

## Kekuatan Statik Rangka Mesin Alat Penyortir Barang Menggunakan Software Solidworks

**Abdul Muchlis**

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma  
Email: [muchlis07@staff.gunadarma.ac.id](mailto:muchlis07@staff.gunadarma.ac.id)

**Achmad Risa Harfit**

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma  
Email: [arharfit@staff.gunadarma.ac.id](mailto:arharfit@staff.gunadarma.ac.id)

Korespondensi penulis: [muchlis07@staff.gunadarma.ac.id](mailto:muchlis07@staff.gunadarma.ac.id)

**Abstract:** *The use of automation systems is needed in sorting, one of which is the sorting of objects based on the size of the object being sorted. Especially in the sorting process, there are still many industries that use conveyors that only function for one product with the same weight characteristics. Therefore, to sort the same goods with different weights, a separate conveyor is needed so that many conveyors are used. The development of a sorting machine is an important aspect in the modern automation and manufacturing industry. This research aims to design and analyze the static loading of the sorting machine frame using SOLIDWORKS software. The design method used includes detailed 3D modeling of the machine frame by considering the strength, stability and reliability of the structure. The simulation results using SOLIDWORKS software show the stress (von Mises) with a maximum value of 82.26 MPa, while the theoretical calculation result is 84 MPa. Displacement with a maximum value of 4.063 mm, while the theoretical calculation result is 1.60 mm. The safety factor is 2.38, while the theoretical calculation result is 2.43. The difference between manual calculation and simulation is 0.02% for von Mises stress, 1.5% for displacement, and 0.02% for safety factor.*

**Keywords:** *Sorting, Freight Sorter Frame, Von misses, Displacement, Safety Factor*

**Abstrak:** Penggunaan sistem otomatisasi sangat dibutuhkan dalam penyortiran, salah satunya adalah penyortiran benda yang berdasarkan dari ukuran objek benda yang disortir. Khususnya dalam proses penyortiran, masih banyak industri yang menggunakan konveyor yang hanya berfungsi untuk satu produk dengan karakteristik berat yang sama. Oleh karena itu, untuk menyortir barang yang sama dengan berat yang berbeda, dibutuhkan konveyor tersendiri sehingga banyak konveyor yang digunakan. Pengembangan mesin alat penyortir barang merupakan aspek penting dalam industri otomatisasi dan manufaktur modern. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis pembebanan statik pada rangka mesin alat penyortir barang menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS. Metode desain yang digunakan mencakup pemodelan 3D detail rangka mesin dengan mempertimbangkan kekuatan, kestabilan, dan keandalan struktur. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS menunjukkan tegangan (von Mises) dengan nilai maksimum sebesar 82,26 MPa, sedangkan hasil perhitungan teoritis sebesar 84 MPa. Displacement dengan nilai maksimum sebesar 4,063 mm, sedangkan hasil perhitungan teoritis sebesar 1,60 mm. Faktor keamanan sebesar 2,38, sedangkan hasil perhitungan teoritis sebesar 2,43. Selisih antara perhitungan manual dan simulasi adalah 0,02% untuk tegangan von Mises, 1,5% untuk displacement, dan 0,02% untuk faktor keamanan.

**Kata kunci:** Penyortiran, Rangka Alat Penyortir Barang, Von misses, Displacement, Safety Factor

### LATAR BELAKANG

Perkembangan ilmu teknologi dan informasi yang semakin pesat pada saat ini, menyebabkan beberapa industri menerapkan sistem otomasi untuk meningkatkan dan mengetahui informasi hasil produksi. Dengan penggunaan sistem otomasi, industri dapat meningkatkan dan memperkirakan hasil produksi yang akan dicapai. Akan tetapi penerapan sistem kontrol pada industri masih menggunakan cara yang konvensional, sehingga banyak membutuhkan tenaga manusia. Khususnya proses penyortiran, masih banyak industri yang

Received: Juni 05, 2024; Accepted: Juli 01, 2024; Published: Agustus 31, 2024

\* Abdul Muchlis, [muchlis07@staff.gunadarma.ac.id](mailto:muchlis07@staff.gunadarma.ac.id)

menggunakan konveyor yang berfungsi hanya untuk satu produk dengan karakteristik berat yang sama, sehingga untuk penyortiran barang yang sama dengan berat yang berbeda dibutuhkan konveyor tersendiri sehingga banyak konveyor yang digunakan. Hal tersebut sangat tidak efisien.

Pengembangan teknologi sangat dibutuhkan untuk menangani penyortiran barang yaitu dengan cara merancang alat penyortiran barang dimana sistem konveyor untuk proses penyortiran barang dengan berat yang bermacam macam beserta monitoring yang dapat memantau kinerja dari sistem tersebut. Salah satu bagian penting dari alat penyortiran barang adalah rangka. Rangka berfungsi sebagai tempat menempelnya komponen seperti mesin dan perlengkapan. Agar rangka aman untuk digunakan harus dilakukan perhitungan terhadap beban yang akan dikenakan rangka. Proses pemilihan material akan mempengaruhi kekuatan dari rangka. Proses perhitungan dan pemilihan material yang salah akan berakibat rangka tidak dapat menahan beban yang ada. Hal tersebut diperlukan karena beban pada alat penyortiran barang cukup besar.

Oleh karena itu, dengan analisisnya Von Mises Stress, Displacement dan Safety Of Factor pada rangka penyortiran barang ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan statis pada rangka tersebut dan mengetahui kuat atau tidaknya material yang digunakan untuk menopang komponen – komponen didalamnya agar tidak terjadi kesalahan fatal yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja pada saat mesin dioperasikan. Maka dari itu dipilih dan proses perancangan rangka sedemikian mungkin menggunakan material serta perancangan design yang akan digunakan.

## **KAJIAN TEORITIS**

### **Alat Penyortir Barang**

Alat penyortir barang adalah sebuah alat yang digunakan untuk penyortiran sebuah barang pada suatu industri. Di dalam dunia industri dibutuhkan alat penyortiran yang otomatis, cepat, serta presisi dalam pendistribusian suatu barang. cara kerja alat penyortir barang berdasarkan warna pada konveyor, dimana barang yang akan disortir yaitu barang yang berwarna merah dan biru. Barang yang di input untuk disortir akan terdeteksi warnanya melalui kamera, setelah itu akan diolah dalam sebuah single board computer (SBC). Kemudian barang yang telah diolah tersebut yang disortir berdasarkan warna merah serta melalui jalur distribusi 1, sementara barang yang berwarna biru akan disalurkan menuju jalur distribusi 2, dan jalur distribusi 3 digunakan untuk barang yang berwarna selain merah dan biru. Sistem ini memiliki input berupa barang yang berwarna dan kemudian dideteksi melalui sensor kamera yaitu dengan menggunakan kamera raspberry. Deteksi warna akan diolah dalam sebuah single

board computer yaitu raspberry-pi. Pengolahan data pada single board computer dalam bentuk bahasa pemrograman python, yang didalamnya terdapat skrip untuk membedakan warna yang akan disortir. Ketika barang yang sudah terdeteksi tersebut didalam skrip tersebut akan menggerakkan motor dc selaku aktuator yang akan mendorong sesuai jalur distribusi. Single board computer mempunyai peran yang sangat penting antara lain menghubungkan program dengan output berupa pergerakan motor dc. Single board computer mengeksekusi peran tersebut melalui script program yang telah dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman python.

### **Rangka**

Rangka adalah struktur datar yang terdiri dari sejumlah batang-batang yang disambungkan satu dengan lain pada ujungnya dengan pen-*pen* luar atau las, sehingga membentuk suatu rangka kokoh, gaya luar serta reaksinya dianggap terletak di bidang yang sama dan hanya bekerja pada tempat-tempat pen. Fungsi dari frame atau rangka adalah sebagai tempat menempelnya komponen seperti mesin dan perlengkapan kelistrikan, menahan goncangan, melindungi komponen-komponen sensitif saat terjadi benturan.

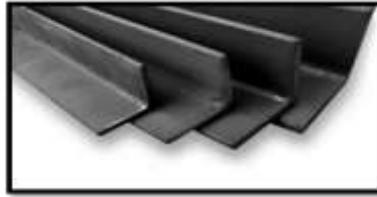


**Gambar 1.** Rangka

### **Besi Siku**

Besi siku ialah batang besi berpenampang sudut membentuk 90 derajat atau siku-siku dan termasuk salah satu material penting dalam industri konstruksi. Sekarang ini, penggunaan besi siku semakin meningkat seiring berjalannya pembangunan. Tanpa di sadari, besi siku sering ditemukan di sekitar tempat tinggal. Mulai dari rumah tempat tinggal, bangunan komersial, kawasan industri, hingga lanskap perkotaan akan selalu bersentuhan dengan benda satu ini. Besi siku terbuat dari material logam besi dan secara lebih spesifik lebih dikenal dengan bar siku (angle bar) maupun L-Bracket yang terbuat dari plat besi yang ditambahkan lapisan anti karat. Besi siku ini diproduksi dengan panjang sesuai SNI (Standar Nasional Indonesia) yaitu 6 meter. Namun untuk lebarnya mempunyai ukuran yang bervariasi mulai dari 2cm, 3cm, 4cm dan juga 5 cm. Ketebalannya berada pada kisaran 1,4 mm hingga 3,4 mm, berbeda-beda tergantung pada ukuran tiap penampang yang ada. Misalnya, besi siku dengan ukuran penampang 40 x 40 mm akan mempunyai beberapa ketebalan seperti 3,4 mm, 3,2 mm, 2,4 mm, dan 2,2 mm Besi siku tergolong cukup kokoh jika dimanfaatkan untuk berbagai

macam konstruksi umum. Dari segi daya tahan, besi siku juga relatif tahan lama, tahan terhadap karat dan anti rayap. Namun perlu diperhatikan untuk konstruksi berat material ini kurang mendukung.



Gambar 2. Besi Siku

### Jenis Material

Metode galvanized pertama kali diperkenalkan sekaligus dipatenkan di Paris pada 1837 oleh sebuah perusahaan perajinan bahan besi Stanislas Sorel. Galvanized sebenarnya adalah sebuah metode pelapisan besi. Galvanizing adalah proses pelapisan besi dan baja menggunakan seng cair. Fungsi lapisan seng ini pada besi sangatlah penting, yaitu melindungi besi dari polutan yang mengakibatkan karat. Biasanya lapisan ini akan membiarkan diri mereka berkarat dulu sampai habis, sebelum akhirnya proses karat pada besi yang dilapisi dimulai. Hal tersebut tentu saja membuat umur besi semakin tahan lama. Saat ini untuk melakukan metode galvanisasi, orang tidak menggunakan seng saja. Finishing pelapisan biasanya terdiri dari 97% Zinc (seng), 1% Aluminium dan 2% sisanya bahan lain. Tujuannya pun sama, agar besi tidak mudah berkarat baik karena panas ataupun hujan.

Tabel 1. Spesifikasi Material Galvanized Steel

Property	Value
Elastic Modulus	$2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
Poisson's Ratio	0.29
Shear Modulus	$80 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
Mass Density	$7870 \text{ kg/m}^3$
Tensile Strength	$35.6 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Compressive strength	$\text{N/m}^2$
Yield Strength	$20.3 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Thermal Expansion Coefficient	/K
Thermal Conductivity	$52.0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Specific Heat	$0.470 \text{ J/(g}\cdot\text{C)}$

### Solidworks

Solidworks adalah salah satu CAD software yang dibuat oleh Dassault Systemes. Software Solidworks digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part-nya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan. Solidworks pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai pesaing untuk program CAD seperti Pro-Engineer, NX Siemens, I-Deas, Unigraphics, Autodesk Inventor, Autodeks Autocad dan Catia. Solidworks Corporation didirikan pada tahun 1993 oleh Jon Hirschtick, dengan merekrut tim insinyur profesional untuk membangun sebuah perusahaan yang mengembangkan perangkat lunak CAD 3D, dengan kantor pusatnya di Concord,

Massachusetts, dan merilis produk pertama Solidworks 95 pada tahun 1995. Pada tahun 1997 Dassault Systemes, yang terdapat pada Cad software dikenal dengan Catia Cad software, mengakusisi perusahaan dan sekarang ini memiliki 100% dari saham Solidworks. Solidworks dipimpin oleh John Mc.Eleney dari tahun 2001 hingga Juli 2007, dan sekarang dipimpin oleh Jeff Ray. menurut informasi WIKI Saat ini banyak industri manufaktur yang sudah memakai software Solidworks.

Solidworks saat ini digunakan oleh lebih dari 3/4 juta insinyur dan desainer di lebih dari 80.000 perusahaan di seluruh dunia. Dahulu di Indonesia orang familiar dengan Autocad untuk desain perancangan gambar teknik, tapi sekarang dengan mengenal Solidworks, Autocad sudah jarang digunakan untuk menggambar bentuk 3D. Untuk pemodelan pada industri pengecoran logam dalam hal pembuatan pattern (pola/model), program 3D yang terdapat pada software Solidworks sangat membantu dalam pekerjaan, sebab akan memudahkan operator pattern untuk menterjemahkan gambar menjadi pattern/model casting pengecoran logam dan tentunya akan mengurangi kesalahan pembacaan gambar yang bisa mengakibatkan kesalahan pada produk yang dihasilkan.

### **Perhitungan Mekanika Kekuatan**

Salah satu masalah utama mekanika bahan ialah menyelidiki tahanan dalam dari sebuah benda, yaitu hakekat gaya-gaya yang ada di dalam suatu benda yang mengimbangi gaya-gaya luar terpakai sehingga gaya pembebanan dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$F = m \times g$$

Dimana:

- F : Gaya (Newton)
- m : Massa Benda (Kg)
- g : Gaya Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### **Faktor Keamanan**

Penentuan tegangan tidak akan berarti tanpa melakukan pengujian fisis bahan yang memberikan keterangan mengenai ketahanan suatu bahan terhadap tegangan. Untuk desain bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan izin (allowable stress) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan ultimat yang diperoleh dari yang disebut pengujian "statis" tersebut. Ini penting untuk beberapa pertimbangan. Persamaan faktor keamanan sebagai berikut:

$$\text{Faktor keamanan} = \frac{\text{Tegangan Luluh}}{\text{Tegangan Von miss max}}$$

## Momen Inersia

Langkah pertama untuk mengevaluasi momen inersia suatu area adalah mendapatkan titik berat dari area tersebut. Kemudian suatu integrasi  $y^2 dA$  dapat dilakukan terhadap sumbu horizontal yang melalui titik berat dari luas area tersebut. Integrasi yang sesungguhnya terhadap area luas hanya diperlukan untuk beberapa bentuk dasar seperti persegi panjang, segitiga dan seterusnya. Untuk mendapatkan momen inersia suatu luas yang terdiri dari beberapa bentuk sederhana maka diperlukan teorema sumbu sejajar. Persamaan momen inersia penampangnya berbentuk siku sebagai berikut:

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

Dimana:

I : Momen Inersia (mm<sup>4</sup>)

b,h : Panjang/ diameter penampang (mm)

## Displacement

Displacement adalah pergerakan akibat beban yang terdapat pada suatu komponen. Tinggi rendahnya nilai pergerakan tergantung pada sejauh mana load (beban) yang diberikan pada komponen tersebut, selain itu kekuatan material sangat mempengaruhi tingkat displacement pada komponen jika diberi pembebanan, dan semakin kuat jenis material maka displacement yang terjadi semakin kecil.

$$\sigma = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I}$$

Dimana:

P = Beban (N)

L = Panjang (mm)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

I = Momen Inersia (mm<sup>4</sup>)

## Tegangan (Stress)

Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik. Tegangan normal yang menghasilkan tarikan (traction atau tension) pada permukaan sebuah potongan biasa disebut tegangan tarik (tensile stress). Di pihak lain, tegangan normal yang mendorong potongan tersebut disebut tegangan tekan (compressive stress). Persamaan untuk mencari tegangan normal sebagai berikut:

$$\sigma_t = \frac{M x Y}{I}$$

Dimana:

$\sigma_t$  = Tegangan Normal (Mpa)

M = Momen Yang terjadi (mm)

I = Momen Inersia (mm<sup>4</sup>)

Y = Persamaan Titik Berat Untuk Persegi (mm)

### Tegangan Geser Rata-rata

Dalam semua kasus gaya yang diantarkan dari sebuah bagian benda kepada yang lainnya adalah dengan menimbulkan tegangan-tegangan dalam bidang yang sejajar dengan gaya terpakai. Persamaan untuk mencari tegangan geser sebagai berikut:

$$T_{xy} = \frac{M}{2xAxB}$$

Dimana:

M = Momen Yang terjadi (mm)

A = Luas Penampang Siku (mm<sup>2</sup>)

b = Tebal Pelat Yang Digunakan (mm)

### Von Mises

Von mises akan terjadi luluh bilamana tegangan normal itu tidak tergantung dari orientasi atau sudut  $\theta$ (invarian) kedua deviator tegangan J2 melampaui arga kritis tertentu. Kriteria luluh von mises mengisyaratkan bahwa luluh tidak tergantung pada tegangan normal atau tegangan geser tertentu, melainkan tergantung dari fungsi ketiga harga tegangan geser utama. Persamaan untuk mencari tegangan Von mises sebagai berikut:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + T_{xy}^2}$$

Dimana:

$\sigma_x$  = Gaya yang berkerja pada sumbu x

$\sigma_y$  = Gaya yang berkerja pada sumbu y

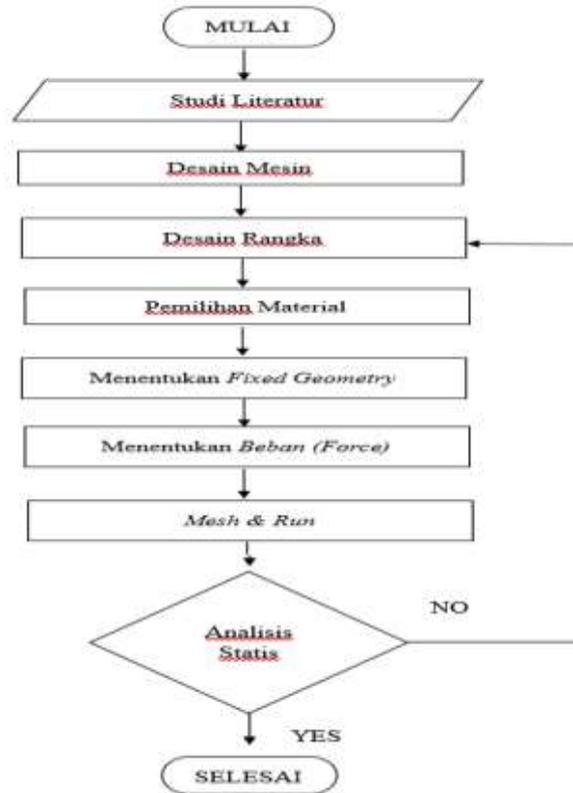
$T_{xy}$  = Tegangan geser

$\sigma_{max}$  = Gaya normal maksimal yang bekerja

### HASIL DAN PEMBAHASAN

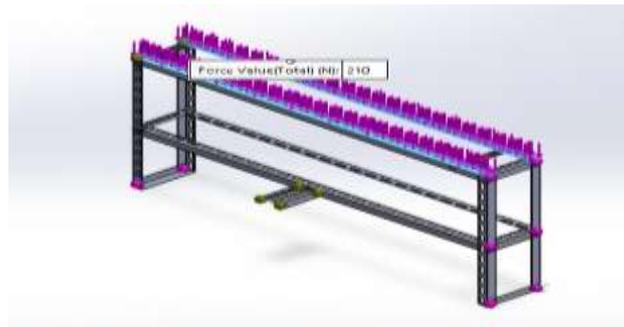
Pada pembuatan rangka Alat Penyortir Barang ada beberapa tahap mulai dari pembuatan model sampai kebutuhan material sebagai berikut: Proses pembuatan model rangka Alat Penyortir Barang dengan menggunakan *software Solidworks*, dengan membuat 2D

sketch dan 3D sketch. Didapatkan ukuran dari setiap dimensi rangka alat penyortir barang yaitu Panjang 1200 mm, lebar 320 mm, dan tinggi 650 mm dan untuk *weldment* digunakan besi siku galvanis dengan ukuran 30 x 30 x 1 mm.



**Gambar 3.** Diagram Alur Penelitian

Pengujian pada rangka Alat Penyortir Barang pada software solidworks jenis analisis static structural rangka diberi beban static. pemberian beban pada permukaan yang menerima pembebanan rangka alat penyortir barang



**Gambar 4.** Pemberian beban

Tabel 2. Keterangan Pembebanan Pada rangka

No	Jenis Pembebanan	Massa (kg)
1	Konveyor	8
2	Sensor Warna	3
3	Arduino	2
4	Barang	8
Total Berat		21

Selanjutnya untuk mengetahui berat beban yang akan diterima oleh penompang alat penyortir barang menggunakan persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$F = m \times g$$

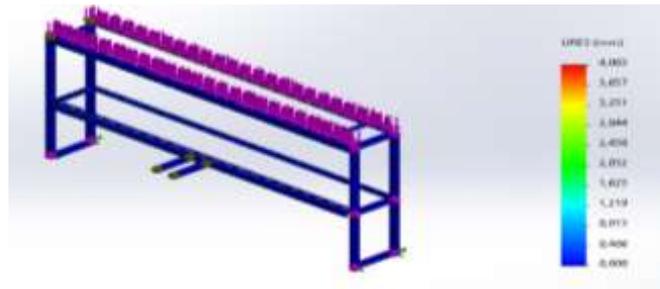
$$F = 21 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 210 \text{ Newton}$$

Dari hasil pembebanan statis pada rangka alat penyortir barang adalah sebagai berikut:

#### a. *Displacement*

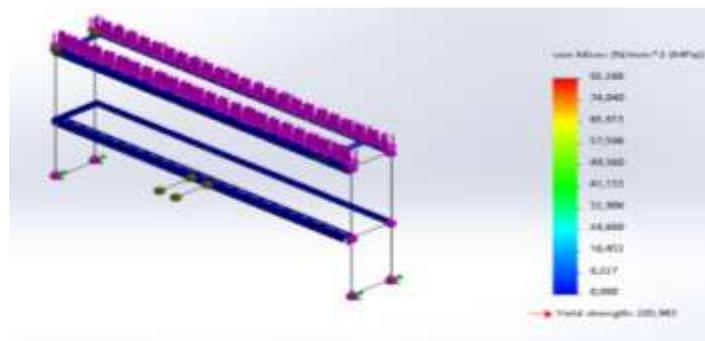
Hasil yang didapat menunjukkan *Displacement* yang dihitung menggunakan *solidworks* menunjukkan area yang mendapatkan regangan maksimal dengan gradiasi warna merah sebesar 4,063 mm dibagian tengah bawah penampang.



**Gambar 5.** Hasil *Displacement*

#### b. *Von Mises*

Hasil yang didapat menunjukkan *von mises stress* yang dihitung menggunakan *solidworks* mempunyai tegangan terbesar 82,26 MPa yang ditunjukkan pada warna gradiasi paling merah. Sedangkan untuk tegangan terkecil yaitu sebesar 8,22 MPa yang ditunjukkan pada gradiasi warna biru. Sedangkan untuk area kuning, hijau dan biru muda merupakan area dengan tegangan sedang.

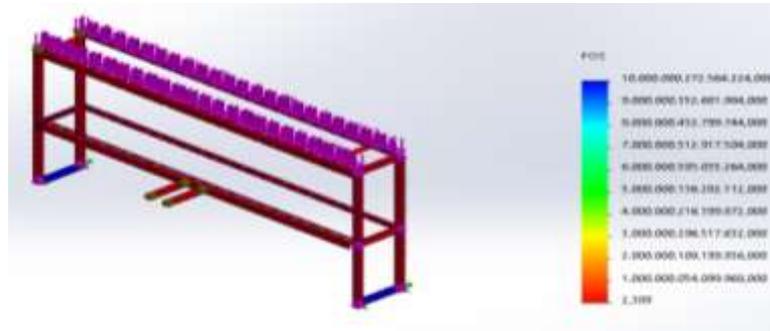


**Gambar 6.** Hasil *Von Mises*

#### c. *Safety factor*

Setelah mengetahui hasil nilai dari tegangan (*von mises*) maka selanjutnya mencari hasil nilai *Factor of Safety*. Faktor keamanan diperhitungkan berdasarkan acuan hasil bagi dari besar tegangan ijin (*yield strength*) dibagi dengan besar tegangan yang terjadi. Jika nilai FOS kurang dari 1, maka kualitas produk tersebut dikatakan tidak aman untuk dibuat maka perlu adanya perbaikan, dan sebaliknya jika nilai minimum FOS lebih dari 1 maka produk tersebut dikatakan aman dan berkualitas. Hasil dari analisa *Factor of Safety* dapat dilihat dari kekuatan material

berdasarkan pada perancangan rangka menahan tegangan pada pengujian di *software solidworks*. Nilai *Factor of Safety* yang didapatkan adalah nilai perhitungan otomatis dengan bantuan *software solidworks*. Sehingga dapat dilihat nilai *Factor of Safety* yang didapatkan dalam pengujian sebesar 2,38 ul.



Gambar 6. Hasil *Safety Factor*

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari dalam pembahasan penulisan ilmiah yang telah dijelaskan, maka dapat diambil kesimpulan sesuai dengan topik didalam penulisan ilmiah ini analisis rangka Alat Penyortir Barang. Adapun kesimpulan tersebut di antaranya:

1. Pada rangka Alat Penyortir Barang ini jenis besi yang digunakan adalah besi siku galvanis. Besi siku galvanis memiliki *density* sebesar 7870 Kg/m<sup>3</sup>, *Yield strength* sebesar 203.94 Mpa, *modulus elastis* sebesar 200000 Mpa. Pada rangka Alat Pernortir Barang digunakan besi siku *galvanis* dengan ukuran 30 x 30 x 1 mm.
2. Dalam mendesain rangka Alat Penyortir Barang menggunakan *software Solidwork*. Sebelum menggambar, hal pertama yang harus dilakuka adalah mengetahui dimensi (P x L x T) rangka yaitu Panjang 1200 mm, lebar 320 mm, dan tinggi 650 mm. Bahan yang digunakan untuk rangka mesin adalah besi siku galvanis dengan ukuran 30 x 30 x 1 mm.
3. Hasil simulasi menggunakan *software solidworks* menunjukkan terjadi tegangan (*von mises*) dengan nilai maksimumnya sebesar 82,26 Mpa, sedangkan hasil perhitungan teoritisnya sebesar 84 Mpa, *Displacement* dengan nilai maksimumnya sebesar 4,063 mm, sedangkan hasil perhitungan teoritisnya sebesar 1,60 mm, *safety factcor* yaitu sebesar 2,38 ul, sedangkan hasil perhitungan teoritisnya sebesar 2,43 ul ul, Dimana selisih perhitungan manual dan simulasi sebesar 0,02 % *von mises*, 1,5 % *displacement*, dan 0,02 % *safety factor*.

## DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, M. F. Perancangan jig dan lifter untuk mengangkat exhaust system mobil BMW di PT. XYZ.
- Aldy Pratama, S. (2021). Pembuatan rangka mesin pelet ikan 3 in 1 (Doctoral dissertation, DIII Teknik Mesin Politeknik Harapan Bersama).
- Amin Putra, Krismadinata, & Irma Husnaini. (2013). Perancangan dan pembuatan alat pemisah buah jeruk lemon berdasarkan ukuran dengan pengendalian mikrokontroler ATMEGA. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang, Padang.
- Fajri, R. A. (2017). Rancang bangun penyortir barang berdasarkan berat barang menggunakan sensor load cell berbasis PLC (Doctoral dissertation).
- Herdi, J., Sulaiman, & Kusuma. Tingkat laju korosi atmosferik baja konstruksi di lingkungan pabrik kelapa sawit. Aceh: Universitas Teuku Umar.
- Hidayat, N. (2013). Solidworks 3D drafting and design (Edisi pertama). Bandung.
- Ismawanto, A., Syarief, A., & Isworo, H. (2014). Simulasi kekuatan material pada carabiner dengan variasi geometri. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam, 3(1), 52-57.
- Metals Handbook Desk Edition (2nd ed.). ASM International.
- Putra, P. P. (2014). Aplikasi sensor warna TCS230 pada sistem kendali robot line follower (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Raharjo, F. A. (2020). Mahir Solidworks Simulation CAE: Seberapa amankah desain struktur yang Anda buat? Uji dan optimalkan bersama Solidworks Simulation. Deepublish.
- Riki Aditya, R. A. (2019). Penerapan persediaan dalam mengoptimalkan paper core dipengaruhi oleh quantity discount menggunakan metode Economic Order Quantity (EOQ) di PT. Swanson Plastic Indonesia (Doctoral dissertation, Universitas Islam Majapahit Mojokerto).
- Rozik, M. A. (2020). Perancangan dan analisis kekuatan rangka mesin pengayak pasir menggunakan Autodesk Inventor 2019 (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Wicaksono, F. R., Rusdinar, A., & Wibawa, I. P. D. (2018). Perancangan dan implementasi alat penyortir barang pada konveyor dengan pengolahan citra. Eproceedings of Engineering, 5(1).