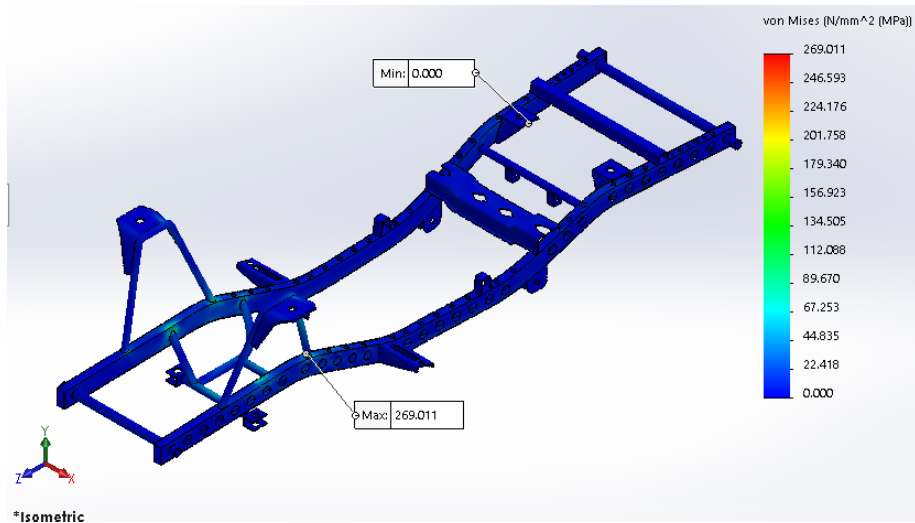
Gambar 3.21 Tegangan Saat Keadaan Tanjakan

Gambar 3.25 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan tanjakan, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan tanjakan dengan jenis material alloy steel adalah 324,599 N/mm² (Mpa) di *node* 20057 atau terletak pada posisi lasan *mounting* pegas belakang (tumpuan). Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0,000410951 N/mm² (Mpa) di *node* 226970. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.5:

Tabel 3.5 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Tanjakan

Name	Type	Min		Max
Stress1	VON: Von Mises Stress	0,000410951Mpa Node 226970		324,599 Mpa Node 20057
Node	Value	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
226970	0,000410951 Mpa	-528,5016	1074,111	1044,1007
20057	324,599 Mpa	-381,2016	512	-1417

3.6.1.3. Tegangan Saat Keadaan Turunan



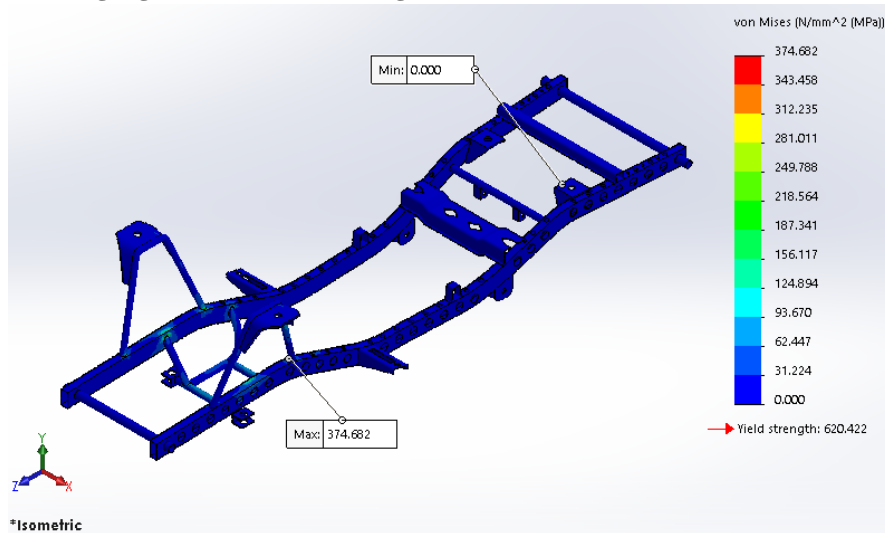
Gambar 3.22 Tegangan Saat Keadaan Turunan

Gambar 3.26 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan turunan, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan turunan dengan jenis material alloy steel adalah 269,011 N/mm² (Mpa) di *node* 84270 atau terletak di sambungan pipa *hollow* dengan rangka utama, seperti pada gambar 3.26. Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar $7,18828 \times 10^{-5}$ N/mm² (Mpa) di *node* 238565. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.6:

Tabel 3.6 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Turunan

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	VON: <i>von Mises Stress</i>	$7,1882 \times 10^{-5}$ Mpa <i>Node</i> 238565		269,011 Mpa <i>Node</i> 84270
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
238565	$7,1882 \times 10^{-5}$ Mpa	-241,6511	615	-1282
84270	269,011 Mpa	305,1273	572,8357	741,2021

3.6.1.4. Tegangan Saat Keadaan Pengereman



Gambar 3.23 Tegangan Saat Keadaan Pengereman

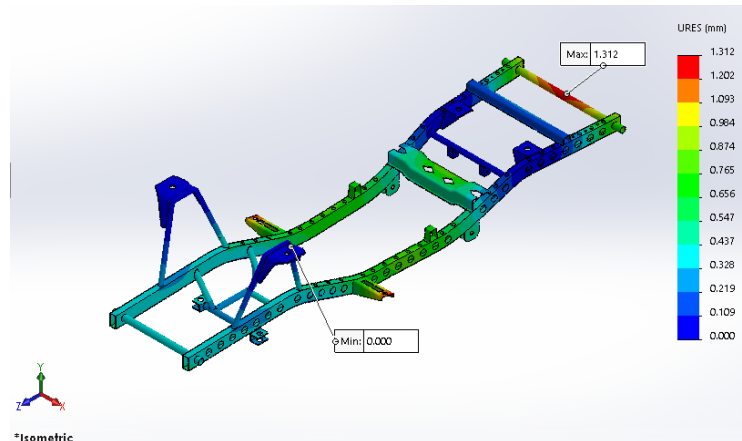
Gambar 3.27 menunjukkan hasil simulasi tegangan saat keadaan Pengereman, tegangan maksimum yang terjadi saat keadaan pengereman dengan jenis material alloy steel adalah 374,682 N/mm² (Mpa) di *node* 84266 atau terletak di sambungan pipa *hollow* dengan rangka utama, seperti pada gambar 3.24. Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 8,29509x10⁻⁵ N/mm² (Mpa) di *node* 81071. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.7:

Tabel 3.7 Lokasi Tegangan Saat Keadaan Pengereman

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	VON: <i>von Mises Stress</i>	8,29509x10 ⁻⁵ Mpa <i>Node</i> 81071		374,682 Mpa <i>Node</i> 84266
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
81071	8,29509x10 ⁻⁵ Mpa	241,6511	620	-1259,5
84266	374,682 Mpa	306,9035	575,2124	753,8295

3.6.2. Defleksi (Displacement)

3.6.2.1. Defleksi Saat Keadaan Statik



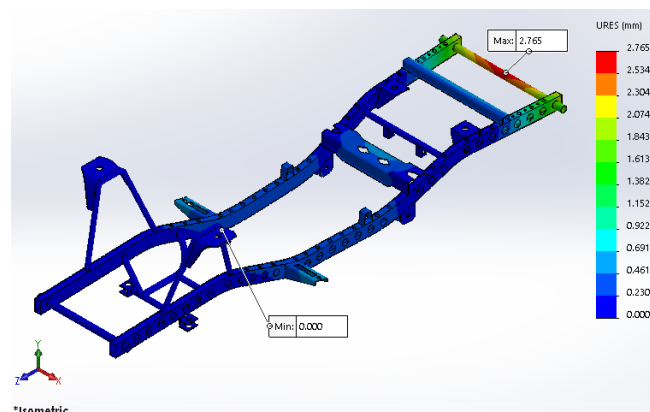
Gambar 3.24 Defleksi Saat Keadaan Statik

Gambar 3.28 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan statik, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan statik dengan jenis material alloy steel adalah 1,31163 mm di *node* 37047 atau terletak di pipa *hollow* bagian belakang *chassis*, seperti pada gambar 3.25. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node* 195. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.8:

Tabel 3.8 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Statik

Name	Type	Min		Max
Stress1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node 195		1,31163 mm Node 37047
Node	Value	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
195	0 mm	474,2431	1079,157	964,6072
84266	1,31163 mm	25,092727	585,3991	-1905,204

3.6.2.2. Defleksi Saat Keadaan Tanjakan



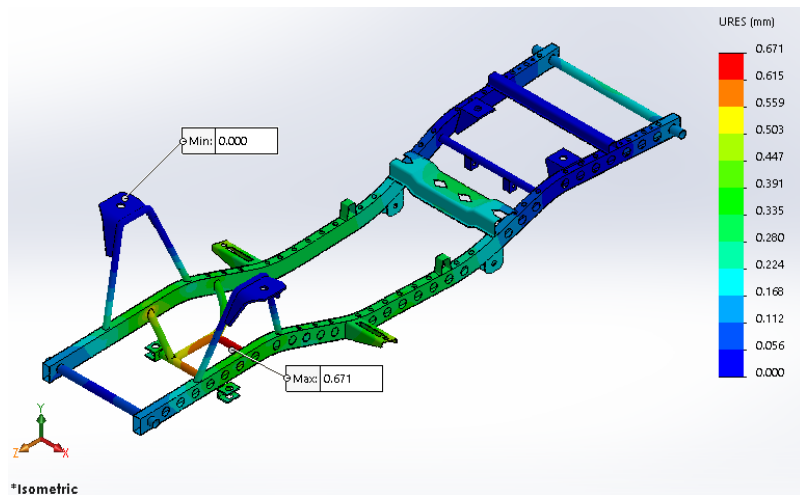
Gambar 3.25 Defleksi Saat keadaan Tanjakan

Gambar 3.29 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan tanjakan, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan tanjakan dengan jenis material alloy steel adalah 2,76483 mm di *node* 37047 atau terletak di pipa *hollow* bagian belakang chassis, seperti pada gambar 3.26. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node* 195. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.9:

Tabel 3.9 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Tanjakan

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	URES: Resultant Displacement	0 mm <i>Node</i> 195		2.76483 mm <i>Node</i> 37047
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
195	0 mm	478,3720	1079,537	968,3669
37047	2,76483 mm	25,09272	585,3991	-1905,204

3.6.2.3. Defleksi Saat Keadaan Turunan



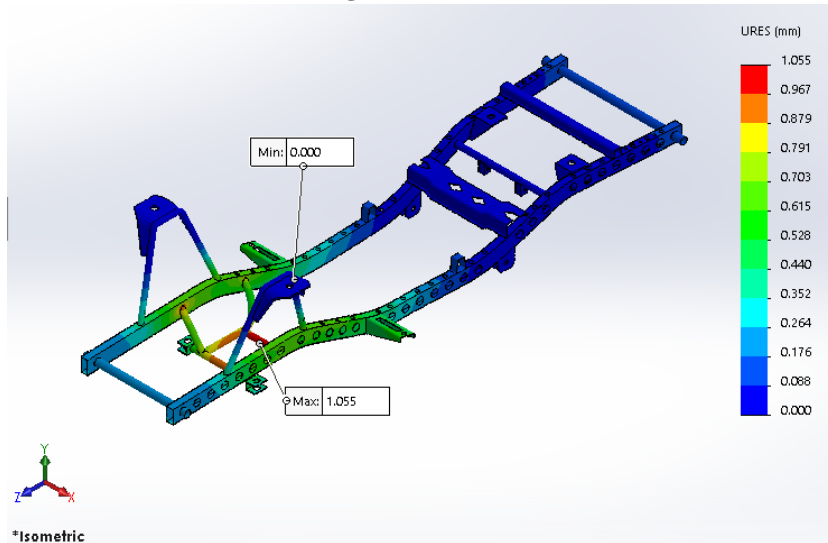
Gambar 3.26 Defleksi Saat Keadaan Turunan

Gambar 3.30 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan turunan, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan turunan dengan jenis material alloy steel adalah 0,670864 mm di *node* 214631 atau terletak di pipa *hollow* bagian depan chassis, seperti pada gambar 3.27. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node* 195. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.10:

Tabel 3.10 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Turunan

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Stress1	URES: Resultant Displacement	0 mm <i>Node</i> 195		0,670864 mm <i>Node</i> 214631
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
195	0 mm	-530,830	1084,3680	980,9586
214631	0,670864 mm	3,21085	319,7719	754,4987

3.6.2.4. Defleksi Saat Keadaan Pengereman



Gambar 3.27 Defleksi Saat Keadaan Pengereman

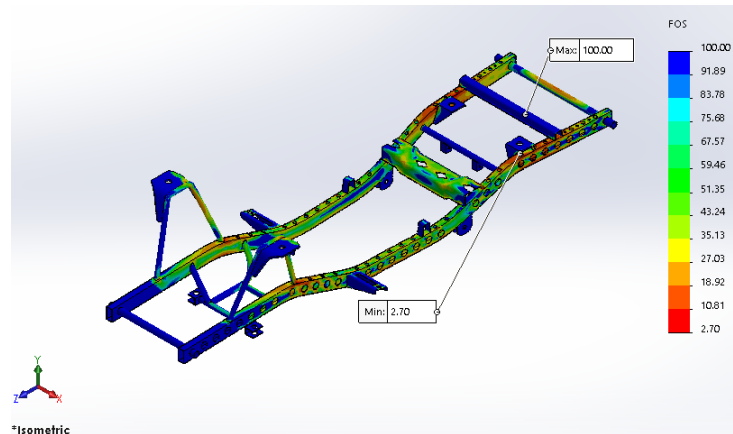
Gambar 3.31 menunjukkan hasil simulasi defleksi saat keadaan Pengereman, defleksi maksimum yang terjadi saat keadaan pengereman defleksi dengan jenis material alloy steel adalah 1,05511 mm di *node* 214664 atau terletak di pipa *hollow* bagian depan *chassis*, seperti pada gambar 3.28. Sedangkan defleksi minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 mm di *node* 195. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.11:

Tabel 3.11 Lokasi Defleksi Saat Keadaan Pengereman

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>	
Stress1	URES: Resultant Displacement	0 mm 195		1,05511 mm Node 37047	
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>	
195	0 mm	-3,65328	313,1223	753,2802	
214664	1,05511 mm	474,2431	1079,157	964,6072	

3.6.3. Faktor Keamanan (Factor of Safety)

3.6.3.1. Faktor Keamanan Saat Keadaan Statik



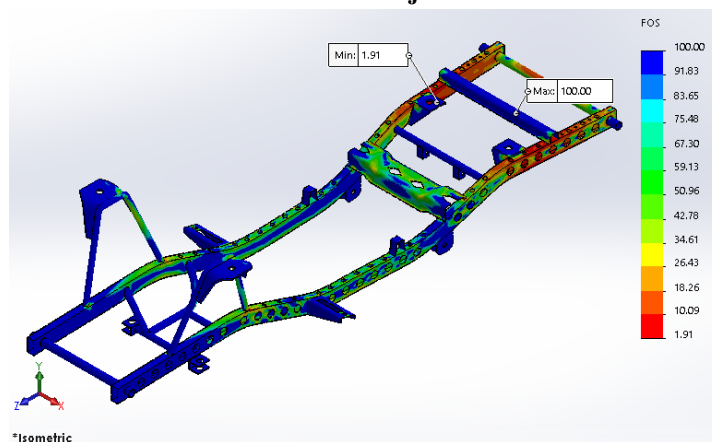
Gambar 3.28 Faktor Keamanan Saat Keadaan Statik

Gambar 3.32 menunjukkan hasil simulasi faktor keamanan saat keadaan statik, faktor Keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan statik dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node* 4, atau terletak di batang kedua dari belakang *chassis* seperti pada gambar 3.29. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 2,70038 di *node* 87773. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.12:

Tabel 3.12 Lokasi Faktor Keamanan Saat Keadaan Statik

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	2,70038 <i>Node</i> 87773		100 <i>Node</i> 4
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
87773	2,70038	369,1921	608	-1221,291
4	100	146,0937	663	-1490

3.6.3.2. Faktor Keamanan Saat Keadaan Tanjakan



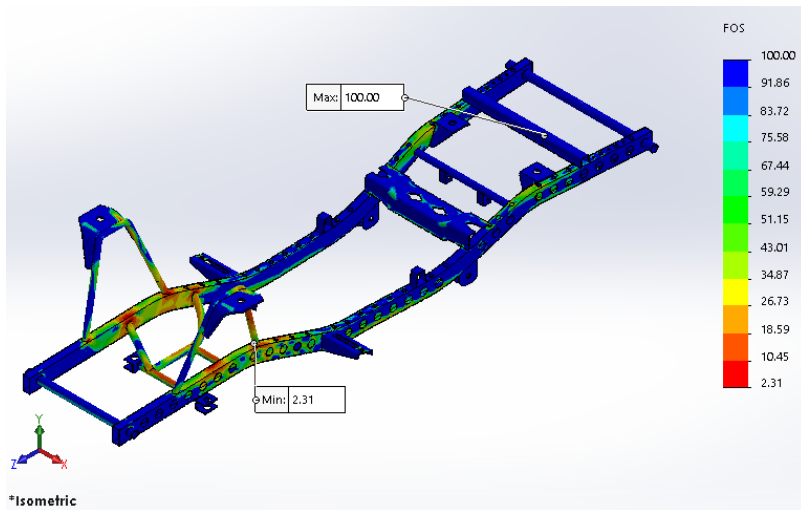
Gambar 3.29 Faktor Keamanan Saat Keadaan Tanjakan

Gambar 3.33 menunjukkan hasil simulasi faktor Keamanan saat keadaan tanjakan, faktor Keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan tanjakan dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node* 4, atau terletak di batang kedua dari belakang *chassis* seperti pada gambar 3.30. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar di 1,91135 *node* 20057. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.13:

Tabel 3.13 Lokasi Faktor Keamanan Saat Keadaan Tanjakan

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	1,91135 <i>Node</i> 20057		100 <i>Node</i> 4
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
20057	1,91135	-381,201	512	-1417
4	100	152,7343	662,4402	-1486,226

3.6.3.3. Faktor Keamanan Saat Keadaan Turunan



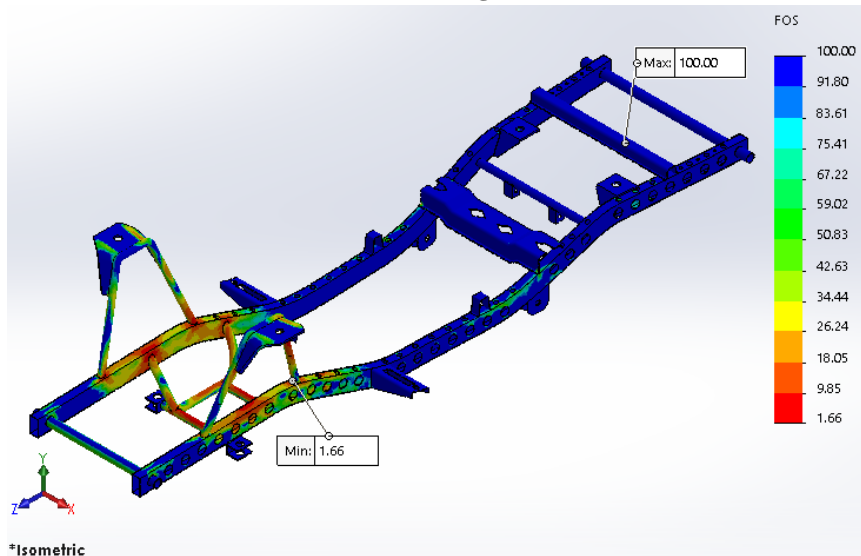
Gambar 3.30 Faktor Keamanan Saat Keadaan Turunan

Gambar 3.34 menunjukkan hasil simulasi faktor keamanan saat keadaan turunan, faktor keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan turunan dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node* 4, atau terletak di batang kedua dari belakang *chassis* seperti pada gambar 3.31. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar di 2,30631 *node* 84270. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.14:

Tabel 3.14 Lokasi Faktor keamanan Saat Keadaan Turunan

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	2,30631 <i>Node</i> 84270		100 <i>Node</i> 4
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
84270	2,30631	305,1273	572,8357	741,20214
4	100	104,5898	621,6875	-1535

3.6.3.4. Faktor Keamanan Saat Keadaan Pengereman



Gambar 3.31 Faktor Keamanan Saat Keadaan Pengereman

Gambar 3.35 menunjukkan hasil simulasi faktor keamanan saat keadaan Pengereman, faktor Keamanan maksimum yang terjadi saat keadaan pengereman dengan jenis material alloy steel adalah 100 di *node* 4, atau terletak di batang kedua dari belakang chassis seperti pada gambar 3.32. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar di 1,65586 *node* 84266. Untuk mengetahui lokasi titik koordinatnya dapat dilihat pada tabel 3.15:

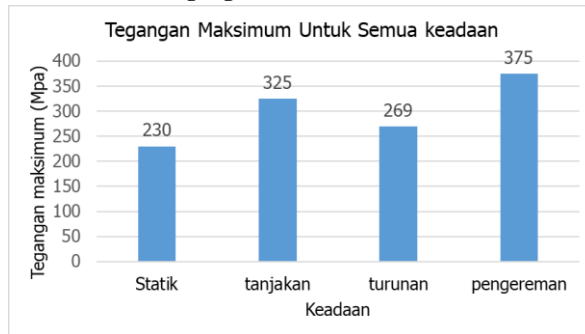
Tabel 3.15 Lokasi Faktor Keamanan Saat Keadaan Pengereman

<i>Name</i>	<i>Type</i>	<i>Min</i>		<i>Max</i>
Factor of Safety1	<i>Automatic</i>	1,65586 <i>Node</i> 84266		100 <i>Node</i> 4
<i>Node</i>	<i>Value</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Y (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
84266	1,65586	306,9035	575,2124	753,8295
4	100	149,4140	662,8593	-1488,092

Setelah melakukan analisis pada *chassis* mobil listrik untuk semua keadaan, ada beberapa poin yang perlu diketahui:

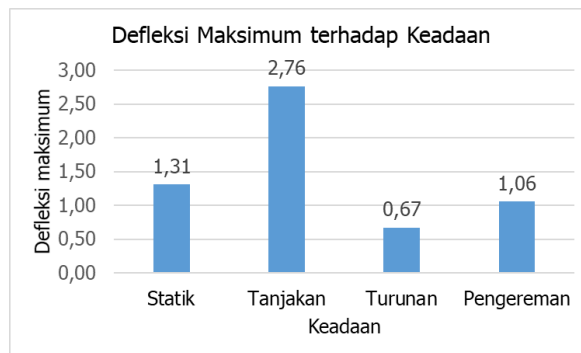
Dari hasil *stress analysis* dengan empat keadaan, tegangan maksimum yang terjadi ada di keadaan pengereman, dengan nilai 374.682 Mpa seperti di grafik 3.1. Hal ini dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang cukup tinggi dibandingkan dengan keadaan yang lain.

Grafik 3.1 Tegangan Maksimum Semua Keadaan

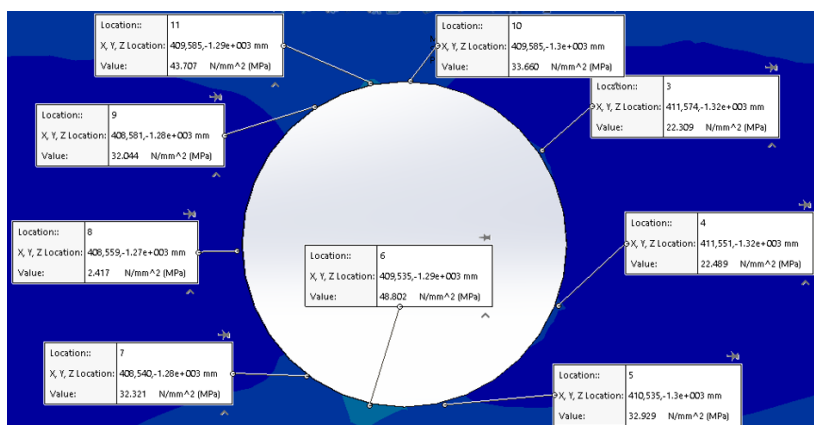


Dari hasil simulasi tiap keadaan, untuk defleksi maksimum yang terjadi ada di keadaan tanjakan dengan nilai 2.76 mm seperti pada grafik 3.2, hal ini dikarenakan adanya konsentrasi beban di bagian belakang dan jarak yang lebih dengan tumpuan, variabel jarak mempengaruhi nilai defleksi

Grafik 3.2 Defleksi Maksimum Semua Keadaan



Setelah dilakukan simulasi keadaan statik, kemudian dilakukan pengecekan di sekitar permukaan yang ada lubangnya, hasilnya menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi tidak melewati tegangan maksimum yang terjadi, dapat dilihat pada gambar:



Gambar 3.36 Tegangan di permukaan lubang

4 PEMBUATAN BODY MOBIL LISTRIK

4.1 Pemodelan Aerodinamis

Merancang bentuk mobil secara benar memungkinkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan meningkatkan karakteristik pengendalian kendaraan. Ada tiga pendekatan (teoretis, simulasi dan experimental) yang dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai gaya gaya fluida yang terbentuk oleh aliran luar.

Teknik teoretis (kajian analitis) dapat memberikan banyak informasi yang diperlukan mengenai aliran luar. Namun demikian karena kompleksitas persamaan pengaturnya dan kompleksitas dari bentuk geometris mobil, maka banyaknya informasi yang diperoleh secara teoretis murni menjadi sangat terbatas.

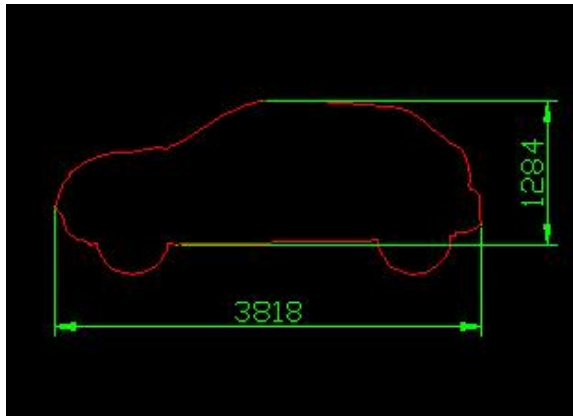
Untuk informasi mengenai aliran luar yang paling valid dapat diperoleh dari eksperimen eksperimen. Kebanyakan eksperimen yang dilakukan menggunakan model model yang diskala dari benda sebenarnya. Pengujian tersebut menggunakan pengujian terowongan angin. Namun untuk membuat model yang akan diuji perlu waktu yang lama dan biaya yang cukup besar.

Dengan kemajuan saat ini dibidang komputasi mekanika fluida, maka simulasi komputer mengenai gaya gaya dan pola aliran yang rumit akan dapat lebih cepat dipeoleh. Untuk itu dalam rangka memperoleh bentuk yang optimal, dilakukan simulasi menggunakan komputer. Setelah mendapatkan bentuk yang optimal maka pada tahap selanjutnya akan dilakukan pengujian eksperimental di terowongan angin.

Pada kajian ini akan disimulasikan tiga bentuk mobil seperti terlihat pada Gambar 4.1 sampai dengan 4.3, dengan dimensi dalam satuan mm seperti yang terlihat di masing masing Gambar. Masing masing akan diberi nama model 1, model 2 dan model 3,



Gambar 4.1. Model Mobil 1



Gambar 4.2. Model Mobil 2



Gambar 4.3. Model Mobil 3

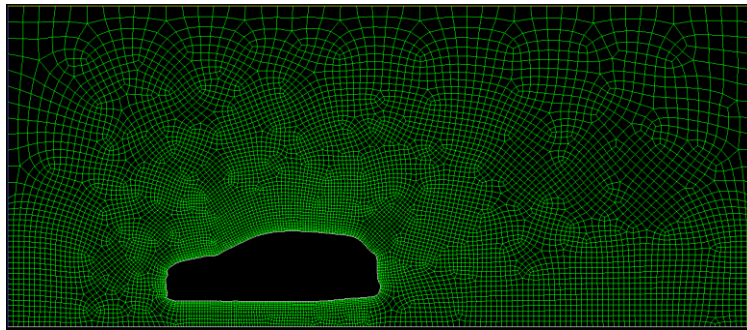
Metode Pemodelan

Metode analisis yang digunakan adalah metode numerik dimana masalah matematika diformulasikan sedemikian rupa sehingga dapat diselesaikan oleh pengoperasian aritmetika. Metode numerik mencakup sejumlah besar kalkulasi aritmetika yang menjenuhkan, namun dengan perkembangan komputer yang cepat dan efisien, peranan metoda numerik dalam penyelesaian masalah teknik semakin meningkat. Alasan mengapa menggunakan metoda numerik adalah karena metoda numerik sanggup menangani sistem persamaan yang besar, tidak linear serta geometri rumit yang tidak biasa terjadi dalam praktik keteknikan dan seringkali tidak mungkin diselesaikan dengan cara teoretis.

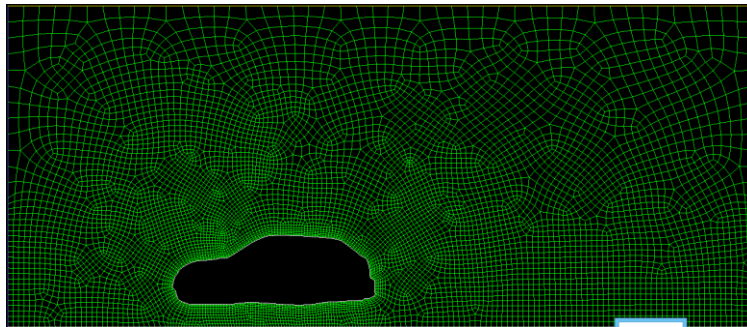
Fluent adalah salah satu jenis program aplikasi metode numerik yang lebih dikenal dengan program CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang dapat mensimulasikan aliran fluida melewati benda terendam seperti aliran udara melewati mobil.

Beberapa tahapan dalam menyelesaikan analisis aliran dengan menggunakan program CFD, yaitu:

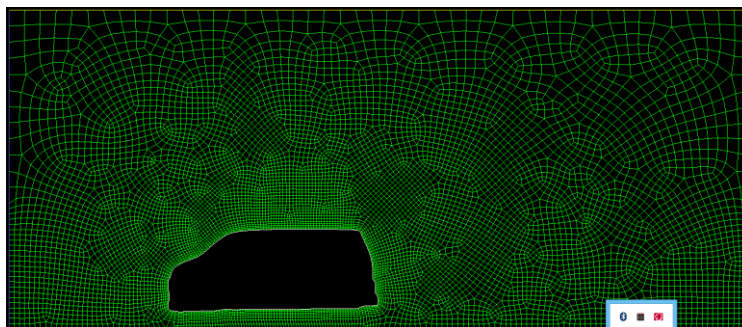
- a. Menentukan tujuan pemodelan; Tujuan pemodelan ini adalah membandingkan pola aliran luar yang meliputi distribusi kecepatan dan *pathlines* serta tekanan drag dari tiga bentuk model yang dikaji.
- b. Membuat model geometri dan melakukan *meshing*. *Meshing* model geometri adalah membagi bagian yang akan disimulasikan menjadi bagian-bagian kecil agar dapat dianalisis pada program CFD. Ukuran mesh diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Untuk tahap kajian perbandingan ini hanya dibuat model dua dimensi (2D) saja. Adapun model geometri yang telah di-*meshing* terlihat pada Gambar 4 sampai dengan 6. Untuk model 2D, roda mobil tidak disimulasikan, karena model 2D ini mempresentasikan pola aliran di potongan tengah mobil.



Gambar 4.4. Model Mobil 1 yang telah di *meshing*.



Gambar 4.5. Model Mobil 2 yang telah di *meshing*.



Gambar 4.6. Model Mobil 2 yang telah di *meshing*.

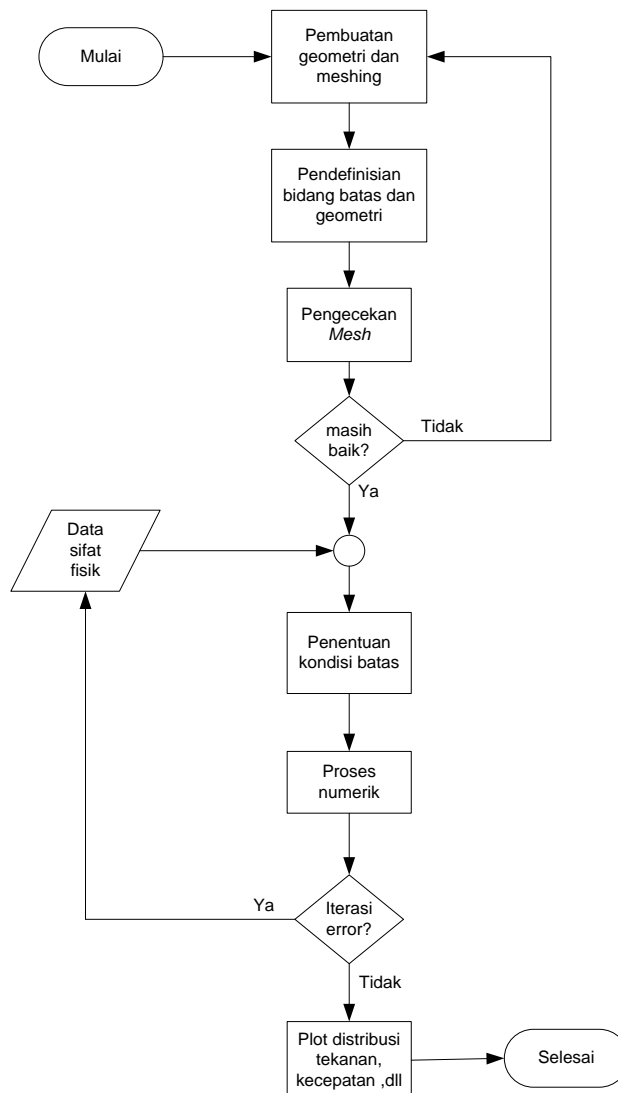
Dalam simulasi ini, model mobil diam sedangkan udara mengalir melalui bagian luar mobil mulai dari batas depan dari mesh (*inlet*) dan keluar dibatas belakang (*outlet*).

Berikut ini adalah data data pada Tabel 4.1 yang digunakan untuk simulasi

Tabel 4.1. Syarat Batas.

Masukan (Inlet)	Kecepatan	30 m/s
Keluaran (outlet)	Tekanan statik gauge	0 Pa

Diagram alir untuk prosedur perhitungan dengan CFD adalah seperti pada Gambar 4.7 berikut ini:

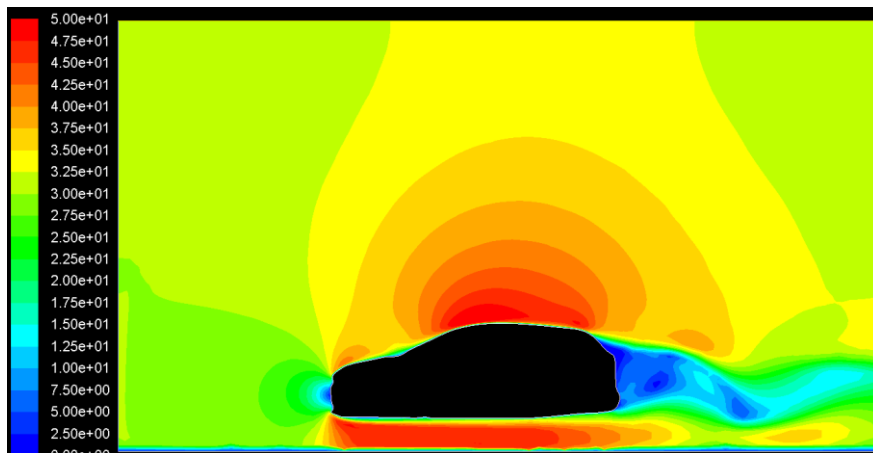


Gambar 4.7. Diagram alir perhitungan CFD

Hasil Pemodelan

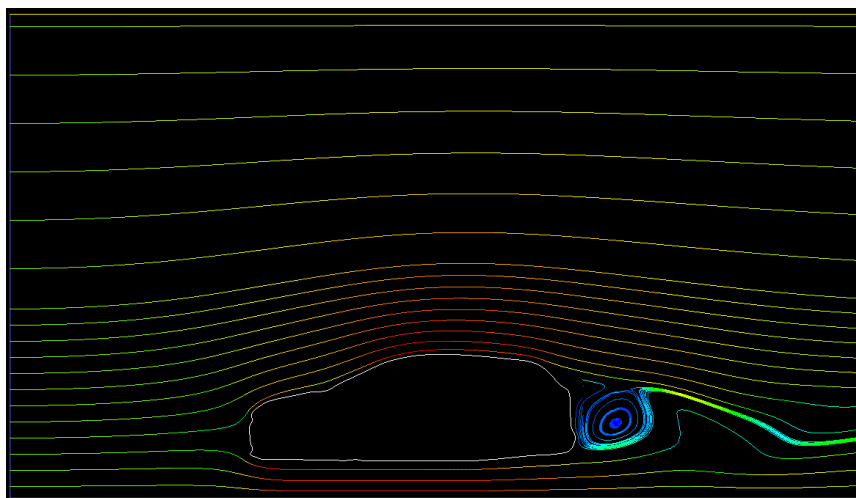
Model 1

Gambar 4.8 menunjukkan distribusi kecepatan untuk model 1. Kecepatan ditunjukkan dengan skala warna, dimana warna merah menunjukkan kecepatan udara yang tinggi (50 m/s), sedangkan warna biru menunjukkan kecepatan udara yang rendah (0 m/s). Dari distribusi kecepatan ini bisa dilihat terjadi percepatan udara secara bertahap sampai mencapai maksimum diatas mobil. Ini menunjukkan bahwa bentuk mobil bagian depan sudah cukup aerodinamis. Sedangkan bagian belakang terlihat daerah dengan kecepatan rendah atau daerah separasi. Semakin luas daerah separasi akan semakin besar kerugian aliran yang dihasilkan.



Gambar 4.8. Distribusi kecepatan untuk model mobil 1.

Gambar 4.9 menunjukkan *pathlines*, yaitu alur aliran yang disekitar mobil. Disini daerah separasi ditunjukkan oleh *pathlines* yang berputar dibelakang mobil. Daerah ini menandakan aliran tidak terarah dengan baik.

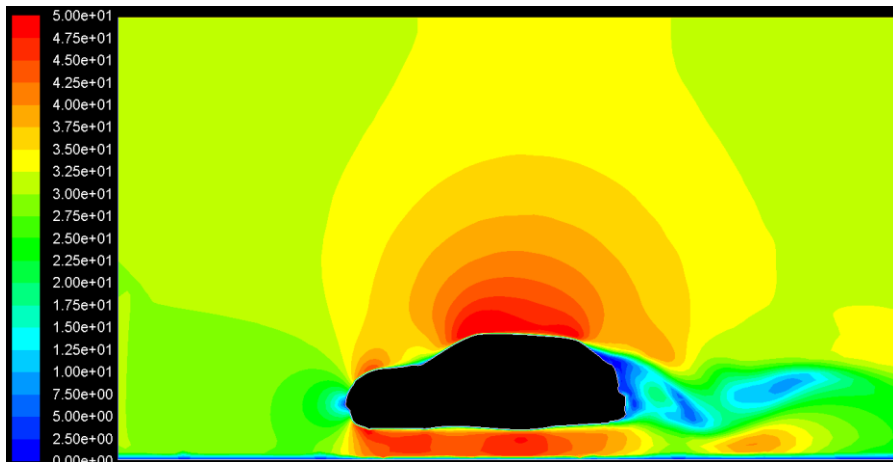


Gambar 4.9. *Pathlines* aliran untuk model mobil 1.

Gaya drag yang dihasilkan oleh mobil model 1 dibagi menjadi dua, yaitu drag tekanan dan drag viskos, yang masing masing adalah 268,5 N dan 20,2 N. Dengan demikian gaya drag total adalah 288,7 N. Gaya drag tekanan terjadi karena bentuk mobil sedangkan gaya drag viskos terjadi karena gesekan antara udara dengan dinding mobil

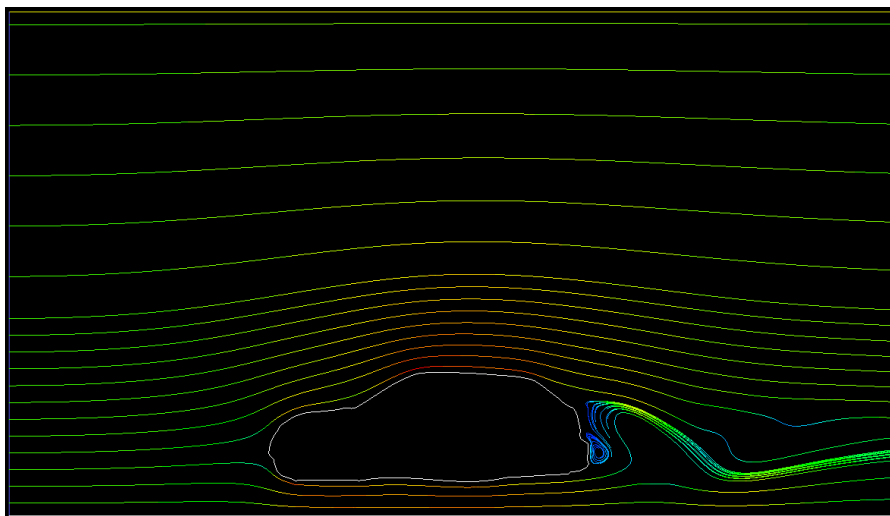
Model 2

Gambar 4.10 menunjukkan distribusi kecepatan untuk model mobil 2. Seperti halnya pada model 1, terjadi percepatan dari udara secara bertahap pada sisi atas dari model 2 ini. Daerah separasi dibelakang mobil juga terlihat jelas.



Gambar 4.10. Distribusi kecepatan untuk model mobil 2.

Gambar 4.11 menunjukkan *pathlines* aliran disekitar model mobil 2. Dibandingkan dengan model mobil 1, maka luas daerah separasi lebih kecil, sehingga kerugian aliran juga akan menjadi lebih kecil.

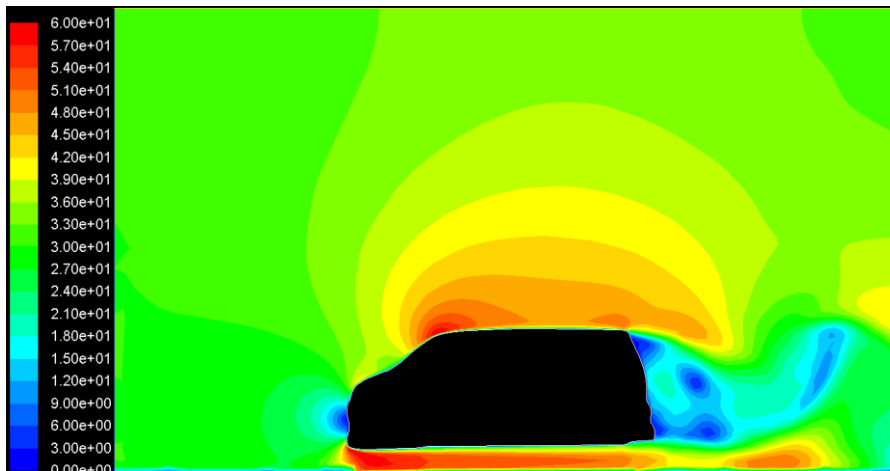


Gambar 4.11. *Pathlines* aliran untuk model mobil 2.

Gaya drag yang dihasilkan oleh mobil model 2 adalah 243,5 N untuk drag tekanan dan 17,8 N untuk drag viskos, sehingga gaya drag total adalah 261,3 N. Dengan demikian gaya drag model 2 lebih kecil dari model 1. Ini menunjukkan bahwa secara aerodinamis, maka model 2 sedikit lebih baik dari model 1.

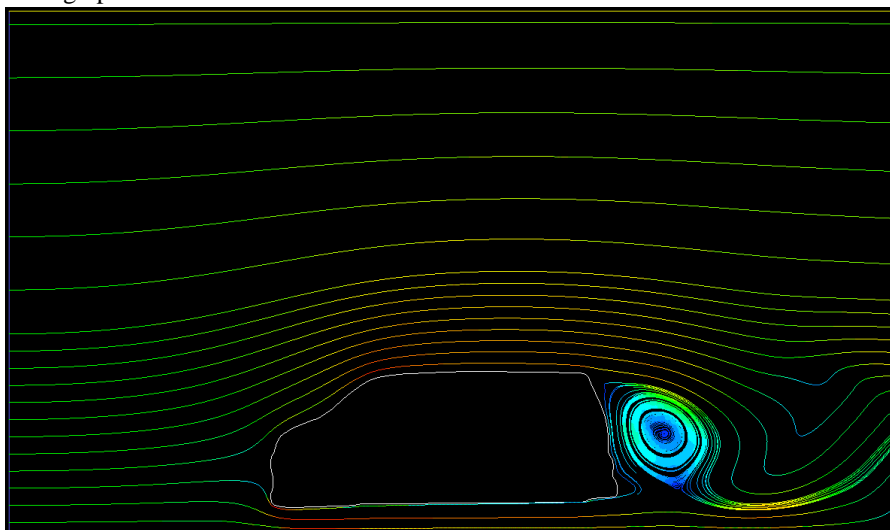
Model 3

Gambar 4.12 menunjukkan distribusi kecepatan untuk model mobil 3. Dibandingkan dengan model model sebelumnya maka percepatan udara yang terjadi di bagian depan mobil lebih cepat dan juga kecepatan maksimum mencapai 60 m/s, lebih tinggi dari model model sebelumnya. Disamping itu luas daerah separasi juga lebih besar. Ini semua menunjukkan kerugian tekanan akan lebih besar dengan model 1 dan model 2.



Gambar 4.12. Distribusi kecepatan untuk model mobil 3.

Gambar 4.13 menunjukkan *pathlines*, yaitu alur aliran yang disekitar model mobil 3. Daerah separasi di belakang terlihat lebih besar yang menandakan bagian belakang model 3 kurang optimal.



Gambar 4.13. *Pathlines* aliran untuk model mobil 3.

Gaya drag yang dihasilkan oleh mobil model 3 adalah 738,5 N untuk drag tekanan dan 23,6 N untuk drag viskos, sehingga gaya drag total adalah 762,1 N. Model mobil 3 mempunyai gaya drag yang paling besar. Hal ini terjadi karena bentuk geometri model 3 yang kurang bagus.

Kesimpulan Hasil Pemodelan

Dari hasil analisa aliran yang dilakukan terhadap tiga bentuk model mobil dengan kecepatan udara bebas sebesar 30 m/s, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Dari gaya drag total yang dihasilkan seperti terlihat pada tabel 2, maka model yang terbaik adalah model 2 dan model 1 sedikit lebih jelek dari model 2. Model 3 mempunyai gaya drag total yang jauh lebih besar dibandingkan model 1 dan 2, karena bentuknya yang kurang aerodinamis. Hal ini juga terkonfirmasi pada pola aliran dari model 3.

Tabel 4.2: Gaya drag total

Model 1	288,7 N
Model 2	261,3 N
Model 3	762,1 N

4.2 Pembuatan Model Clay

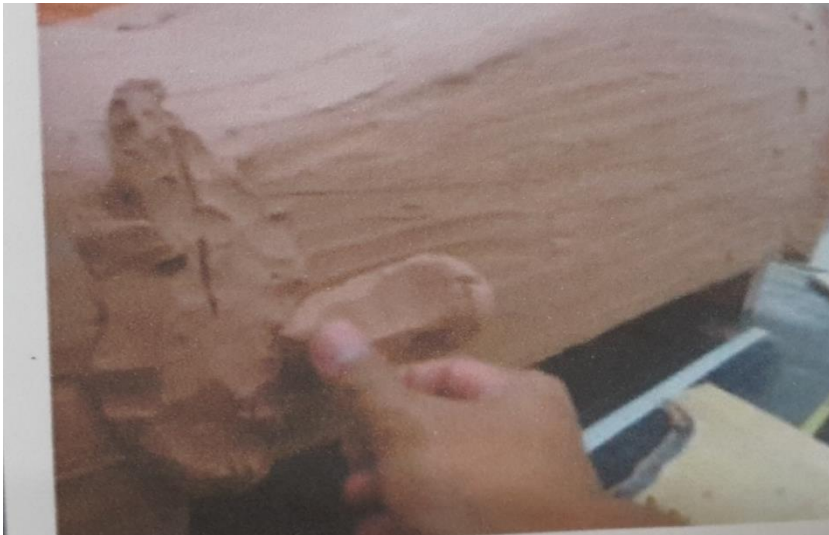
Tahapan yang penting dalam membuat mobil adalah pembuatan model. Salah satu metode yang cukup efektif adalah dengan membuat clay model. Clay model ini dengan ukuran skala 1 : 6.

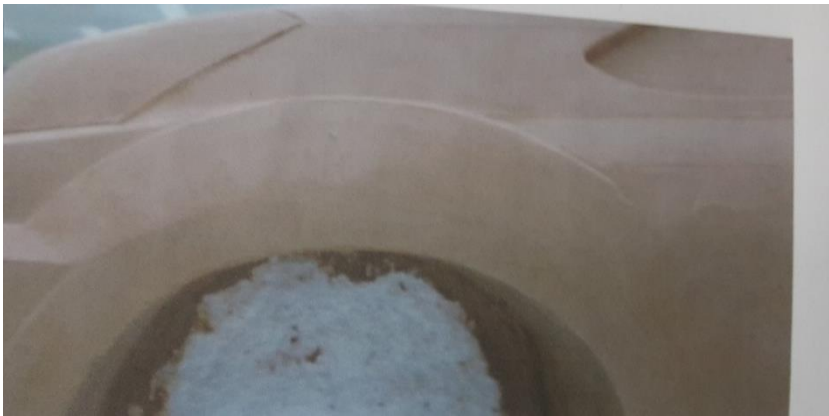
Pada tahapan ini akan disajikan tahapan-tahapan dalam pembuatan clay model mobil listrik.

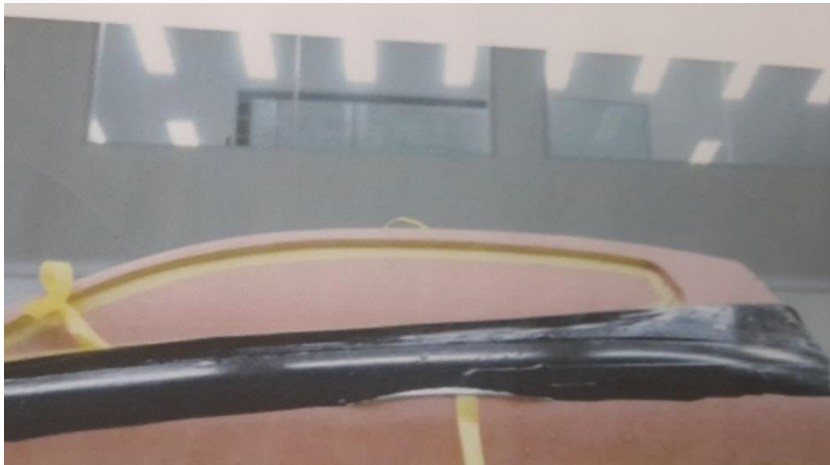
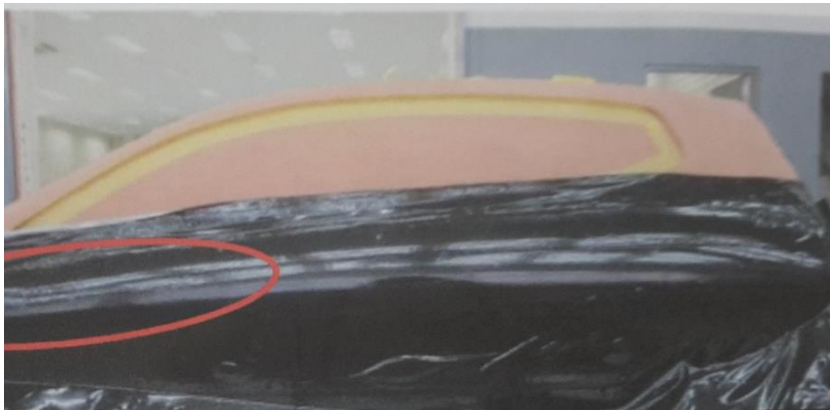




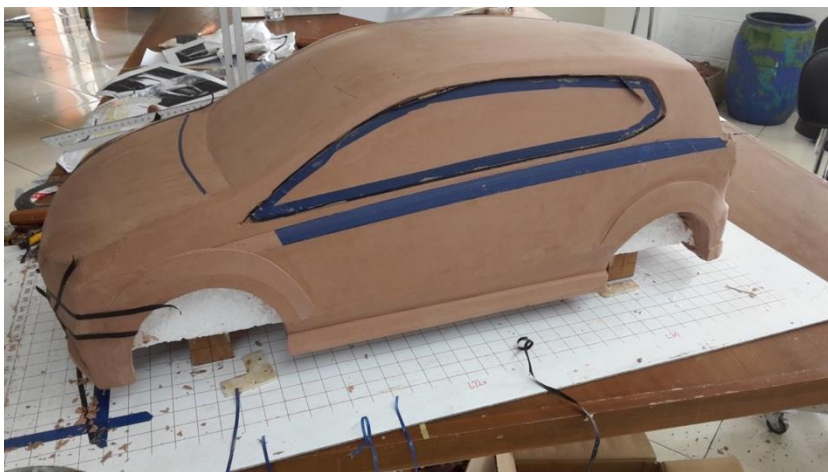














4.3 Pengujian Model

Pengujian aerodinamis model mobil listrik dilaksanakan dalam terowongan angin (wind tunnel)

Wind Tunnel (Terowongan Angin)

Wind Tunnel (terowongan angin) merupakan peralatan uji berbentuk tabung dimana udara dipaksa melaju dengan kecepatan yang diatur untuk mempelajari efek aliran aerodinamis dari suatu benda. Objek atau benda yang diuji diletakkan dibagian tengah seksi uji (*test section*). Udara kemudian digerakkan melewati objek dengan sebuah sistem *fan*. Ada dua tipe wind tunnel yakni dengan sistem dengan saluran tertutup (*closed circuit*) dan sistem dengan saluran terbuka (*open circuit*). Dalam hal ini akan dibuat tipe *open circuit wind tunnel*, karena konstruksinya lebih sederhana dan biaya pembuatan relatif lebih murah dibandingkan dengan tipe *closed circuit wind tunnel*.

Sejak Frank H. Wenham (1824 – 1908), seorang anggota *Aeronautical Society Great Britain* pertama kali membangun *wind tunnel*, terowongan angin telah digunakan dalam waktu yang sangat lama untuk memverifikasi teori aerodinamis dari memfasilitasi desain pesawat, khususnya untuk aplikasi di dunia penerbangan. Hingga saat ini, penelitian aerodinamis telah diperluas ke bidang lain seperti industri otomotif, arsitektur, teknik sipil, lingkungan, dan lain – lain, sehingga uji melalui *wind tunnel* menjadi penting sebagai sebuah keputusan awal dalam proses desain.

Meskipun teknologi komputasi semakin meningkat dengan penggunaan metode *Numerik Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk aplikasi interaksi benda dengan fluida, pengujian dalam *wind tunnel* masih diperlukan untuk pengembangan inovasi desain baru yang melibatkan interaksi kompleks tersebut. Hal ini karena komputasi numerik belum memberikan solusi yang akurat dalam fenomena fisik interaksi benda dengan fluida. Dan karena meningkatnya minat dari industri dan cabang ilmu – ilmu pengetahuan lain maka pengujian dengan *wind tunnel* menjadi sangat penting dalam desain dan penelitian.

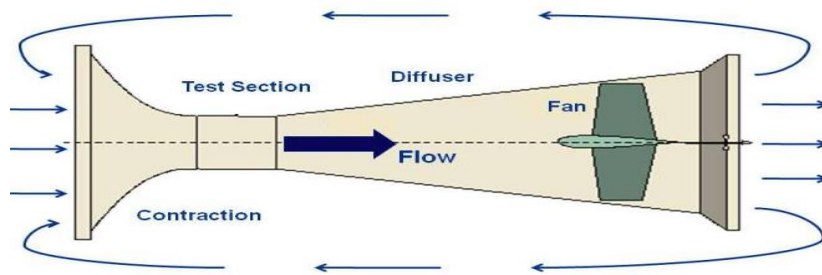
Tipe Wind Tunnel

Berdasarkan dari segi jalur rangkaian untuk *wind tunnel* memiliki beberapa tipe diantaranya adalah:

1. Terowongan rangkaian terbuka (*Open Circuit Wind Tunnel*)
2. Terowongan rangkaian tertutup (*Close Circuit Wind Tunnel*)

Open Circuit Wind Tunnel

Pada terowongan angin tipe ini udara mengikuti jalur lurus dan jalur masuk melalui rumah *fan*, kontraksi ke seksi uji lalu dilanjutkan ke *difusser* dan diteruskan ke saluran keluar udara terbuka.



Gambar 4.14 *Open Circuit Wind Tunnel*

Adapun dari tipe *open circuit wind tunnel* ini memiliki keuntungan diantaranya adalah:

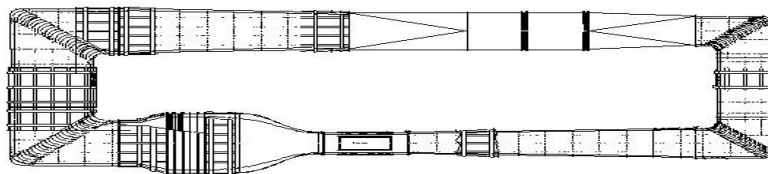
1. Konstruksi sederhana
2. Biaya rancang bangun rendah

Sedangkan kerugian dari *wind tunnel tipe open circuit* ini diantaranya adalah:

1. Jika diletakkan didalam ruangan, berdasarkan pada ukuran terowongan terhadap ukuran ruang bisa jadi dibutuhkan penyaringan tambahan pada inlet untuk mendapatkan aliran agar bertambah tinggi. Dengan cara yang sama *inlet/outlet* terbuka ke atmosfer, yang mana angin dan cuaca dingin dapat mempengaruhi operasi kerja *wind tunnel tipe open circuit*,
2. Secara umum berisik. Untuk ukuran lebih besar ($A_{\text{Seksi uji}} > 70 \text{ pl}^2$), kebisingan mengakibatkan masalah lingkungan dan membatasi jam operasi *wind tunnel*.

Close Circuit Wind Tunnel

Wind tunnel tipe close circuit mempunyai tipe rangkaian jalur yang kontinyu untuk aliran udaranya. Sebagian tipe ini adalah jalur tunggal (*single return*).



Gambar 4.15 *Close Circuit Wind Tunnel*

Adapun kelebihan dari *wind tunnel tipe close circuit* ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Dengan kegunaan *corner turning vanes*, arah dari aliran udara dapat dengan mudah dikontrol.
2. Tidak terlalu berisik

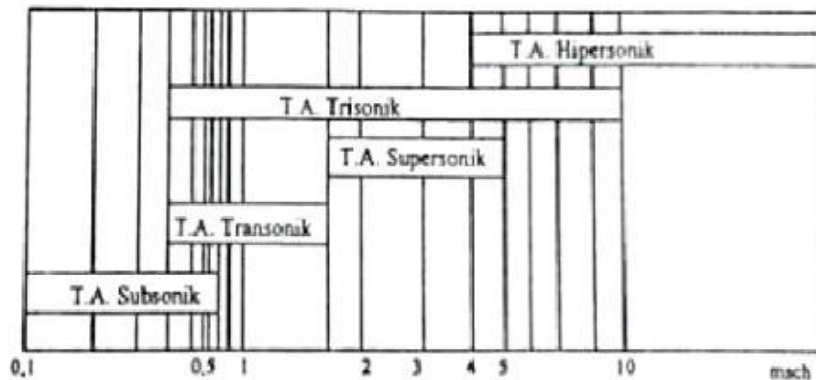
Sedangkan kekurangan dari tipe *closed circuit wind tunnel* ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi rancang bangun lebih kompleks
2. Biaya awal yang besar akibat penambahan saluran kembali *returns ducts* dan *corner vanes*.

- Untuk pengujian visualisasi aliran dengan asap harus ada saluran untuk pembuangan.

Jangkauan kecepatan

Klasifikasi yang paling tepat dari terowongan angin ialah dengan jangkauan kecepatannya. Jangkauan kecepatan dari terowongan angin menentukan aturan-aturan similitas yang dominan didalamnya.



Gambar 4.16. Klasifikasi Terowongan Angin Berdasarkan Bilangan Mach

Tabel 4.3. Klasifikasi Terowongan Angin Berdasarkan Bilangan Mach

No	Mach	Jenis	Keterangan
1.	$0 < M < 0,3$	Kecepatan Rendah	Gaya – gaya inersia dan viskositas sangat dominan saat efek – efek kompresibilitas diabaikan
2.	$0,3 \leq M < 1,4$	Kecepatan Tinggi	Secara prinsip sangan dominan, begitu juga similaritas Mach.
3.	$1,4 \leq M \leq 5$	Kecepatan supersonic	Pada bagian ini hanya perlu memakai similaritas Mach untuk menjaga efek kompresibilitas.
4.	$M > 5$	Kecepatan supersonic	Dimana aliran gan tidak dapat dengan lama diasumsikan sebagai gas ideal.

Manfaat Wind Tunnel

Wind Tunnel digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada benda uji yang berada dalam pengaruh gaya aerodinamik pada bidang aerodinamika kinerja mekanika terbang dari suatu benda terbang yang dapat diuji secara experimental, dengan peralatan sistem pendukung yang memiliki kemampuan ukur derajat kebebasan (*degree of freedom*), yaitu gaya, *Fthrust*, *Fweight*, *Fdrag*, *Flift*, *Fweight*, *momen*, *Mpitch*, *mrdd*, *Myaw*. Objek yang dapat dianalisa sangat luas oleh karna itu dibagi menjadi beberapa sub klasifikasi.

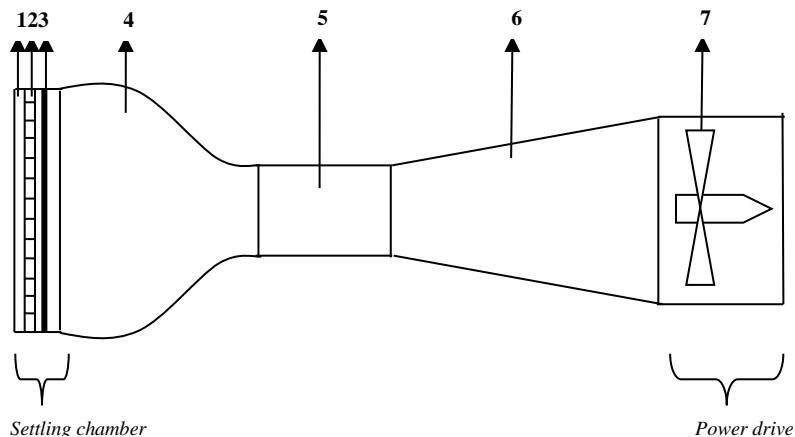
Dalam bidang desain kendaraan moderen menuntut bentuk yang futuristik tetapi hambatan angin dapat direduksi sehingga penggunaan bahan bakar dapat lebih efisien. Reduksi koefisien drag didapat melalui pengujian menggunakan terowongan angin. Selain itu dalam desain kendaraan menuntut kesetabilan yang tinggi terutama saat menikung sehingga membutuhkan gaya tekan kebawah (*down force negative lift*) yang optimal.

Selain di gunakan untuk desain kendaraan, terowongan angin juga banyak dipakai dalam pengujian berbagai kondisi benda dalam aliran seperti udara pada lingkungan perkotaan, konstruksi pencakar langit dan lain-lain.

Kriteria Desain

Karakteristik sistem *wind tunnel* adalah kualitas aliran didalam *test section* dan kinerja secara keseluruhan. Kriteria utama yang lazimnya digunakan untuk mendefinisikan karakteristik *wind tunnel* adalah maksimum kecepatan aliran udara yang dapat dicapai, keseragaman aliran dan tingkat turbulensi yang rendah. Dengan kata lain tujuan desain wind tunnel adalah mendapatkan aliran udara dalam test section yang dapat diatur sehingga kinerja dan kualitas aliran dapat dicapai.

Skema *layout open circuit wind tunnel* yang akan dibangun sebagai alat untuk bahan tugas akhir / skripsi ini diperlihatkan pada gambar dibawah. Secara garis besar ada 5 bagian utama yang terdiri dari *settling chamber (inlet, honeycomb, screen)*, *contraction*, *test section*, *diffuser* dan *fan*.



Gambar 4.17. Skematik *Open circuit Wind Tunnel*

Keterangan:

1. *Inlet*
2. *Honeycomb*
3. *Screen*
4. *Contraction*
5. *Test Section*
6. *Diffuser*
7. *Fan (Power Drive)*

Settling chamber merupakan bagian paling depan sebuah *wind tunnel*, terdiri dari *inlet* (no.1), *honeycomb* (no.2), dan *screen* (no.3). *Honeycomb* digunakan untuk meluruskan arah udara sehingga paralel dan seragam, sedangkan *screen* ditunjukkan untuk mengurangi turbulensi. *Contraction* (no.4) memaksa udara dengan volume besar melalui luas area yang lebih kecil untuk meningkatkan kecepatan angin. *Test section* (no.5) adalah tempat uji dimana model dari suatu benda/objek dipasang. Sebuah *difusser* (no.6) diletakkan setelah *test section* untuk melancarkan aliran udara ketika dialirkan keluar. Disamping itu difusser meningkatkan volume udara sehingga melambatkan aliran udara keluar *wind tunnel*. Bagian terakhir *wind tunnel* adalah penggerak dimana sebuah *fan* (no.7) ditempatkan. Penempatan fan dibagian paling akhir ditujukan untuk menarik udara ke dalam *wind tunnel*, dan ini lebih baik karena lebih sedikit menghasilkan turbulensi dibandingkan dengan tipe *blow* (tiup).

Spesifikasi utama *wind tunnel* adalah dimensi *test section* dan kecepatan maksimum dengan kualitas aliran yang diharapkan di *test section*. Dimensi *test section* dapat ditentukan dengan model yang akan ditempatkan di *test section* dan tujuan aplikasinya di bidang aeronautika, otomotif dan sebagainya. Sebaliknya, kualitas aliran merupakan hasil dari keseluruhan desain dan hanya dapat diverifikasi setelah *wind tunnel* selesai dibangun. Meski demikian beberapa aturan desain untuk menghasilkan kualitas aliran yang diinginkan dapat diikuti, lihat misalnya (Metha, (1979), Pope (1984)). Aturan tersebut terkait dengan rekomendasi yang berhubungan dengan desain bagian *wind tunnel*, yakni *settling chamber*, *contraction*, *difusser*, dan *fan*.

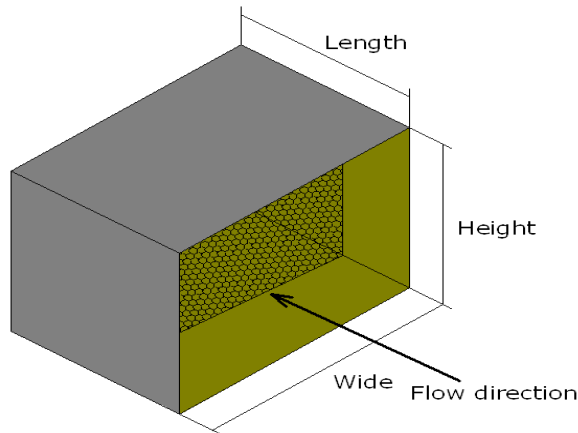
Komponen Wind Tunnel Open Circuit

Secara umum desain dan konstruksi *open circuit low speed wind tunnel* harus memperhatikan kualitas aliran di dalam *test section* (yakni keseragaman aliran dan level turbulensi, balik arah axial maupun lateral). Demikian perlu dipertimbangkan juga aplikasi *wind tunnel*, apakah untuk bidang aeronautika, mekanikal, otomotif, atau bidang lainnya seperti sipil, arsitektur dan lingkungan dan sebagainya. Hal ini akan berpengaruh terhadap target bilangan reynolds yang ingin dicapai. Berikut adalah penjelasan desain masing – masing komponen *open circuit wind tunnel*.

Settling Chamber

Settling chamber merupakan tempat masuknya aliran pertama kali dalam *open circuit wind tunnel type suction* (hisap). Bagian ini merupakan ruang penyesuaian aliran agar aliran udara di *test section* diperoleh keseragaman aliran dan juga level turbulensi yang rendah, baik dalam arah axial maupun dalam arah lateral. Gambar 2.4, menunjukkan skematik *settling chamber* dengan *honeycomb* didalamnya.

Honeycomb dan *screen* diperkenalkan pertama kali oleh Prandti, dan sampai saat ini masih diaplikasikan di setiap *wind tunnel*. *Honeycomb* digunakan untuk menyeragamkan aliran dan mereduksi turbulensi arah lateral, tetapi juga menyebabkan terjadinya turbulensi dalam arah axial dengan ukuran sama dengan diameter *honeycomb*nya. Dalam desain *honeycomb*, parameter yang digunakan panjang terhadap diameter *cell honeycomb*, dan rasio yang disarankan berkisar dalam range 6 – 8. Turbulensi dalam arah axial akibat penggunaan *honeycomb* dapat direduksi dengan memasang *screen*.



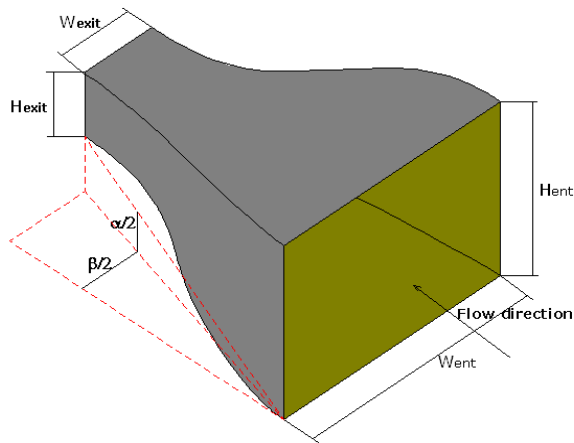
Gambar 4.18. *Settling Chamber*

Dalam desain *settling chamber* direkomendasikan kombinasi penggunaan *honeycomb* dan *screen* (Scheman: 1981). Lebih lanjut Scheman and Brooks (1981) merekomendasikan penggunaan *screen* secara seri. Panjang spasi antara *screen* 0.2 dari diameter *settling chamber* (Metha and Bradshaw: 1979).

Contraction

Contraction atau disebut juga “*nozzle*” mengakselerasi aliran dari *settling chamber* menuju *test section*, juga mereduksi ketidak seragaman aliran di *test section*. Parameter akselerasi dan ketidak seragaman aliran sangat bergantung pada rasio kontraksi, yakni rasio luas penampang pada saat masuk dan keluar *contraction*. Dalam desain rasio kontraksi sedapat mungkin dibuat cukup besar. Hal ini sangat berpengaruh pada dimensi *wind tunnel* secara keseluruhan. Semakin besar rasio maka dimensinya juga semakin tinggi dan tentu akan menambah cost pembuatan *wind tunnel*. Kompromi perlu dilakukan untuk mendapatkan rasio kontraksi yang sesuai dengan harapan, yakni kualitas aliran yang ingin dicapai.

Pengaruh *contraction* terhadap kualitas aliran cukup kompleks, Prandti (1933) menyatakan bahwa rasio rms (*root-mean-square*) fluktuasi kecepatan axial terhadap fluktuasi kecepatan rata – rata akan tereduksi dengan faktor $1/n^2$. Sementara dalam arah lateral hanya tereduksi dengan faktor n (n adalah nilai kontraksi). Hal ini diperkuat oleh Bradshaw and Metha (1979) yakni dalam komponen kecepatan sumbu $-x$ (axial) reduksi fluktuasinya ternyata lebih besar dibandingkan fluktuasi transversal (lateral), ini berarti fluktuasi lateral akan meningkat melalui *contraction*. Dengan menambahkan *screen* pada *settling chamber* fluktuasi dapat diminimalkan.



Gambar 4.19. Contraction

Umumnya rasio kontraksi antara 6 sampai 10 dan dapat menaikkan kecepatan rata – rata sampai 20 kali atau lebih (Barlow: 1999). Kadang – kadang digunakan rasio kurang dari 6, tetapi sebaiknya tidak lebih kecil dari 4. Hal ini untuk menjaga kualitas aliran yang masih dapat diterima. Dan dengan pembuatan bentuk yang baik (terutama bagian dalam kontraksi) turbulensi dan ketidakseragaman aliran pada level 2% dapat dicapai. Dengan menambahkan *screen* pada *settling chamber* levelnya dapat direduksi sampai 0.5%. Agar level turbulensi dapat dikurangi, disarankan rasio kontraksi diatas 8. Level turbulensi yang dapat dicapai berkisar 0.1% dalam arah axial dan sekitar 0.3% dalam arah lateral. Dengan level ini pengujian akurat aeronautika dapat dilakukan.

Bagian dalam dari *contraction* haruslah *smooth* agar distribusi tekanan pada dinding *contraction* tidak terjadi *adverse pressure gradient*. Jika hal ini terjadi maka akan ada daerah di dinding yang mengakibatkan adanya separasi lapisan batas secara lokal. Hal ini berimplikasi kenaikan turbulensi level yang pada akhirnya menghasilkan kualitas aliran yang buruk di *test section*.

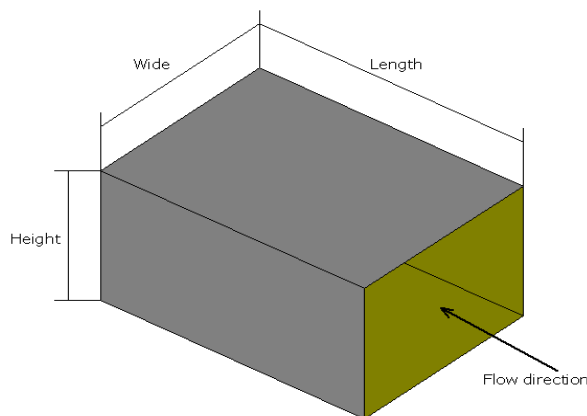
Test Section

Test Section merupakan tempat dimana model yang akan diuji ditempatkan. Oleh karenanya kecepatan yang diinginkan dan kualitas liran pada *test section* harus menjadi perhatian utama ketika mendesain sebuah *wind tunnel*. Ukuran (dimensi) dan kecepatan maksimum dari *test section* ditentukan oleh ukuran model yang digunakan dan nilai bilangan reynolds maksimum yang dapat dicapai.

Ukuran model (*frontal area*) sebaiknya 10% dari ukuran (*frontal area*) *test section*, agar diperoleh aliran yang terbebas dari pengaruh interferensi dinding pembatas dan *wake* di sudut – sudut *test section*. Untuk aplikasi dengan model otomatis, akan selalu ada daerah separasi aliran di model tersebut. Ini karena *frontal area* tidak berbentuk *streamline* seperti pada model aeronautika. Sehingga aliran tertahan oleh adanya geometri model atau disebut juga masalah *blockage*.

Disamping itu rasio lebar terhadap tinggi model otomotif lebih besar dari model aeronautika, sehingga ukuran panjang test section harus mencukupi kondisi terjadinya penyatuan kembali aliran setelah separasi aliran. Hal ini agar tekanan pada daerah separasi menjadi benar dan tidak terjadi pengaruh ke komponen gaya drag. Khusus untuk otomotif, ukuran model bukan 10% seperti di kasus aeronautika, tapi disarankan 5% atau kurang (Barlow et al, 1989).

Metode koreksi untuk interferensi dinding dan blockage di model otomotif diberikan misalnya oleh Miskel (1976), Cooper, K. (1986).

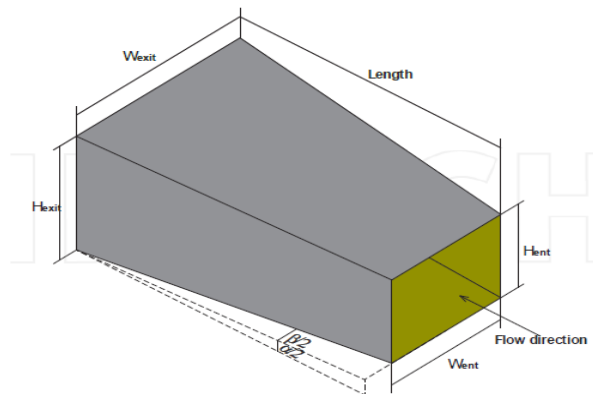


Gambar 4.20. Test Section

Penampang *test section* umumnya berbentuk persegi yang direkomendasikan untuk banyak aplikasi seperti aeronautika, teknik sipil, aplikasi industri dan otomotif. Lazimnya digunakan rasio perbandingan lebar terhadap tinggi *test section* adalah 4:3, dengan nilai tersebut diharapkan rasio ketebalan lapisan batas di bagian test section menjadi lebih kecil dibandingkan model arah *span* (bentang). Seperti telah diuraikan sebelumnya, panjang *test section* haruslah mencukupi untuk aplikasi otomotif. Barlow et al (1989) merekomendasikan panjang antara 0.5 – 3 dari diameter hidrolis *test section*.

Diffuser

Fungsi utama *diffuser* adalah *recovery* tekanan statik untuk meningkatkan efisiensi *wind tunnel*. Adalah sangat penting menjaga aliran agar tetap menyatu (*attached flow*). Jika terjadi *detachment flow* (pemisahan) maka tekanan akan ditransmisikan ke *test section*, akibatnya terjadi ketidakseragaman tekanan dan kecepatannya. Untuk menghindari *detachment flow*, direkomendasikan sudut buka *diffuser* tidak melebihi 5°.

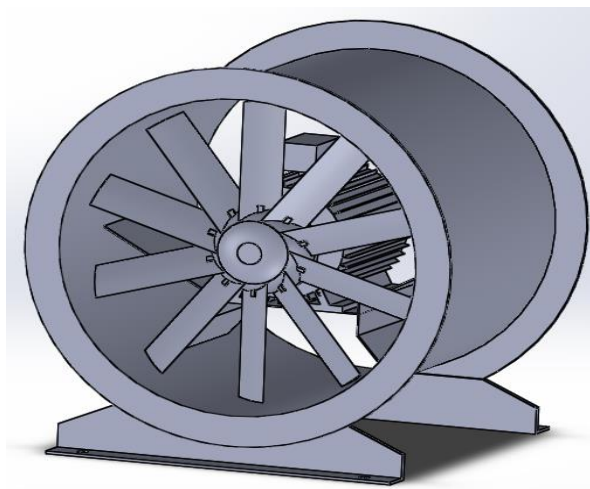


Gambar 4.21. *Difusser*

Power Drive (Fan dan Motor)

Fungsi utama penggerak daya adalah menjaga kecepatan aliran udara dalam *wind tunnel* tetap konstan dan mengkompensasi semua kerugian (*loss*) dan disipasi tekanan. Volume udara dapat dihitung dengan hasil kali antara kecepatan pada *test section* yang diinginkan, V dengan luas penampang *test section*.

Daya yang diperlukan oleh motor merupakan fungsi dari kenaikan tekanan, volume udara dan efisiensi *fan*.

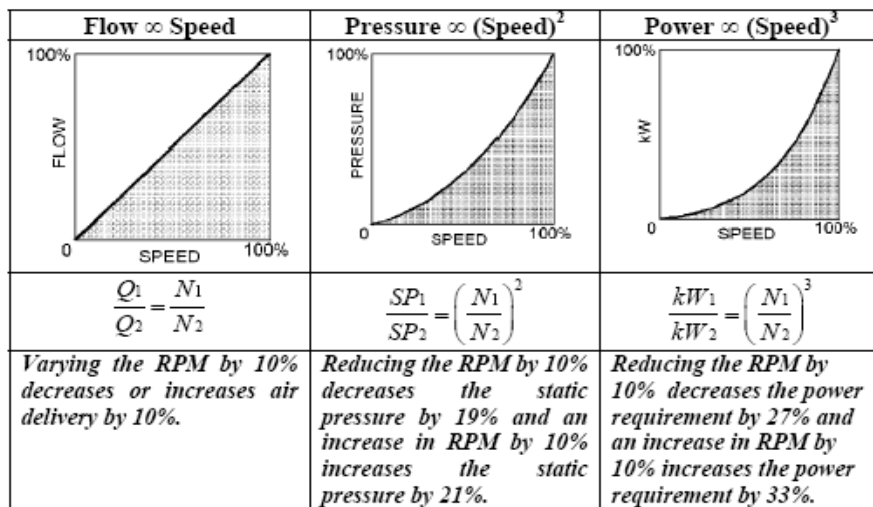


Gambar 4.22. *Fan dan Motor*

Kipas (Fan)

Kipas (*fan*) adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menghasilkan aliran pada fluida gas seperti udara. Dimana kipas menghasilkan aliran fluida dengan debit aliran yang besar pada tekanan rendah, kipas banyak diaplikasikan seperti untuk kenyamanan ruangan (kipas meja/dinding), sistem pendingin pada kendaraan atau sistem permesinan, ventilasi, penyedot debu, sistem pengering (dikombinasikan dengan *heater*), membuang gas-gas berbahaya, dan juga *supply* udara untuk proses pembakaran (seperti pada boiler). Namun

dalam hal ini *fan* juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menghasilkan aliran udara untuk pengujian aerodinamis pada *wind tunnel*.



Where Q – flow, SP – Static Pressure, kW – Power and N – speed (RPM)

Gambar 4.23. Kecepatan, tekanan, dan daya fan (BEE India, 2004)

Klasifikasi Fan

Berdasarkan prinsip kerja aliran udara *Fan* dapat diklasifikasikan dalam 2 (dua) tipe yaitu: *axial fan* dan *centrifugal fan*.

Axial Fan

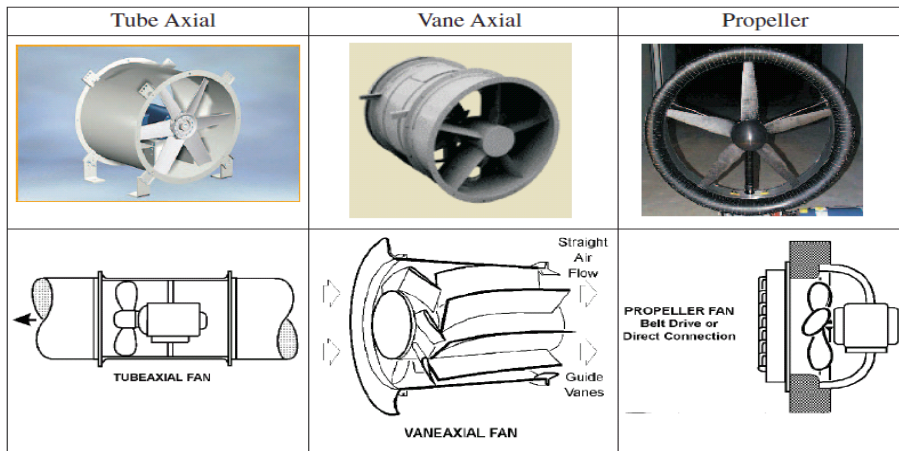
Sesuai dengan namanya, *axial fan* menghasilkan aliran fluida gas dengan arah yang searah dengan poros kerja kipas tersebut. Kipas tipe ini adalah yang paling banyak penggunaannya di kehidupan sekitar kita. Hal tersebut tidak terlepas dari kemudahan desain serta harga yang lebih ekonomis jika dibandingkan dengan kipas sentrifugal. Karena desainnya yang tidak terlalu rumit serta dapat menghasilkan *flow* yang besar, kipas ini banyak digunakan sebagai alat pendingin pada berbagai keperluan. Dari pendingin CPU hingga komponen pendingin mesin kendaraan bermotor menggunakan kipas tipe aksial, bahkan dalam pembahasan ini, *fan axial* digunakan sebagai salah satu alat bantu untuk menghasilkan *flow* yang dimanfaatkan untuk pengujian aerodinamis pada *wind tunnel*.

Axial fan dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu: *tube-axial fan*, *vane axial fan* dan *propeller fan*.

1. *Tube-axial fan* lebih efisien dari pada *propeller fan* dengan ciri *housing fan* yang berbentuk silinder dipasang tepat pada radius ujung *blade*, dan diaplikasikan untuk sistem pemanas, ventilasi, *air conditioning* dan industri serta untuk menghasilkan *flow* sebagai pengujian aerodinamis pada *wind tunnel*. Karena *fan* tipe *tube axial fan* memiliki konstruksi *fan* yang sesuai/ cocok untuk diaplikasikan pada *wind tunnel*, dengan tekanan rendah dan jumlah volume udara yang dialirkan besar.
2. *Vane axial fan* merupakan *fan axial* dengan efisiensi tinggi dengan ciri *housing fan* yang berbentuk silinder dipasang tepat pada radius *blade*, dan diaplikasikan untuk

sistem pemanas, ventilasi, dan *air conditioning* yang memerlukan aliran lurus dan efisiensi tinggi.

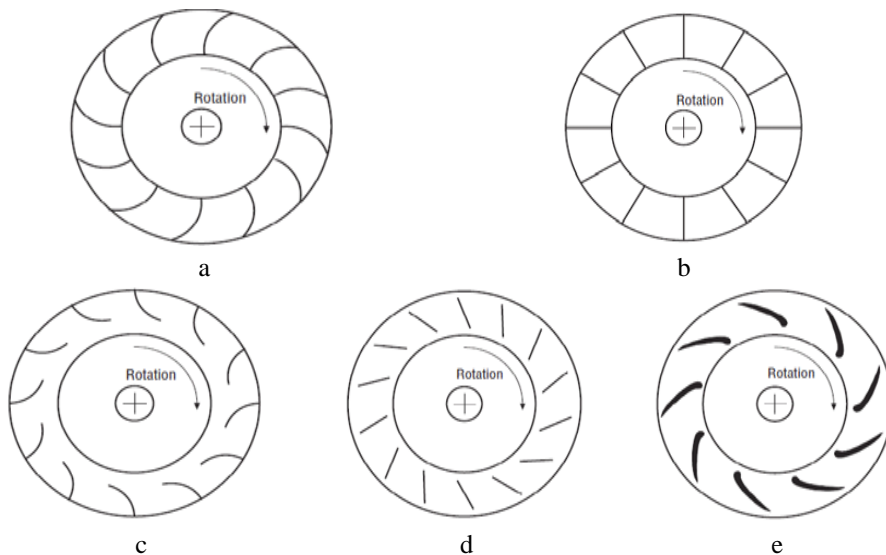
3. *Propeller fan* merupakan desain dasar *fan* aksial yang diaplikasikan untuk tekanan rendah dan volume udara yang dialirkan sangat besar volume. *Fan* jenis ini biasa diaplikasikan untuk sistem ventilasi yang menembus tembok.



Gambar 4.24. Tipe *fan* aksial dan bentuk *bladenya*

Centrifugal Fan

Centrifugal fan menghasilkan aliran udara dengan mempercepat arus udara secara radial dan mengubah energi kinetik menjadi tekanan. *Centrifugal fan* dapat menghasilkan tekanan tinggi dengan efisiensi tinggi, dan dapat dibuat dalam berbagai tingkat kondisi operasional. *Fan* jenis ini memiliki beberapa jenis *blade*.



Gambar 4.25. Tipe *blade Centrifugal fan*

- a. *Forward curve fan* memiliki kecepatan putar yang sangat rendah untuk mengalirkan sejumlah udara serta bentuk lengkungan *blade* menghadap arah putaran, sehingga kurang efisien dibandingkan tipe *air foil* dan *backward inclined*. *Fan* jenis ini biasanya diaplikasikan untuk sistem pemanas bertekanan rendah, ventilasi, dan *air conditioning radial blade fan* secara umum yang paling efisien diantara *centrifugal fan* yang memiliki bentuk *blade* mengarah titik poros. *Fan* jenis ini digunakan untuk pemindahan bahan dan industri yang membutuhkan *fan* dengan tekanan di atas menengah.
- b. *Radial blade fan* secara umum yang paling efisien diantara *centrifugal fan* yang memiliki bentuk *blade* mengarah titik poros. *Fan* jenis ini digunakan untuk pemindahan bahan dan industri yang membutuhkan *fan* dengan tekanan di atas menengah.
- c. *Radial tip fan* lebih efisien dibandingkan *fan* tipe *radial blade* yang di desain tahan terhadap keausan dan aliran udara yang erosif.
- d. *Backward-inclined fan* memiliki *blade* yang lurus dengan ketebalan tunggal. *Fan* ini diaplikasikan pada sistem pemanas, ventilasi, *air conditioning* dan industri dimana *blade* akan mengalami lingkungan yang korosif dan lingkungan yang erosif.
- e. *Air foil fan* adalah tipe *centrifugal fan* yang dikembangkan untuk memperoleh efisiensi tinggi. *Fan* ini diaplikasikan pada sistem pemanas, ventilasi, *air conditioning* dan udara bersih industri dimana penghematan energi sangatlah penting.

Dasar Pemilihan *Fan*

Pemilihan *fan* sangatlah penting untuk diperhatikan, agar mendapatkan *flow* dan kapasitas *fan* sesuai yang diinginkan. Adapun dasar – dasar dari pemilihan *fan* yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. CFM / CMH
CFM (*Cubic Feet per Minute*) / CMH (*Cubic Meter per Hour*). yang berarti seberapa banyak udara yang *fan* hembuskan, CFM tinggi - berisik begitu juga CFM rendah - silent. tapi tidak semua CFM tinggi berarti berisik, ada beberapa faktor yg berpengaruh.
2. dBa
dBa kepanjangan dari *decibel adjusted*, ukuran untuk menyatakan tingkat kebisingan. semakin tinggi CFM, biasanya semakin tinggi dBa.
3. RPM
RPM (*Rotation atau Revolutions Per Minute*), besaran RPM mengartikan bahwa berapa banyak *fan* bisa melakukan putaran satu lingkaran penuh selama satu menit. semakin tinggi RPM, semakin besar tingkat kebisingannya.
4. *Static Pressure*
Mungkin ini salah satu yang biasa orang lupakan dalam memilih *fan*. *static pressure* adalah seberapa banyak *fan* menghembuskan dan menghisap udara melewati objek uji coba dalam wind tunnel. semakin besar *static pressure*, semakin besar pula jumlah udara yg melewati *test section* pada wind tunnel. *Static pressure* tergantung dari design *fan* dan turbulensi yang dibuat.

Motor Listrik

Motor listrik adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa: kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama, tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.



Gambar 4.26. Motor Listrik

Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan terowongan angin yang ada di lab. Konversi energy ITENAS. Pengujian dilakukan terhadap model yang terbuat dari clay (clay model) yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan gaya hambat (drag force) dari model mobil listrik yang akan dibuat.

Parameter pengujian terutama pada variasi kecepatan hembusan udara sehingga akan didapatkan gaya drag. Sampai tahap ini baru dilakukan 1 tahap pengujian.

Dokumentasi pengujian dapat dilihat pada gambar berikut:



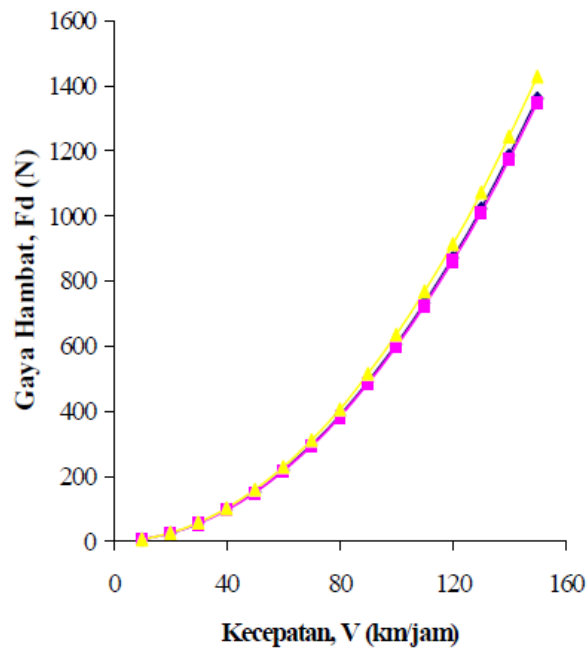
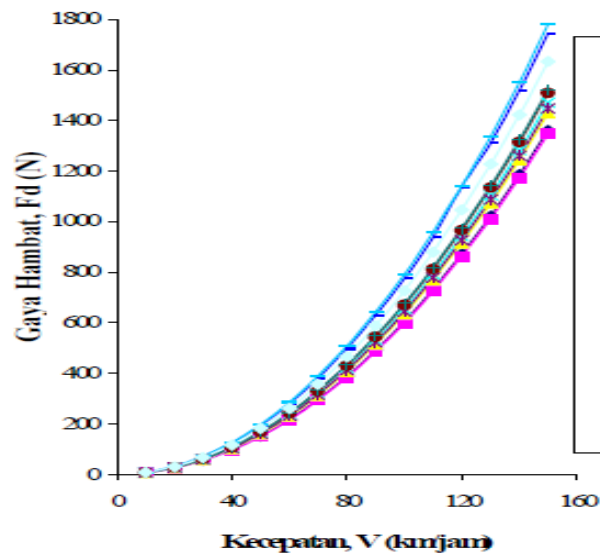


Gambar 4.27. Peralatan pengujian model

Terowongan angin yang dipakai adalah jenis Open Circuit-Sub Sonic Spesifikasinya: dimensi 2980 x 1830 x 800 mm, kecepatan udara 20 m/det, motor rating 1,5 kW, testing section 310 x 310 x 410 mm, testing section area 88900 mm², lift balance (maks) 7,0 N, drag balance (maks) 2,5 N. Model uji beserta asesorisnya diuji satu persatu di terowongan angin. Variasi kecepatan udara 9 m/det, 10 m/det, 12 m/det, 14 m/det, 16 m/det, 18 m/det, 20 m/det.

Model uji ditempatkan minimum 44,2 mm dari ujung depan ground plane, agar dapat menghadirkan fenomena jalan pada eksperimen yang dilakukan. Dari pengujian terowongan angin ini akan mendapatkan gaya hambat (drag force).

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar berikut ini:



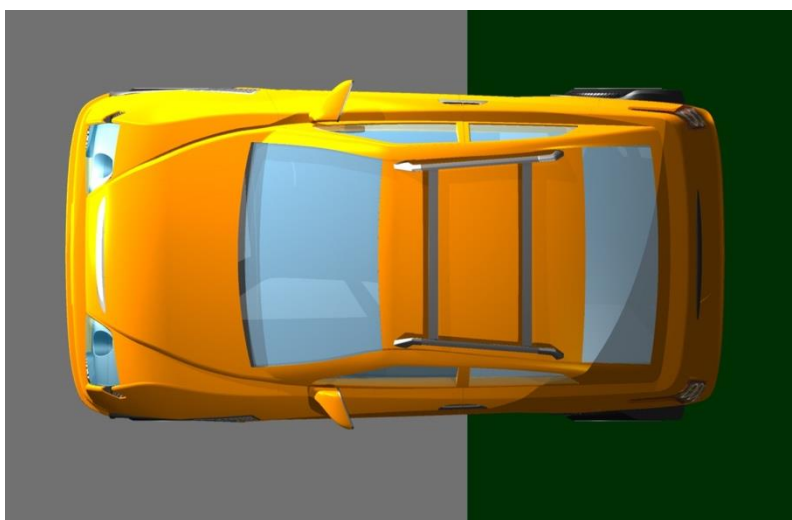
Gambar 4.28. Hasil pengujian, Pengaruh kecepatan terhadap gaya hambatan

4.4 Pembuatan Body Skala 1 : 1

Gambar rancangan

Gambar rancangan body adalah seperti pada gambar berikut:







Material Fiberglass Reinforcement Plastic (FRP

Fiberglass Reinforcement Plastic (FRP) atau yang lebih dikenal dengan fiberglass merupakan kombinasi dari dua komponen yang mempunyai karakteristik fisik berbeda, tetapi keduanya memiliki sifat saling melengkapi. FRP memberikan keuntungan lebih banyak daripada kayu. mbuatan bahan FRP tidak membutuhkan keahlian yang tinggi,

konstruksi yang ringan dibanding dengan kayu, ferrocement, mudah dibentuk dan tidak mudah busuk serta tahan lama. Dua komponen yang membentuk FRP yaitu resin stic polyester dan sebuah penguatan serabut gelas (Verweij 1967 diacu dalam berty 1997). Fungsi dari *fiberglass* adalah untuk (Agustina, 1994) : Meningkatkan rasio kekuatan terhadap berat, meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh suhu, menjaga dan mempertahankan kestabilan bentuk memungkinkan dipakai untuk struktur/kerangka

Serabut gelas/serabut kaca

Berbagai *fiberglass* tersedia dengan berbagai komposisi dan spesifikasi, a cocok untuk dipakai pada berbagai proses dan kekuatan yang diinginkan.

Beberapa tipe *fiberglass* pada FRP (Agustina, 1994), antara lain :

- ***Continous Roving (Roving)***
Merupakan serabut-serabut gelas yang berbentuk paralel, tidak teranyam sehingga mudah terputus-putus, halus, panjang tidak terbatas dan dalam bentuk gulungan. *Roving* tersedia dalam kemasan silindris.
- ***Woven Roving (Gewebe)***
Adalah serabut gelas yang kuat dan berat, berupa lembaran yang fleksibel yang dianyam dari *roving* sehingga berbentuk tikar. Tersedia dalam lembar dan berat yang berbeda yaitu:
 - Gewebe 450 (artinya tiap luasan 1 m² gewebe maka beratnya 450 gram),
 - gewebe 600 (artinya tiap luasan 1 m² gewebe maka beratnya 900 gram).*Woven roving* memberikan kekuatan yang paling tinggi diantara semua jenis serabut gelas penguat FRP. Gewebe terutama dipakai untuk pembuatan produk yang besar seperti kapal, tangki, *body* mobil.
- ***Matt***
Adalah serabut gelas yang tidak teranyam, panjang sekitar 4-5 cm direkat satu sama lain dalam aturan yang tidak menentu. Ada tiga macam *matt* yaitu *matt* 300 (artinya tiap luasan 1 m² *matt* maka beratnya adalah 300 gram), *matt* 450 (artinya tiap luasan 1 m² *matt* maka beratnya adalah 450 gram) dan *matt* 600 (artinya tiap luasan 1 m² *matt* maka beratnya 600 gram).
Serabut gelas (*matt*) adalah campuran benang-benang sutera dengan gelas yang diolah dan diproses sedemikian rupa sehingga bentuk akhirnya merupakan serabut-serabut yang berdiameter 5-20 mm. Bahan ini memberikan kekuatan tambahan *polyester*/resin ketika akan dicetak agar hasilnya menjadi lebih kuat dan ak mudah pecah. Serabut gelas yang biasanya digunakan dalam pembuatan *Body mobil fiberglass* adalah *Matt* 300 dan 450 dan *Woven Roving* 600 (Imron, 2004).

Polyester/resin

Polyester merupakan bahan baku yang lebih dikenal dengan nama resin, merupakan cairan kental berwarna kekuning-kuningan menyerupai minyak goreng api agak kental, bening dan baunya spesifik (*styrol*). Sifat dari *polyester* adalah dapat dikombinasikan dengan bahan penguat seperti serabut gelas (yang edakan atas *continous roving*, *woven roving*, dan *matt*), kayu, busa plastik dan lain-lain. Selain itu bahan ini dapat dikombinasikan dengan pigmen.

Polyester memiliki 4 tipe (Agustina, 1994), yaitu :

- Tipe ortho, bersifat tahan terhadap air laut dan asam encer, banyak dipakai oleh umum dan harganya lebih murah dibanding tipe yang lain. Contohnya BQTN-Ex
- Tipe iso, bersifat tahan terhadap panas dan asam, daya tahan cuaca dan kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan tipe ortho sehingga sering dipakai dalam pembuatan gelcoat, cetakan (mold) dan tangki bahan kimia. Contohnya Yukalaz 150 HR-BQTN.
- Tipe bisphenolic, bersifat tahan kimia yang paling tangguh. Contohnya yukalaz LP-1Q Ex
- Tipe vinyl ester, bersifat tahan kimia yang paling tangguh. Contohnya Ripoxy R-802.

Resin sebagai bahan pembuat FRP yang memiliki sifat-sifat menguntungkan (Norske 1972 diacu dalam Agustina 1994), antara lain :

- Memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis baja, aluminium atau kayu.
- Memiliki sifat isolasi yang baik terhadap listrik. Memiliki sifat antikorosi.
- Tahan terhadap zat-zat keras. Tidak berbau dan tidak berasa.
- Dapat dicampur dengan bahan-bahan tertentu
- Tahan terhadap air, zat-zat seperti HCl (Asam Khlorida) atau NaOH (Natrium Hidroksida)

(Norske 1972 diacu dalam Agustina 1994) menambahkan selain sifat-sifat yang menguntungkan dari plastik, terdapat juga sifat yang tidak menguntungkan, ara lain: Kebanyakan tidak tahan panas (*thermoplastic*, umumnya hanya dapat digunakan untuk daerah yang suhunya dibawah 100⁰C)

Memiliki sifat pemuai yang besar atau lima kali lebih besar daripada baja Mudah terbakar dan mengeluarkan gas beracun

Jenis resin bermacam-macam. Untuk bahan aksesoris *fiberglass*, umumnya menggunakan resin bening atau resin bewarna gelap. Resin bening, biasanya menggunakan untuk bentuk yang menonjolkan kebeningannya, seperti untuk sesoris visor, kap lampu, dll sebagai pengganti mika, namun penggunaan resin ning yang ada dipasaran untuk pengganti mika, masih belum menghasilkan alitas yang memuaskan. Sedangkan resin jenis bewarna gelap lebih banyak unakan untuk pembuatan aksesoris, disamping harganya murah, resin ini dapat ngan mudah dibeli di toko-toko kimia (Subianto, 2008). Pada umumnya *Resin* ng digunakan untuk membuat body mobil adalah 3.115 SHCP *Unsaturated polyester resin*

Sifat-sifat resin maupun *polyester* lainnya adalah dapat dikombinasikan ngan bahan-bahan penguat seperti serabut gelas, kayu, busa plastik dan lainnya, dapat dikombinasikan dengan bahan anti transpatan, bahan pigmen (pewarna), han *thyxo-tropic*.

Material Fiberglass adalah salah satu jenis bahan fiber komposit yang memiliki keunggulan yaitu kuat namun tetap ringan. Walaupun tidak sekaku dan seringan bahan carbon fiber, fiberglass lebih ulet dan relatif lebih murah di pasaran.

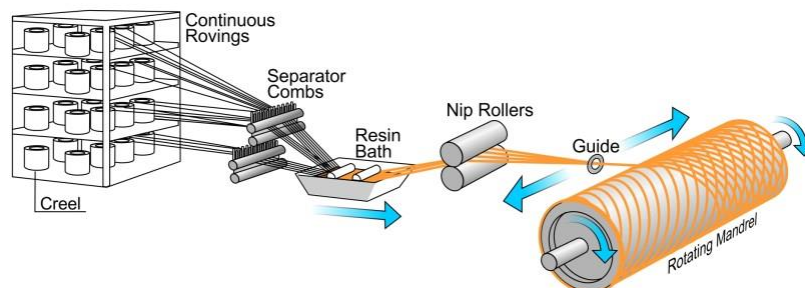
Material komposit itu sendiri adalah material yang terdiri dari dua komponen yaitu penguat (*reinforcement*) berupa serat dan pengikat (*matrix*) berupa plastik, sehingga menghasilkan kombinasi sifat yang kaku, kuat dan ringan

Pada komposit fiberglass, komponen penguat tersebut adalah serat kaca. Kaca yang kita kenal sehari-hari memiliki sifat yang mudah retak dan pecah, hal tersebut diakibatkan karena kekerasan permukaan kaca yang terlalu tinggi, sehingga memudahkan proses perambatan retak pada permukaan kaca walaupun dengan sedikit saja cacat atau beban. Untuk menghindari retak awal atau cacat pada permukaan kaca tersebut, kaca dibuat benang yang sangat tipis dengan diameter sekitar 5-25 mikrometer. Diameter yang sangat kecil tersebut membuat serat kaca yang sangat kuat ini tidak diberikan kesempatan untuk mendapatkan cacat permukaan yang menjadi awal perambatan retak. Serat-serat kaca yang kecil ini dipintal untuk kemudian disusun menjadi bentuk jahitan (*woven*), bulu-bulu yang disatukan membentuk lembaran (*chopped strand mat*), potongan-potongan kecil (*chopped strand*) ataupun benang panjang yang kontinu (*continuous roving*). Fiberglass sering juga dikenal dengan nama *Glass-reinforced plastic* (GRP) atau *glass-fiber reinforced plastic* (GFRP) karena terdiri dari komponen glass-fiber dan dikuatkan dengan plastik (resin). Namun, diameter yang sangat kecil tersebut membuat serat kaca mudah untuk tertekuk (*buckling*).

Proses pembuatan body mobil listrik berbahan fiberglass pun dijelaskan sebagai berikut: bermacam-macam. Berikut rangkuman dari masing-masing proses tersebut:

1. *Filament winding*

Proses ini dilakukan untuk membuat komponen berbentuk silinder dengan arah serat tertentu. Proses filament winding dilakukan dengan memutar cetakan bersamaan dengan menarik serat fiber yang sudah dibasahi dengan resin membentuk pola tertentu. Fiberglass yang digunakan pada proses ini adalah jenis *continuous roving*.



2. *Hand Lay-up*

Hand Lay-up merupakan proses fabrikasi fiberglass yang digunakan untuk mencetak bagian mobil yang rata dan melengkung. Proses ini dilakukan dengan cara meratakan

fiberglass dengan jenis *woven roving* atau *chopped strand mat* yang dibasahi dengan resin cair ke dalam cetakan secara manual menggunakan tangan.

3. *Spray lay-up*

Resin dan fiberglass dalam bentuk *chopped strand* dicampur dan disemprotkan ke cetakan kemudian diratakan dengan tangan yang pada umumnya menggunakan alat bantu berupa roller. Sebelum menjadi *chopped strand*, fiberglass sebelumnya berbentuk *continuos roving* yang dipotong oleh alat sprayer. Proses ini dapat dilakukan untuk bentuk-bentuk yang kompleks dengan banyak lengkungan, yang sulit dilakukan pada proses hand lay-up biasa karena fiberglass jenis *woven roving* dan *chopped strand mat* memiliki keterbatasan untuk cetakan dengan kurva-kurva yang kompleks.

Hasil pembuatan Body Mobil listrik dapat dilihat pada foto-foto berikut:

















5 MOTOR DAN SISTEM KENDALI

5.1 BLDC Motor

Brushless DC motor (BLDC motor) yang juga dikenal sebagai *electronically commutated motors (ECMs)* adalah tipe motor sinkron yang memakai sumber listrik arus searah sebagai tenaganya. Arus searah yang digunakan umumnya bersumber dari arus bolak-balik yang kemudian disearahkan dengan inverter.

BLDC motor memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan motor stepper namun penggunaan istilah motor stepper kurang tepat bagi BLDC motor karena pengertian dari motor stepper itu sendiri digunakan untuk jenis motor yang di desain secara spesifik untuk dapat dioperasikan dalam mode *positioning* yang akurat dimana bagian motor mampu berhenti di posisi angular yang diinginkan.

Dua parameter performa BLDC motor yang paling utama adalah konstanta motor Kv dan Km. Secara performa, BLDC motor dapat menghasilkan torsi maksimal pada RPM rendah dan secara bertahap akan menurun seiring meningkatnya RPM motor. keunggulan BLDC motor dibandingkan jenis *Brushed* DC motor lainnya diantaranya efisiensi kerja yang lebih tinggi, tingkat keausan atau *mechanical wear* rendah karena tidak menggunakan *brush*, dan frekuensi perawatan yang minimal.

Konstruksi beberapa BLDC motor menggunakan *permanent magnet* dibagian yang berputar rotor dan *armature* pada bagian stator. Sistem *sequencing* arus listrik menggunakan *electronic controller* sebagai sistem pengganti komutator dengan *brushed* pada motor DC konvensional. *Electronic controller* ini mengubah fasa arus listrik yang menuju gulungan kawat untuk mendistribusikan daya listrik sehingga dapat menjaga perputaran motor agar tetap konstan. Dengan cara ini didapatkan beberapa keuntungan yaitu meminimalkan *energy losses* dan menghilangkan *mechanical wear* antara bagian stator dan rotor.

Keunggulan BLDC motor dibandingkan dengan DC motor konvensional antara lain *torque per weight* dan *per watt* lebih besar, peningkatan efisiensi dan *reliability*, pengurangan *noise* atau kebisingan suara, mengeliminasi percikan ion electron dari komutator dan mengeliminasi *electromagnetic interference* (EMI).

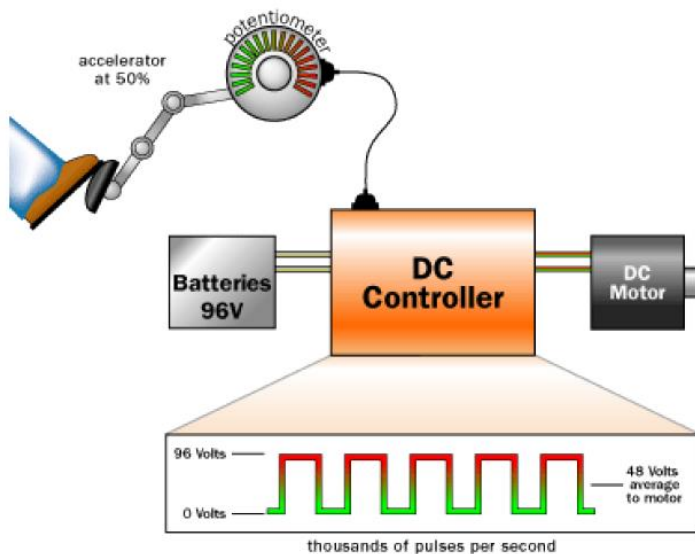
Daya maksimum yang dapat diberikan pada BLDC motor dibatasi hampir hanya oleh energi panas atau *heat* yang dapat melemahkan kekuatan magnet atau merusak selubung insulasi nya. Kekurangan utama BLDC motor yaitu harganya yang lebih mahal. Hal ini terjadi karena sistem komutasi motor ini membutuhkan kontrol kecepatan elektronik yang kompleks sementara *brushed* DC motor atau motor DC konvensional dapat menggunakan sistem *rheostat* (variable resistor) yang sangat sederhana untuk bekerja. Selain itu, sistem produksi BLDC motor secara komersil masih menggunakan proses manual penggulangan kawat secara manual dibandingkan penggulangan mesin.

BLDC motor memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk mengkonversi daya listrik dari sumber energi menjadi daya mekanis untuk menggerakkan motor. Peningkatan efisiensi ini dapat tercapai karena tidak adanya *electrical* dan *friction losses* yang disebabkan oleh komponen *brushed*. Efisiensi maksimal terjadi pada daerah tanpa beban atau *no-load* dan *low-load* pada *performance curve* dari motor. Sementara pada beban mekanis yang sangat tinggi, efisiensi BLDC motor dapat setara dengan *high-quality* DC *Brushed* motor.

5.2 Sistem Kendali Motor

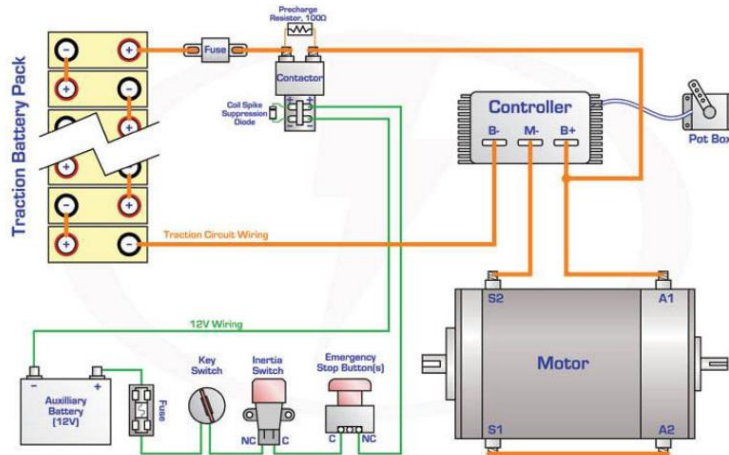
Pada mobil listrik yang akan dikembangkan menggunakan Motor listrik sebagai penggerak utamanya. Kecepatan laju dari kendaraan diatur oleh sistem kendali mobil listrik melalui pengaturan tekanan pada throttle atau pedal gas

Pada mobil listrik, kendali Motor akan mengatur kecepatan dan akselerasi dengan pergerakan mobil listrik dengan menggunakan teknologi Pulse Width Modulation (PWM) dalam pengontrolan motor.



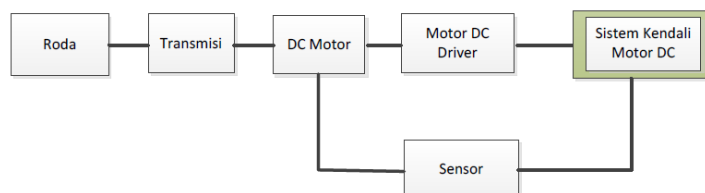
Gambar 5.1. Skema sistem kendali motor

Agar Motor dapat berputar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan maka Motor harus dilengkapi dengan sistem Kendali dan Driver Motor yang handal. Sistem kendali Motor merupakan perangkat wajib yang dimiliki oleh setiap kendaraan atau mobil listrik



Gambar 5.2. Wiring system kendali motor listrik

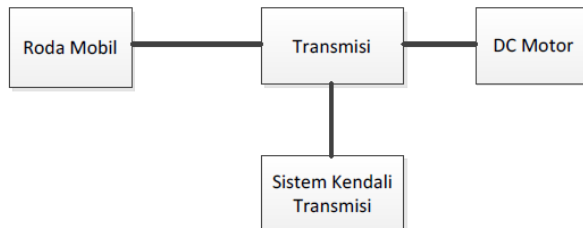
Sebenarnya motor listrik akan memutar roda pada kendaraan melalui transmisi, bukan mengarahkan kendaraan, tetapi efeknya akan berimbas pada arah gerak kendaraan. Motor listrik berkaitan langsung dengan kecepatan atau laju dari mobil listrik.



Gambar 5.3. Blok diagram sistem kendali motor

Kendali Sistem Transmisi

Sistem Transmisi pada mobil berguna untuk mengendalikan arah gerak mobil ke depan atau kebelakang dan dapat juga mengatur perpindahan copling pada mobil listrik. Bila transmisi tidak bekerja dengan baik maka akan berpengaruh pada kehandalan motor dan juga kenyamanan dalam berkendara

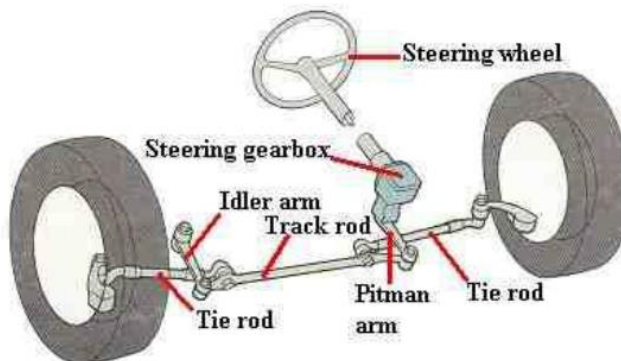


Gambar 5.4. bagan sistem kendali transmisi

Sistem Kendali Steering

Steer pada mobil berguna untuk mengendalikan arah gerak mobil agar sesuai yang diinginkan, sehingga mobil dapat melaju lurus ke depan maupun kebelakang dan dapat juga berbelok ke arah kiri maupun kanan. Bila steer mobil tidak bekerja dengan baik maka akan berpengaruh pada keselamatan dan kenyamanan dalam berkendara. Steer mobil berkaitan langsung antara pengemudi dengan roda mobil

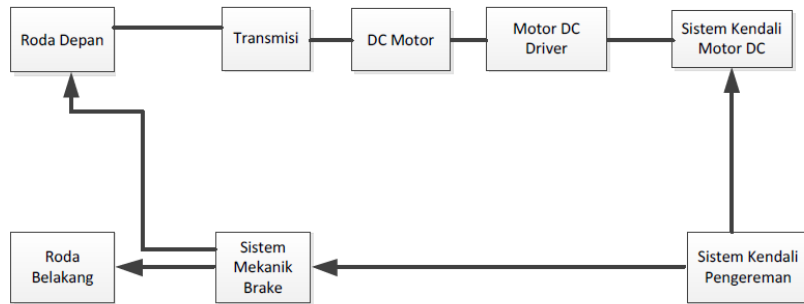
Sistem kemudi merupakan perangkat wajib yang dimiliki oleh setiap kendaraan bermotor. Sebenarnya steer atau sitem kemudi hanya mengarahkan roda pada kendaraan bukan mengarahkan kendaraan, tetapi efeknya akan berimbas pada arah gerak kendaraan. Salah satu bukti bahwa steer hanya menggerakkan roda kendaraan dengan mengerakkan kendaraan kearah kiri atau kanan pada saat mobil dalam keadaan tidak bergerak atau tidak jalan, pada saat steer digerakkan ke kanan maka roda akan bergerak ke kanan atau pada saat steer digerakkan ke kiri maka roda akan bergerak ke kiri, tetapi tidak pada badan kendaraan tersebut



Gambar 5.5. Diagram steering system

Sistem Kendali Pengereman

Setiap Mobil wajib memiliki sistem pengereman. Sistem pengereman berkaitan secara langsung dengan laju kendaraan. Sistem pengereman dapat dilakukan dengan mengatur putaran motor dan juga putaran roda pada mobil listrik

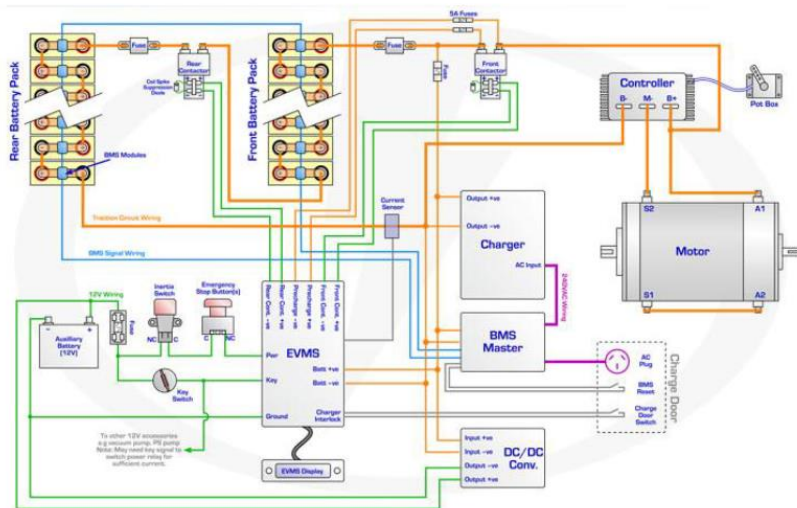


Gambar 5.6. Diagram alir sistem kendali rem

Sistem Kendali Daya

Pada setiap sistem yang dibangun, semua harus mengimplementasikan konsep daya terkendali dan efisien. Sistem Kendali Daya pada mobil listrik yang akan dibangun, menggunakan komputer sebagai sistem utama untuk pengendalinya. Seluruh subsistem elemen kendali daya akan dihubungkan pada komputer dengan menggunakan komunikasi data via ethernet.

Seluruh aktivitas penggunaan dan pengisian daya pada baterai akan diatur sehingga seluruh aktifitasnya dapat dicatat

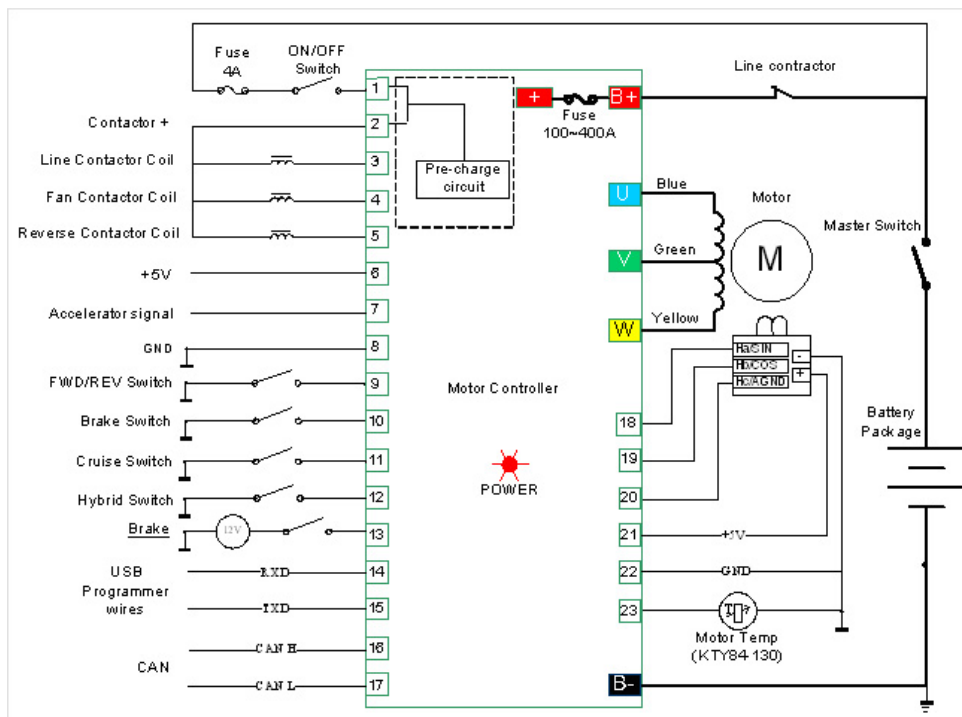


Gambar 5.7. Wiring diagram sistem kendali daya mobil listrik

Pengendalian yang diterapkan dalam mobil listrik ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5.8. Realisasi Kontroler motor BLDC



Gambar 5.9. Realisasi wiring diagram

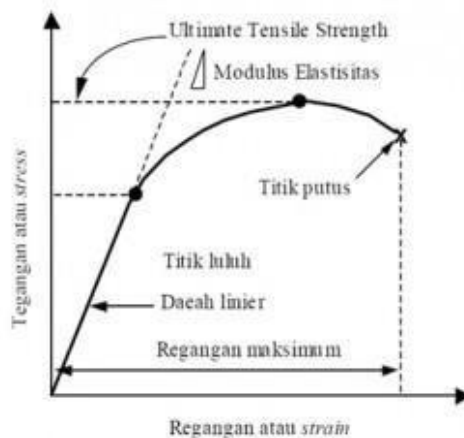
6 PENGUJIAN SIFAT SIFAT MATERIAL BODY MOBIL LISTRIK

Untuk mengetahui karakteristik bahan body mobil listrik maka dilakukan pengujian sebagai berikut:

6.1 Uji Tarik

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (grip) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (highly stiff).

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar di bawah ini. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



Gambar 6.1. Diagram uji tarik

Uji tarik bertujuan untuk mendapatkan informasi-informasi yang dibutuhkan oleh pengguna bahan logam, informasi yang akan diperoleh antara lain :

1. Tegangan Luluh (*Yield Strength*),
2. Tegangan Tarik Maksimum,
3. Kekuatan Patah (*Fracture Strength*),
4. Elongasi,
5. Modulus Elastisitas, dan
6. Kontraksi.

Untuk mengetahui data-data diatas, biasanya mesin penguji yang telah dihubungkan dengan komputer, diprogram untuk mengolah data diatas, namun untuk memberikan informasi data yang lebih beberapa data perlu dihitung secara manual menggunakan rumus persamaan matematis.

Hasil Uji tarik bahan body mobil listrik dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bentuk spesimen	Plate
Width (L)	6.25 mm
Thickness (T)	3.70 mm
Height	10 mm
Grip	32 mm
Length	100 mm



**LABORATORIUM METALURGI FISIK
ITENAS**

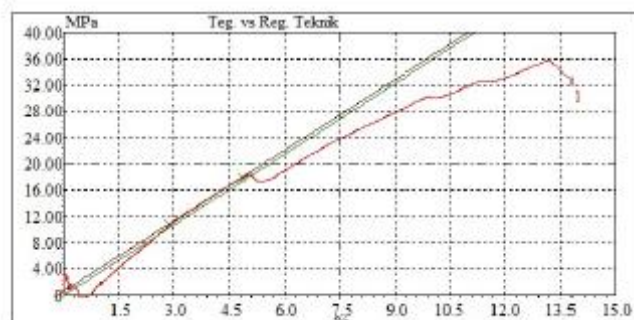
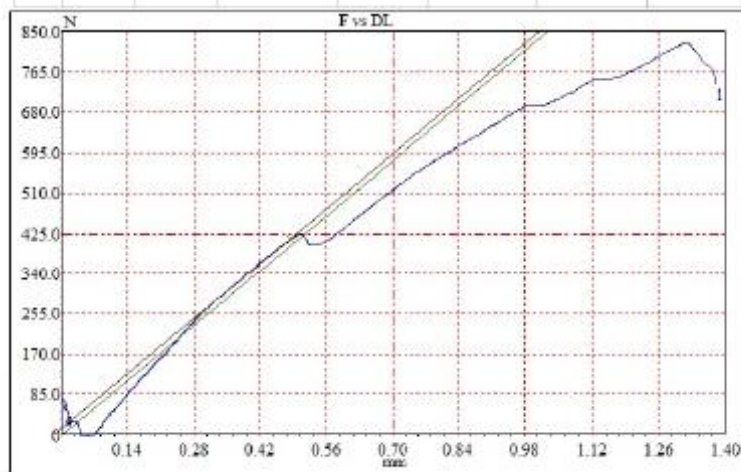
Electric Car Research

Composite Material



Date : 06/09/17

No.	Material	Elongation %	Tensile Strength MPa	Max. Load N	Yield strength MPa	Elastic modulus MPa	Energy N-mm	Fracture N
1	Composit	13.2	35.765	827.059	18.115	361.412	659.830	736.779



Dokumentasi:



6.2. Uji Keras

Uji Keras Brinell

Pengujian kekerasan dengan metode Brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (speciment). Idealnya, pengujian Brinell diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan Brinell sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian Rockwell ataupun Vickers. Angka Kekerasan Brinell (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Identor (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika diameter Identor 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter Identornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N. Dalam Praktiknya, pengujian Brinell biasa dinyatakan dalam (contoh) : HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan Brinell hasil pengujian dengan bola baja (Identor) berdiameter 5 mm, beban Uji adalah sebesar 750 N per 0,102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.

Uji Keras Vickers

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Secara matematis dan setelah disederhanakan, HV sama dengan 1,854 dikalikan beban uji (F) dibagi dengan diagonal intan yang dikuadratkan. Beban uji (F) yang biasa dipakai adalah 5 N per 0,102; 10 N per 0,102; 30 N per 0,102N dan 50 per 0,102 N. Dalam Praktiknya, pengujian Vickers biasa dinyatakan dalam (contoh) : HV 30 hal ini berarti bahwa kekerasan Vickers hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 15 detik. Contoh lain misalnya HV 30 / 30 hal ini berarti bahwa kekerasan Vickers hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 30 detik.

Uji Keras Rockwell

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

- a. HRA (Untuk material yang sangat keras)
- b. HRB (Untuk material yang lunak). Identor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRC (Untuk material dengan kekerasan sedang). Identor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (speciment) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

Data-Data Uji Keras adalah sebagai berikut:

NO	Harga Kekerasan (HRB)
1.	22
2.	33
3.	32
4.	28
5.	40
6.	28
7.	42
8.	29
9.	30.5
10.	36

Kekerasan Rata - Rata

$$1. \text{ HRB} = \frac{22+33+32+28+40+28+42+29+30.5+36}{10}$$

$$\text{HRB} = 32.05$$

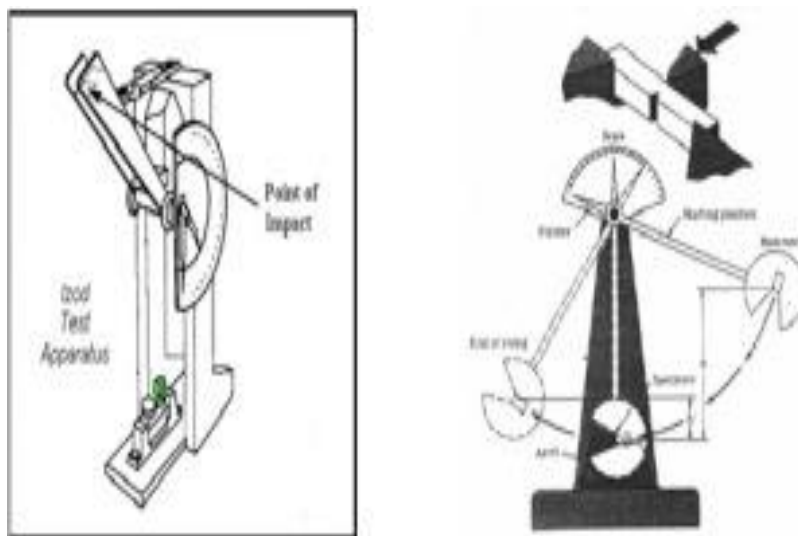
Dokumentasi



6.3. Uji Impak

Untuk menentukan sifat perpatahan suatu material, keuletan maupun kegetasannya, dapat dilakukan suatu pengujian yang dinamakan dengan uji impak. Pengujian impak menggunakan batang spesimen bertakik yang sudah distandarisasi. Berbagai jenis

pengujian impak batang bertakik telah digunakan untuk menentukan kecenderungan benda untuk bersifat getas. Dengan pengujian impak dapat diketahui perbedaan sifat benda yang tidak teramati dalam uji tarik. (Anrinal, 2013)



Gambar 6.2. Ilustrasi pengujian impak

Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi atau patahan. Pada proses tumbukan, dapat dihitung kerja tumbukan yang diterima W , yakni kerja karena perubahan bentuk dari benda uji sampai mencapai munculnya kepatahan. Kekuatan tumbukan dimana,

$$WS = \frac{W}{A}$$

Keterangan:

A = Penampang patah

W = Kerja tumbukan

WS = Besaran yang mengontrol karakteristik bahan kerja.

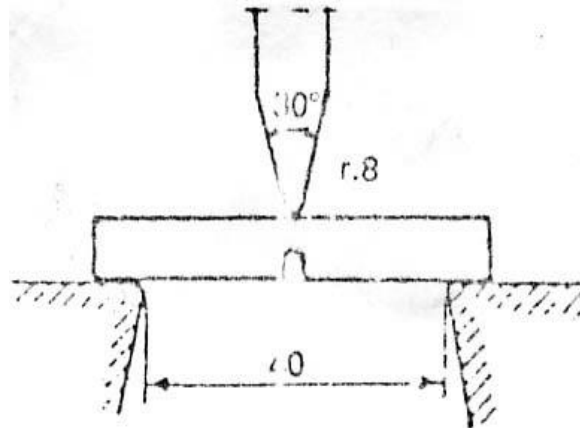
Sifat material yang berhubungan dengan kerja yang dibutuhkan untuk menyebabkan patahan dinamakan ketangguhan dan tergantung pada tipe pembebanan. Walaupun demikian, tingkat dimana energi diserap dengan nyata dapat mempengaruhi sifat material dan ukuran ketangguhan yang berbeda mungkin didapat dari beban impak.

Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu: batang uji *Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat dan batang uji *Izod* yang lazim digunakan di Inggris dan Eropa.

1. Metoda *Charpy*

Benda uji *Charpy* memiliki luas penampang lintang bujur sangkar (10 x 10 mm) dengan

panjang 55 mm² dan memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45 °, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Pada pengujian kegetasan bahan dengan cara *impact charpy*, pendulum diarahkan pada bagian belakang takik dari batang uji.



Gambar 6.3. Peletakan spesimen metoda *charpy*

Adapun kelebihan dan kekurangan dari metode *charpy* adalah:

a. Kelebihan:

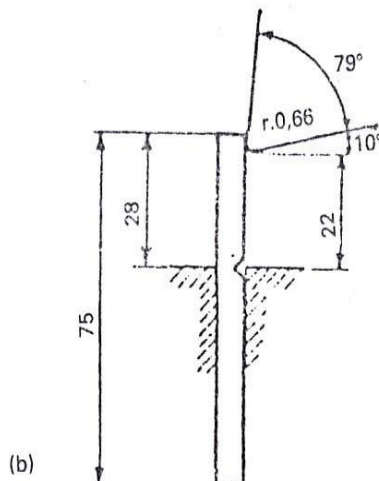
- 1) Hasil pengujian lebih akurat.
- 2) Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
- 3) Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang.
- 4) Harga alat lebih murah.
- 5) Waktu pengujian lebih singkat.

b. Kekurangan:

- 1) Hanya dapat dipasang pada posisi *horizontal*.
- 2) Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam.
- 3) Pengujian hanya dapat dilakukan pada specimen yang kecil.
- 4) Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena *level* tegangan yang diberikan tidak rata.

2. Metoda *Izzod*

Benda uji *izzod* lazim digunakan di Inggris, namun sekarang mulai jarang digunakan. Benda uji *izzod* mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dan bertakik v didekat ujung yang dijepit. Pada pengujian impak cara *izzod*, pukulan pendulum diarahkan pada jarak 22 mm dari penjepit dan takikannya menghadap pada pendulum.



Gambar 6.4. Peletakan spesimen metoda *izzod*

Adapun kelebihan dan kekurangan dari metode *izood* adalah:

a. Kelebihan

- 1) *Tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam dan spesimen tidak mudah bergeser karena dicekam pada salah satu ujungnya.*
- 2) Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.

b. Kerugian:

- 1) Biaya pengujian yang lebih mahal.
- 2) Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
- 3) Proses pengerjaan pengujiannya lebih sukar.
- 4) Hasil perpatahan yang kurang baik.
- 5) Waktu yang digunakan cukup banyak karena prosedur pengujiannya yang banyak, mulai dari menjepit benda kerja sampai tahap pengujian.
- 6) Memerlukan mesin uji yang berkapasitas 10.000 ton.

Pengerjaan benda uji pada *impact charpy* dan *izod* dikerjakan habis pada semua permukaan. Takikan dibuat dengan mesin fris atau alat *notch* khusus takik.

Prinsip pengujian impak adalah apabila pendulum dengan berat G dan pada kedudukan h_1 dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan posisi akhir 4 pada ketinggian h_2 yang juga hampir sama dengan tinggi semula (h_1), dimana pendulum mengayun bebas. Pada mesin uji yang baik, skala akan menunjukkan usaha lebih dari 0,05 kilogram meter (kg m) pada saat pendulum mencapai kedudukan 4. Apabila batang uji dipasang pada kedudukannya dan pendulum dilepaskan, maka pendulum akan memukul batang uji dan selanjutnya pendulum akan mengayun sampai kedudukan 3 pada ketinggian h_2 . Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W_1 = G \times h_1 \text{ (kg m)}$$

$$W_1 = G \times \lambda(1 - \cos \alpha) \text{ (kg m)}$$

Keterangan:

$W1$ = usaha yang dilakukan (kg m)

G = berat pendulum (kg)

$h1$ = jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

λ = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \lambda$ = sudut posisi awal pendulum

Sedangkan sisa usaha setelah mematahkan benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W2 = G \times h2 \text{ (kg m)}$$

$$W2 = G \times \lambda(1 - \cos \beta) \text{ (kg m)}$$

Keterangan:

$W2$ = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

G = berat pendulum (kg)

$h2$ = jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

λ = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \beta$ = sudut posisi akhir pendulum

Besarnya usaha yang diperlukan untuk memukul patah benda uji dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut:

$$W = W1 - W2 \text{ (kg m)}$$

$$W = G \times \lambda(\cos \beta - \cos \lambda) \text{ (kg m)}$$

Keterangan:

W = usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg m)

W1 = usaha yang dilakukan (kg m)

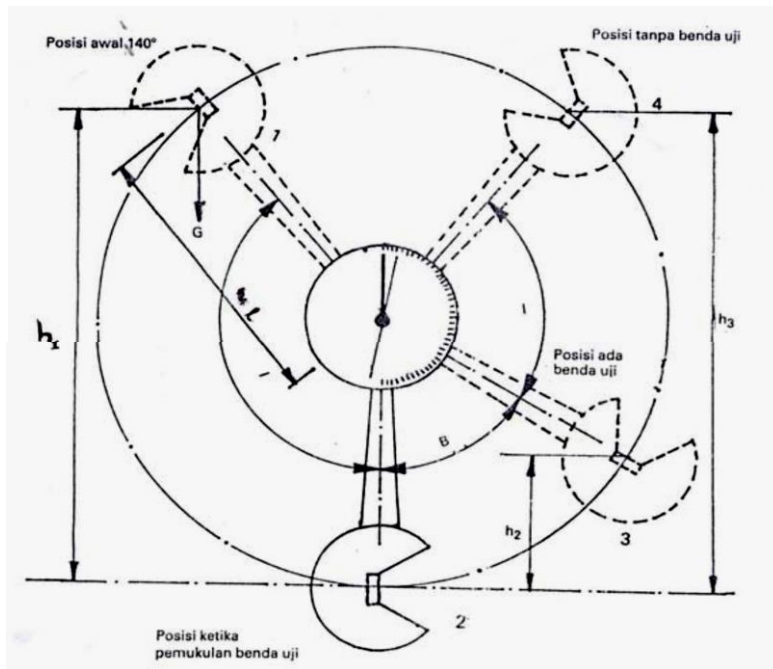
W2 = sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m)

G = berat pendulum (kg)

λ = jarak lengan pengayun (m)

$\cos \lambda$ = sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$ = sudut posisi akhir pendulum



Gambar 6.5. Prinsip dasar mesin uji impact

Pengujian yang dilakukan dengan metode *Charpy* akan menghasilkan harga impact yang lebih valid dibandingkan bila dilakukan dengan metode *Izod*, karena energi yang diserap penyangga tidak terlalu besar sehingga tidak banyak mempengaruhi harga impact.

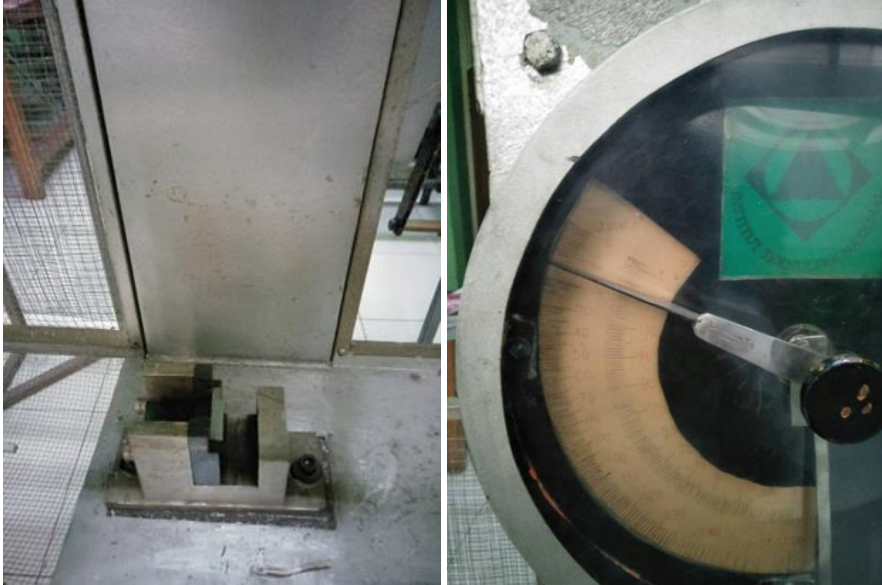
Hasil Pengujian Impact

L (lebar spesimen)	3 mm
h (tinggi di bawah takikan)	9 mm
E (energi)	12 joule

Harga Impact

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{12}{3 \times 9} = 0,44 \frac{\text{Joule}}{\text{mm}^2}$$

Dokumentasi



7 PROTOTYPE MOBIL LISTRIK CROSS OVER

Pembuatan mobil listrik Itenas dimulai dari pengembangan platform dimana chassis untuk mobil listrik jenis cross over tetap mengacu pada lader chassis namun mempunyai bobot yang lebih ringan. Pengurangan bobot tersebut dilakukan dengan membuat struktur lader berlubang dimana lubang tersebut diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengurangi kekuatan chassis itu sendiri. Pengembangan platform diikuti dengan pengembangan body. Pengembangan body dimulai dengan pemodelan aerodinamis, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan clay model dan selanjutnya pembuatan skala 1 : 1. Body harus sesuai dengan chassis cross over. Penggabungan chassis (platform) dan body diikuti dengan pengembangan interior. Rangkaian chassis dan body dilengkapi dengan motor penggerak, baterai, dan sistem kontrol hingga terbentuklah mobil listrik cross over.

Mobil listrik yang dikembangkan Itenas ini adalah penggerak roda belakang. Dengan penggerak roda belakang maka efektivitas penyaluran daya pada roda belakang lebih baik untuk kendaraan cross over ini dimana titik berat mobil berada di belakang. Penempatan penggerak roda belakang ini memerlukan ketelitian desain tersendiri. Dipadu dengan baterai VRLA dengan kapasitas 200 Ah, 72 V, motor BLDC dengan kapasitas 50 kWP serta sistem kontrol mobil ini bisa melaju di jalan dengan karakteristik jalan yang tidak rata.

7.1 Spesifikasi Teknis

Mobil listrik Itenas merupakan mobil cross over berkapasitas 5 penumpang. Spesifikasi mobil tersebut adalah sebagai berikut:

Dimensi

Panjang	: 3800 mm
Lebar	: 1250 mm
Tinggi	: 1300 mm
Ground clearance	: 40 cm
Jarak sumbu roda	: 2200 mm
Diameter Roda	: 16 inch

Penggerak

Jenis	: Motor BLDC
Daya	: 50 kWP
Putaran	: 3000 – 4800 RPM
Tegangan	: 72 V DC
Pendingin	: Liquid cooling

Baterai

Jenis	: VRLA
Kapasitas	: 200 Ah
Tegangan total seri	: 72 V

Performance

Kapasitas : 5 penumpang
Kecepatan maksimum : 70 km/jam
Akselerasi : 0 – 70km/jam selama 5 detik

Suspensi

Depan : Macpherson Strut
Belakang : Pegas daun

Rem

Depan : Rem cakram berventilasi
Belakang : Tromol













7.2 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu metode statis dengan cara menyalakan mesin tanpa beban. Mobil di angkat dan motor listrik dijalankan sehingga ban berputar di tempat. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performance baterai dan motor. Pengujian dilakukan mulai baterai terisi penuh sampai kosong dengan putaran penuh.

Berikut ini data-data hasil pengujian:

Putaran Motor listrik	: 4000 rpm
Putaran roda belakang	: 1500 rpm
Waktu sampai isi baterai habis	: 120 menit

Tahapan yang kedua adalah uji jalan. Pada pengujian ini mobil di jalankan di lingkungan kampus ITENAS dengan berbagai manufer seperti akselerasi, pengereman, belok kanan, kiri, jalan berlubang dan polisi tidur dan lain-lain. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mobil listrik secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengujian:

- Roda depan belakang kiri dan kanan berputar dengan baik
- Sistem kemudi berjalan dengan baik
- Sistem rem berjalan dengan baik
- Sistem suspensi berjalan dengan baik dan nyaman, melewati polisi tidur dan jalan berlubang dengan tenang.
- Proses manufer juga bisa dilaknadakan dengan baik.





Uji jalan yang kedua dilakukan di jalan umum. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui performance mobil listrik secara keseluruhan. Pengujian dilakukan di jalan umum di sekitar kampus. Dan berdasarkan pengujian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Roda depan belakang kiri dan kanan berputar dengan baik
- Sistem kemudi berjalan dengan baik
- Sistem rem berjalan dengan baik
- Sistem suspensi berjalan dengan baik dan nyaman, melewati polisi tidur dan jalan berlubang dengan tenang.
- Proses manuver juga bisa dilakukan dengan baik.
- Kelistrikan berjalan normal
- Speedometer berjalan normal
- Kecepatan maksimum 70 km/jam
- Akselerasi 0-70 km/jam dalam waktu 5 detik
- Umur baterai 65 menit.



 **penerbit itenas**

Jl. PKH. Mustapha No.23, Bandung 40124
Telp.: +62 22 7272215, Fax.: +62 22 7202892
e-mail: penerbit@itenas.ac.id

ISBN 978-602-74127-8-1

