

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Transportasi rel di Indonesia menjadi salah satu moda transportasi yang berkembang pesat di Indonesia. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS), (2024) menunjukkan jumlah penumpang kereta api jarak jauh mencapai 446 ribu orang pada tahun 2025, meningkat dari tahun 2024 yang hanya 417 ribu orang. Tren peningkatan ini mengindikasikan kebutuhan masyarakat akan armada kereta penumpang yang lebih aman dan efisien.

Menurut Juliyanto et al., (2019) Sarana kereta api sebagai moda transportasi yang memiliki keunggulan dalam kapasitas yang besar, efisien dan aman dibandingkan moda angkutan lain. Peningkatan jumlah penumpang ini menuntut kesiapan sarana dan prasarana perkeretaapian. Namun tantangan utama yang dihadapi PT.Kereta Api Indonesia adalah penuaan armada. Direktur utama PT.KAI mengungkapkan 21% armada perkeretaapian berusia lebih dari 30 tahun. (Kumparan Bisnis, 2023)

PT. KAI melakukan kerjasama dengan PT.Industri Kereta api Indonesia hingga 2027 senilai Rp.5,8 triliun. (Kompas, 2023) PT. KAI memesan 612 unit skereta *Stainless Steel New Generation* yang terdiri dari kereta eksekutif, kereta ekonomi, kereta *luxury*, kereta makan, dan kereta pembangkit, disini penulis memilih *carbody* kereta eksekutif sebagai objek penelitian. Pengadaan ratusan sarana baru tidak hanya fokus pada kuantitas, melainkan harus sesuai dengan regulasi keselamatan yang diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan No.49, 2023 yang mengatur standar kekuatan dan ketahanan *carbody* kereta. Regulasi ini mengatur secara spesifik mengenai kekuatan, ketahanan dan kelayakan struktur *carbody*. Peraturan Menteri Perhubungan No.49, 2023 mengamanatkan dengan tegas bahwa struktur *carbody* harus memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, tidak boleh mengalami deformasi permanen akibat pembebanan, tegangan tarik yang diizinkan tidak lebih dari 75% dari tegangan mulur bahan.

Keenam literatur yang dikaji secara seragam memanfaatkan Metode Elemen Hingga melalui perangkat lunak seperti ANSYS untuk menganalisis kekuatan struktur, *carbody*, dan *underframe* pada berbagai jenis kendaraan rel. Pendekatan utama yang digunakan adalah simulasi pembebanan statis dengan skenario operasional yang beragam, meliputi beban kompresi, beban vertikal, gaya tarik, serta kombinasinya. Beberapa penelitian juga secara spesifik menyoroti penggunaan material baja SS400 dan berdasarkan pengujiannya pada standar kelayakan teknis yang berlaku, seperti standar internasional EN 12663 maupun Peraturan Menteri Perhubungan.

Berdasarkan hasil analisis, seluruh desain yang dievaluasi termasuk Kereta *Luxury*, *TeC Railbus*, *Tram Mover*, dan modifikasi Kereta *Panoramic* dinyatakan aman dan layak untuk dioperasikan. Tingkat keamanan ini dibuktikan oleh nilai tegangan maksimum, termasuk tegangan ekuivalen *von-Mises*, yang tidak melampaui batas kekuatan luluh dari material penyusunnya. Selain itu, seluruh studi melaporkan faktor keamanan yang memadai untuk menjamin kelayakan operasional, dengan rentang nilai yang bervariasi mulai dari 1,25 hingga 3,31.

Kajian-kajian tersebut juga mengungkap sejumlah inovasi desain dan temuan spesifik. Pada pengembangan kendaraan dengan sistem penggerak alternatif, penerapan desain ringan melalui optimalisasi topologi, geometri jendela trapezoidal, dan desain multi-material terbukti sukses menurunkan massa struktural lebih dari 20% tanpa memicu tegangan kritis. Sementara itu, pada proyek modifikasi Kereta *Panoramic*, struktur terbukti aman dan memiliki ketahanan umur lelah tak terbatas, meskipun hasil analisis frekuensi alaminya menyarankan perlunya penambahan damper untuk performa redaman yang lebih optimal.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi dan memberi saran optimasi menggunakan MEH guna menguji kekuatan, mengetahui distribusi tegangan *von mises stress* serta mengetahui lendutan akibat deformasi beban. Berdasar uraian diatas untuk mengetahui nilai tegangan, deformasi dan *safety factor* maka penelitian ini mengambil judul “Analisis Tegangan dan Deformasi Rangka *Carbody* Kereta *Stainless Steel* Generasi Baru dengan Pembebanan Statis dengan menggunakan Metode Elemen Hingga.”

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, berikut adalah

1. Tingginya volume jumlah penumpang kereta api tahunan menuntut PT.KAI menambah jadwal perjalanan namun, 21% armada berusia lebih dari 30 tahun.
2. Perlunya mematuhi regulasi keselamatan sesuai Peraturan Menteri Perhubungan No.49, 2023, khususnya tegangan total *carbody* tidak melebihi 75% dari tegangan mulur bahan dan *carbody* harus cukup kuat menahan deformasi tetap.
3. Perlunya mengetahui nilai frekuensi natural dan mode getar struktur untuk menghindari fenomena resonansi yang memicu kegagalan *fatigue* akibat beban dinamis rel.
4. Adanya kebutuhan optimasi struktur untuk mereduksi massa, namun harus mempertahankan kekakuan dan faktor keamanan yang tinggi.

1.3 Batasan Masalah

Berikut adalah beberapa batasan masalah yang akan pada penelitian ini adalah :

1. Analisis hanya dilakukan pada model geometris *carbody* utama dengan mengabaikan komponen seperti pintu, kaca jendela, *bracket*, *baut*, *piping*, kabel, atau *fitting* yang tidak signifikan terhadap kekuatan struktural.
2. Analisis difokuskan mencakup total tegangan (*von mises*), regangan, deformasi, frekuensi pribadi dan faktor keamanan (*safety factor*).
3. Material yang digunakan SS400 G3101 dan SUS 304 yang spesifikasinya diambil dari spesifikasi teknis pabrikan atau standar yang berlaku.
4. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (MEH) menggunakan perangkat lunak Ansys.

1.4 Rumusan Masalah

Berikut adalah beberapa rumusan masalah yang akan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana distribusi tegangan (*stress*), deformasi yang terjadi pada *carbody* kereta *stainless steel new generation* saat menerima pembebanan statis sesuai Peraturan Menteri Perhubungan No.49, 2023 ?
2. Sejauh mana reduksi massa dapat dicapai melalui variasi konfigurasi rangka tanpa melampaui batas aman (*allowable stress*) dan batas deformasi yang diizinkan ?
3. Bagaimana perbandingan kekuatan struktur antara desain awal dengan desain hasil optimasi ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berikut adalah beberapa tujuan mengapa dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besarnya tegangan, regangan, deformasi dan *safety factor* yang terjadi pada struktur rangka *carbody* kereta *stainless steel* generasi baru akibat pembebanan statis menggunakan simulasi Metode Elemen Hingga.
2. Mengetahui nilai frekuensi pribadi dan bentuk moda (*mode shapes*) struktur melalui analisis modal guna menghindari risiko resonansi pada saat operasional.
3. Mengevaluasi kesesuaian nilai tegangan, deformasi dan *safety factor* hasil simulasi dengan batas maksimum yang diizinkan menurut standar Peraturan Menteri Perhubungan No.49, 2023.

Intelligentia - Dignitas

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang desain rekayasa, khususnya desain *carbody* kereta api.
2. Memberikan rekomendasi desain *carbody* yang lebih optimal bagi industri perkeretaapian.
3. Menjadi referensi untuk penelitian sejenis di masa mendatang.
4. Memastikan desain kereta baru aman dan sesuai Peraturan Menteri Perhubungan No.49, 2023.



Intelligentia - Dignitas