

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS *HEAVY DUTY HAND TRUCK* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

*Stephen Owen Hizkia¹, Toni Prahasto², Djoeli Satrijo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: stephenowenhizkia10@gmail.com

Abstrak

Hand truck merupakan salah satu peralatan material *handling* yang digunakan untuk mengangkut dan memindahkan material dalam industri. Pada beberapa kasus dalam dunia industri, dibutuhkan *hand truck* dengan kapasitas pembebanan tinggi atau biasa disebut sebagai *heavy duty hand truck*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendesain dan menganalisis *hand truck* dengan kapasitas pembebanan terdistribusi sebesar 15 ton. Proses desain, simulasi, dan analisis pada penelitian ini menggunakan *software* Solidworks 2020 dan Ansys 2020 R1. Desain *hand truck* yang dirancang mengadopsi model *heavy duty hand truck* yang telah beredar di pasaran. Kemudian analisis statik dengan metode elemen hingga pada rangka *hand truck* dilakukan untuk memastikan struktur dan material yang digunakan mampu menahan pembebanan. Analisis statik menunjukkan nilai *deformation*, tegangan, regangan, dan *factor of safety* pada rangka *hand truck*. Dengan nilai *factor of safety* di atas 1, menunjukkan bahwa tegangan yang dialami pada rangka *hand truck* di bawah tegangan maksimal yang diizinkan material serta rangka *hand truck* mampu menahan target pembebanan. Setelah itu analisis kinematika dan dinamika sederhana menggunakan fitur *motion study* pada Solidworks dilakukan untuk memperlihatkan kondisi yang dialami antara roda dengan permukaan.

Kata kunci: desain; fem; *hand truck*; kinematika

Abstract

Hand truck is one of material handling equipment used to transport and move material in industry. Some cases in the industrial settings, *hand truck* with a high loading capacity or used to be called a *heavy duty hand truck* is needed. The purpose of this research is to design and analyze *hand truck* with a distributed loading capacity of 15 tons. The design, simulation and analysis processes in this study use Solidworks 2020 and Ansys 2020 R1 software. The *hand truck* is designed to adopt the *heavy duty hand truck* model that has been circulating in the market. Then a static analysis using the finite element method on the *hand truck* frame is carried out to ensure that the structure and materials used are able to withstand loading. Static analysis shows the value of *deformation*, stress, strain, and *factor of safety* on the *hand truck* frame. With a *factor of safety* value above 1, it shows that the stress experienced on the *hand truck* frame is below the maximum stress allowed by the material and the *hand truck* frame is able to withstand the target loading. After that, a simple kinematics and dynamics analysis using the *motion study* in the Solidworks was carried out to show the conditions experienced between wheels and surface.

Keywords: Design; FEM; *hand truck*; kinematic

1. Pendahuluan

Material *handling* merupakan salah satu hal penting dalam industri manufaktur. *Industrial vehicle / trucks* merupakan tipe material *handling* paling umum yang digunakan di dunia industri dalam mendistribusikan barang di gudang, toko, transportasi, dan lainnya [10]. Pada beberapa kasus dibutuhkan *hand truck* dengan kapasitas pembebanan tinggi atau disebut *heavy duty hand truck*. Perancangan *hand truck* dengan kapasitas beban tinggi harus diuji dengan teliti untuk memastikan keandalan, kekuatan, dan keamanan alat sebelum digunakan.

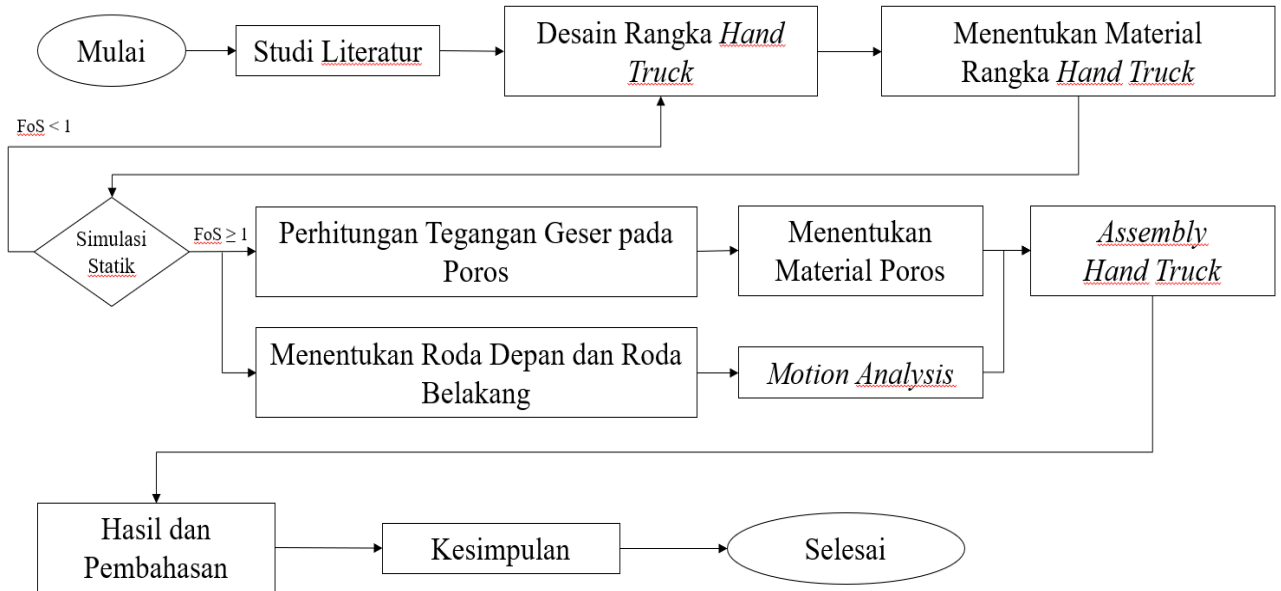
Dari latar belakang yang ada muncul 2 rumusan masalah yaitu mengenai struktur dan material yang digunakan dalam perancangan *hand truck* untuk kapasitas beban 15 ton serta hasil analisis statik berupa nilai tegangan maksimum, defleksi, regangan, dan faktor keamanan pada desain rangka *hand truck*. Dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain rangka *hand truck* dengan kapasitas beban terdistribusi 15 ton dengan *factor of safety* lebih dari satu serta mengetahui nilai tegangan maksimum, defleksi maksimum, dan faktor keamanan rangka.

Pada penelitian James Mc Pherson [9] mengenai perancangan *stair climbing hand truck*, proses perancangan dimulai dengan pembuatan konsep *hand truck* lalu pemodelan 3D CAD untuk mempermudah proses manufaktur. Ketika

konsep dan pemodelan CAD telah selesai, setiap tumpuan dan komponen kritis dihitung dan dianalisis untuk menentukan material yang sesuai agar dapat menahan beban yang diinginkan. Mafokwane, dkk [7] pada penelitiannya mengenai *heavy duty handling system* menggunakan material dengan *ultimate tensile stress* yang tinggi pada rangka agar dapat menahan pembebanan berat. Rangka kemudian dianalisis melalui perhitungan pembebanan dan momen bending sederhana lalu dilakukan simulasi statik menggunakan *software* untuk memastikan rangka dapat menahan beban yang diinginkan. Analisis dinamik juga dilakukan untuk mengetahui kondisi roda dengan permukaan jalan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

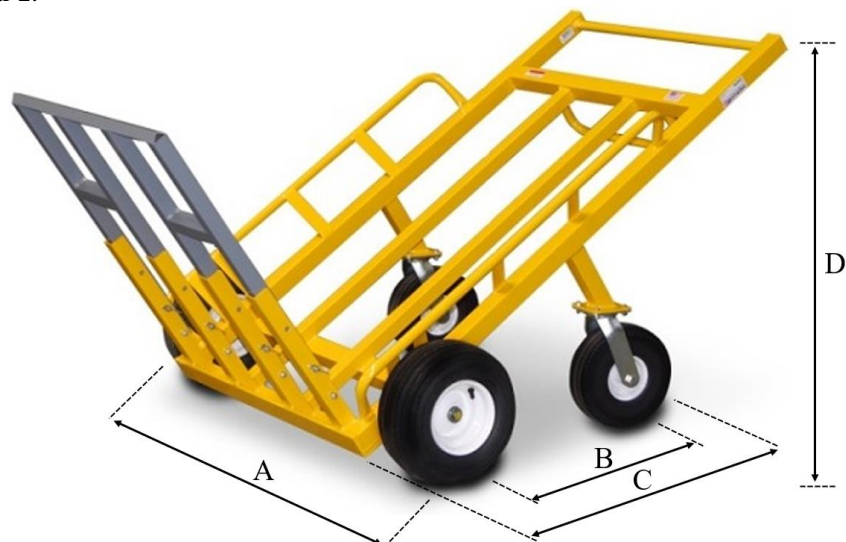


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Desain Hand Truck

2.2.1 Model Acuan Hand Truck

Proses perancangan hand truck kali ini mengacu pada penelitian James McPherson [9] dengan judul penelitian “*Stair Climbing Hand Truck*”. Model *hand truck* mengadopsi model serupa yang sudah ada di pasaran. Model yang diadopsi pada perancangan ini diambil dari salah satu produk *heavy duty hand truck* milik Handtruck2go [6] seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Acuan

Keterangan :

- A = Lebar *hand truck*
- B = Jarak sumbu roda
- C = Panjang *hand truck*
- D = Tinggi *hand truck*

Dari model acuan pada gambar 2, *hand truck* dirancang dengan spesifikasi yang tertera pada tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Spesifikasi *Hand Truck*

Spesifikasi	
Model	<i>Heavy Duty Hand Truck</i>
Kapasitas Beban	15.000 kg
Panjang	1445 mm
Lebar	1770 mm
Tinggi	1319 mm
Jarak sumbu roda	700 mm

2.2.2 Material Rangka *Hand Truck*

Hand truck dirancang dengan menggunakan beberapa profil material yaitu besi *hollow low carbon steel*, besi silinder atau *round bar S45C*, UNP, gusset, dan *stainless steel plate*. Tabel 2 hingga tabel 5 menunjukkan properties untuk material tersebut.

Tabel 2. Material Properties *Low Carbon Steel*

Material Properties	
Densitas	$7,85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Modulus Elastisitas	210.000 MPa
<i>Shear Modulus</i>	81.395 MPa
<i>Poisson Ratio</i>	0,29
<i>Tensile Strength</i>	365 MPa
<i>Yield Strength</i>	233 MPa

Tabel 3. Material Properties *Stainless Steel 304*

Material Properties	
Densitas	$7,954 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
<i>Tensile Strength</i>	562,3 MPa
<i>Yield Strength</i>	252,1 MPa

Tabel 4. Material Properties *S45C*

Material Properties	
Densitas	$7,85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Modulus Elastisitas	205.000 MPa
<i>Shear Modulus</i>	79.457 MPa
<i>Poisson Ratio</i>	0,29
<i>Tensile Strength</i>	686 MPa
<i>Yield Strength</i>	490 MPa

Tabel 5. Material Properties *Structural Steel*

Material Properties	
Densitas	$7,85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Modulus Elastisitas	200.000 MPa
<i>Shear Modulus</i>	76.923 MPa
<i>Poisson Ratio</i>	0,3
<i>Tensile Strength</i>	460 MPa
<i>Yield Strength</i>	250 MPa

2.3 Simulasi Statik

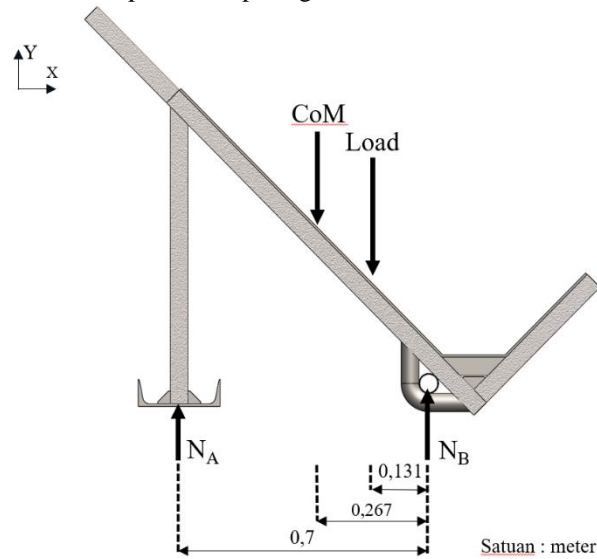
Tahapan simulasi statik diawali dengan *input* geometri, material, kondisi batas, *meshing*, kemudian *post processing*. Pada simulasi kali ini, *mesh metric skewness* digunakan dalam mengukur kualitas *mesh* pada geometri dan beban yang diberikan. Gambar 3 menunjukkan ukuran kualitas *mesh* berdasarkan nilai *skewness*.

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Gambar 3. Skewness Mesh Metric Spectrum [1]

2.4 Pemodelan Matematika Rangka Hand Truck

Nilai pembebanan pada roda didapat dari perhitungan gaya-gaya pada rangka *hand truck*. Diagram benda bebas pada tampak samping rangka *hand truck* dapat dilihat pada gambar 4 di bawah.



Gambar 4. Diagram Benda Bebas Rangka *Hand Truck*

Keterangan :

N_A = Gaya normal tumpuan bagian belakang rangka

N_B = Gaya normal tumpuan bagian depan rangka

CoM = *Center of Mass* atau massa rangka *hand truck* (262 kg)

Load = Pembebanan (15.000 kg)

Dari diagram benda bebas pada gambar 4, pembebanan pada roda depan dan belakang diperhitungkan menggunakan perhitungan di bawah ini.

A. Perhitungan Beban pada Roda Belakang (N_A)

$$\sum F_x = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2.2)$$

$$N_A + N_B = \text{Mass} + \text{Load}$$

$$N_A + N_B = (262 \times 9,81) + (15.000 \times 9,81)$$

$$N_A + N_B = 149,72 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = 0 \quad (2.3)$$

$$N_A \times 0,7 = (\text{Mass} \times 0,267) + (\text{Load} \times 0,131)$$

$$N_A = 28,52 \text{ kN}$$

$$F_A = \frac{N_A \times \text{FoS}}{2 \times g} = \frac{28,52 \times 1}{2 \times 9,81} = 1,45 \text{ ton} \times \frac{2.204,62 \text{ lbs}}{1 \text{ ton}} = 3196,7 \text{ lbs}$$

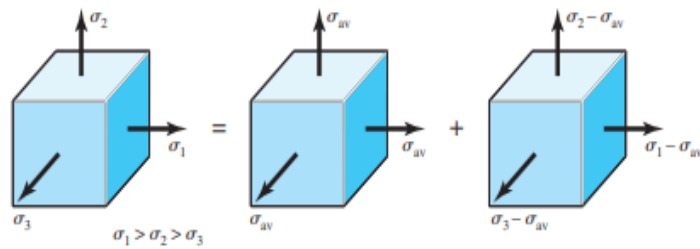
B. Perhitungan Beban pada Roda Depan (N_B)

$$N_A + N_B = 149,72 \text{ kN}$$

$$N_B = 121,2 \text{ kN}$$

$$F_B = \frac{N_B \times \text{FoS}}{2 \times g} = \frac{121,2 \times 1}{2 \times 9,81} = 6,18 \text{ ton} \times \frac{2.204,62 \text{ lbs}}{1 \text{ ton}} = 13.624,5 \text{ lbs}$$

Dari perhitungan di atas didapat beban minimum untuk roda belakang sebesar 3.196,7 lbs dan beban minimum untuk roda belakang sebesar 13.624,5 lbs. Perhitungan gaya pada *frame* atau rangka *hand truck* menggunakan konsep *body rigid motion* dan teori kegagalan Von Mises yang dapat diilustrasikan seperti gambar 5 di bawah.

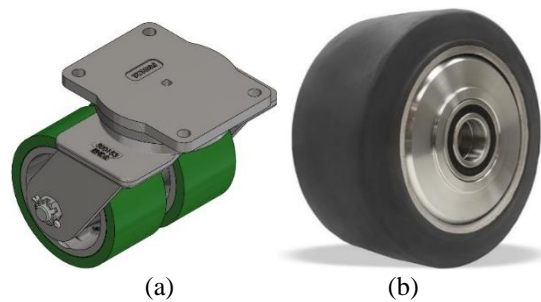


Gambar 5. Ilustrasi Tegangan Von Mises [3]

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan Roda *Hand Truck*

Berdasarkan perhitungan pada sub-bab 2.4, beban minimum pada roda belakang sebesar 3.196,7 lbs dan roda depan sebesar 13.624,5 lbs. Maka dari itu, oda belakang menggunakan *caster wheel* dari Hamilton dengan tipe S-EHD2-63DB sedangkan ban depan menggunakan roda dari Hamilton dengan tipe W-2214-PORB-2. Roda *hand truck* dapat dilihat pada gambar 6.

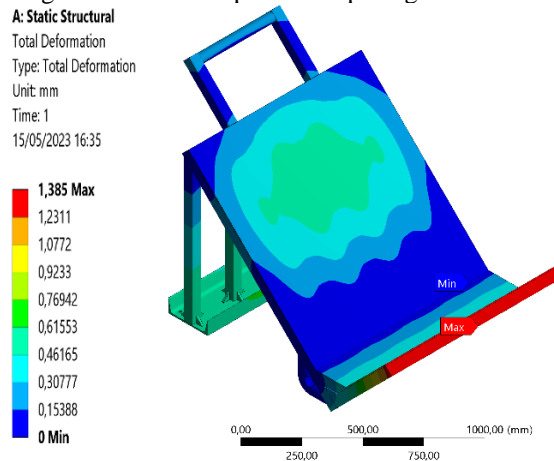


Gambar 6. Roda *Hand Truck* (a) Roda Belakang [4] (b) Roda Depan [5]

3.2 Hasil Perancangan *Assembly Hand Truck*

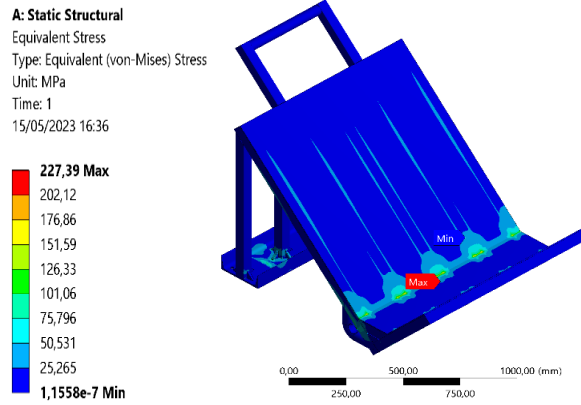
3.3 Hasil Analisis Statik

Simulasi statik ini menghasilkan 4 kontur plot yaitu *deformation*, *von mises stress*, *strain*, dan *factor of safety*. Kontur plot *deformation* seluruh rangka *hand truck* dapat dilihat pada gambar 7.



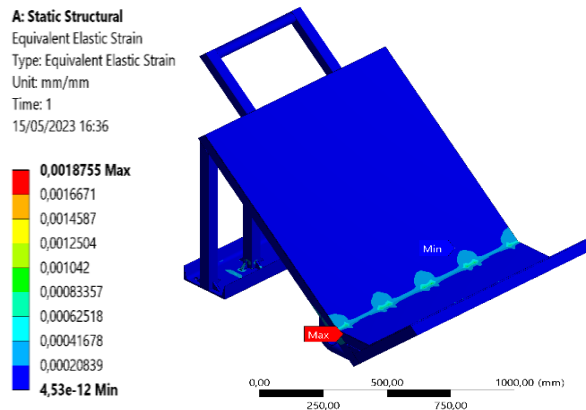
Gambar 7. Kontur Plot *Deformation*

Pada kontur plot defleksi di atas dapat dilihat nilai defleksi maksimal ada pada bagian depan rangka sebesar 1,385 mm dan nilai defleksi minimal ada pada penopang poros roda depan. Kemudian untuk kontur plot *von mises stress* dapat dilihat pada gambar 8.



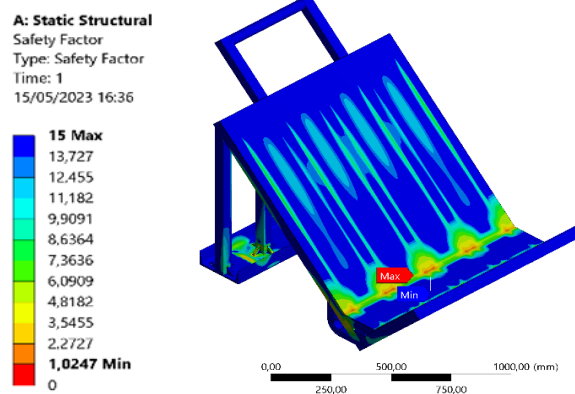
Gambar 8. Kontur Plot *Von Mises Stress*

Pada kontur plot di atas dapat dilihat nilai tegangan maksimal ada pada bagian kontak antara penopang poros roda depan dengan rangka *hollow* sebesar 227,39 MPa dan tegangan minimum pada bagian rangka berwarna biru sebesar $1,1558 \times 10^{-7}$. Nilai tegangan ini akan digunakan dalam analisis nilai *factor of safety*. Lalu kontur plot untuk regangan dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Kontur Plot Regangan

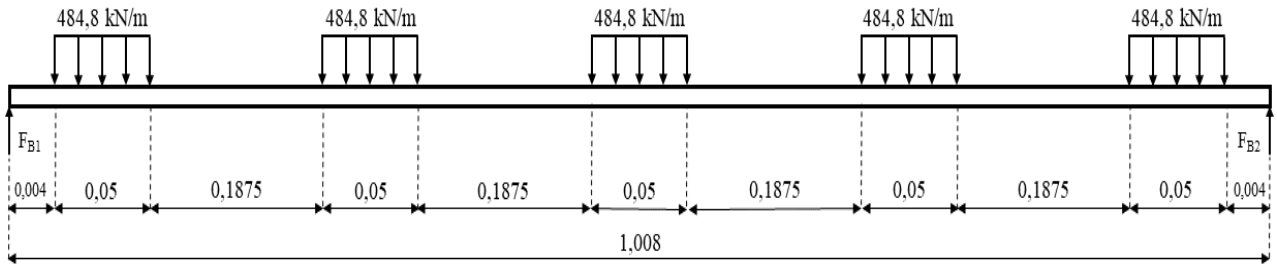
Pada kontur plot regangan di atas dapat dilihat nilai regangan maksimal ada pada bagian kontak antara penopang poros roda depan dengan rangka *hollow* sebesar 0,0018755 dan regangan minimum ada pada bagian rangka yang berwarna biru tua sebesar $4,53 \times 10^{-12}$. Kemudian untuk kontur plot *factor of safety* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Kontur Plot *Factor of Safety*

Pada kontur plot di atas dapat dilihat nilai *factor of safety* pada rangka telah di atas 1 yang berarti rangka dapat menahan pembebanan 15.000 kg. Nilai *factor of safety* minimum ada pada bagian kontak antara penopang poros roda depan dengan rangka *hollow* sebesar 1,0247.

Dengan nilai *factor of safety* di atas satu, maka tegangan yang terjadi pada rangka *hand truck* berada di bawah tegangan minimum yang diizinkan. Berdasarkan penelitian Baumli, S. F. E. [2] dan Manasa, P., & Reddy, C. V. B. [8], ketika tegangan yang terjadi berada di bawah tegangan minimum yang diizinkan oleh material, maka komponen tersebut dapat dinyatakan aman.



Gambar 11. Diagram Benda Bebas Poros

Dari gambar 11 dapat kita hitung tegangan geser dan momen lentur maksimal pada poros sebagai berikut.

$$\tau_{\max} = \frac{4 \times 60,6 \text{ kN}}{3 \times \pi \times 0,0254 \text{ m}^2} = 39,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \times y}{I} = \frac{M_{\max} \times y}{\frac{\pi \times r^4}{4}} = \frac{13,12 \text{ kNm} \times 25,4 \times 10^{-3} \text{ m}}{\frac{\pi}{4} \times (25,4 \times 10^{-3} \text{ m})^4} = 1.019 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan di atas, material yang digunakan yaitu AISI – SAE 1045 atau JIS G4051 *grade* S45C dengan kekuatan luluh (σ_y) sebesar 1.074 MPa [11]. Berikut perhitungan dengan teori kegagalan DE-Soderberg pada poros.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_y} [4(K_f M_a)^2]^{1/2} \right\}$$

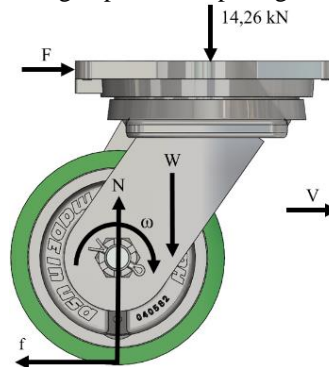
$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_y} [4(K_f M_a)^2]^{1/2} \right\}$$

$$n = 1,3$$

Dengan nilai *factor of safety* teori kegagalan DE-Soderberg di atas 1 menandakan shaft telah aman digunakan pada desain.

3.4 Hasil Analisis Kinematik dan Dinamik

Diagram benda bebas pada roda belakang dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Diagram Benda Bebas *Caster Wheel*

$$V_t = V_o + (a \times t) \tag{2.4}$$

$$a = \frac{1 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = 0,2 \text{ m/s}^2$$

$$\sum \tau = I \alpha \tag{2.5}$$

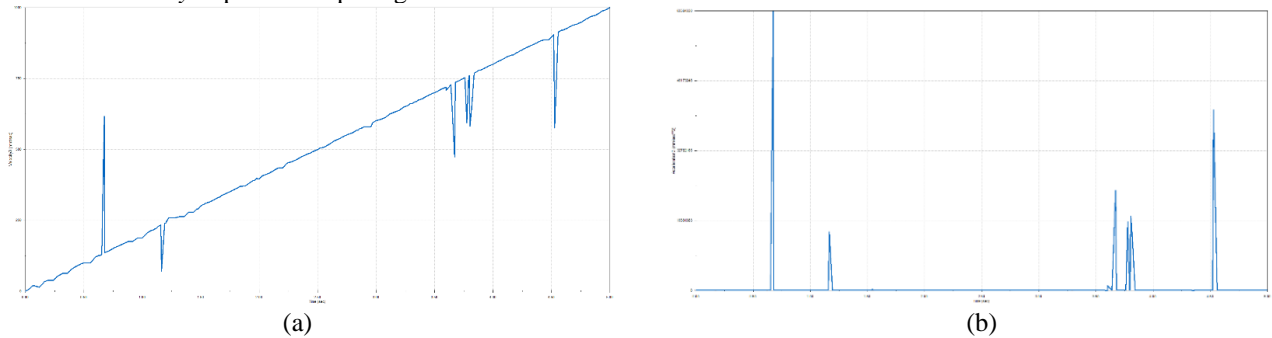
$$\alpha = \frac{a}{r} \tag{2.6}$$

$$I = \frac{1}{2} m r^2 \tag{2.7}$$

$$f \times r = \frac{1}{2} m r^2 \left(\frac{a}{r} \right) \tag{2.8}$$

Dari persamaan 2.8 didapatkan percepatan linear roda dipengaruhi oleh koefisien gesek antara roda dengan lantai, gaya gravitasi, dan jari-jari roda. Analisis pada roda belakang dilanjutkan dengan *motion study* menggunakan *software* Solidworks. Simulasi dilakukan dari keadaan diam hingga kecepatan linear 1 m/s selama 5 detik. Pembebanan sebesar 14,26 kN dan asumsi koefisien gesek statis antara roda dengan lantai sebesar 0,61 dan koefisien gesek kinetik

0,38. Hasil dari simulasi berupa grafik antara kecepatan linear dengan waktu dan grafik percepatan dengan waktu. Grafik hasil *motion study* dapat dilihat pada gambar 13 di bawah.



Gambar 13. Hasil *Motion Study* (a) Grafik Kecepatan-Waktu (b) Grafik Percepatan-Waktu

didapatkan rata-rata percepatan roda selama 5 detik sebesar $0,213 \text{ m/s}^2$. Hasil perhitungan percepatan pada simulasi sedikit berbeda dengan perhitungan manual karena adanya beberapa *error* pada simulasi, namun hasil perhitungan sudah mendekati.

4. Kesimpulan

Seluruh komponen pada perancangan *hand truck* menggunakan material yang ada di pasaran. Beban minimum untuk roda belakang sebesar 1,45 ton (3.196,7 lbs) dan beban minimum untuk roda depan sebesar 6,18 ton (13.624,5 lbs). Dengan begitu, roda belakang menggunakan *caster wheel* dari Hamilton dengan tipe S-EHD2-63DB dengan kapasitas beban minimum 3.900 lbs, dan ban depan menggunakan roda dari Hamilton dengan tipe W-2214-PORB-2 dengan kapasitas beban minimum 13.700 lbs. Material yang digunakan untuk poros yaitu AISI – SAE 1045 atau JIS G4051 grade S45C dengan kekuatan luluh (σ_y) sebesar 1.074 MPa. Berdasarkan hasil simulasi analisis statik, rangka *hand truck* memiliki tegangan Von Mises maksimal sebesar 227,39 MPa dan *factor of safety* minimal sebesar 1,0247. Dengan nilai *factor of safety* yang di atas satu, menandakan tegangan pada rangka *hand truck* lebih kecil dari pada tegangan minimum yang diizinkan material, maka *hand truck* dapat menahan pembebanan terdistribusi sebesar 15 ton.

5. Daftar Pustaka

- [1] Ansys Learning Forum, “What is the source of mesh quality spectrum?”, <https://forum.ansys.com/forums/topic/what-is-the-source-of-mesh-quality-spectrum/>, diakses : 15 Juni 2023.
- [2] Baumli, S. F. E., 2021, “Design Study of LBNF APA Trolley with connected saddle”, No. CERN-STUDENTS-Note-2021-054.
- [3] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K., 2014, “Shigley’s mechanical engineering design (10th ed.)” New York: McGraw-Hill.
- [4] Hamilton, “S-EHD2-63DB” <https://www.hamiltoncaster.com/Casters/Heavy-Duty-Dual-Wheel/Extra-Heavy-Duty-Dual-Wheel-Casters/EHD2-Part-Details/PartID/S-EHD2-63db>, diakses pada 15 Juni 2023.
- [5] Hamilton, “W-2214-PORB-2”, <https://www.hamiltoncaster.com/Wheels/Super-Duty-Press-On-Wheels/TerraTech-Black-Rubber-Wheels/PRESSONRBWHL-Part-Details/PartID/W-2214-PORB-2>, diakses 15 Juni 2023.
- [6] Handtruck2go, “Monster Mover All Terrain Hand Truck”, <https://handtrucks2go.com/Monster-Mover-All-Terrain-Hand-Truck.html>, diakses pada 28 Maret 2023.
- [7] Mafokwane, S. Z., Kallon, D. V. V., Nkosi, M., & Chiromo, F., 2019, “Design of a tri-adjustable automated heavy-duty handling system based on Industry 4.0 principles”, *Procedia Manufacturing*, 35, 187-196.
- [8] Manasa, P., & Reddy, C. V. B., 2013, “Modeling and analysis of tractor trolley axle using ANSYS”, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 6(5), 88-92.
- [9] McPherson, James, 2019, “Stair Climbing Hand Truck”, All Undergraduate Projects. 92
- [10] Ray, Siddhartha., 2008, “Introduction to Materials Handling”, New Age International Publishers.
- [11] Sarjono, K., 2012, “Pengaruh Hardening Pada Baja Jis G 4051 Grade S45c Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro”, *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 11(2).