

Perancangan Desain dan Simulasi Analisis Kekuatan Rangka Tire Lifter Pada Proses Penggantian Ban di Proving Ground Pt. Xyz

Teuku Reza Pahrevi¹⁾

Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal
teuku.rezap@student.poltek-gt.ac.id

Henry Prasetyo²⁾

Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal
henry@poltek-gt.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di Departemen On Vehicle Test (OVT) yang merupakan bagian dari R & D PT. XYZ yang bertempat di Proving Ground, Karawang. Terdapat permasalahan yang ada pada saat karyawan sedang mengganti ban SUV. Karena beban yang diangkat oleh pekerja cukup berat yaitu 40 kgf atau 392 N, maka peneliti mengusulkan untuk membuat desain dan studi simulasi pengangkat ban. Penelitian ini difokuskan pada kajian desain dan analisa material serta kekuatan struktur rangka Tire Lifter dengan metode elemen. Analisis statis linier dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2020. Rangka menggunakan baja ASTM A36 sebagai material utama struktur pengangkat ban. Hasil analisis material menunjukkan bahwa berat struktur pengangkat ban adalah 481,3556 N. Variabel beban yang diberikan pada rangka Tire Lifter sebesar 40 kgf atau 392 N. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangka penyimpan aman untuk menerima beban hingga 392 N karena memiliki faktor keamanan sebesar 8, yang aman terhadap beban tetap dan beban hidup berdasarkan faktor keamanan materialnya yang bernilai 4 untuk beban tetap dan 8 untuk beban hidup.

Kata Kunci: SUV Wheel, ASTM A36, FEM, Safety Factor

I. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

PT.XYZ adalah perusahaan ban terbesar di Asia Tenggara yang memproduksi dan mendistribusikan ban berkualitas tinggi untuk mobil penumpang, *Sport Utility Vehicle (SUV)*, *off-road*, industri dan sepeda motor. Setiap perusahaan memiliki departemen Research & development (R & D) untuk melakukan inovasi terhadap produknya, tidak terkecuali pada PT.XYZ terdapat Departemen *On Vehicle Test (OVT)* yang menjadi bagian Departemen R & D, bertempat di *Proving Ground* yang memiliki tugas untuk mengatur jadwal ketersediaan trek dan melaksanakan pengujian ban pada kendaraan. Parameter uji yang diukur dapat bersifat subjektif dan objektif. Departemen OVT ini memiliki beberapa proses untuk melakukan pengetesan ban di *Proving Ground* tersebut, salah satunya adalah proses penggantian ban SUV. Dikarenakan ban SUV memiliki berat yang cukup besar, yakni 40 kg.



Gambar I. Berat Ban SUV

Dari Gambar 1 terlihat berat ban SUV sebesar 40 kg tim yang melakukan penggantian ban SUV tersebut membutuhkan alat bantu pengangkat ban untuk melakukan *mounting* ke mobil.



Gambar II. Mengangkat Ban SUV Tanpa Alat Bantu

Pada Gambar 2 terlihat bahwa pemasangan ban dilakukan secara manual dan tanpa alat bantu apapun. Penulis memiliki usul untuk merancang sebuah alat bantu, yakni *Tire Lifter*.

Pada dunia industri manufaktur, kekuatan suatu alat merupakan hal yang sangat penting. Hal ini penting

karena berhubungan dengan keselamatan orang yang menggunakan alat tersebut. Semakin kuat alat maka semakin tinggi tingkat keselamatan, dan semakin rendah tingkat resiko kecelakaan. Untuk membuat *Tire Lifter* yang kuat, dibutuhkan desain dan analisa kekuatan terlebih dahulu. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan material ASTM A36 steel sebagai material rangka karena memiliki kekuatan luluh (yield strength) hingga 250 Mpa sehingga aman digunakan untuk menahan beban hingga 40 kg atau 392 N. Proses perancangan menggunakan metode FEA (*Finite Element Analysis*) dengan bantuan software SolidWorks sebagai medianya. SolidWorks adalah software simulasi dengan analisa elemen hingga yang memungkinkan setiap perancang untuk melakukan simulasi struktural pada bagian atau rakitan sebuah struktur. Selain melakukan simulasi menggunakan software, juga dilakukan perbandingan kekuatan material untuk memilih jenis material yang tepat untuk perancangan alat (A. Sasmito, 2018)

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka pada penelitian ini perumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Belum ada *Tire Lifter* yang layak digunakan sesuai dengan standar keamanan.

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi pengujian menggunakan software SolidWorks 2020.
2. Hanya membahas desain, simulasi, dan perhitungan kekuatan material.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Merancang *Tire Lifter* untuk proses penggantian ban berdasarkan hasil analisis material.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Tim Warehouse mendapatkan rancangan alat bantu untuk mengurangi beban pada pekerjaan penggantian ban.

1. Mengetahui kekuatan rancangan *Tire Lifter*.
2. Mempermudah tim *Warehouse & Workshop* pada proses penggantian ban SUV.
3. Mengurangi risiko kerja tim *Warehouse & Workshop*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 STUDI PUSTAKA

Tabel I. Kajian Sebelumnya

Nama, Tahun	Judul	Hasil Kajian
Muhamma d Khoirul Mustofa Aris,	Perancangan Motorize Movable Scissor Table	Memenuhi standar minimal untuk tidak melebihi tegangan

Nama, Tahun	Judul	Hasil Kajian
Wahyudi, Budianto, 2017	Lifter Kapasitas 5 Ton untuk Pengangkatan dan Pemasangan Mesin Kereta Api	maksimum. Analisis menunjukkan bahwa pada ketinggian 1000 mm dan menggunakan safety faktor 1,5 untuk pemilihan material, tegangan/stress maksimum yang dicapai adalah 193 N/mm ² dari tegangan maksimum material ASTM A 36.
Mustaqiem, A.D., 2020	alisis Perbandingan Faktor Keamanan Rangka Scooter Menggunakan Perangkat Lunak Solidwork 2015	umsi pembebanan 100 kg penggunaan material yang paling optimum dari segi harga adalah Baja ASTM A36 mendapatkan nilai faktor keamanan yang sudah sesuai.

2.2 LANDASAN TEORI

1. Perancangan

Perancangan adalah proses mendefinisikan sesuatu yang akan dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik dan termasuk menggambarkan arsitektur dan detail komponen serta kendala yang dihadapi dalam proses tersebut (Azis, Pribadi, & Nurcahya, 2020).

2. Lifter

Lifter adalah seperangkat alat yang digunakan untuk mengangkut barang di dalam gudang secara vertikal yaitu dapat di pindahkan dengan menggunakan roda dan horizontal yaitu proses naik turun barang menggunakan mesin listrik. Sehingga dibuat suatu rancangan alat bantu angkat atau Lifter untuk membantu proses penyimpanan, penyusunan, dan pengambilan barang yang efisien dan aman untuk pekerja serta barang. Tujuan dari rancangan ini adalah bagaimana alat bantu angkat atau Lifter dapat berfungsi untuk menyusun dan memindahkan barang dengan cepat, efisien, dan aman Putra, (Setijogiarto, N. E., & Sholeh, M, 2019)

3. Finite Element Method (FEM)

Finite Element Method atau biasa dikenal dengan Finite Element Analyst merupakan prosedur numerik yang digunakan dalam mengatasi permasalahan di bidang rekayasa, contoh digunakan dalam menganalisis tegangan pada rangka (Kresna & Ari, 2021). Pada dasarnya, prinsip utama dari Finite Element Method melakukan pembagian terhadap struktur menjadi bagian-bagian kecil

yang yang telah dibatasi. Kemudian didefinisikan kedalam bentuk fungsi interpolasi yang nantinya digunakan dalam menginterpolasi nilai variabel pada titik interior suatu struktur dalam bentuk elemen kunci (node) (Seshu, 2012). Menurut beberapa penjelasan tersebut dapat diartikan bahwa *Finite Element Analyst* merupakan suatu metode yang menganalisis tegangan pada struktur dengan prosedur numerik dan membaginya menjadi elemen kecil.

4. SolidWorks

SolidWorks merupakan software CAD yang dikembangkan oleh Dassault Systemes. SolidWorks Corp menjadi salah satu software mechanical design automation yang berbasis parametric solid molding yang digunakan dalam memodelkan dan mendesain suatu mesin, benda ataupun struktur (Arsada, 2020). Sehingga, Solidworks merupakan software untuk mendesain mesin, benda, dan struktur hingga detail-detail terkecilnya sampai menjadi kesatuan dalam model 3D maupun 2D. Selain itu juga menyediakan berbagai pilihan material yang dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan analisa.

5. Tegangan

Merupakan gaya internal yang terdapat pada suatu benda yang menahan gaya eksternal, gaya internal pada setiap bagian tubuh benda tersebut disebut dengan tegangan (Anggry, 2021) jadi tegangan dapat diartikan sebagai perbandingan antara gaya internal yang bekerja menahan gaya eksternal pada luas penampang, rumus tegangan terdapat pada Persamaan 1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (N/mm²)

P = Gaya (N)

A = Luas penampang (mm²)

Dalam satuan Standar Internasional tegangan dinyatakan dalam Pascal (Pa) sehingga 1 Pa=1 N/m² dan dalam penerapannya menggunakan satuan yang lebih besar yaitu Megapascal (Mpa) dan Gigapascal (Gpa).

6. Deformasi

Deformasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah perubahan fisik suatu benda karena suatu gaya atau beban dan akan kembali ke bentuk semula ketika gaya atau beban dihilangkan. Sedangkan deformasi plastis adalah perubahan fisik suatu benda secara permanen meskipun gaya atau bebannya dihilangkan. Dalam merancang suatu alat tentunya yang dijadikan patokan adalah deformasi elastis karena tegangan maksimum di bawah tegangan luluh (L. A. N Wibawa, 2020).

7. Massa Benda

Untuk mengetahui massa suatu benda dengan diketahui volume dan massa jenis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Sularso &

Suga, 2004):

$$m = v \times \rho \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- m = Massa (kg)
- v = Volume (m³)
- ρ = Massa jenis (kg/ m³)

8. Perhitungan Beban pada Bidang Datar

Untuk menentukan berat dari benda yang berada pada bidang datar dari gaya-gaya yang ada pada benda tersebut dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Sularso & Suga, 2004):

$$W = m \times g \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- W = Berat benda (N)
- m = Massa benda (Kg)
- g = Gaya gravitasi (m/s²)

9. Factor Of Safety (Faktor Keamanan)

Faktor keamanan merupakan faktor yang digunakan dalam menganalisis dan mengevaluasi keamanan dari suatu elemen (Hardiputra et al., 2018). Faktor keamanan sendiri biasa digunakan sebagai acuan dalam pembuatan suatu rancangan dan desain untuk menjamin keamanan dari rancangan dan desain tersebut. Faktor keamanan (*safety factor*) dapat didefinisikan secara umum sebagai hubungan rasio antara tegangan maksimum (*maximum stress*) dengan tegangan kerja (*working stress*) (Khurmi & Gupta, 2005) dapat dirumuskan dalam Persamaan 2:

$$FS = \frac{\text{maximum stress}}{\text{working or design stress}} \dots\dots\dots (4)$$

Angka keamanan material yang terdiri dari beberapa material yaitu *Cast iron*, *Wrought iron*, *Steel*, *Soft material and alloys*, *Leather*, dan *Timber*. Dari beberapa material tersebut dinilai dari beberapa jenis beban yang bekerja terhadap material yaitu *Steady load*, *Live load*, dan *Shock load*. Seluruh nilai tersebut berada dalam Tabel 2.

Tabel II. Nilai Factor of Safety

Material	Steady load	Live load	Shock load
Cast iron	5 to 6	8 to 12	16 to 20
Wrought iron	4	7	10 to 15
Steel	4	8	12 to 16
Soft material and alloys	6	9	15
Leather	9	12	15
Timber	7	10 to 15	20

Sumber: (Khurmi & Gupta, 2005)

10. ASTM A36

Baja ASTM A36 adalah baja karbon rendah yang

memiliki kekuatan yang baik, juga mampu dibentuk menggunakan mesin dan dapat dilas dengan baik. Baja ASTM A36 dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, tergantung pada ketebalan plat dan ketahanan korosinya. Baja ini sering digunakan pada konstruksi bangunan, tangki, maupun pipa. Karna penggunaannya tersebut, maka diharapkan baja ini mampu memiliki ketahanan korosi yang cukup untuk digunakan pada jangka waktu yang lumayan lama. Maka untuk menambah sifat tahan korosi dari baja karbon rendah ASTM A36 ini dapat dilakukan beberapa cara. Salah satunya dengan cara modifikasi permukaan atau yang dikenal dengan coating pada permukaan material baja ASTM A36 tersebut. Pada penelitian ini plat besi digunakan sebagai salah satu bahan utama dalam membuat mesin pemotong sampel *test tube* dengan ketebalan 5 mm untuk dudukan motor dan 3 mm untuk alas meja (Saefuloh dkk, 2021).

III. METODOLOGI KAJIAN

3.1 ALUR PENELITIAN



Gambar III. Alur Penelitian

Sumber : (Kajian Penulis, 2023)

3.2 LOKASI DAN JADWAL PENELITIAN

Lokasi penelitian kali ini adalah Proving Ground PT.XYZ yang berlokasi di Karawang, Jawa Barat. Penelitian ini dilakukan mulai tanggal 20 Februari 2023 sampai dengan 23 Juni 2023. Berikut rincian jadwal:

Tabel III. Jadwal Penelitian

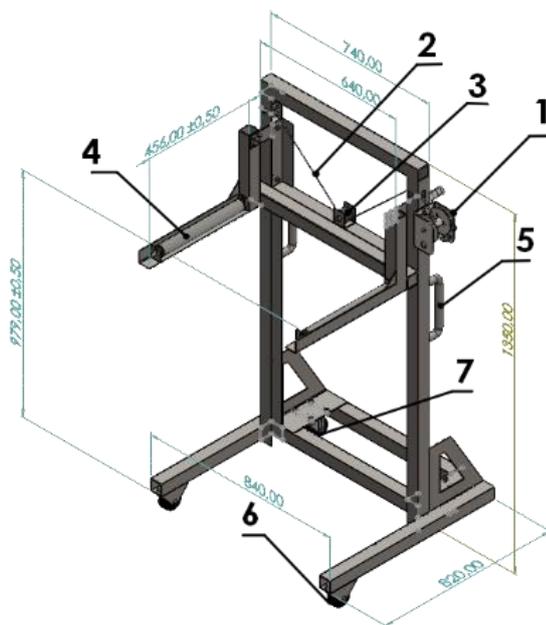
Observasi Lapangan & Perumusan Masalah	■				
Penemuan Solusi	■				
Penerapan Solusi	■				
Pengumpulan Data		■			
Pengolahan Data		■			
Perancangan Desain			■		
Validasi Rancangan			■		
Penulisan Tugas Akhir				■	
Revisi Penulisan					■

4	Roller Conveyor	2	Sebagai media untuk mengatur rotasi ban saat pemasangan
5	Grip	2	Sebagai pegangan untuk mengoperasikan alat
6	Roda Belakang	2	Untuk mempermudah pemindahan alat
7	Roda Depan	2	Untuk mempermudah pemindahan alat

IV. HASIL KAJIAN DAN PEMBAHASAN

1. GAMBARAN UMUM ALAT

Pada bagian ini akan membahas mengenai gambaran keadaan sebelum adanya *tire Lifter* dan gambaran rancangan *tire Lifter* setelah dilakukan analisis material dan simulasi alat.



Gambar IV. Gambaran Umum Alat

Tabel IV. Komponen Alat beserta Fungsi

No.	Nama Komponen	QTY	Fungsi
1	Kerekan Tangan (<i>Hand Winch</i>)	1	Sebagai pengangkat badan garpu
2	Tali Baja (Sling)	1	Media pengangkat badan garpu
3	Bearing U	2	Sebagai penunpu tali baja

2. PEMILIHAN MATERIAL

Pemilihan penggunaan material pada rangka *tire Lifter* di dasari oleh faktor-faktor pembandingan kemampuan material dalam menahan beban. Terdapat dua opsi material yang akan digunakan, yakni *ASTM A36* dan *Stainless steel*. Data perbandingan spesifikasi dari masing-masing material.

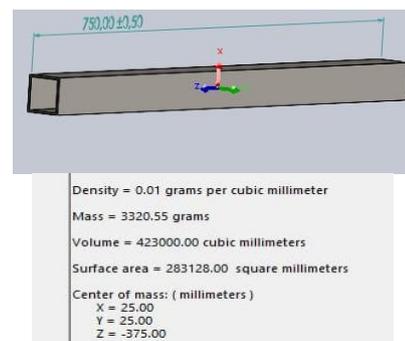
Tabel 2. Tabel *Material Properties*

ASTM A36			Stainless Steel		
Propert y	Value	Units	Propert y	Value	Units
Elastic modulu s	20000	<i>N/mm²</i>	Elastic modulu s	19600	<i>N/mm²</i>
Poisson Ratio	0.26	N/A	Poisson Ratio	0.28	N/A
Shear Modulu s	79300	<i>N/mm²</i>	Shear Modulu s	77600	<i>N/mm²</i>
Mass Density	7850	<i>kg/m³</i>	Mass Density	7790	<i>kg/m³</i>
Tensile Strengt h	400	<i>N/mm²</i>	Tensile Strengt h	940	<i>N/mm²</i>
Yield Strengt h	250	<i>N/mm²</i>	Yield Strengt h	1080	<i>N/mm²</i>

Sumber: (www. mattweb.com)

3. ANALISIS MATERIAL

A. Perhitungan Massa Aktual



Gambar V. Panjang Alas

Material ASTM A36 dan memiliki massa jenis sebesar 7.850 kg/m^3 .

$$V = 423.000 \text{ mm}^3$$

$$V = 0,000423 \text{ m}^3$$

Sehingga massa dari Kerangka no.1 dapat diketahui dengan Persamaan 5 berikut.

$$m = v \times \rho \dots\dots\dots (5)$$

$$m = 2 \times 7.850 \text{ kg/m}^3 \times 0,000423 \text{ m}^3$$

$$m = 6,64 \text{ kg}$$

Setelah diketahui massa, selanjutnya adalah mencari beban dari bagian kerangka tersebut dengan menggunakan Persamaan 6 berikut.

$$W = m \times g \dots\dots\dots (6)$$

$$W = 6,64 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 65,072 \text{ N}$$

Untuk mencari nilai komponen yang lain, masih menggunakan Persamaan 5 dan Persamaan 6 seperti sebelumnya. Seluruh perhitungan nilai komponen terdapat pada Tabel 6 berikut.

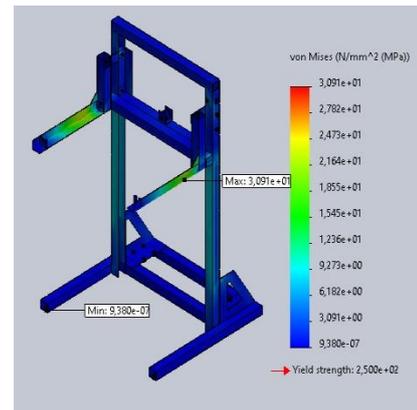
Tabel 3. Rincian Beban Keseluruhan

No	Nama Komponen	Volume (m ³)	Massa (kg)	Beban (N)
2	Lebar Alas	0,0004051	6,36	62,328
3	Tinggi Tiang	0,000617	9,68	94,864
4	Panjang Tiang	0,0004051	3,18	31,164
5	Grip	0,0000284	0,44	4,312
6	Garpu	0,00032	5,03	49,294
7	Penyangga Tiang	0,000208	3,27	32,046
8	Baut M10	0,00000367	0,3682	3,6
9	Mur M10	0,00000121	0,121	1,18
10	Baut M8	0,00000164	0,126	1,241
11	Mur M8	0,00000044	0,034	0,334
12	Rel	0,00175	13,776	135,012
13	Dudukan Bearing	0,0000187	0,1473	1,44
14	Katrol	0,0003831	3,007	29,4686
	Total Beban			481,355
				6

4. ANALISIS STATIK KERANGKA ALAT

Setelah didapatkan data perhitungan massa pada tahap sebelumnya penulis melanjutkan pengujian kekuatan rangka rangka dari *Lifter* menggunakan software *SolidWorks* 2020 sebagai alat bantu dalam simulasi pengujian. Tujuan dari analisa rangka untuk mengetahui apakah rangka yang dibuat sudah dikategorikan aman dan layak digunakan. Analisa untuk rangka *Lifter* menggunakan metode *Finite Element Method* sehingga dapat mengetahui nilai tegangan stress dan deformasi serta faktor keamanan dari rangka. Simulasi dilakukan dengan menggunakan hasil perhitungan massa pada rangka dan komponen sebagai acuan. Berikut simulasi pembebanan rangka *Lifter* dalam keadaan fork *Lifter* diangkat pada ketinggian maksimalnya yakni 980 mm dari kaki *Lifter*:

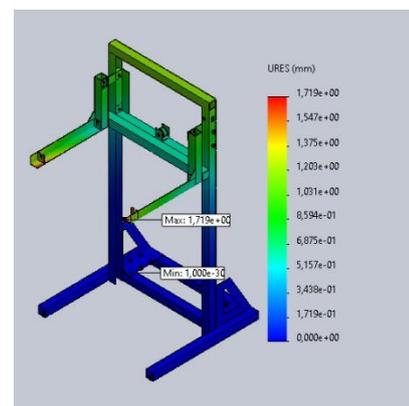
A. Von Mises Stress



Gambar VI. Von Mises Stress

Berdasarkan hasil, tegangan *von mises* yang dihasilkan untuk beban 40 kgf atau 392 N adalah sebesar 30,909 MPa. Tegangan *von mises* menunjukkan di bawah kekuatan luluh (*yield strength*) dari material ASTM A36, yaitu sebesar 250 MPa.

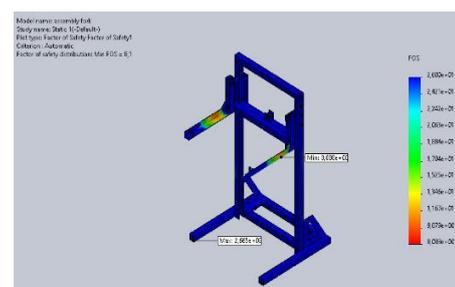
B. Deformasi



Gambar VII. Deformasi Alat

Berdasarkan hasil, deformasi atau *displacement* material yang terjadi terhadap beban 40 kgf, nilai deformasi maksimal pada rangka alat yakni sebesar 1,7 mm. Meskipun terjadi deformasi pada alat, rangka masih dinyatakan aman karena nilai *Factor of Safety* memenuhi batas minimum dari material yang digunakan.

C. Factor of Safety



Gambar VIII. Faktor Keamanan Alat

Dari hasil simulasi didapatkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) material ASTM A36 terhadap beban 40 kgf. Nilai faktor keamanan (*safety factor*) minimum pada beban 40 kgf atau 392 N adalah sebesar 8 dan maksimum 26. maka rangka *Tire Lifter* dinyatakan aman karena telah memenuhi nilai *safety factor* minimum untuk *live load* dan *steady load* pada Tabel 2, yakni 4 dan 8.

V. KESIMPULAN

1. Berdasarkan dari hasil analisis FEM (*Finite Element Method*) dengan software *SolidWorks* 2020, diperoleh hasil dari perancangan *Tire Lifter* menggunakan ASTM A36 *steel* memiliki total beban sebesar 481,3556 N atau 49,11 kg. Pada pembebanan 40 kg atau 392 N, struktur *Tire Lifter* memiliki nilai tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 30,909 MPa, nilai tegangan maksimum jauh dibawah kekuatan luluh (*yield strength*) dari material ASTM A36 yakni sebesar 250 Mpa dan memiliki nilai deformasi maksimum sebesar 1,7 mm. Nilai deformasi ini relatif cukup kecil dan aman. Untuk *Safety Factor* pada struktur rancangan *Tire Lifter* didapatkan hasil bahwa *Tire Lifter* layak untuk digunakan. Nilai faktor keamanan (*safety factor*) minimum pada beban 40 kgf atau 392 N adalah sebesar 8 dan maksimum 26. Rangka *Tire Lifter* dinyatakan sangat aman karena telah memenuhi nilai *safety factor* minimum untuk *live load* dan *steady load* dari material yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggry, A. (2021). *Kekuatan Bahan: Tegangan dan Regangan Pada Batang*. Bangka: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Arsada, R., 2020. *SolidWorks Book Training: Chapter 1*. Tangerang: TGM Innovation.
- A. Sasmito, "DISAIN KEKUATAN SAMBUNGAN HOOP PILLAR DAN FLOOR BEARER PADA STRUKTUR RANGKA BUS MENGGUNAKAN SOLIDWORKS", 2018.
- Azis, N., Pribadi, G., & Nurcahya, M., 2020. Analisa dan Perancangan Aplikasi Pembelajaran Bahasa Inggris Dasar Berbasis Android. *Ikraith-informatika*, 1-5.
- Kresna, R., & Ari, L., 2021. *Desain dan Analisis Tegangan Rangka Alat Simulasi Pergerakan Kendali Terbang*. Tangerang: PPI Curug.
- L. A. N. Wibawa, "Pengaruh Susunan Dan Jumlah Lubang Baut Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Untuk Pesawat Uav," *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, no. April, p. 46, 2019, doi: 10.36055/fwl.v00.4928.

Putra, D. R., Setijogiarto, N. E., & Sholeh, M., 2019, October. Perancangan Lifter dengan Kapasitas Angkat Maksimal 200 Kg. In *Seminar Nasional Teknik Mesin* (Vol. 9, No. 1, pp. 547-553).

Saefuloh, I., Rohmat, A., Lusiani, R., Jannah, M., Sunardi, S., & Setiawan, I. (2021). Pengaruh Variasi Kecepatan Pengadukan dengan Penambahan Perlakuan Panas Lapisan Electroless Ni-P terhadap Laju Korosi dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah ASTM A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 241-248.

Sularso dan Kiyokatsu Suga, 1991. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Jakarta. PT. Pradnya Paramita

Seshu, 2012. *TextBook Of Finite Element Analysis*. New Delhi: IIT Bombay.