

Desain Awal *Rig* untuk Pengujian *Frame* Bogie Kereta Monorel Jenis *Straddle* Produk Industri Lokal

Danardono A.S^{1,a*}, Gatot Prayogo^{1,b}, Sugiharto^{1,c}, Teguh N.^{2,d}, Kusnan Nuryadi^{2,e}

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424, Jawa Barat, Indonesia

²PT. Melu Bangun Wisesa, Bekasi, Jawa Barat, Indonesia

[^adanardon@eng.ui.ac.id](mailto:danardon@eng.ui.ac.id), [^bgatot@eng.ui.ac.id](mailto:gatot@eng.ui.ac.id), [^csugih.sugiharto@unpas.ac.id](mailto:sugih.sugiharto@unpas.ac.id), [^dteguh.nk@mbwpt.com](mailto:teguh.nk@mbwpt.com),
[^ekusnan.n@mbwpt.com](mailto:kusnan.n@mbwpt.com)

Abstrak

Pengujian merupakan parameter untuk menilai suatu desain struktur baik dengan pembebanan statik maupun dinamik, proses pengujian merupakan suatu tahapan yang wajib untuk dilakukan untuk menilai kekuatan dan keandalan strukturnya. Dalam paper akan dibahas proses desain awal dari *rig* pemegang benda uji dalam proses pengujian *frame* monorel. *Rig* harus memiliki sifat lebih kaku dari benda uji, hal ini dilakukan agar pada saat proses pengujian defleksi yang terjadi hanya terjadi pada benda uji, sehingga defleksi yang terukur hanya defleksi yang terjadi pada benda uji. Selain itu *rig* harus dirancang mampu mengangkang benda uji secara kuat dan tidak lepas disaat dilakukan proses pengujian dilangsungkan. Standar pengujian yang dirujuk dalam paper ini adalah *EN 13749;2011*. Proses desain dimulai dengan pembuatan model *CAD* dari tiap komponen struktur *rig* yang sedang dirancang, dilanjutkan dengan analisis *CAE* dilakukan dengan metoda elemen hingga untuk melihat kekuatan struktur *rig* dan sebagai dasar optimasi dari pemilihan bentuk profil dan material struktur *rig* yang akan dibuat. Hasil analisis yang dilakukan secara numerik dengan bantuan perangkat lunak, untuk pengujian dengan beban horizontal sebesar 2 ton defleksi yang terjadi pada *rig* jika dibuat dengan menggunakan baja *SS400* dengan profil C 150x75 mm defleksi yang terjadi pada *rig* hanya 0,08 mm. Sedangkan untuk pengujian dengan beban vertikal dengan beban sebesar 9 ton defleksi yang terjadi hanya 0,88 mm.

Kata kunci : *Rig, frame, bogie, monorel, straddle*

Pendahuluan

Kegiatan rancang bangun monorel di dalam negeri dimulai sejak tahun 2006, BPPT dan PT. INKA merintis kegiatan rancang bangun tersebut. Disamping itu pihak swasta PT. MBW (Melu Bangun Wiweka) turut juga berkontribusi dalam mengembangkan desain monorel yang saat ini sudah sampai pada tahap pengujian prototipe.

Terlibatnya lembaga riset dan industri lokal dalam proses rancang bangun monorel akan berdampak pada efisiensi biaya yang akan digunakan dalam pembangunannya serta turut serta dalam meningkatkan proses kemandirian

teknologi dalam peralatan transportasi. *Danardono, et al* (2012) [1]

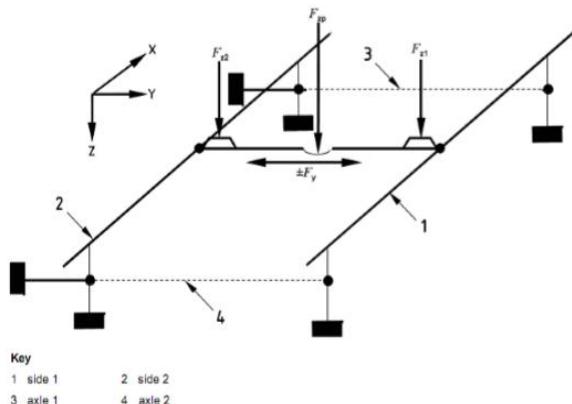
mengusulkan pemanfaatan dan pengembangan monorel dalam mendukung sistem transportasi yang berkelanjutan di Indonesia yang berbasis produk industri lokal, dalam riset awalnya dijelaskan beberapa kelebihan dari moda transportasi ini untuk digunakan dan dikembangkan di Indonesia.

Analisis awal desain bentuk struktur bogie dalam usaha meningkatkan untuk meningkatkan kemampuan belok dan mobilisasinya sudah dilakukan oleh *Danardono, et al* (2013) [2] dengan merubah posisi penempatan roda penyetabil menjadi sejajar dengan roda

kemudinya. *Gatot Prayogo, dkk* [3] membuat analisis respon dinamik dan analisis tingkat kenyamanan dan respon dinamik dari model bogie yang dikembangkan tersebut. Prototipe model *frame* bogie yang dikembangkan didalam negeri saat ini sedang dalam proses pembuatan dan menuju ke tahap pengujian. Untuk mendukung proses pengujian dibutuhkan suatu *rig* yang digunakan sebagai alat bantu pemegang *frame* bogie saat dilakukan pengujian. *rig* pemegang benda uji (*frame bogie monorel*) harus memiliki sifat lebih kaku dan lebih kokoh dari benda uji, hal ini dilakukan agar pada saat proses pengujian defleksi yang terjadi hanya terjadi pada benda uji, sehingga defleksi yang terukur hanya defleksi yang terjadi pada benda uji. Selain itu *rig* harus dirancang mampu mengangkang benda uji secara kuat dan tidak lepas disaat dilakukan proses pengujian dilangsungkan, hal ini dilakukan untuk meminimalkan kecelakaan pada operator pada saat pengujian berlangsung jika terjadi kegagalan pada benda uji di saat proses pengujian sedang berlangsung.

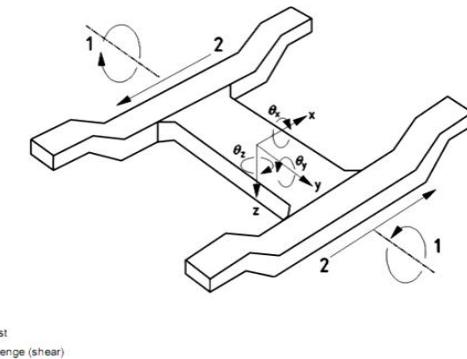
Rig yang dibuat akan digunakan untuk setiap proses pengujian sub bagian *frame* bogie yang sedang dikembangkan sehingga struktur *rig* harus dirancang memiliki sifat yang multiguna yang bisa digunakan sebagai pemegang setiap bentuk sub bagian *frame* yang sedang dikembangkan.

Standar pengujian yang akan digunakan pada proses pengujian *frame* adalah *EN 13749:2011* [4]. Posisi penempatan aktuator pebebahan dan sistem koordinat dan arah deformasi pengujian menurut standar tersebut dapat dilihat pada *Gambar 1* dan *2*.



Gambar 10. Posisi penempatan actuator pada engujian statik *frame* bogie menurut standar *EN 13749:2011*

Desain diawali dengan analisis posisi penempatan benda uji dan posisi pembebahan pada benda uji pada saat proses pengujian. Proses desain dilanjutkan dengan pembuatan model *CAD* dari tiap komponen struktur *rig* dan dilakukan analisis kekuatan secara numerik dengan metoda elemen hingga, hal ini dilakukan untuk melihat kekuatan dan sebagai dasar optimasi dari pemilihan bentuk profil dan material struktur *rig* yang akan dibuat. Proses desain ini disebut dengan tahapan *virtual prototyping* dalam proses desain.



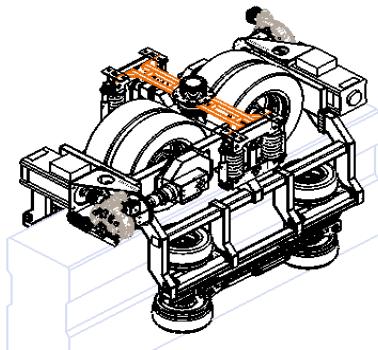
Gambar 11. Sistem koordinat dan arah deformasi pada *frame* bogie menurut standar *EN 13749:2011*

Tabel 3. Koordinat deformasi pada *frame* bogie menurut standar EN 13749:2011

Direction	Symbol	Description
Longitudinal	x	Linear in the direction of travel
Transverse	y	Linear parallel to the plane of the track, perpendicular to the direction of travel
Vertical	z	Linear perpendicular to the plane of the track
Roll	θ_x	Rotation about the longitudinal axis
Pitch	θ_y	Rotation about the transverse axis
Yaw	θ_z	Rotation about the vertical axis
Twist	—	Out-of-plane (x-y) movement resulting in relative rotation of the sideframes
Lozenging	—	Shear due to relative longitudinal movement of sideframes

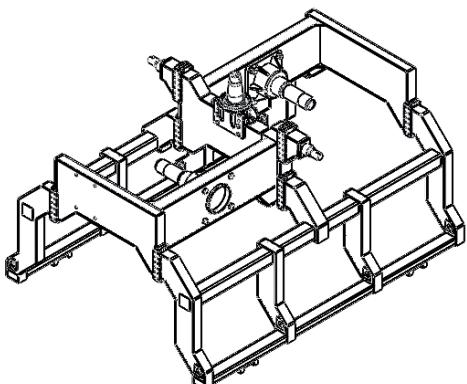
Frame Bogie Monorel

Frame bogie monorel yang akan diuji merupakan *frame* bogie hasil desain dan proses pengembangan pada penelitian sebelumnya.



Gambar 12. Bentuk bogie monorel hasil desain

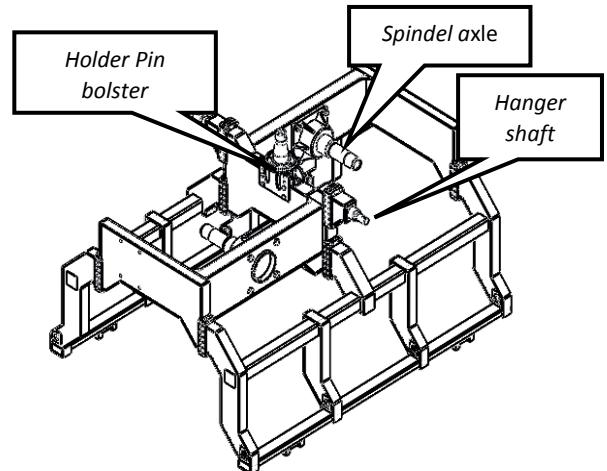
Bentuk bogie dengan *frame* yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan bentuk *frame* utamanya yang akan diuji dapat lihat pada Gambar 4.



Gambar 13. Bentuk *frame* bogie monorel hasil desain sebelumnya.

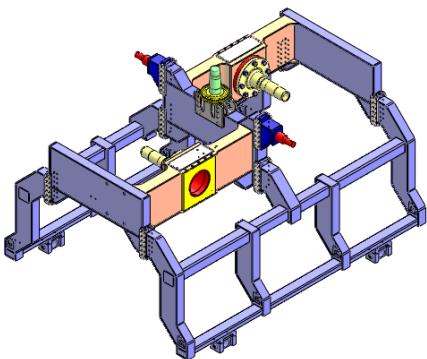
Pengujian pada *frame* bertujuan untuk melihat kekuatan dan ketahanan fatik dari *frame* yang dibuat. Pengujian akan diawali dengan pengujian pada bagian-bagian utama dari *frame* yang anggap paling kritis, bagian ini adalah bagian yang tidak boleh gagal pada saat *frame* tersebut digunakan. Bagian-bagian *frame* yang dianggap paling kritis adalah:

- Dudukan *Spindle Axle* berikut poros *spindle*-nya.
- Dudukan *bolster* berikut *pin bolster*-nya (*holder pin bolster*).
- Dudukan *hanger shaft* berikut porosnya



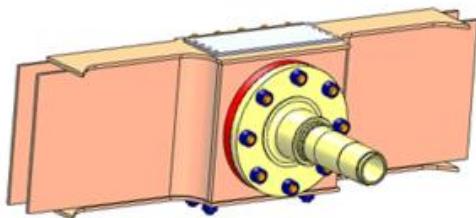
Gambar 14. Bagian-bagian kritis pada *frame* bogie monorel

Proses pengembangan dan modifikasi terus dilakukan dalam usaha meningkatkan umur fatik dan kemudahan proses manufakturnya. Bentuk *frame* hasil pengembangan dan modifikasi dapat dilihat pada Gambar 6.

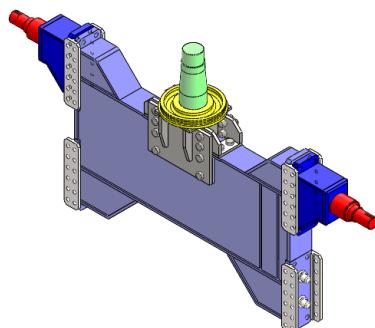


Gambar 15. Bentuk *frame* hasil modifikasi dan pengembangan

Proses pengujian *frame* akan dilakukan secara bertahap, tahap pertama pengujian akan dilakukan untuk tiap bagian kritis komponen *frame*, pada tahapan ini pengujian akan dilakukan dengan beban statik. Sedangkan proses pengujian secara keseluruhan dalam hal ini *frame* akan diuji secara utuh akan dilakukan pada proses penelitian berikutnya.



Gambar 16. Dudukan *Spindle Axle* berikut poros spindel.

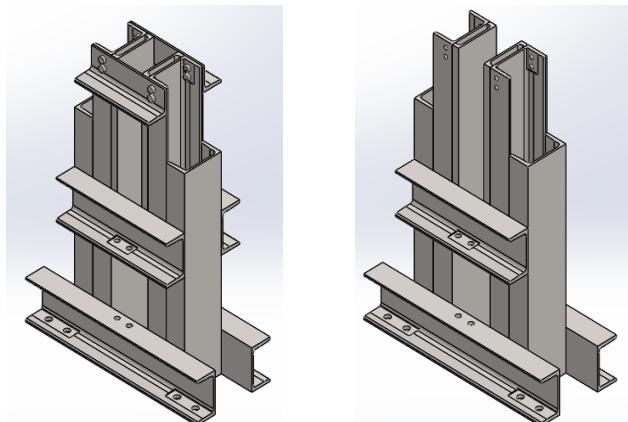


Gambar 17. Dudukan *bolster* berikut *pin bolster* dan duhan *hanger shaft*

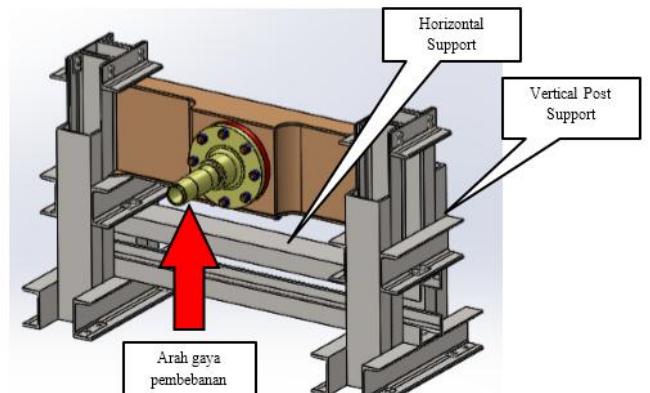
Desain dan Analisis Kekuatan *Rig Pengujian*

Rig untuk pengujian dirancang untuk digunakan pada proses pengujian di tahapan yaitu pada pengujian bagian-bagian kritis komponen *frame* yang akan diuji. *rig* dirancang dapat digunakan untuk setiap pengujian komponen kritis tersebut. *rig* dibuat sekaku mungkin agar tidak terjadi defleksi pada saat proses pengujian dilakukan. *rig* dibuat dari susunan baja profil yang dapat menahan beban tanpa terjadi defleksi pada beban 8 ton untuk arah vertikal dan 2 ton untuk arah horizontal.

Besar beban yang diberikan merupakan beban yang diperoleh dari hasil simulasi dinamik yang dilakukan pada *bogie monorel* secara keseluruhan [5].



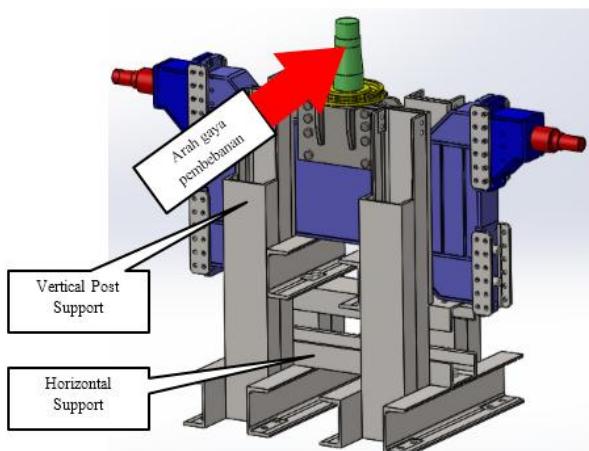
Gambar 18. Desain *vertical post support* untuk pengujian komponen kritis *frame bogie*



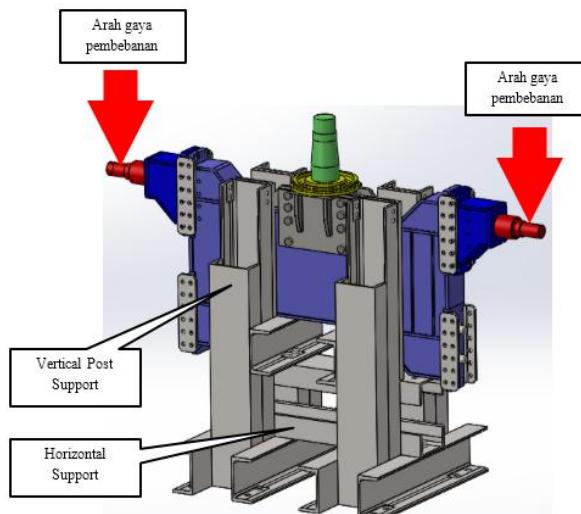
Gambar 19. Bentuk Pemasangan *vertical post support* dan *horizontal support* pada pengujian *spindle axle*

Rig pengujian terdiri dari dua buah *vertical post support* yang dipasang sebagai penumpu benda uji, bentuk desain *vertikal post support*. Dua buah *vertical post support* pada saat digunakan akan dipegang oleh dua buah batang *horizontal support* sebagai pengikatnya.

Model penggunaan *vertical post support* dan *horizontal support* pada saat pengujian kukanan struktur *Spindle Axle* dapat dilihat pada *Gambar 10*, sedangkan pada pengujian kekuatan struktur *holder pin bolster* dapat dilihat pada *Gambar 11*, dan pada pengujian struktur *hanger shaft* dapat dilihat pada *Gambar 12*.



Gambar 20. Bentuk pemasangan *vertical post support* dan *horizontal support* pada pengujian dudukan *holder pin bolster*.



Gambar 21. Bentuk pemasangan *vertical post support* dan *horizontal support* pada pengujian *hanger shaft* suspense

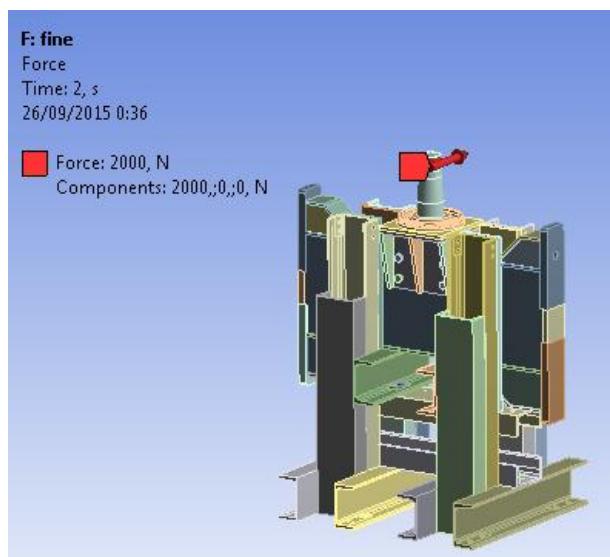
Material yang digunakan untuk bahan *rig* pengujian adalah *SS400* dengan bentuk profil C 150x75 mm, sifat fisik dan mekanik seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 4. Sifat mekanik material *SS400*

<i>Mass density</i> (kg/m ³)	<i>Elastic Modulus</i> (MPa)	<i>Poisson Ratio</i>	<i>Tensile Strength</i> (MPa)
7850	1,90E+05	0,26	400

Hasil dan Diskusi

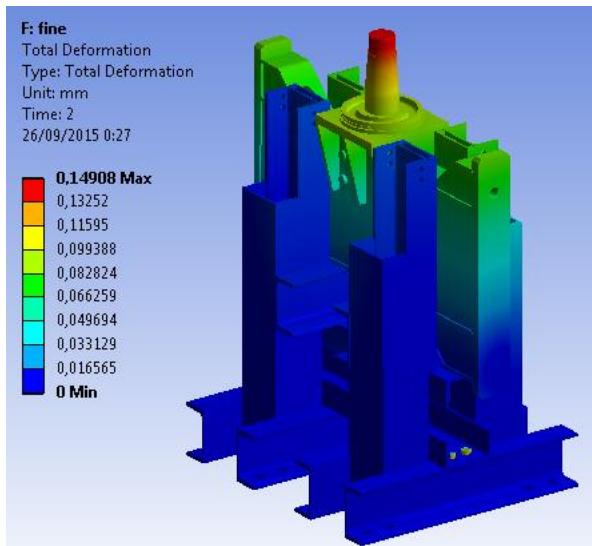
Analisis kekuatan *rig* dilakukan untuk melihat perkiraan defleksi yang akan terjadi pada *rig* saat dilakukan pengujian. Hal ini sangat penting karena *rig* harus lebih kaku dibandingkan dengan benda uji yang akan dipasang padanya. Analisis ini dilakukan secara numerik dengan bantuan perangkat lunak, hasil analisis untuk pengujian dudukan *pin bolster* jika diasumsikan beban yang bekerja saat pengujian sebesar 2 ton besar defleksi yang terjadi pada *rig* jika dibuat dengan menggunakan profil baja 150x75 mm dengan material *SS400* maka defleksi yang terjadi kurang dari satu mm.



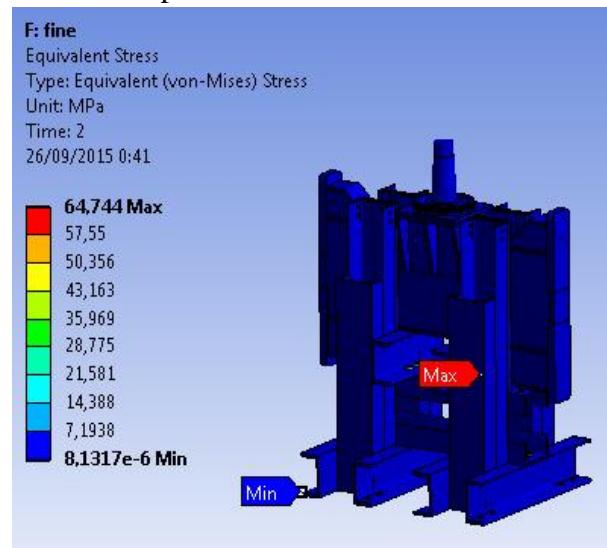
Gambar 22. Simulasi pembebanan pada *rig* uji pada saat pengujian dudukan *pin bolster* dengan arah gaya horizontal pada pembebanan 2 ton.

Pada analisis dengan pembebanan gaya horizontal yang akan digunakan pada saat pengujian struktur holder *pin bolster*, gaya yang diberikan sebesar 2 ton yang ditempatkan pada *pin bolster*.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa defleksi yang terjadi pada *rig* maksimum sebesar 0,08 mm, dengan tegangan *Von Misses* sebesar 64,7 MPa. Hasil simulasi dapat dilihat pada *Gambar 14* dan *Gambar 15*.



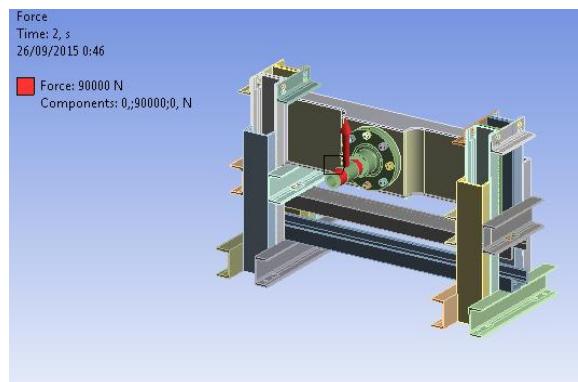
Gambar 23. Defleksi yang terjadi pada *rig* uji pada saat pengujian dudukan *pin bolster* dengan arah gaya horizontal pada pembebanan 2 ton.



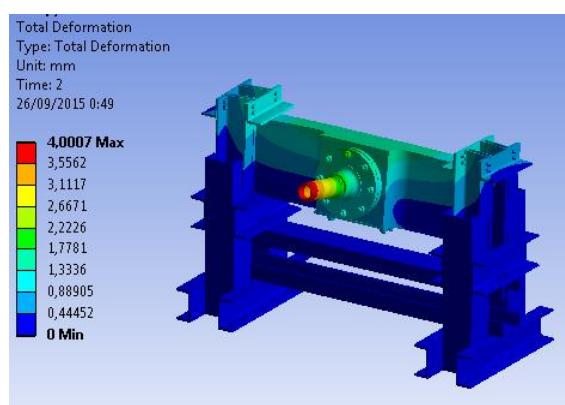
Gambar 24. Tegangan *Von Misses* yang terjadi pada *rig* uji pada saat pengujian dudukan *pin bolster* dengan arah gaya horizontal pada pembebanan 2 ton.

Pada analisis dengan pembebanan gaya vertikal yang akan digunakan pada saat pengujian struktur *spindle axle*, gaya yang diberikan sebesar 9 ton yang ditempatkan pada poros spindelnya.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa defleksi yang terjadi pada *rig* maksimum sebesar 0,88 mm. Hasil simulasi dapat dilihat pada *Gambar 16* dan *Gambar 17*.



Gambar 25. Simulasi pembebanan pada *rig* uji pada saat pengujian *Spindle Axle* dengan arah gaya vertikal pada pembebanan 9 ton



Gambar 26. Defleksi yang terjadi pada *rig* uji pada saat pengujian *Spindle Axle* dengan arah gaya vertikal pada pembebanan 9 ton.

Dari simulasi pembebanan yang dilakukan secara numerik maka kekuatan *vertical post support* dan *horizontal support* dengan menggunakan baja SS400 dengan profil C 150x75 mm, cukup memenuhi persyaratan jika dilihat dari defleksi yang terjadi pada saat proses pembebanan.

Kesimpulan

Hasil analisis numerik dalam desain awal *rig* untuk pengujian *frame bogie* monorel dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut:

- *Rig* pengujian dapat dibuat dengan menggunakan dua unit *vertical post support* yang diikat dengan dua *horizontal support*.
- Desain *vertical post support* dibuat sederhana yang dibentuk dari susunan baja profil C ukuran 150x75 mm yang banyak didapat di pasaran dalam negeri.
- Material yang digunakan untuk *vertical post support* dan *horizontal support* menggunakan SS400.
- Material SS400 cukup memenuhi persyaratan karena tegangan yang terjadi pada saat pembebahan masih dibawah tengangan tarik materialnya.
- Dari hasil simulasi diperoleh defleksi maksimum yang terjadi masih dibawah 1 mm, yaitu 0,08 mm untuk pembebahan horizontal dengan gaya pembebahan sebesar 2 ton dan 0,88 mm untuk pembebahan vertikal dengan gaya pembebahan sebesar 9 ton. Hal ini menunjukan bahwa *vertical post support* yang dirancang cukup kaku untuk digunakan dalam pengujian *frame bogie* monorel.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini seluruh tim riset mengucapkan terima kasih kepada *Direktorat Riset dan Pengabdian pada*

Masyarakat (DRPM) Universitas Indonesia, yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Pascasarjana Tahun 2015.

Referensi

- [1] Danardono AS., et al, “*The Development of Monorail Design Based on Local Industrial Component as an Alternative Implementation Concept of MRT (Mass Rapid Transit) for the Growth of Indonesian Sustainable Transportation System*” Proceeding International Seminar Quality in Research, 2013.
- [2] Danardono AS., et al, “*Preliminary Analysis in the Improvement Turning Abilities in Design of the Monorail Bogie PT. MBW Indonesia*” [Applied Mechanics and Materials](#) (Volume 663) October 2014 page 539-543.
- [3] Gatot prayogo., dkk, “Perancangan dan Pengembangan Bogie Monorel : Analisa Respon Dinamik dan Tingkat Kenyamanan” Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII) 2014, Universitas Indonesia, Depok.
- [4] EN 13749:2011: “*Railway applications - Wheelsets and bogies - Method of specifying the structural requirements of bogie frames*”, CEN Brussels; 2011.
- [5] Riduan A. Siregar, “Analisis Respon Dinamik Bogie Monorel”, Thesis Magister Teknik Mesin Universitas Indonesia, 2015.