

Static Load Analysis of Bolster Frame Component in Metro Kapsul Train using Finite Element Method

Bagus Budiwanto^{1,*}, Abdul Hakim Masyhur¹ dan Kreshna Mukti¹

¹Kelompok Keahlian Perancangan Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung – Bandung

*Corresponding author: budiwan@edc.ms.itb.ac.id

Abstract. *Metro Kapsul* is the new alternative for mass transportation vehicle which can be categorized as Automated Guideway Transit (AGT). Safety aspect in terms of each component or full vehicle is an important thing that must be considered. One component that should be analyzed for its safety factor is bolster frame. This component is designed to connect the body frame and bogie frame. The testing simulation refers to the UIC 615 and *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 175 Tahun 2015*. There are two type of tests which are testing for exceptional loading case and testing operational loading case. Bolster frame three dimensional model was created using *SolidWorks 2017* and numerical simulation analysis was carried out using *ANSYS R16.0*. The results obtained for both exceptional and operational loading case are still not to exceed the safe maximum stress criteria of 525 MPa. So that the design of the bolster frame are safe enough according to the standard.

Abstrak. *Metro Kapsul* merupakan jenis moda transportasi massal terbaru yang termasuk dalam kategori *Automated Guideway Transit* (AGT). Aspek keselamatan baik untuk setiap komponen maupun kendaraan utuh merupakan salah satu aspek penting yang harus dipastikan. Komponen *bolster frame* yang menjadi penyambung antara badan kereta dan bogie merupakan komponen yang harus dipastikan faktor keselamatannya dengan pengujian yang didasarkan pada UIC 615 dan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 175 Tahun 2015. Pengujian yang dilakukan terdiri dari dua uji yaitu uji pembebanan berlebih dan pembebanan operasional. Pemodelan *bolster frame* dilakukan menggunakan piranti lunak *SolidWorks 2017* dalam model tiga dimensi dan dilanjutkan dengan analisis simulasi numerik uji pembebanan dengan menggunakan piranti lunak *ANSYS R16.0*. Hasil simulasi numerik pada pembebanan berlebih dan operasional didapatkan tegangan ekuivalen maksimal di bawah kriteria aman untuk tegangan maksimum dengan nilai 525 MPa. Sehingga dapat disimpulkan desain *bolster frame* tergolong aman sesuai standar yang ditetapkan.

Keywords: *Bolster frame*, Metro Kapsul, metode elemen hingga, analisis statik

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Bandung sebagai salah satu kota metropolitan di Indonesia, tidak terlepas dari masalah kemacetan yang terjadi seperti di berbagai kota-kota metropolitan lainnya di Indonesia. Berdasarkan data yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik Kota Bandung [1] dijelaskan bahwa pada tahun 2015 terdapat 1.617.022 kendaraan bermotor dengan sepeda motor sebagai kendaraan terbanyak yaitu sebanyak 1.158.239 unit kendaraan, sedangkan kendaraan umum dengan berbagai jenis kendaraan hanya berjumlah 14.815 unit kendaraan. Disisi lain, dengan jumlah kendaraan tersebut dan panjang jalan 1.236,48 km, Dinas Perhubungan Kota Bandung mengeluarkan data kecepatan rata-rata tempuh kendaraan di Kota Bandung yaitu 24,71 km/jam [2], disamping itu ditargetkan pada tahun 2018 kecepatan rata-rata tempuh kendaraan dapat mencapai 25 km/jam.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, Pemerintah Kota Bandung berencana membangun *Light Rapid Transit* (LRT) Metro Kapsul sebagai salah satu solusinya. Pemerintah Kota Bandung yang diwakilkan oleh Walikota Bandung menyatakan bahwa dalam *masterplan* Kota Bandung akan dibangun lintasan Metro Kapsul dengan panjang sekira 40 kilometer [3]. Selain itu dikarenakan Metro Kapsul memiliki lintasan khusus yang tidak melintasi jalan raya, Metro Kapsul diharapkan dapat menjadi tulang punggung transportasi di Kota Bandung dengan angkot sebagai pengumpannya.

Metro Kapsul merupakan moda transportasi massal baru di Indonesia yang tergolong sebagai *Automated Guideway Transit* (AGT), dimana Metro Kapsul berjalan pada lintasan khusus berupa beton, memiliki roda pengarah dan dikendalikan dari pusat kendali. Metro kapsul terbagi menjadi dua bagian besar yaitu struktur bagian atas yaitu

badan kereta dan struktur bagian bawah yaitu bogie, dimana kedua bagian tersebut disambungkan oleh suatu komponen yaitu *bolster frame* yang tergolong sebagai penerus gaya traksi dan termasuk salah satu bagian dari bogie.

Pada pengoperasian Metro Kapsul, salah satu aspek penting adalah keselamatan penumpang. Penentuan tingkat keamanan Metro Kapsul sendiri perlu dilakukan dan harus sudah dapat ditentukan dari tahap desain, dimana Metro Kapsul harus dapat dinyatakan memenuhi kriteria minimum yang ditentukan oleh standar keamanan yang sesuai. Salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam standar adalah tingkat keamanan dari kekuatan komponen penyambung antara kedua bagian besar kereta Metro Kapsul, dimana komponen penyambung yang akan didesain harus dapat disimulasikan dan memenuhi kriteria keamanan berdasarkan pembebanan pada standar yang berlaku.

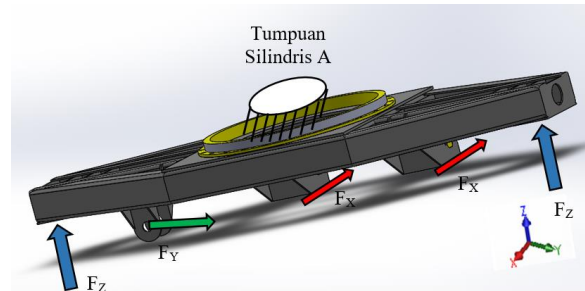
Pada makalah ini, akan dianalisis hasil simulasi pembebanan statis *bolster frame* dengan menggunakan metode elemen hingga. Hal ini diperlukan guna memastikan kekuatan komponen selama pengujian statik dilakukan.

Metode Penelitian

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 175 tahun 2015 (PM 175 2015), menyatakan bahwa bogie harus dapat menahan pembebanan statis dan tidak terjadi deformasi tetap, serta bogie harus dapat menahan beban operasional [4].

Selain itu pada analisis kekuatan pembebanan statis digunakan standar tambahan yaitu UIC 615-4 dan UIC 615-1, hal tersebut dilakukan karena standar tersebut menjelaskan pembebanan secara lebih rinci. Pada UIC 615-4 [5] menjelaskan definisi dan kasus pembebanan statis pada bogie yang terbagi menjadi kasus pembebanan berlebih dan kasus pembebanan operasional dengan beban vertikal dan beban lateral. Sedangkan UIC 615-1 [6] menjelaskan pembebanan yang digunakan pada komponen sambungan antara badan kereta dengan bogie, dimana nilai pembebanan mengacu pada UIC 615-4, ditempatkan pada titik yang saling terhubung dengan beban uji pada bogie serta ditambahkan beban longitudinal.

Dari standar yang digunakan pada pengujian statis *bolster frame*, didefinisikan pembebanan statis akan dilakukan seperti diagram benda bebas yang akan ditampilkan pada Gambar 1 dengan keterangan kondisi batas pada Tabel 1.



Gambar 1. Model Pembebanan *Bolster Frame*

Tabel 1. Kondisi Batas Pembebanan *Bolster Frame*

Perpindahan	Kondisi
dz	0
θz	0
dr	0

Perhitungan pembebanan yang digunakan, sepenuhnya mengikuti UIC 615-4 dan UIC 615-1.

Defenisi Pembebanan

Pembebanan statis yang akan dilakukan berdasarkan pada UIC 615-4 dan UIC 615-1, dimana kasus pembebanan dibagi menjadi kasus pembebanan beban berlebih untuk mengetahui komponen memenuhi syarat tidak terjadi deformasi tetap dan kasus pembebanan operasional untuk memverifikasi komponen tidak mengalami retakan. Selain itu, definisi nilai beban dari masing-masing pembebanan memiliki nilai yang berbeda.

Pada kasus pembebanan berlebih nilai-nilai beban didapatkan melalui Persamaan 1, 2, dan 3 berikut.

$$F_z(N) = \frac{1,4g}{2n_b} (m_v + c_1 - n_b m_b) \quad (1)$$

$$F_y(N) = 2 \left(10^4 + \frac{m_v + c_1}{3n_e n_b} \right) \quad (2)$$

$$F_x(N) = 5m_b \quad (3)$$

Dengan keterangan:

g :	Percepatan gravitasi	= 9,81 m/s ²
n_b :	Jumlah bogie	= 2 buah
m_v :	Berat kereta tanpa penumpang	= 5.500 kg
c_1, c_2 :	Massa 70 penumpang dengan massa seberat 70 kg per penumpang	= 4.900 kg
m_b :	Massa bogie	= 250 kg
n_e :	Jumlah <i>wheelset</i>	= 4 buah

Sedangkan pada kasus pembebanan operasional, terdapat variasi konfigurasi pembebanan dengan tujuan untuk mengetahui beberapa hal yang mempengaruhi, yaitu sebagai berikut.

- Variasi gaya vertikal akibat adanya gerak vertikal dari badan kereta yang dipresentasikan dalam konstanta β .
- Variasi dinamik gaya vertikal akibat adanya momen guling dari badan kereta yang dipresentasikan dalam konstanta α .
- Secara umum pada kendaraan rel di Eropa memiliki nilai $\alpha = 0,1$ dan $\beta = 0,2$.

Dengan adanya faktor tersebut, maka pembebanan operasional dibagi menjadi sembilan kasus pembebanan yang akan dirinci pada Tabel 2.

Tabel 2. Kasus Pembebanan Operasional

Kasus pembebanan	Gaya vertikal pada masing-masing <i>solebar</i>		Gaya transversal pada bogie
	F_{z1}	F_{z2}	
0	Instalasi motor traksi		0
1	F_z	F_z	0
2	$(1+\alpha-\beta)F_z$	$(1-\alpha-\beta)F_z$	0
3	$(1+\alpha-\beta)F_z$	$(1-\alpha-\beta)F_z$	$+F_y$
4	$(1+\alpha+\beta)F_z$	$(1-\alpha+\beta)F_z$	0
5	$(1+\alpha+\beta)F_z$	$(1-\alpha+\beta)F_z$	$+F_y$
6	$(1-\alpha-\beta)F_z$	$(1+\alpha-\beta)F_z$	0
7	$(1-\alpha-\beta)F_z$	$(1+\alpha-\beta)F_z$	$-F_y$
8	$(1-\alpha+\beta)F_z$	$(1+\alpha+\beta)F_z$	0
9	$(1-\alpha+\beta)F_z$	$(1+\alpha+\beta)F_z$	$-F_y$

Dengan nilai gaya setiap arah dihitung melalui Persamaan 4, 5, dan 6 berikut.

$$F_z(N) = \frac{g}{2n_b}(m_v + 1,2c_2 - n_b m_b) \quad (4)$$

$$F_y(N) = 0,5(F_z + 0,5m_b g) \quad (5)$$

$$F_x(N) = 3m_b \quad (6)$$

Dengan keterangan besaran yang sama persis pada Persamaan 1,2, dan 3. Sehingga didapatkan nilai pembebanan berlebih yang akan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Pembebanan Berlebih

Posisi Gaya	Nilai
Gaya Transversal (F_y)	28.502 N
Gaya vertikal kiri (F_{z1})	34.088 N
Gaya vertikal kanan (F_{z2})	34.088 N
Gaya longitudinal (F_x)	11.575 N

Sedangkan daftar nilai pembebanan operasional akan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Pembebanan Operasional

Load case	Beban vertikal		F_y (N)	F_x (N)
	F_{z1} (N)	F_{z2} (N)		
1	26.752	26.752	0	
2	24.077	18.726	0	
3	24.077	18.726	13.955	
4	34.777	29.427	0	
5	34.777	29.427	13.955	6.945
6	18.726	24.077	0	
7	18.726	24.077	-13.955	
8	29.427	34.777	0	
9	29.427	34.777	-13.955	

Analisis Kekuatan

Material yang digunakan pada *bolster frame* adalah ASTM A514-B dengan karakteristik yang akan dijelaskan pada Tabel 5.

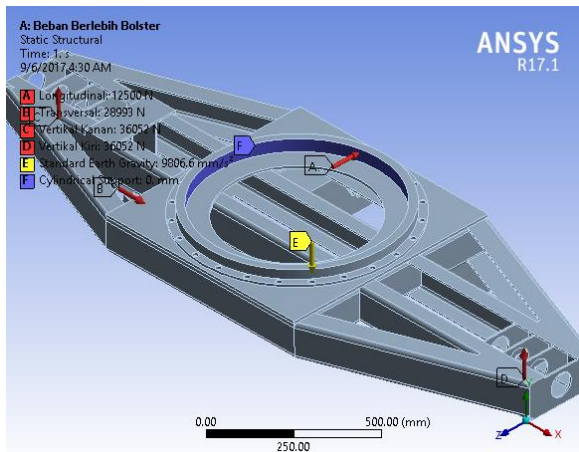
Tabel 5. Karakteristik Material ASTM A514-B

No.	Properties	Value
1	Density (kg/m3)	7850
2	Poissons's Ratio	0.3
3	Modulus Elasticity (GPa)	200
4	Yield Strength	700
5	Ultimate Strength (MPa)	780

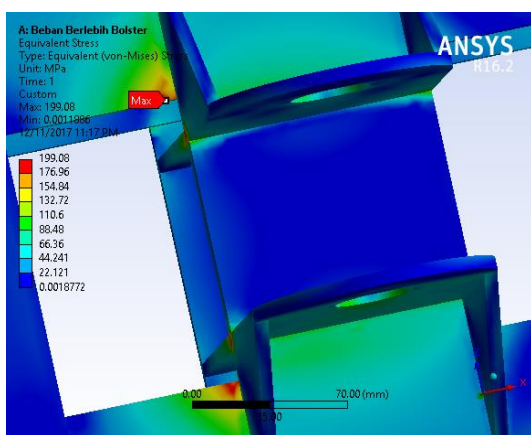
Pada analisis kekuatan yang dilakukan, batas keamanan yang digunakan pada kasus pembebanan berlebih dan operasional untuk menentukan tingkat keamanan adalah berdasarkan pada PM 175 2015. Dimana PM 175 2015 menyatakan tegangan yang diizinkan adalah 75% dari tegangan luluh material. Sehingga tegangan yang diizinkan menjadi 525 MPa.

Analisis Pembebanan Berdasarkan PM 175

Berdasarkan dari kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya, didefinisikan kondisi beban dan kondisi batas pada model yang akan disimulasikan seperti ditunjukkan Gambar 2. Dari hasil simulasi yang dilakukan untuk kasus pembebanan berlebih didapatkan tegangan ekuivalen maksimal di bawah tegangan yang diizinkan, ditunjukkan pada Gambar 3 dengan tegangan ekuivalen sebesar 199 MPa. Sedangkan untuk hasil rekapitulasi analisis pada kasus beban operasional ditampilkan pada Tabel 6.



Gambar 2. Kondisi Batas pada Model Bolster Frame



Gambar 3. Tegangan Ekuivalen Maksimum

Tabel 6. Hasil Kasus Pembebanan Berlebih

Kasus Pembebanan	σ_{maks} (MPa)	S_{allow} (MPa)	Keterangan
1	139		Lulus
2	123		Lulus
3	122		Lulus
4	178		Lulus
5	177	525	Lulus
6	124		Lulus
7	148		Lulus
8	180		Lulus
9	210		Lulus

Kesimpulan

Dari hasil rekapitulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada kasus pembebanan berlebih maupun kasus pembebanan operasional, *bolster frame* memenuhi syarat tegangan yang diizinkan menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia nomor 175 Tahun 2015 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri.

Penghargaan

Penulis berterima kasih atas dukungan yang diberikan dari Program Penelitian, Pengabdian

kepada Masyarakat, dan Inovasi (P3MI) Kelompok Keahlian ITB 2018 untuk membantu penelitian ini.

Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 2016. *Kota Bandung Dalam Angka 2016*, Bandung: Badan Pusat Statistik Kota Bandung.
- [2] Dinas Perhubungan Kota Bandung, 2016. *Laporan Kinerja Instansi Pemerintah Dinas Perhubungan Kota Bandung 2015*, Dinas Perhubungan Kota Bandung, Pemerintah Kota Bandung.
- [3] D. Ramdhani, 2017. LRT Metro kapsul Ditargetkan Jadi Transportasi Massal di Bandung Raya, informasi dari <https://regional.kompas.com/> (diakses pada 5 April 2017)
- [4] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia : Nomor 175 Tahun 2015 Tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri*, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Jakarta.
- [5] Union Internationale des Chemins de Fer, 2003. *615-4OR : Motive Power Unit-Bogies and Running Gear-Bogie Frame Structure Strength Test*, edisi 2, FrameMaker, Semua Anggota International Union of Railway.
- [6] Union Internationale des Chemins de Fer, 2003. *615-1OR : Tractive Unit-Bogies and Running Gear-General Conditions Applicable to Component Parts*, edisi 2, FrameMaker, Semua Anggota International Union of Railway.