

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

(Arie et al., 2021) melakukan sebuah penelitian rangka kendaraan dengan jenis rangka tipe *ladder frame* untuk struktur sasis mobil listriknya. Material rangka atau *frame* yang digunakan pada penelitian tersebut menggunakan material berbahan aluminium dengan besi *hollow* berukuran 75 x 25 x 0,9 mm. Pada penelitian ini pengujian dilakukan menggunakan aplikasi *solidworks* untuk mensimulasikan pembebanan statis dimana rangka tersebut diuji *von mises stress* yang dimana dari hasil tersebut diketahui pendistribusian tegangan yang dialami oleh rangka beserta nilai *safety factor* nya. Tahap akhir penelitian ini didapatkan nilai *von mises stress* sebesar 43,0767 Mpa dan mendapatkan nilai *safety factor* sebesar 6,3896.

(Ellianto & Nurcahyo, 2020) melakukan penelitian mengenai rangka prototipe mobil listrik dengan tiga roda menggunakan material berbahan dasar aluminium paduan 6061. Jenis rangka yang digunakan pada mobil prototype ini berjenis *ladder frame* menggunakan besi *hollow* berukuran 50 x 50 x 3 mm. Penelitian mengenai rangka ini menggunakan aplikasi *autodesk inventor* dengan melakukan simulasi pembebanan statis dengan beban maksimal sebesar 1.200 N. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah nilai *von mises stress* maksimal sebesar 52,48 Mpa kemudian mendapatkan hasil *displacement* sebesar 0,477 mm dan nilai *safety factor* pada rangka ini adalah 15.

Dari ulasan penelitian sebelumnya bisa disimpulkan bahwa (Arie et al., 2021) melakukan penelitian mengenai rangka jenis *ladder frame* menggunakan aplikasi *solidworks* tetapi hanya menggunakan parameter nilai *von mises stress* dan *safety factor* pada rangka yang diuji. Sehingga dari penelitian ini masih bisa dikembangkan dengan menambahkan parameter dari penelitian ini yaitu menambahkan parameter nilai *displacement* dan parameter *strain* untuk melihat seberapa besar rangka dapat menahan beban total kendaraan. Penelitian (Ellianto & Nurcahyo, 2020) yaitu penelitian rangka berjenis *ladder frame*, tetapi penelitian mengenai rangka *ladder frame* ini hanya sebatas mobil *prototype* dengan nilai *safety factor* yang didapatkan

dari penelitian ini di atas 1 yaitu 15 yang bisa dikatakan rangka ini sangat aman untuk digunakan meskipun hanya mobil *prototype*.

2.2 *Low Emission Vehicle*

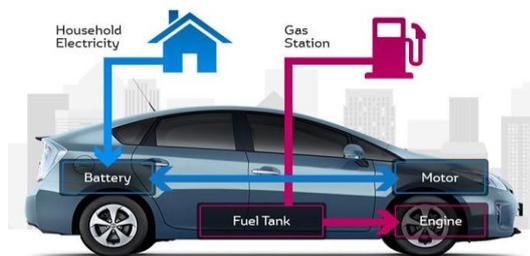
Bahan bakar fosil masih menjadi salah satu bahan bakar yang paling banyak digunakan di dunia ini, dengan jumlah kendaraan yang semakin hari semakin banyak menyebabkan polusi udara yang berasal dari emisi gas buang yang berasal dari bahan bakar fosil sehingga menyebabkan polusi udara. Solusi yang terbaik untuk hal ini adalah dengan menggunakan kendaraan rendah emisi menggunakan bahan alternatif sebagai kendaraan masa depan dengan desain khusus. Kendaraan di desain semudah mungkin untuk memudahkan penggunaannya karena seiring perkembangan zaman sebagai pengendara harus memikirkan emisi gas buang yang dihasilkan dari kendaraan tersebut.

Kendaraan rendah emisi merupakan kendaraan yang dirancang sebagai salah satu bentuk untuk mengurangi atau menghasilkan lebih sedikit polusi dan emisi gas buang dengan upaya untuk mencegah polusi udara berlebih (Bachtiar, 2005). Emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan yang memang khusus dibuat untuk mengurangi polusi udara memakai bahan alternatif agar penggunaan energi untuk kendaraan lebih efisien serta mengurangi pemborosan energi yang biasanya dihasilkan oleh kendaraan konvensional. Akan tetapi, tantangan akan mahalnya sumber energi untuk kendaraan rendah emisi menjadi salah satu hambatan mengapa kendaraan rendah emisi belum terlalu digunakan. Infrastruktur pengisian yang masih terbatas untuk kendaraan rendah emisi ini menjadi tantangan tersendiri untuk beralih dari kendaraan konvensional menuju kendaraan rendah emisi.

Kendaraan rendah emisi memiliki banyak jenis yang dapat diketahui saat ini, mulai dari menggabungkan antara mesin konvensional dengan motor listrik atau disebut dengan kendaraan *hybrid* hingga menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan seperti yang marak dikembangkan saat ini, berikut ini merupakan beberapa jenis kendaraan rendah emisi:

- A. *Hybrid Vehicle*, Mobil hybrid menggabungkan dua sistem yaitu sistem pada mobil konvensional dan sistem pada mobil listrik. Mobil konvensional memperoleh tenaga dari bahan bakar seperti bensin, solar, atau gas. Sementara

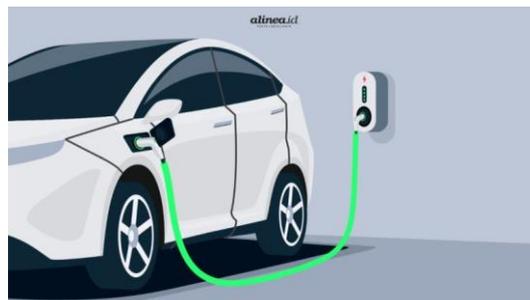
itu, mobil hybrid mengkombinasikan teknologi mobil listrik dan konvensional, menggunakan mesin pembakaran untuk memaksimalkan kekuatan dari kedua sumber daya tersebut, sehingga saling melengkapi kekurangan masing-masing. Hal ini menghasilkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan performa yang optimal. Sebaliknya, mobil listrik sepenuhnya bergantung pada tenaga listrik tanpa membutuhkan pembakaran. Energi listrik diubah menjadi tenaga melalui motor listrik untuk menggerakkan mobil. Mesin pada mobil listrik bertujuan untuk menyediakan daya yang diperlukan selama perjalanan, dan motor listrik beralih saat akselerasi, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi jarak tempuh kendaraan (Sapto & Yamin, 2014).



Gambar 2.1 Kendaraan Hybrid

(Sumber: speedwork.com)

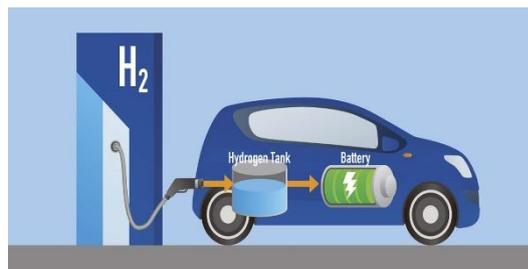
- B. *Electric Vehicle*, Kendaraan listrik adalah jenis kendaraan yang mengandalkan motor listrik sebagai sumber tenaga utamanya, berbeda dengan kendaraan konvensional yang menggunakan mesin pembakaran internal (ICE). Energi untuk kendaraan listrik disimpan dalam baterai yang dapat diisi ulang melalui sumber listrik eksternal.



Gambar 2.2 Kendaraan Listrik

(Sumber: alinea.id)

C. Hidrogen *Fuel Cell*, Kendaraan listrik umumnya mendapat daya listriknya melalui proses pengisian baterai. Jenis kendaraan ini menggunakan teknologi di mana energi kimia dari hidrogen dikonversi menjadi tenaga listrik melalui *fuel cell stack*. Perangkat ini berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen, terdiri dari anoda, katoda, dan elektrolit. Kendaraan *electric fuel cell* ini merupakan kendaraan dengan emisi nol, menghasilkan hanya air sebagai hasilnya yang aman untuk dikonsumsi. Karena tidak memerlukan pengisian baterai, kendaraan ini sangat ideal untuk perjalanan baik jarak jauh maupun dekat (Shear, 2012).



Gambar 2.3 Kendaraan Hidrogen

(Sumber: protea.ltd)

2.3 Rangka/*Frame*

Rangka merupakan salah satu bagian yang paling penting pada mobil yang harus mempunyai konstruksi yang kuat sesuai dengan kebutuhan mobil yang ingin dirancang untuk menahan beban kendaraan. Setiap konstruksi rangka yang dibuat haruslah memiliki harus mampu untuk menahan beban dari komponen yang ada di kendaraan. Rangka merupakan bagian penting pada mobil sebagai tulang punggung yang harus menahan beban komponen pada kendaraan baik penumpang, mesin, sistem kendaraan dan kemudi (Mulyanto et al., 2021).



Gambar 2.4 Rangka/*Frame*

(Sumber: kompasotomotif.com)

Rangka dalam struktur teknik ini adalah elemen yang berfungsi utama untuk menahan beban dan menjaga kestabilan struktur. Elemen rangka merupakan elemen dua dimensi yang menggabungkan sifat elemen *truss* (rangka batang) dan *beam* (balok) sehingga mampu menahan beban aksial (tarik dan tekan), geser dan momen lentur. Berikut ini merupakan fungsi utama dari rangka struktur (Mulyanto et al., 2021):

- A. Menahan beban, Rangka dirancang untuk menahan berbagai jenis beban, baik beban statis maupun dinamis, seperti beban gravitasi, angin, gempa, dan lainnya. Beban tersebut ditransfer melalui elemen-elemen rangka ke fondasi.
- B. Memberikan kestabilan struktur, Rangka memberikan kestabilan terhadap struktur secara keseluruhan. Ini membantu mencegah deformasi atau keruntuhan struktur akibat beban yang bekerja padanya.
- C. Mengalihkan beban, Rangka bertindak sebagai media untuk mengalihkan beban dari satu elemen ke elemen lainnya sampai akhirnya beban tersebut disalurkan ke fondasi.
- D. Menyediakan dukungan untuk elemen lain, Rangka memberikan dukungan dan penopang untuk elemen-elemen struktural lainnya seperti lantai, dinding, dan atap.
- E. Memungkinkan desain ruang yang fleksibel, Dengan menggunakan elemen rangka, desain ruang dalam bangunan bisa lebih fleksibel karena rangka dapat mendukung area terbuka yang lebih besar tanpa membutuhkan banyak dinding pembatas.
- F. Mengurangi berat struktur, Penggunaan rangka dapat mengurangi berat total struktur karena efisiensi distribusi beban dan penggunaan material yang lebih optimal.

2.4 Macam-Macam *Frame*

Rangka adalah struktur kaku yang dirancang untuk menahan atau mengangkat beban yang biasanya stasioner. Rangka memiliki fungsi statis sebagai penguat struktur dan sebagai tempat menambatkan berbagai komponen dalam kendaraan bermotor. Selain itu, rangka juga memiliki fungsi dinamis, yang meningkatkan stabilitas pengendalian kendaraan, memberikan handling yang baik, dan

meningkatkan kenyamanan berkendara. Secara umum, rangka (frame) dapat dibagi menjadi tiga jenis utama, yaitu (Sinaga et al., 2024):

- A. *Ladder Frame*, Dinamakan demikian karena kemiripannya dengan tangga, ladder frame adalah konstruksi rangka yang paling sederhana dan tertua dari semua desain rangka. Konstruksi ini terdiri dari dua rel atau balok simetris yang disambungkan oleh bagian tengah. Pada awalnya, rangka jenis ini digunakan pada semua jenis kendaraan. Namun, sejak tahun 1940, penggunaan ladder frame mulai dihapuskan pada mobil dan kini lebih banyak digunakan pada truk dan bus. Desain rangka ini memiliki ketahanan balok yang baik karena rel atau baloknya berlanjut dari depan sampai belakang. Meskipun demikian, rangka jenis ini memiliki resistansi yang sangat kecil terhadap torsi, sehingga rentan mengalami lengkungan. Selain itu, tinggi keseluruhan kendaraan menjadi lebih tinggi karena tempat duduk berada di atas rangka, bukan di dalamnya.



Gambar 2.5 Rangka *Ladder Frame*

(Sumber: toyota.com)

- B. *Unibody / Monocue*, Chasis monokok sering digunakan pada mobil sedan. Konsep chasis monokok pertama kali muncul pada tahun 1923 dengan mobil Lancia Lambda. Secara perlahan, chasis monokok menghilangkan penggunaan chasis batang dan mengintegrasikan setiap komponen bodi mobil yang mampu menopang mesin serta komponen lainnya. Alasan utama penggunaan chasis monokok pada kendaraan ringan dan mobil penumpang adalah untuk meningkatkan efisiensi proses produksi, karena tidak lagi memerlukan bodi terpisah. Keunggulan dari chasis yang tergabung dengan bodi mobil adalah saat kendaraan melewati jalanan yang tidak stabil, di mana ruang kabin menjadi lebih aman karena gaya benturan langsung disalurkan ke bodi kendaraan.



Gambar 2.6 Rangka *Monocue*
(Sumber: kompasotomotif.com)

- C. *SubFrame*, Subframe adalah komponen struktural kendaraan yang memiliki peran khusus dan biasanya dihubungkan dengan unibody. Biasanya terletak di bagian depan kendaraan, kadang-kadang juga di bagian belakang. Fungsi utamanya adalah untuk menopang mesin, drivetrain, dan suspensi. Proses penyambungan subframe dengan unibody dilengkapi dengan bushing karet untuk meredam getaran.

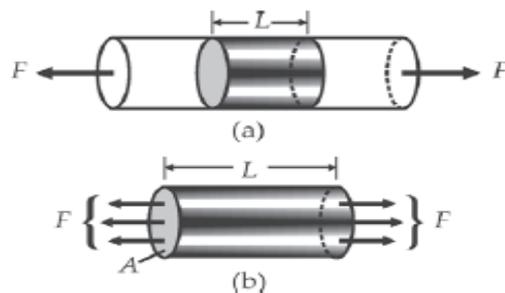


Gambar 2.7 Rangka *SubFrame*
(Sumber: carvaganza.com)

2.5 Tegangan dan Regangan

Tegangan merupakan respons yang ditunjukkan oleh sebuah material terhadap gaya atau beban yang bekerja padanya. Ketika suatu material dengan luasan penampang yang serupa dikenai beban searah, tegangan akan muncul di dalam material tersebut. Semua bahan mengalami perubahan bentuk karena pengaruh gaya, ada yang dapat mengembalikan bentuk aslinya setelah gaya dilepaskan, sementara yang lain tetap mempertahankan bentuk yang berubah, entah sedikit atau

banyak. Istilah "tegangan" merujuk pada perbandingan antara perubahan bentuk dan dimensi yang diinduksi oleh gaya eksternal yang bekerja pada material tersebut, yang dinyatakan secara matematis dalam bentuk persamaan. Sementara regangan merupakan regangan merupakan ukuran seberapa banyak perubahan panjang suatu material. Ketika tegangan diberikan pada material dari luar, regangan adalah respons material terhadap tegangan tersebut. Hubungan antara tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke untuk bahan elastis dalam batas elastisitasnya, yang menyatakan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan (Wulandari & Agusty, 2021).



Gambar 2.8 Tegangan dan Regangan
(Sumber: Kompa.com)

2.5.1 Modulus Young

Modulus elastisitas atau *modulus young* merupakan parameter-parameter yang menggambarkan hubungan linier antara tegangan dan regangan pada suatu batang yang mengalami tarikan atau tekanan. Semakin tinggi nilai modulus ini, semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada tingkat beban tertentu, atau dengan kata lain, material tersebut semakin kaku (*stiff*) (Wulandari & Agusty, 2021). Selama gaya (F) yang bekerja pada benda elastis tidak melampaui batas elastisitas maka perbandingan antara tegangan (T) dengan regangan adalah konstan. Bilangan (konstanta) tersebut dinamakan dengan Modulus Young atau Modulus Elastisitas (E). Jadi *modulus young* adalah perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Modulus young dapat dirumuskan sebagai berikut.:

$$E = \frac{F \cdot l_0}{\Delta l \cdot A} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

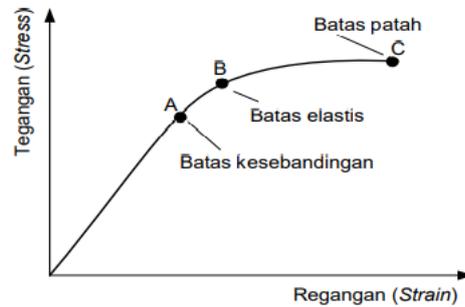
E = Modulus Young

$F = \text{Gaya (N)}$

$L_0 = \text{Panjang mula mula (cm)}$

$\Delta L = \text{pertambahan Panjang (cm)}$

$A = \text{Luas penampang (cm}^2\text{)}$



Gambar 2.9 Grafik Regangan Tegangan

Gambar 2.9 menunjukkan grafik tegangan dan regangan untuk batang padat biasa. Grafik tersebut linier sampai titik A. Hasil bahwa regangan berubah secara linier dengan tegangan dikenal sebagai hukum Hooke. Titik B adalah batas elastik. Jika batang ditarik melampaui titik ini batang tidak akan kembali ke panjangnya semula, tetapi berubah bentuk secara tetap. Jika tegangan yang bahkan lebih besar diberikan, bahan akhirnya patah. Seperti ditunjukkan oleh titik C.

2.5.2 *Von Mises Stress*

Tegangan *von mises* atau *von mises stress* merupakan sebuah teori dalam mekanika kekuatan bahan berguna untuk mengevaluasi kegagalan yang terjadi pada material yang diberikan beban kompleks (Wunda et al., 2019). Menggunakan teori ini dapat diasumsikan bahwa kegagalan suatu material terjadi jika nilai tegangan suatu material mencapai nilai tertentu atau maksimalnya yang disebut dengan batas kegagalan. *Von mises stress* merupakan teori umum yang digunakan untuk menentukan kegagalan dari material yang diberikan tegangan geser dan tegangan normal dari beberapa arah.

Teori kegagalan *von mises stress* sering digunakan untuk melihat dan memprediksi apakah material tersebut bisa digunakan atau tidak jika diberikan beban dari berbagai arah. Teori ini juga berguna untuk mencari nilai *safety factor* dengan

menggunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

η = Faktor Keamanan

S_y = Tegangan luluh material (N/m²)

σ_e = Tegangan *von mises* maksimum (N/m²)

Konsep dari *von mises stress* sendiri sangat penting untuk pengaplikasian ketahanan suatu material, terutama pada aplikasi perkerayaan struktural dimana material sering sekali mengali pembebanan dari berbagai arah.

2.6 Safety Factor

Safety factor atau angka keamanan merupakan sebuah acuan dalam desain teknik untuk memberikan keterangan seberapa aman desain tersebut mengalami kegagalan material atau struktur. Nilai keamanan ini memastikan bahwa desain tidak hanya aman dalam pembebanan normal aja tetapi juga dengan pembebanan yang tidak terduga atau dengan kondisi lapangan yang sebenarnya. Nilai faktor ini biasanya lebih besar dari 1 yang menunjukkan bahwa desain yang dirancang dapat menahan beban yang lebih besar dari beban yang dioprasikan(Sungkono et al., 2019).

Nilai dari *safety factor* bisa dicari tergantung dari kebutuhan pembebanan material, bila pada saat melakukan simulasi acuan yang digunakan adalah nilai dari *yield strength* maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SF = \frac{yield\ strength}{max\ von\ mises\ stress} \dots\dots\dots 2.3$$

Kemudian jika acuan nya adalah nilai *tensile strength* maka digunakan rumus seperti di bawah ini:

$$SF = \frac{ultimate\ tensile\ strength}{max\ principal\ stress} \dots\dots\dots 2.4$$

Mengutip dari buku yang berjudul ”*Machine Element*” yang ditulis pada tahun 1989 oleh Dobrovolsky *safety factor* dibedakan berdasarkan jenis pembebanan:

Tabel 2.1 Nilai *Safety Factor* Berdasarkan Jenis Beban

Jenis Pembebanan	Nilai <i>Safety Factor</i>
Beban Statis	1,25 – 2,0

Beban Dinamis	2,0 – 3,0
Beban Kejut	3,0 – 5,0

Menentukan nilai faktor keamanan merupakan proses kompleks serta harus teliti karena harus mempertimbangkan berbagai aspek, mulai dari sifat material hingga kondisi operasional dan risiko kegagalan. Para insinyur harus mempertimbangkan semua faktor ini untuk memastikan bahwa desainnya aman dan andal.