

## EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR FRAME BOLSTER BOGIE TRAM MOVER TMII PT INKA MENGUNAKAN METODE FEM

**Rizaldo Prasetyo**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok,  
Nambangan Lor, Kec.  
Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
rizaldo.tmp1917@taruna.a  
pi.ac.id

**Willy Artha Wirawan**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok,  
Nambangan Lor, Kec.  
Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
willy@pengajar.ppi.ac.id

**Ilham Satrio Utomo**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok,  
Nambangan Lor, Kec.  
Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
ilham@ppi.ac.id

**Natriya Faisal Rachman<sup>1</sup>**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok,  
Nambangan Lor, Kec.  
Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
natriya@pengajar.ppi.ac.id

**Fatchul Hanif Ramadhan**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan  
Lor, Kec. Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
fatchul.tmp2130161@  
taruna.ppi.ac.id

### Abstract

Bogie is a wheels unit system of railway vehicles, includes a complete structure equipped with a braking system, springs and propulsion equipment. Bogie has a main construction consisting of a frame and a bolster. One of the tests carried out in the test facility design and construction, was a simulation using the ANSYS Workbench software with the UIC 615-4 standard on the frame and UIC 510-3 on the bolster and according to the standards required by the Minister of Transportation Regulation Number: KM 42 of 2010. Based on this simulation, it is found that the maximum stress occurred at 38,498 MPa on the frame and 158,68 MPa on the bolster. This value was considered safe because below the allowable stress required by standardization for SS400 material, which is 245 MPa. The maximum vertical deflection occurred in the vertical and longitudinal loading with value of -2,6604 mm in the bolster.

**Keywords:** Bogie, finite element method, stress, deflection, tram mover.

### Abstrak

*Bogie* merupakan sistem kesatuan roda pada kereta api yang meliputi suatu rangka yang dilengkapi dengan sistem pengereman, pemegasan dan peralatan penggerak. *Bogie* mempunyai konstruksi utama yang terdiri dari *frame* dan *bolster*. Dalam uji rancang bangun sarana salah satunya dilakukan simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench* dengan standar UIC 615-4 pada *frame* dan UIC 510-3 pada *bolster* serta sesuai standar yang dipersyaratkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010. Dari simulasi ini diperoleh bahwa tegangan maksimum terjadi sebesar 38,498 MPa pada *frame* dan 158,68 MPa pada *bolster*. Nilai tersebut dianggap aman dikarenakan masih di bawah tegangan izin yang dipersyaratkan oleh standarisasi, yaitu 245 MPa tegangan izin dari material SS400. Defleksi vertikal maksimum terjadi pada kasus pembebanan vertikal dan longitudinal dengan nilai -2,6604 mm yang terjadi pada *bolster*.

**Kata kunci:** *Bogie*, metode elemen hingga, tegangan, defleksi, *tram mover*

---

<sup>1</sup> Corresponding Author: [natriya@pengajar.ppi.ac.id](mailto:natriya@pengajar.ppi.ac.id)

## PENDAHULUAN

PT Industri Kereta Api (Persero) sebagai perusahaan manufaktur sarana perkeretaapian telah memproduksi beberapa jenis produk perkeretaapian. Salah satu produk dari PT INKA adalah *Tram Mover*. *Tram Mover* merupakan moda transportasi terpadu dengan sistem kendali otomatis yang dioperasikan pada lintasan khusus yang mempunyai pemandu arah kendaraan. Pada tahun 2021 Taman Mini Indonesia Indah (TMII) bekerja sama dengan PT INKA untuk pengadaan *Tram Mover* yang akan digunakan sebagai alat transportasi di Taman Mini Indonesia Indah (TMII). *Tram Mover* dipilih karena memiliki ukuran yang lebih kecil cocok untuk transportasi yang berada di kawasan taman wisata. Penggunaan *Tram Mover* juga akan mengurangi jumlah kecelakaan yang terjadi di jalan karena *Tram Mover* memiliki jalur tersendiri sehingga tidak melewati jalan yang digunakan oleh kendaraan lain.

*Tram Mover* terdiri dari konstruksi utama yang berupa *carbody* dan *bogie*. Menurut Royan (2021) *bogie* merupakan sistem kesatuan roda pada kereta api yang meliputi suatu rangka yang dilengkapi dengan sistem pengereman, pemegasan dan atau tanpa peralatan penggerak serta anti selip yang keseluruhannya sebagai penopang rangka dasar dari badan kereta. *Bogie* berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas kereta pada rel yang memungkinkan roda mengikuti rel ketika melewati tikungan. *Bogie* juga mampu mengurangi efek getaran yang disebabkan oleh benturan rel yang tidak rata atau naik turun. *Bogie* dari *Tram Mover* ini terdiri dari *base frame* dan *bolster*.

Saat pembuatan *bogie Tram Mover*, proses yang dilalui dengan merancang sesuai standar kualitas produksi yang ada. Tahap perencanaan produk digunakan untuk menentukan kebutuhan konsumen, menyusun spesifikasi teknik dan membuat desain konsep produk yang dapat berupa CAD ataupun CAE yang menghasilkan desain produk serta pembuatan dokumentasi teknik. Secara umum, desain keseluruhan struktur *bogie* diperlukan untuk menahan beban total dari *carbody* dan aman saat dioperasikan.

Mengingat pentingnya tingkat keamanan struktur rangka maka perlu dilakukan evaluasi rancang bangun dengan melakukan pemodelan menggunakan software *finite element method*. Tujuan pemodelan adalah untuk membantu dan mengevaluasi nilai tegangan maksimum dan defleksi vertikal maksimum yang dapat ditahan oleh kerangka, sehingga menghasilkan struktur rangka yang aman dan kokoh yang berfungsi untuk menahan beban yang diterima oleh *Tram Mover*.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental semu dengan mensimulasikan kekuatan struktur frame bolster bogie tram mover tmii PT. INKA menggunakan software Ansys. Tahapan evaluasi meliputi Pemodelan Geometri, Input material, Meshing, Pemberian Kondisi Batas, Pembebanan, Solve dan Post Processing.

## Pemodelan Geometri

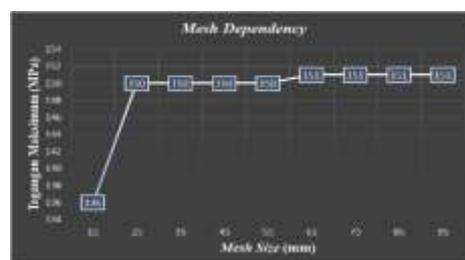
Pemodelan *frame* dan *bolster bogie Tram Mover* ini dilakukan menggunakan *software Autodesk Inventor 2021*. *Software Autodesk Inventor* ini merupakan *software CAD* yang digunakan dalam melakukan desain *drawing 2D* dan *3D*. Pemodelan dilakukan dengan mendesain *part-part* terkecil terlebih dahulu, setelah selesai mendesain masing-masing *part* maka dilakukan penggabungan *part* dengan proses *assembly*. *Assembly part* menjadi satu bagian sehingga membentuk *frame* dan *bolster bogie Tram Mover*, kemudian dilakukan proses *import* geometri dari *software Autodesk Inventor* ke *software ANSYS* dengan tipe file *STEP (.stp)*. Selanjutnya yang perlu dilakukan dalam mensimulasikan struktur ini adalah memodelkan desain dari *frame* dan *bolster bogie* tersebut ke dalam bentuk yang sederhana.

## Input Material

Material yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010 pada pasal 16 ayat 1 yang berisi tentang rangka *bogie* terbuat dari baja yang memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi terhadap pembebanan tanpa terjadi deformasi tetap dan dilengkapi dengan konstruksi tahan pembebanan serta mampu meredam getaran oleh Menteri Perhubungan (2010). Berdasarkan standar yang berlaku maka material yang digunakan dalam konstruksi *bogie* ini adalah baja SS400 (JIS G3101) untuk semua konstruksi *bogie Tram Mover TMII*.

## Meshing

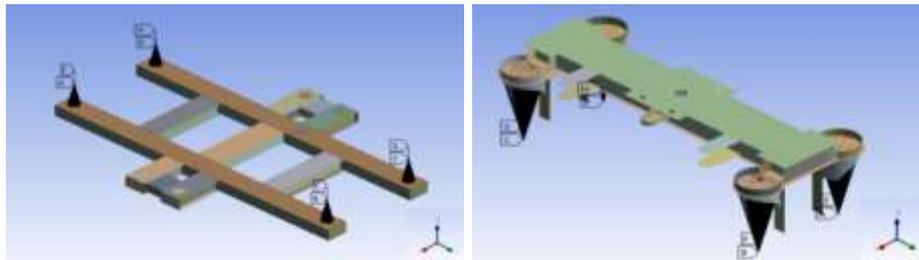
Sebelum proses *meshing* dilakukan, penerapan *mesh* menggunakan beberapa bagian yang telah dibuat. Proses ini digunakan untuk mendefinisikan ketebalan dari setiap pelat sesuai dengan ketebalan asli pelat yang terdapat pada desain yang ada oleh Wiratama (2021). Penentuan ukuran *mesh* dilakukan dengan melakukan percobaan *mesh* pada *frame* dan *bolster* untuk beberapa ukuran, yaitu 15 mm, 25 mm, 35 mm, 45 mm, 55 mm, 65 mm, 75 mm, 85 mm dan 95 mm. Adapun hasil percobaan *mesh dependency* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 1. *Mesh Dependency*

### Pemberian Kondisi Batas

Tahap selanjutnya dalam simulasi ini adalah penentuan kondisi batas. Kondisi batas pada simulasi ini adalah titik tumpu sebagai tumpuan pembebanan yang akan dilakukan. Kondisi batas ini disesuaikan dengan kondisi dalam operasi atau waktu simulasi. Penentuan kondisi batas ini dilakukan dengan memberikan *constraint* pada beberapa titik tumpu yang telah ditentukan. *Constraint* yang digunakan dalam analisis ini adalah *remote displacement*. *Remote displacement* ke arah tertentu akan diberikan nilai nol sebagai kondisi yang membatasi gerak dari objek yang dianalisis. Berikut rincian kondisi batas yang digunakan dalam simulasi ini.



Gambar 2. Kondisi Batas

### Pemberian Pembebanan

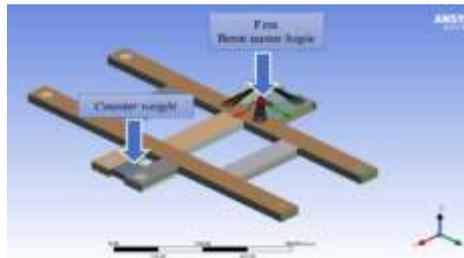
Pembebanan statis dilakukan sesuai standar yang dipersyaratkan oleh UIC 615-4 dan UIC 510-3 serta sesuai standar yang dipersyaratkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010. Pembebanan yang dilakukan ada empat macam, yaitu pembebanan vertikal pada *frame* dan pembebanan vertikal, pembebanan vertikal dan *rolling* serta pembebanan vertikal dan *longitudinal* pada *bolster*.

#### a. Pembebanan vertikal pada *frame*

Pembebanan vertikal pada *frame* dilakukan dengan beban terdistribusi merata pada letak motor *bogie* dan *counterweight*. Pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur ketika menahan beban vertikal dari beban motor *bogie* dan *counterweight* dengan memberikan beban sesuai dengan berat motor *bogie*, yaitu sebesar 73 kg atau setara dengan 716 N. Dari data ini diasumsikan bahwa 1 kg adalah 9,8 N. Untuk perhitungannya sesuai dengan UIC 615-4 menggunakan perhitungan sebagai berikut.

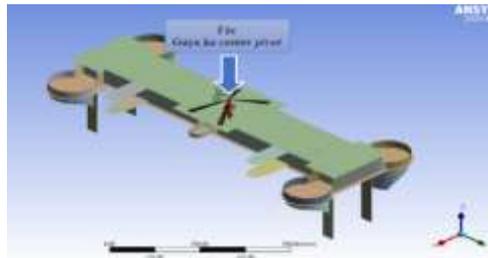
$$F_{zm} = 716 \times 3g = 2.148 \text{ N} \quad (1)$$

Berat yang diterima dari dudukan motor *bogie* sebesar 2.148 N. Beban tersebut juga diaplikasikan pada *counterweight* supaya *frame bogie* tidak berat sebelah.

Gambar 3. Ilustrasi Pembebanan Vertikal *Frame*b. Pembebanan vertikal pada *bolster*

Pembebanan vertikal pada *bolster* dilakukan dengan beban terdistribusi secara merata. Pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur ketika menahan beban vertikal maksimum yang telah dipersyaratkan. Pembebanan ini dilakukan dengan memberikan beban vertikal sebesar 1.520 kg atau setara dengan 1.4911 N yang berasal dari beban yang diterima tiap *bogie*. Untuk perhitungannya sesuai dengan UIC 510-3 menggunakan perhitungan sebagai berikut.

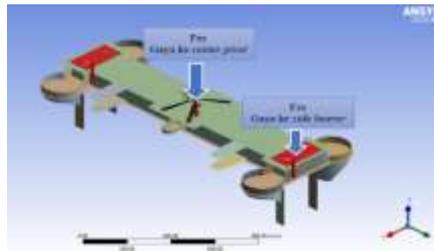
$$F_{zc} = 1.4911 \times 2g = 29.822 \text{ N} \quad (2)$$

Gambar 4. Ilustrasi Pembebanan Vertikal *Bolster*c. Pembebanan vertikal dan *rolling* pada *bolster*

Pembebanan vertikal dan *rolling* dilakukan dengan beban terdistribusi merata. Sesuai dengan UIC 510-3 pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur ketika menahan beban secara vertikal dan *rolling* sesuai yang dipersyaratkan. Pembebanan ini dilakukan dengan memberikan beban vertikal pada *center pivot* dan *side bearer*. Beban diperoleh dengan memasukan perhitungan yang sesuai dengan UIC 510-3 yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{zc} &= (1 - \alpha) \times F_z \times 1,5g \\ &= (1 - 0,4) \times 14.911 \times 1,5g \\ &= 13.420 \text{ N (center pivot)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} F_{zs} &= \alpha \times F_z \times 1,5g \\ &= 0,4 \times 14.911 \times 1,5g \\ &= 8.947 \text{ N (side bearer)} \end{aligned} \quad (4)$$

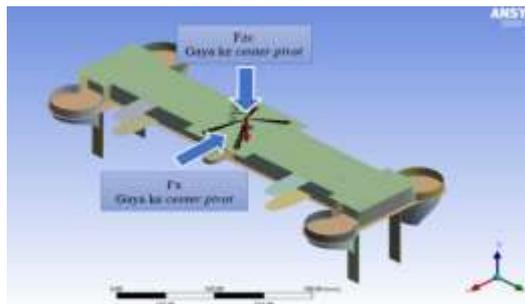


Gambar 5. Ilustrasi Pembebanan Vertikal dan *Rolling*

d. Pembebanan vertikal dan *longitudinal* pada *bolster*

Pembebanan yang terakhir adalah pembebanan vertikal dan *longitudinal* yang dilakukan dengan beban terdistribusi merata. Sesuai dengan UIC 510-3 pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur untuk menerima beban secara vertikal dan *longitudinal* sesuai yang dipersyaratkan. Pembebanan ini dilakukan dengan memberikan beban vertikal dan *longitudinal* pada *center pivot*. Untuk perhitungannya sesuai dengan UIC 510-3 menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F_x &= F_z \times 1,3/s^2 \text{ (asumsi perlambatan)} \\
 &= 1.520 \times 1,3 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1.976 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$



Gambar 6. Ilustrasi Pembebanan Vertikal dan *Longitudinal*

Dalam satuan kilogram meter per detik setara dengan newton maka pada arah *longitudinal* mendapatkan gaya sebesar 1.976 N dan pada arah vertikal mendapatkan gaya sebesar 29.822 N seperti yang disebutkan pada poin b.

e. *Solve*

Proses *solve* adalah proses perhitungan yang dilakukan komputer. Pada proses ini dilakukan penyelesaian dengan menggunakan analisis statik. Penyelesaian dilakukan dengan model dan parameter yang telah diberikan pada struktur *frame* dan *bolster bogie Tram Mover*. Pada tahap ini menjalankan proses analisis yang telah dibentuk ke dalam bagian-bagian kecil. Waktu yang diperlukan untuk menjalankan proses *solve* tergantung banyaknya elemen yang dibutuhkan dari model. Semakin banyak elemen yang dibutuhkan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam memproses simulasi dan nilai yang dikeluarkan semakin baik. Jika terjadi *error* atau terdapat *warning* maka harus diperhatikan lagi peringatan tersebut, kemudian dilakukan perbaikan sampai tidak ada peringatan sama sekali. Proses *solve* inilah yang akan menghasilkan nilai-nilai dari analisis yang dilakukan.

#### f. Post Processing

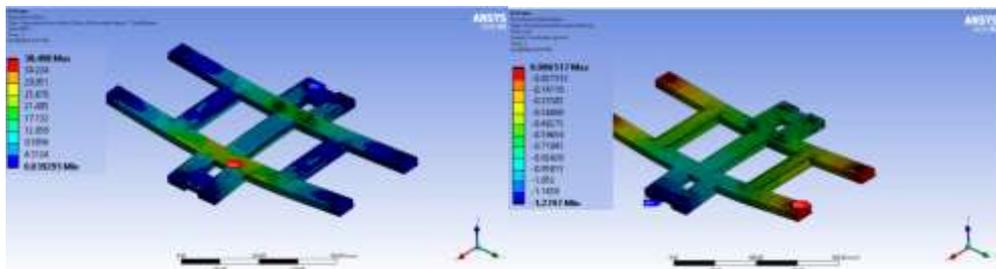
Proses *post processing* adalah tahap terakhir berdasarkan simulasi pembebanan dengan menggunakan *software ANSYS 2020* Gamayel & Octavianus (2021). Dalam tahap ini dijelaskan hasil dari simulasi yang telah dilakukan yang berupa nilai tegangan maksimum dan nilai defleksi vertikal maksimum dari struktur *frame* dan *bolster bogie*.

## PEMBAHASAN

Hasil dari analisis yang didapat dari simulasi yang dilakukan berupa tegangan maksimum dan defleksi vertikal maksimum pada tiap *node*. Nilai tegangan yang diambil adalah tegangan *von mises* karena teori kegagalan yang digunakan adalah teori distorsi energi maksimum. Nilai ini yang kemudian akan dijadikan acuan untuk menganalisis apakah kekuatan struktur dari *frame* dan *bolster* sudah sesuai standar yang dipersyaratkan atau belum. Nilai dari hasil analisis ini kemudian divalidasi dengan data yang ada di PT INKA dengan tegangan maksimum *yield strength* material SS400, yaitu 245 MPa oleh Awwaluddin et al. (2013).

### Pembebanan Vertikal pada Frame

Setelah dilakukan pemberian kondisi batas dan pembebanan, kemudian dilakukan proses simulasi untuk mendapatkan nilai dari tegangan maksimum dan defleksi vertikal maksimum.

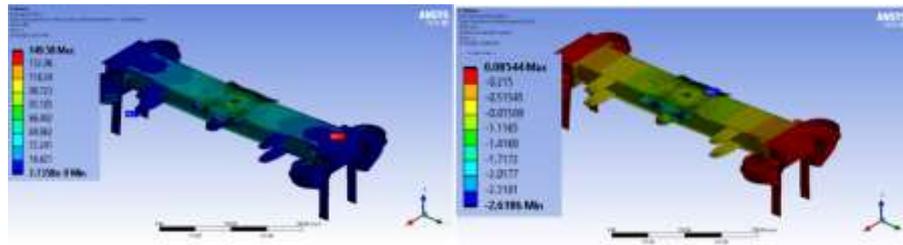


Gambar 7. Tegangan dan Defleksi Akibat Pembebanan Vertikal pada *Frame*

Hasil simulasi pembebanan vertikal pada *frame* dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang timbul dari struktur *frame bogie Tram Mover* adalah 38,498 MPa. Tegangan ini masih berada di bawah tegangan maksimum yang diizinkan. Maka dapat dikatakan struktur *frame bogie Tram Mover* ini telah memenuhi standar sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010. Hasil simulasi diketahui bahwa defleksi vertikal maksimum yang timbul dari struktur *frame bogie* adalah -1,2797 mm.

### Pembebanan Vertikal pada Bolster

Hasil simulasi pembebanan vertikal pada *bolster* diketahui bahwa tegangan maksimum yang timbul dari struktur *bolster bogie Tram Mover* adalah 149,58 MPa. Tegangan ini masih berada di bawah tegangan maksimum yang diizinkan sehingga dapat dikatakan struktur *bolster bogie Tram Mover* ini telah memenuhi standar sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010.

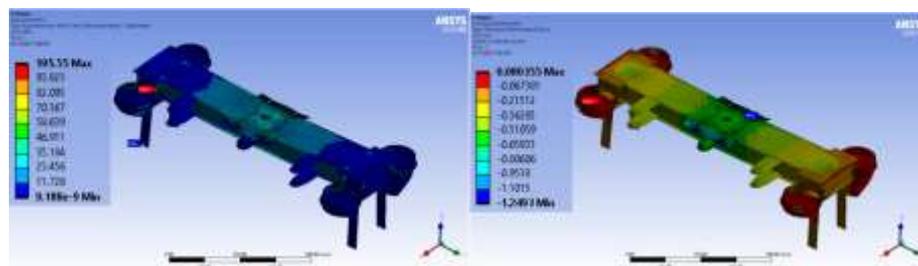


Gambar 8. Tegangan dan Defleksi Akibat Pembebanan Vertikal pada *Bolster*

Hasil simulasi pembebanan vertikal pada *bolster* diketahui bahwa defleksi vertikal maksimum yang timbul dari struktur *bolster bogie* adalah -2,6186 mm.

### Pembebanan Vertikal dan Rolling pada Bolster

Hasil simulasi pembebanan vertikal dan *rolling* pada *bolster* diketahui bahwa tegangan maksimum yang timbul dari struktur *bolster bogie Tram Mover* adalah 105,55 MPa. Tegangan ini masih berada di bawah tegangan maksimum yang diizinkan. Maka dapat dikatakan struktur *bolster bogie Tram Mover* ini telah memenuhi standar sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010.

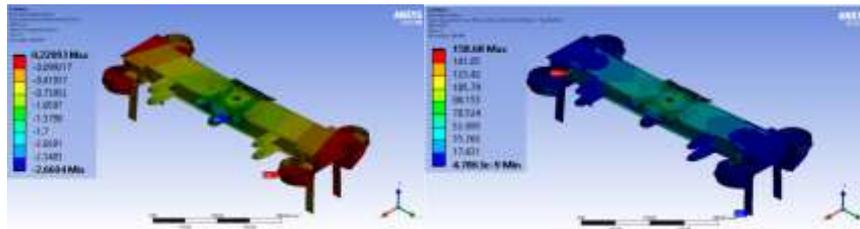


Gambar 9. Tegangan dan Defleksi Akibat Pembebanan Vertikal dan *Rolling*

Hasil simulasi pembebanan vertikal dan *rolling* pada *bolster* diketahui bahwa defleksi vertikal maksimum yang timbul dari struktur *bolster bogie* adalah -1,2493 mm.

### Pembebanan Vertikal dan Longitudinal pada Bolster

Hasil simulasi kasus pembebanan vertikal dan *longitudinal* pada *bolster* diketahui bahwa tegangan maksimum yang timbul dari struktur *bolster bogie Tram Mover* adalah 158,68 MPa. Tegangan ini masih berada di bawah tegangan maksimum yang diizinkan. Maka dapat dikatakan struktur *bolster bogie Tram Mover* ini telah memenuhi standar sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010.

Gambar 10. Tegangan dan defleksi Akibat Beban Vertikal dan *Longitudinal*

Hasil simulasi pembebanan vertikal dan *longitudinal* pada *bolster* diketahui bahwa defleksi vertikal maksimum yang timbul dari struktur *bolster bogie* adalah -2,6604 mm.

Tabel 1. Hasil Simulasi

No	Kasus Pembebanan	PT INKA		Simulasi Pribadi		Jenis Material	Tegangan Izin (MPa)
		Defleksi (mm)	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)	Tegangan (MPa)		
1	Vertikal ( <i>Frame</i> )	-0,9	33	-1,2797	38,498	SS400	245
2	Vertikal ( <i>Bolster</i> )	-1,2	143	-2,6186	149,58	SS400	245
3	Vertikal dan <i>Rolling</i>	-0,8	81	-1,2493	105,55	SS400	245
4	Vertikal dan <i>Longitudinal</i>	-1,6	162	-2,6604	158,68	SS400	245

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 1 diperoleh perbandingan hasil simulasi yang dilakukan oleh PT INKA dengan hasil simulasi yang penulis lakukan, didapatkan hasil tegangan dan defleksi vertikal yang mendekati. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan dari keempat kasus pembebanan masih jauh di bawah *yield strength* dari material yang digunakan. Maka dapat disimpulkan struktur *frame* dan *bolster bogie Tram Mover* ini telah memenuhi standar sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 42 Tahun 2010 Menteri Perhubungan (2010). dimana rangka sebuah *bogie* harus terbuat dari baja yang mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi terhadap pembebanan tanpa terjadi deformasi tetap maka dari itu material yang digunakan adalah SS400 sebagai konstruksi pada *bogie*. Simulasi ini juga mengacu pada standarisasi internasional UIC 615-4 oleh International Union of Railways (1994) dan UIC 510-3 oleh International Union of Railways (1989). Perbedaan hasil dari simulasi ini disebabkan oleh perbedaan geometri dan *software* yang digunakan. Model geometri disederhanakan dengan menghilangkan area *fillet* dan *chamfer* tujuannya untuk mempermudah proses *meshing* karena desain yang terlalu kompleks dapat menyebabkan *error*. Berdasarkan empat kasus pembebanan yang sudah dilakukan dan semua hasilnya menunjukkan bahwa nilai tegangan yang terjadi pada simulasi akibat pembebanan keempat kasus tersebut masih berada di bawah nilai tegangan maksimum yang diizinkan sehingga dapat dikategorikan aman.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang penulis lakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan keempat variasi kasus pembebanan yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS 2020 diperoleh bahwa nilai hasil tegangan maksimum terjadi sebesar 38,498 MPa pada *frame* dan 158,68 MPa pada *bolster* dengan tegangan izin material SS400 sebesar 245 MPa. Hasil ini dinyatakan aman karena hasil nilai tegangan masih di bawah tegangan izin material.
2. Hasil defleksi vertikal maksimum terjadi pada kasus pembebanan vertikal dan *longitudinal* dengan nilai -2,6604 mm yang terjadi pada *bolster bogie*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh sivitas akademika di Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun khususnya program studi D-III Teknologi Mekanika Perkeretaapian. Tidak hanya itu, terimakasih juga diucapkan kepada segenap karyawan divisi teknologi PT INKA (Persero) yang telah membantu penulis melakukan penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Awwaluddin, M., Istiyanto, J., & Soemardi, T. P. 2013. Analisis Tegangan Statik dan Dinamik pada Perancangan dan Pengembangan Struktur Bodi Monorail Produksi PT. MBW Menggunakan Finite Element Analysis (ANSYS). *Characterization of Integrated Circuit Packaging Materials*, April, 232–234.
- Gamayel, A. dan Octavianus, G. 2021. *Tutorial Ansys Workbench untuk Bidang Mekanikal*. International Union of Railways. 1989. *UIC 510-3. January*.
- International Union of Railways. 1994. *UIC 615-4. Analysis, Januari*, 1–17.
- Menteri Perhubungan. 2010. *KM. 42 TAHUN 2010*. 1–23.
- Royan, A. M. 2021. *Analisis Pembebanan Statis Pada Bolster Untuk Lift Bogie Temporary*. 1–44.
- Wiratama, C. 2021. *Jenis-Jenis Mesh Pada CFD*. Aeroengineering.Co.Id. <https://www.aeroengineering.co.id/2021/05/jenis-jenis-mesh-pada-cfd/>.
- Wirawan, W., Aghastya, A., Astuti, S., Rachman, N., Suprpto, S. dan Purwantiningsih, Y. 2021 “Simulation modeling on crashworthiness tube as passive safety technology base on FEM software (finite element method)”, *Prosiding Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO)*, 3, pp. 33 - 40. doi: 10.54706/senastindo.v3.2021.124.