

PERANCANGAN DAN ANALISIS *CARBODY* LOKOMOTIF DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Arief Herman Soesilo*, Fadelan, Wawan Trisnadi Putra

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo

E-mail Korespondensi : arief.hermans@gmail.com

History Artikel

Diterima: 14 September 2020 Disetujui: 07 Oktober 2020 Dipublikasikan: 28 Oktober 2020

Abstract

A locomotive is one of critical part in train set, because a locomotive had to bear a big load and has operational time which long enough. So in a locomotive design required more in depth analysis compared to the other means of transportation. The purpose of this research is to make a design locomotive carbody according to those standards applied and analyze stress happened to carbody locomotive designed. In the design of this to analyze carbody locomotive construction strength, the analysis are done using finite element methode (FEM) with help of Ansys software. The simulation of loads working on the structure was made approaching the real loading. Structure of locomotive carbody should be able to hold the loads working on carbody construction. From the design results locomotive carbody that have been made, this locomotive carbody sized length 19000 mm, width 2790 mm, and high 3700 mm. Materials that used for the locomotive carbody design is SS 400 and SM 490A with Yield stress of 245 MPa dan 325 MPa. The analysis results received a value of von mises stress maximum of 195,429 MPa that occurs at the part of the end of underframe (end center sill), where the stress value are still below of Yield stress materials which are in the form of SM 490 at 325 MPa. From the analysis result suggests that overall locomotive carbody structure can be expressed as safe and able to hold the loads operational.

Keywords : *Stress Analysis, Finite Elemen Methode, Locomotive Carbody*

Abstrak

Lokomotif merupakan salah satu bagian kritis dalam rangkaian kereta api, karena menanggung beban yang besar dan memiliki waktu operasi yang cukup panjang. Sehingga dalam suatu perancangan lokomotif diperlukan analisis lebih mendalam jika dibandingkan dengan alat transportasi darat lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu rancangan carbody lokomotif yang sesuai dengan standar-standar perancangan yang berlaku dan menganalisis tegangan yang terjadi pada carbody lokomotif hasil rancangan. Dalam perancangan ini untuk menganalisis kekuatan konstruksi carbody lokomotif, analisis yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga (MEH) dengan bantuan perangkat lunak Ansys. Simulasi beban yang bekerja pada struktur dibuat mendekati pembebanan yang sebenarnya. Struktur carbody lokomotif harus mampu menahan besarnya beban-beban yang bekerja pada konstruksi carbody. Dari hasil rancangan carbody lokomotif yang telah dibuat, carbody lokomotif ini berukuran panjang 19000 mm, lebar 2790 mm, dan tinggi 3700 mm. Material yang digunakan dalam perancangan carbody lokomotif adalah baja SS 400 dan SM 490A dengan tegangan Yield sebesar 245 MPa dan 325 MPa. Hasil analisis mendapatkan nilai tegangan von mises maksimum sebesar 180,072 MPa yang terjadi pada bagian ujung rangka dasar (end center sill), di mana nilai tegangan ini masih berada di bawah tegangan Yield materialnya yang berupa SM 490A sebesar 325 MPa. Dari hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa secara umum struktur carbody lokomotif dinyatakan aman dan mampu menyangga beban operasioanalnya.

Kata Kunci: analisis tegangan, metode elemen hingga, carbody lokomotif

Soesilo, Arief Herman. 2020. *Perancangan dan Analisis Carbody Lokomotif dengan Metode Elemen Hingga*. KOMPUTEK : Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo, 4(2): 8-18

© 2020 Universitas Muhammadiyah Ponorogo. All rights reserved

ISSN 2614-0985 (Print)

ISSN 2614-0977 (Online)

PENDAHULUAN

Kereta api terdiri dari satu lokomotif sebagai tenaga penggerak dimana di dalamnya terdapat mesin diesel yang terintegrasi digunakan untuk menarik beberapa rangkaian kereta. Rangkaian kereta tersebut dapat berupa kereta penumpang atau kereta barang.

Lokomotif merupakan salah satu bagian kritis dalam rangkaian kereta. Lokomotif menanggung beban yang besar dan memiliki waktu operasi yang cukup panjang. Sehingga dalam perancangan lokomotif diperlukan analisis lebih mendalam jika dibandingkan dengan alat transportasi darat lainnya. Salah satu bagian dari lokomotif yang membutuhkan proses perhitungan dalam perancangan adalah struktur rangka *carbody* (badan kereta) lokomotif tersebut. Secara keseluruhan desain struktur *carbody* lokomotif mensyaratkan harus sanggup menanggung beban aksial dari muatan dan gaya tekan-tarik kedua ujung *carbody* lokomotif serta pada saat terjadi tumbukan (*impact*). Sepanjang lokomotif berjalan akan terus terjadi gaya tekan-tarik dan beban aksial akan disalurkan sampai ke *bogie* dan roda.

Melihat begitu pentingnya tingkat keamanan kekuatan struktur *carbody* lokomotif maka diperlukan perhitungan dan pemodelan untuk mendapatkan komposisi desain yang terbaik dan optimal. Tujuan

pemodelan adalah agar perancang dapat menyempurnakan rancangannya tanpa harus mengeluarkan biaya dan waktu yang banyak. Perancangan dan analisis kekuatan struktur *carbody* lokomotif dapat disimulasikan dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*). Untuk memodelkan strukturnya akan digunakan perangkat lunak *Ansys*. Penggunaan metode elemen hingga di bidang *engineering* untuk meneliti dan menganalisis desain maupun kekuatan struktur sampai saat ini terbukti cukup berhasil dengan baik, sehingga banyak penelitian terkait yang menggunakan metode ini.

Fuad (2015) dengan menggunakan metode elemen hingga mendapatkan perbedaan besaran defleksi pada rangka mobil listrik yang dilapisi *carbon fiber* lebih kuat dalam menerima pembebanan jika dibandingkan dengan rangka yang tidak dilapisi *carbon fiber*. Besaran defleksi yang terjadi pada kedua rangka tersebut dikategorikan aman karena tidak melebihi batasan defleksi maksimal yang diijinkan. Satrijo (2012) menyatakan bahwa desain struktur gerbong kereta api pengangkut batu *ballast* sudah layak setelah dilakukan analisis dengan metode elemen hingga, karena nilai tegangan dan defleksi masih berada di bawah batas aman nilai *yield* materialnya. Sutikno (2011) menganalisis

tegangan yang terjadi pada desain *carbody TeC Railbus* yang mana nilai tegangannya **Arief Herman Soesilo, dkk.** *Perancangan dan Analisis Carbody Lokomotif dengan Metode Elemen Hingga.* masih berada di bawah batas kekuatan material, sehingga desain konstruksi *carbody TeC Railbus* dianggap mampu menahan beban yang akan diterima *Railbus* saat beroperasi. Menurut Supriyana (2016) poros roda kereta yang diakibatkan pembebanan berat kereta mengalami distribusi tegangan yang bervariasi dan nilai tegangan maksimum yang terjadi masih dalam batas aman karena di bawah kekuatan tarik bahan. Hardianto (2017) menyatakan bahwa struktur konstruksi *underframe* pada *prototype Light Rail Transit (LRT)* tidak aman karena nilai defleksi dan tegangan yang dihasilkan melebihi batas kekuatan material yang diijinkan.

Menurut Erinofiardi (2012) pada metode elemen hingga pemodelan dilakukan dengan membagi model yang akan dianalisis menjadi beberapa elemen dan menggunakan elemen tersebut sebagai dasar perhitungan dan analisis. Elemen-elemen pada metode elemen hingga terdiri dari beberapa nodal dimana semakin banyak nodal yang digunakan akan diperoleh hasil yang lebih presisi atau teliti

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga yang bertujuan untuk menentukan nilai tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi, sehingga akan diperoleh struktur *carbody* yang kukuh dan

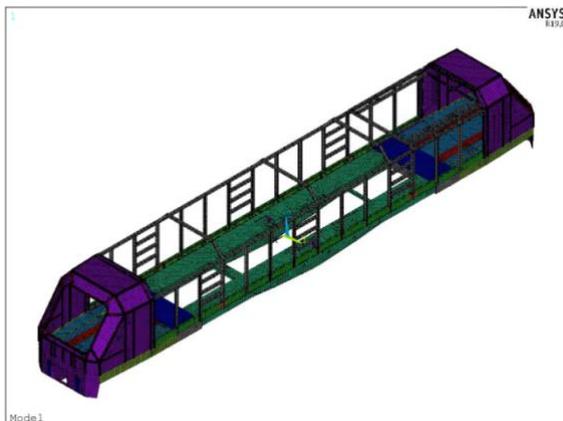
aman yang digunakan untuk menahan beban yang diterima *carbody* lokomotif. Beban yang bekerja pada struktur *carbody* lokomotif disimulasikan mendekati kondisi pembebanan statis yang sebenarnya.

METODE PENELITIAN

Pemodelan *carbody* diawali dengan menentukan geometri dari *carbody* lokomotif yang mengacu pada daftar persyaratan kebutuhan spesifikasi teknis lokomotif. Perhitungan geometri *carbody* lokomotif ditentukan berdasarkan besar kapasitas muatan awal dan ukuran lintasan rel yang akan dilewati.

Untuk memudahkan proses analisis dilakukan pemodelan struktur *carbody* lokomotif dengan menggunakan alat bantu *software Ansys*. Pemodelan struktur *carbody* lokomotif ini merupakan pemodelan dengan pelat sehingga bentuk elemen yang cocok menggunakan tipe elemen *shell 63*. Model *carbody* lokomotif dibuat dalam bentuk 3 dimensi agar menyerupai bentuk aslinya. Penentuan ketebalan pelat dan *beam* dilakukan setelah geometri model terbentuk semuanya. Material yang digunakan pada perancangan struktur *carbody* lokomotif ini adalah baja lunak (*mild steel*) SS 400 standar JIS G3101 dan baja SM 490A standar JIS G3106.

Untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen berhingga yang digunakan untuk perhitungan memerlukan proses *meshing* atau diskritisasi model. Pada bagian yang akan di-*mesh* dilakukan penyesuaian elemen dengan *real constant* dan penampang yang dibutuhkan. Pada proses *meshing* menggunakan *shapped* berbentuk *quad* (persegi), karena elemen *shell 63* lebih sesuai memakai bentuk ini. Ukuran *mesh* dibuat 50 mm agar hasilnya optimal dengan tingkat ketelitian lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Pemodelan Setelah di *Mesh*

Pada pemodelan ini ditentukan pembebanan yang bekerja pada struktur *carbody* akibat adanya beban muatan berupa komponen yang terpasang pada *carbody* lokomotif. Simulasi kekuatan struktur *carbody* dicari dengan beberapa kondisi pembebanan. Hasil analisis yang didapat berupa nilai tegangan dan besaran defleksi yang terjadi pada struktur *carbody* lokomotif. Kekuatan struktur dianalisis dari segi material apakah masih berada dalam

batas aman kriteria *yield* atau tidak. Nilai tegangan yang diambil berdasarkan konsep kegagalan dengan kriteria tegangan *von misses*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil perancangan *carbody* lokomotif ini diperoleh data spesifikasi teknis lokomotif yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Lokomotif

No	Spesifikasi Teknis	Ukuran
1	Panjang badan lokomotif	19000 mm
2	Lebar badan lokomotif	2790 mm
3	Tinggi lokomotif	3700 mm
4	Jarak antar <i>center bolster</i>	11000 mm
5	Jarak antar alat perangkai	20700 mm
6	Berat kosong	87,50 ton
7	Berat kondisi siap operasi	90 ton
8	Berat adhesi	84 ton

Perhitungan pembebanan vertikal yang diterima struktur *carbody* sesuai dengan Tabel 2. Sedangkan untuk kondisi pembebanan statis yang dilakukan untuk analisis *carbody* lokomotif ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Data Berat Perhitungan Beban Vertikal

Tabel 3. Kasus Pembebanan Statis

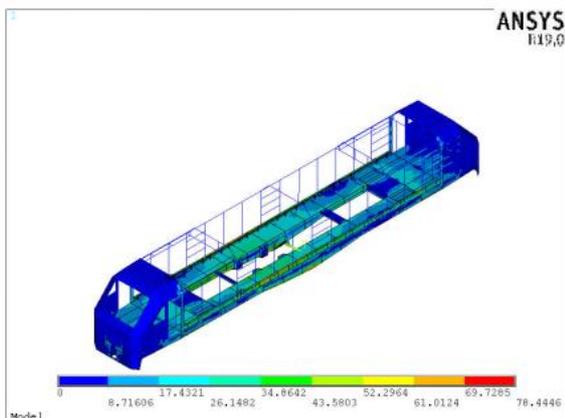
Pembebanan statis yang dilakukan terdiri dari beban vertikal, beban kompresi dan *twist*. Kondisi pembebanan yang dimasukkan dalam analisis berdasarkan

Kasus Beban	Vertikal			
	Tare load	Full load	Kompresi	Twist
I	√			
II		√		
III	√		√	
IV		√	√	
V		√		√

hasil perhitungan beban pada Tabel 2 dan Tabel 3. Berikut ini adalah hasil simulasi beberapa kondisi pembebanan statis yang telah dilakukan.

a. Kondisi Pembebanan Vertikal *Tare Load* (Kasus Beban I)

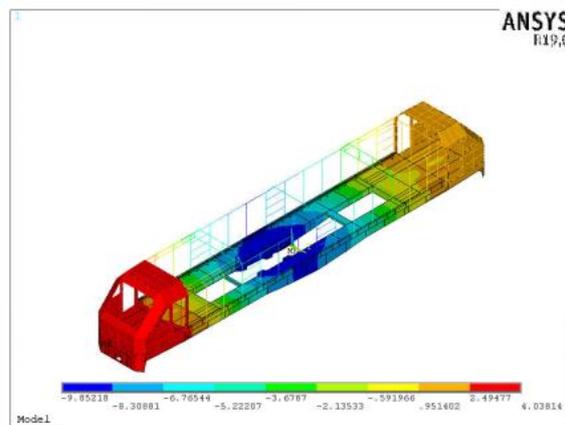
Pada kondisi pembebanan vertikal dengan beban muatan *tare load* (tanpa penumpang) menghasilkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi pada *carbody* lokomotif seperti diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Tegangan Von Mises pada

No	Item	Berat (Kg)	Faktor Dinamis
1	Cooling Unit	3200	1,3
2	Engine	7000	5
3	Komponen Penumpang	7470	1,3
4	(full load) / Wp **80 kg per orang + bawaan x 6 orang	480	1,3

Kasus Pembebanan I



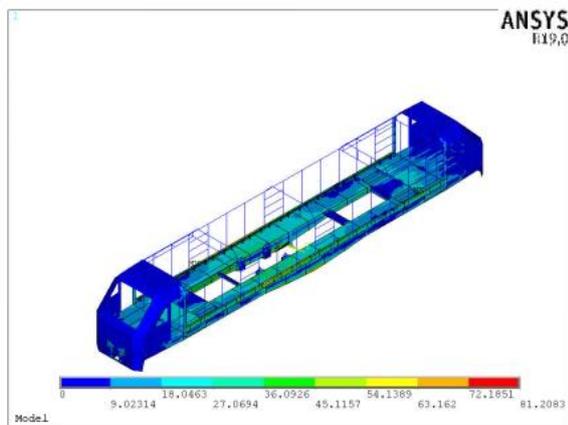
Gambar 3. Defleksi Vertikal pada Kasus Pembebanan I

Tegangan *Von Mises* maksimum pada struktur *carbody* lokomotif terjadi pada daerah *fuel tank* sebesar 78,4446 MPa. Nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan luluh material yaitu sebesar 245 MPa, sehingga secara umum masih dinyatakan aman. Defleksi maksimum terjadi pada daerah *center of carbody* sebesar -9,85218 mm di mana pada daerah ini merupakan letak tumpuan dari komponen *engine*. Tegangan terbesar diakibatkan oleh beban komponen *engine*

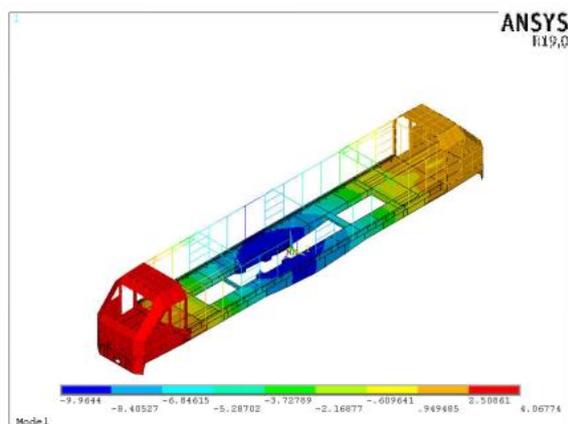
yang diterima oleh konstruksi *fuel tank* pada *underframe*.

b. Kondisi Pembebanan Vertikal *Full Load*
(Kasus Beban II)

Pada kondisi pembebanan vertikal dengan beban muatan *full load* (dengan penumpang) menghasilkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi pada *carbody* lokomotif seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Tegangan *Von Mises* pada Kasus Pembebanan II



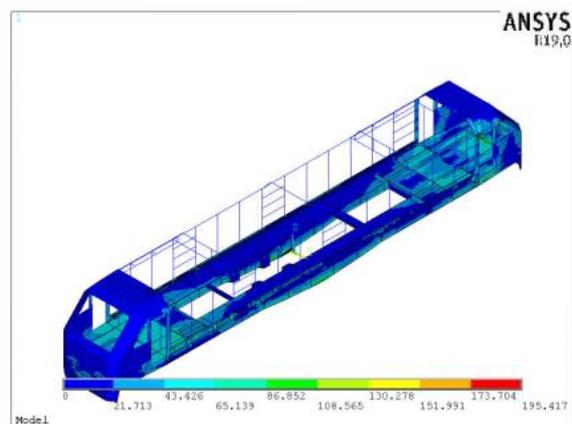
Gambar 5. Defleksi Vertikal pada Kasus Pembebanan II

Tegangan *Von Mises* maksimum pada struktur *carbody* lokomotif terjadi

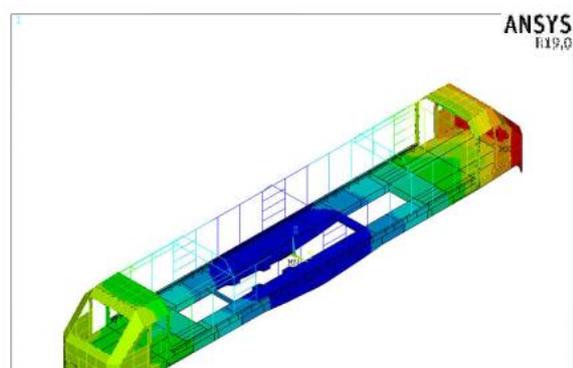
pada daerah *fuel tank* sebesar 81,2083 MPa. Nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan luluh material yaitu sebesar 245 MPa, sehingga secara umum masih dinyatakan aman. Defleksi maksimum terjadi pada daerah *center of carbody* sebesar -9,9644 mm di mana pada daerah ini merupakan letak tumpuan dari komponen *engine*. Tegangan terbesar diakibatkan oleh beban komponen *engine* yang diterima oleh konstruksi *fuel tank* pada *underframe*.

c. Kondisi Pembebanan Kombinasi *Tare Load* dengan Beban Tekan (Kasus Beban III)

Kondisi pembebanan vertikal dengan beban muatan *tare load* (tanpa penumpang) yang dikombinasikan dengan beban tekan menghasilkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi pada *carbody* lokomotif seperti diperlihatkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Tegangan *Von Mises* pada Kasus Pembebanan III

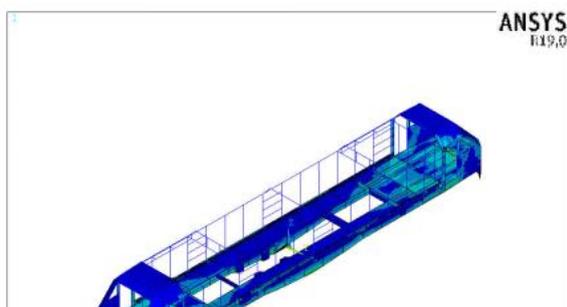


Gambar 7. Defleksi Vertikal pada Kasus Pembebanan III

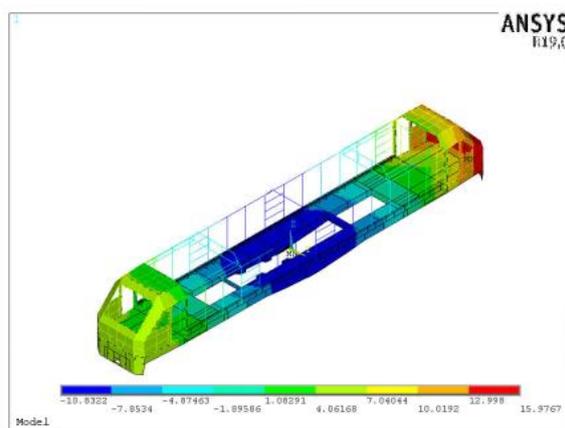
Tegangan *Von Mises* maksimum pada struktur *carbody* lokomotif terjadi pada daerah *end centre sill* sebesar 195,417 MPa. Defleksi maksimum terjadi pada daerah *center of carbody* sebesar 15,9979 mm di mana pada daerah ini merupakan letak tumpuan dari komponen *engine*. Tegangan terbesar diakibatkan oleh beban tekan yang diterima oleh *end centre sill* pada *underframe*. Meskipun mengalami kenaikan tegangan yang cukup besar dari kasus sebelumnya akan tetapi nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan luluh material yaitu sebesar 325 MPa, sehingga secara umum masih dinyatakan aman.

d. Kondisi Pembebanan Kombinasi *Full Load* dengan Beban Tekan (Kasus Beban IV)

Kondisi pembebanan vertikal dengan beban muatan *full load* (dengan penumpang) yang dikombinasikan dengan beban tekan menghasilkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi pada *carbody* lokomotif seperti diperlihatkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Tegangan *Von Mises* pada Kasus Pembebanan IV



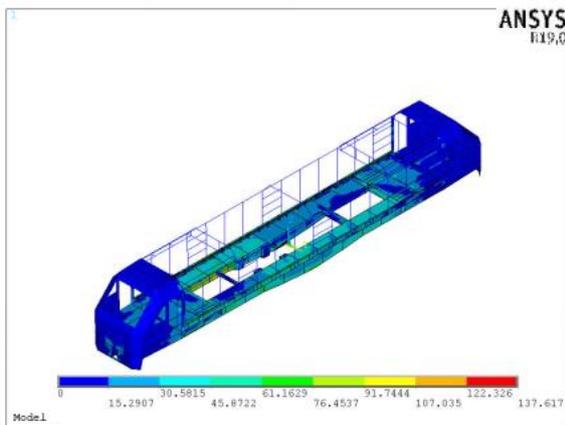
Gambar 9. Defleksi Vertikal pada Kasus Pembebanan IV

Tegangan *Von Mises* maksimum pada struktur *carbody* lokomotif terjadi pada daerah *end centre sill* sebesar 195,429 MPa. Defleksi maksimum terjadi pada daerah *center of carbody* sebesar 15,9767 mm di mana pada daerah ini merupakan letak tumpuan dari komponen *engine*. Tegangan terbesar diakibatkan oleh beban komponen *engine* yang diterima *end centre sill* pada *underframe*. Struktur *carbody* lokomotif menerima distribusi tegangan terbesar pada kondisi pembebanan kombinasi ini. Meskipun menerima distribusi tegangan terbesar nilai tegangan

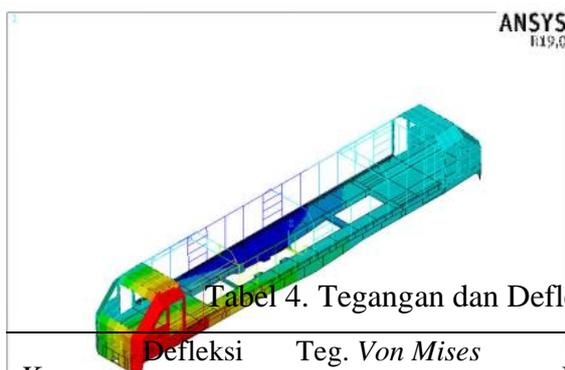
yang terjadi masih berada di bawah tegangan luluh material yaitu sebesar 325 MPa, sehingga secara umum masih dinyatakan aman.

e. Kondisi Pembebanan *Twist*

Pembebanan statis pada kondisi *twist* dengan penambahan beban muatan *full load* (dengan penumpang) menghasilkan tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi pada *carbody* lokomotif seperti diperlihatkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Tegangan *Von Mises* Kasus Pembebanan V



Tabel 4. Tegangan dan Defleksi Maksimum Hasil Simulasi

Kasus Beban	Defleksi Maksimum (mm)	Teg. <i>Von Mises</i> Maksimum (MPa)	Daerah Posisi	Material	Tegangan Yield (MPa)**	Faktor Keamanan
I	-9,85218	78,4446	<i>Fuel tank</i>	SS 400	245	3,12
II	-9,9644	81,2083	<i>Fuel tank</i>	SS 400	245	3,02
III	15,9979	195,417	<i>End centre sill</i>	SM 490	325	1,61
IV	15,9767	195,429	<i>End centre sill</i>	SM 490	325	1,61

Gambar 11. Defleksi Vertikal pada Kasus Pembebanan V

Tegangan *Von Mises* maksimum pada struktur *carbody* lokomotif terjadi pada daerah *bolster* sebesar 137,617 MPa. Defleksi maksimum terjadi pada daerah *end centre sill* sebesar 28,1809 mm di mana pada daerah ini merupakan letak salah satu tumpuan roda yang diasumsikan mengalami *twist*. Tegangan terbesar diakibatkan oleh salah satu tumpuan roda (*bolster*) yang mengalami kenaikan sebesar 17,5 mm. Nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan luluh material yaitu sebesar 245 MPa, sehingga secara umum masih dinyatakan aman.

Hasil simulasi yang telah dilakukan pada masing-masing kondisi pembebanan memperoleh nilai tegangan dan defleksi maksimum yang secara garis besar dapat dilihat pada Tabel 4.

V	28,1809	137,617	<i>Bolster</i>	SS 400	245	1,78
---	---------	---------	----------------	--------	-----	------

****Catatan** : Nilai tegangan *yield* material diperoleh berdasarkan standar JIS G3101 dan G3106

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Material yang digunakan dalam perancangan *carbody* lokomotif adalah SS 400 standar JIS G3101 dan SM 490A standar JIS G3106 dengan tegangan *Yield* sebesar 245 MPa dan 325 MPa. Material SS 400 digunakan pada struktur rangka dasar bagian tengah dan *bolster*, rangka dinding, rangka kabin dan rangka atap sedangkan SM 490A digunakan pada struktur konstruksi kedua ujung rangka dasar (*end center sill*).
2. Dari perhitungan kekuatan struktur *carbody* lokomotif dengan menggunakan *finite element analysis* diperoleh nilai tegangan *von mises* maksimum sebesar 180,072 MPa yang terjadi pada bagian *end center sill*. Di mana nilai tegangan ini masih berada di bawah tegangan *Yield* materialnya yang berupa SM 490A yaitu sebesar 325 MPa, sehingga secara umum *carbody* lokomotif dinyatakan aman dan mampu menyangga beban operasioanalnya.
3. Tegangan *von mises* maksimum terjadi pada daerah-daerah yang kritis antara lain yaitu daerah cekungan pada tangki

bahan bakar (*fuel tank*) dan *end center sill*, di mana daerah tersebut mengalami tegangan maksimum pada tiap kasusnya namun nilai tegangan masih berada di bawah tegangan *Yield* materialnya.

DAFTAR PUSTAKA

- BS EN 12663-1. (2014). *Railway Applications - Structural Requirements Of Railway Vehicle Bodies - Part 1 : Locomotives and Passenger Rolling Stock (And Alternative Method For Freight Wagons)*. UK : British Standards Institution
- Erinofiardi, Hendra. (2012). Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*, (3)2: 362-371.
- Fuad, M. Ashfal. (2015). *Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin. Semarang : UNNES.
- Hardianto, R. T., Wahyudi, dan Dhika Aditya P. (2017). Analisis Kekukatan Underframe Pada Prototype Light Rail Transit (LRT). *Jurnal Conference On Design And Manufacture Its Application*, (1)1: 28-33.
- JIS G3101 dan G3106. (2018). *JIS Handbook Ferrous Materials & Metallurgy I*. Japan : Japanese Standards Association.
- Popov, E.P. (1984). *Mekanika Teknik (Mechanics Of Materials), Edisi Ke dua*. Terjemahan Zainul Astamar. Jakarta : Erlangga.
- Satrijo, Djoeli dan E. L. Praditha. (2012). *Desain dan Analisa Gerbong Kereta*

Api Pengangkut Batu Ballast dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin*, 1-8.

- Supriyatna, Nana dan A. Kholidin. (2016). Analisa Tegangan Poros Roda Gerbong Kereta Api Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Simetris*, (7)2: 681-686.
- Sutikno, Endi. (2011). Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Carbody Tec Railbus dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*, (3)1: 65-81.