

Perancangan Desain 3D dan Analisis Struktur Meja Industri Menggunakan Metode *Finite Element Analysis*

Gading Arya Saputra¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. H.S. Ronggowaluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

Abstrak

Differential carrier merupakan salah satu komponen kendaraan otomotif berat seperti truk yang diproduksi oleh PT XYZ. Beriringan dengan kemampuan produksi *differential carrier* memerlukan fasilitas produksi yang baik, salah satunya meja industri. Meja industri PT XYZ tersebut digunakan untuk tempat meletakkan komponen serta melakukan transfer komponen dari produksi ke bagian inspeksi. *Differential carrier* memiliki massa yang relatif besar, dalam satu bulan terdapat pesanan 10 sampai 20 buah perbaikan atau pembuatan baru meja industri maupun *shutter* akibat kesalahan struktur meja. Diperlukan perancangan dan analisis kekuatan struktur untuk menghindari kegagalan struktur yang dapat membahayakan pekerja. Penelitian ini menggunakan metode *stress analysis* untuk mengetahui kekuatan struktur rangka. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan baja karbon AISI 1050, didapatkan hasil *Von mises stress* maksimal 39,5951 MPa, *1st principal stress* 41,0076 MPa, *3rd principal stress* maksimal 7,94286 MPa, *Displacement* terbesar 0,304201 mm, dan *safety factor* terendah adalah 5,22393. Sedangkan pada analisis yang menggunakan Stainless Steel 202 didapatkan *Von mises stress* maksimal 39,7617 MPa, *1st principal stress* 41,06 MPa, *3rd principal stress* maksimal 7,77192 Mpa, *Displacement* terbesar 0,298047 mm, dan *safety factor* terendah adalah 10,3694. Hasil analisis ini menunjukkan material Stainless Steel 202 lebih unggul dibanding material Baja 1050.

Kata kunci: FEA; Stress Analysis; Meja Industri; *Differential Carrier*; Struktur.

Abstract

The *differential carrier* is one of the components of heavy automotive vehicles, such as trucks, manufactured by PT XYZ. Alongside the production capabilities, the manufacturing of *differential carriers* requires proper production facilities, one of which is the industrial table. The industrial table at PT XYZ is utilized as a platform for placing components and transferring them from the production area to the inspection section. *Differential carriers* have a relatively large mass, and each month, there are 10 to 20 repair or replacement orders for industrial tables and shutters due to structural failures. Therefore, a structural design and strength analysis are needed to prevent failures that may endanger workers. This study employs the stress analysis method to determine the structural strength of the frame. Based on the analysis using AISI 1050 carbon steel, the results showed a maximum *Von Mises stress* of 39.5951 MPa, a *1st principal stress* of 41.0076 MPa, a maximum *3rd principal stress* of 7.94286 MPa, a maximum displacement of 0.304201 mm, and a minimum *safety factor* of 5.22393. Meanwhile, the analysis using Stainless Steel 202 yielded a maximum *Von Mises stress* of 39.7617 MPa, a *1st principal stress* of 41.06 MPa, a maximum *3rd principal stress* of 7.77192 MPa, a maximum

*Corresponding author

Alamat email: gadingaryasaputra29@gmail.com

<https://doi.org/10.35261/gijtsi.v5i02.12202>

Diterima 11 Oktober 2024; Disetujui 25 November 2024; Terbit online 30 November 2024

displacement of 0.298047 mm, and a minimum safety factor of 10.3694. The analysis results indicate that Stainless Steel 202 performs better compared to AISI 1050 Steel.

Keywords: *FEA; Stress Analysis; Structure; Workbench; Differential Carrier; Structure.*

Pendahuluan

Manufaktur merupakan proses mengubah bahan baku menjadi suatu produk, dalam konteks otomotif maka industri manufaktur otomotif merupakan proses mengubah bahan mentah menjadi produk-produk otomotif [1]. Salah satu komponen yang diproduksi dalam industri manufaktur otomotif adalah *differential*. Komponen *differential* merupakan sistem penerus tenaga putar yang bersumber dari hasil putaran kerja mesin, di mana berfungsi membedakan gerakan roda sisi kiri dan sisi kanan pada saat kendaraan berbelok [2]. Salah satu komponen yang membentuk *differential* adalah *differential carrier*. *Differential carrier* atau disebut juga sebagai *differential case* berfungsi sebagai rumah dari komponen *differential* lain sekaligus melindungi komponen-komponen di dalamnya [3].

Perusahaan XYZ sebagai produsen penggerak roda belakang atau *differential* dari beberapa model truk, memiliki kemampuan dalam memproduksi *differential carrier*. Namun dengan seiring kemampuan produksi tersebut, diperlukan fasilitas penyokong produksi tersebut, terutama dikarenakan massa dari *differential carrier* yang relatif besar karena material yang digunakan dalam membuat *differential carrier* adalah besi cor. Material ini sering digunakan karena memiliki kombinasi kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan aus yang baik. *Besi cor nodular memiliki struktur mikro yang memperkuat sifat mekanisnya, seperti tahan terhadap benturan dan mampu menahan beban tinggi, yang sangat penting untuk komponen penggerak.* Massa *differential carrier* yang relatif besar ini akan berkaitan pada pemindahan dari proses produksi ke proses inspeksi, dengan lebih efisien dan cepat. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan meja industri yang memiliki spesifikasi dapat menahan beban dari *differential carrier*. Meja industri yang biasa dibuat dalam industri sering kali tidak memperhatikan analisis terlebih dahulu. Contohnya pada *workshop* perusahaan XYZ, pembuatan meja industri dalam satu bulan terdapat pesanan 10 sampai 20 buah perbaikan atau pembuatan baru meja industri maupun *shutter* akibat kesalahan struktur meja. Kegagalan struktur rangka meja dalam kasus paling buruk adalah dapat membahayakan dan melukai dari keselamatan pekerja tanpa terjadinya peringatan [4].

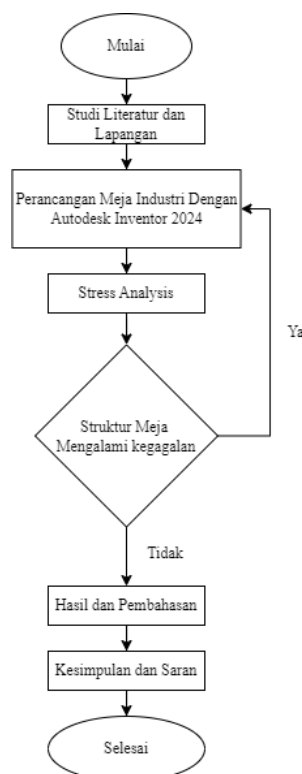
Penelitian Wibawa [5], mengenai desain analisis kekuatan rangka meja kerja dengan menggunakan metode elemen hingga *stress analysis* menghasilkan hasil analisis terhadap penggunaan material Aluminium 6061. Dalam kesimpulannya material tersebut dapat menahan pembebanan yang diberikan sebesar 200 kg dengan nilai faktor keamanan sebesar 2,06. Penelitian terdahulu yang lainnya, dilakukan oleh Prabowo [6] menghasilkan penelitian mengenai analisis kekuatan pembebanan frame pada meja las. Penelitian tersebut merancang meja las yang dapat menahan beban sebesar 40kg dan hasilnya struktur tersebut relatif aman. Penelitian lain oleh Wibawa [7] mengenai desain dan analisis kekuatan rangka lemari perkakas menggunakan metode elemen hingga *stress analysis* menghasilkan Rangka lemari perkakas yang dirancang menggunakan material aluminium paduan 3003-H12 memiliki massa sebesar 8,10 kg. Desain ini dinilai aman untuk menahan beban dinamis hingga 55 kg per tingkat, dengan faktor keamanan sebesar 2,04.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Arif [8] mengenai analisa desain struktur pada *bed machine milling cnc* menggunakan metode *Finite Element Analysis* memberikan hasil dari analisis dengan metode FEA tersebut. Material yang digunakan adalah baja karbon SS 1023. Hasil yang didapatkan menggunakan simulasi pembebanan dengan beban yang berbeda yaitu 1000 Kg, 3500 Kg, dan 7400 Kg menghasilkan nilai *von misses stress* tidak melewati batas amannya. Sehingga disimpulkan bahwa perancangan tersebut aman dalam menahan variasi beban yang ditetapkan. Beberapa penelitian terdahulu membuktikan bahwa metode *finite element analysis* mampu menunjukkan hasil simulasi terhadap perancangan struktur untuk melihat kekuatan material serta keamanan dari struktur tersebut. Berkaitan dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan metode *finite element analysis* karena lebih unggul dalam keakuratan dibanding analisis statik manual dan memiliki keunggulan dapat memberikan hasil analisis sebelum membuat perancangan secara langsung, serta lebih unggul dibandingkan metode pengujian eksperimental sehingga menghemat waktu serta biaya lebih minimum [9].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan melakukan perancangan tiga dimensi meja industri dalam proses perpindahan dari bagian produksi ke bagian inspeksi serta penempatan *differential case* nantinya sesuai dengan kebutuhan di PT XYZ, serta membandingkan analisis rangka meja yang terbuat dari material Baja AISI 1050 yang terdapat pada *workshop* PT XYZ dan Stainless Steel 202 sebagai pembanding material dengan menggunakan *stress analysis* metode elemen hingga pada Autodesk Inventor untuk mengetahui efek pembebanan dari beban yang dimiliki oleh *differential carrier* sebesar 75kg dengan simulasi penempatan seperti di aslinya.

Metode Penelitian

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Alir Proses Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan alur penelitian yang telah ditetapkan sesuai dengan diagram alir. Berikut penjelasan mengenai alur penelitian ini,

1. Studi literatur dan lapangan
Mempelajari penelitian terdahulu serta mendata data yang diperlukan dari lapangan mengenai area pemasangan dan kebutuhan ukuran meja industri
2. Perancangan meja industri
Setelah mendapatkan data mengenai kebutuhan dan metode pembuatan, selanjutnya dilakukan perancangan meja industri sesuai dengan yang telah ditetapkan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor.
3. *Stress Analysis*
Selanjutnya dilakukan proses analisis menggunakan metode *finite element analysis* dengan fitur *stress analysis* pada Autodesk Inventor dengan tujuan mengetahui hasil pembebanan terhadap rancangan tiga dimensi meja industri.
4. Hasil keamanan struktur
Jika struktur mengalami kegagalan, maka diperlukan penyesuaian kembali terhadap perancangan yang digunakan. Jika tidak maka proses dapat dilanjutkan.
5. Hasil dan pembahasan
Setelah struktur dianggap aman melihat dari parameter hasil analisis, maka dilakukan penjelasan hasil analisis serta pembahasan.
6. Kesimpulan
Hasil dan pembahasan yang telah disusun dapat diambil kesimpulan sebagai hasil akhir dari penelitian ini dengan parameter yang telah ditentukan.

Studi Lapangan

Studi lapangan merupakan bagian dari pembelajaran secara langsung atau observasi yang dilakukan pada tempat objek penelitian. Kegiatan ini dilakukan guna mendapatkan data secara langsung dari lapangan untuk memberikan deskripsi kebutuhan, prediksi dan inovasi [10]. Setelah melakukan studi lapangan secara langsung didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 1. Data Hasil Studi Lapangan

Data	Hasil Studi Lapangan
Ukuran Meja	Panjang 3,3 m, Tinggi 1,2 m, Lebar 1,2 m
Beban <i>Differential Carrier</i>	75 Kg
Area Pemasangan Meja	Panjang 3,5 m, Lebar 1,8 m

Autodesk Inventor

Autodesk Inventor adalah program yang dibuat khusus untuk keperluan teknik seperti desain produk, desain mesin, desain mold, desain konstruksi, dan kebutuhan teknik lainnya. Autodesk Inventor adalah program pemodelan solid berbasis fitur parametrik. Artinya, semua objek dan hubungan antar geometri dapat dimodifikasi kembali meski geometrinya sudah jadi, tanpa perlu mengulang lagi dari awal. Ini sangat mempermudah kita saat sedang dalam proses desain suatu produk atau rancangan [11].

Stress Analysis

Kemudian desain perancangan tiga dimensi meja industri yang telah selesai, dilanjutkan dengan *Stress analysis* merupakan penggunaan konsep *Finite Element Analysis* (FEA) dalam menguji suatu objek. Prinsip kerja dari analisis ini adalah dengan cara memecah objek yang akan diuji menjadi elemen – elemen berhingga yang saling terhubung satu dengan yang lain yang nantinya akan dikelola menggunakan perhitungan khusus oleh program sehingga memberikan hasil yang lebih akurat [12]. Terdapat beberapa persamaan matematis yang digunakan sebagai komponen dalam *stress analysis* yaitu,

1. *Von mises stress* adalah proses di mana deformasi plastik terjadi saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai nilai kritis. Nilai tegangan skalar dapat dihitung dari sensor tegangan. Dalam hal ini material dianggap luluh saat tegangan Von Mises mencapai nilai yield strength yang diketahui [13]. Persamaan matematis dari *von mises stress* adalah

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} [14] \quad (1)$$

Dimana,

σ_{max} = Gaya normal maksimal yang bekerja

σ_x = Gaya yang bekerja pada sumbu x

σ_y = Gaya yang bekerja pada sumbu

τ_{xy} = Tegangan geser, dimana $\sigma_t = \sigma_x$ dan $\sigma_y = 0$

2. *Displacement*, merupakan Deformasi plastis / Perubahan bentuk akibat gaya yang didistribusikan dan pada saat beban dihilangkan bentuk kembali pada keadaan semula. Hal ini disebabkan selama proses deformasi berlangsung, Material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja dan saat kondisi tersebut perubahan bentuk secara fisik akan terjadi karena benda telah mengalami kekuatan tertinggi apabila beban terus bertambah maka material seakan menguat yang disebut penguatan regangan (*hardening strain*) yang dapat mengakibatkan terjadinya *fracture* / patah [13].

$$\delta = \frac{P+L^3}{48 \cdot E \cdot I} [15] \quad (2)$$

Dimana,

δ = Defleksi maksimum (m)

P = Beban terpusat (N)

L = Panjang balok (m)

E = Modulus elastisitas material (Pa)

I = Momen inersia penampang balok (m²)

3. *Safety factor* merupakan ukuran dalam memperhitungkan keamanan struktur dari sebuah kegagalan struktur. *Safety factor* merupakan perbandingan nilai kekuatan material dibagi dengan nilai tegangan yang diterima oleh struktur tersebut. Nilai *safety factor* pada analisis elemen hingga mempunyai batas angka 1. Jika di bawah dari nilai 1, maka struktur tersebut dianggap mengalami kegagalan struktur atau cacat [16].

$$SF = \frac{\tau_y}{\tau} \quad [17] \quad (3)$$

Dimana,

SF = Safety factor

τ_y = kekuatan luluh geser (Mpa)

τ = Tegangan geser (Mpa)

Stainless Steel 202

Stainless steel 202 adalah logam yang memiliki sifat tidak mudah berkarat karena memiliki kandungan kadar besi (Fe) = 72,6%, khrom (Cr) = 17,6%, mangan (Mn) = 10,0% dan nikel (Ni) = 4,01%. Berdasarkan kandungannya material jenis ini tidak mudah berpengaruh terhadap korosi yang cukup tinggi logam jenis ini biasanya sering dipakai dalam industri penerbangan maupun industri perkapalan [18].

Baja Karbon AISI 1050

Baja merupakan logam paduan yang terdiri dari besi (Fe) sebagai komponen utama dengan karbon (C) sebagai elemen tambahan dalam jumlah tertentu. Tidak seperti logam murni seperti besi, aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu), dan titanium (Ti), baja mengandung campuran yang seimbang antara besi dan karbon. Kandungan karbon dalam baja biasanya berada dalam kisaran 0,2% hingga 2,1% dari total berat baja, tergantung pada jenis dan aplikasinya. Baja AISI 1050, yang memiliki kandungan karbon sekitar 0,5%, dikategorikan sebagai baja karbon menengah, sering digunakan dalam pembuatan poros dan roda gigi. Pada baja dengan kadar karbon lebih dari 0,60%, umumnya digolongkan sebagai baja karbon tinggi, yang memiliki kekuatan dan kekerasan lebih besar [19].

Hasil dan Pembahasan

Rancangan Tiga Dimensi Meja Industri

A. Analisis Material

Penelitian yang dilakukan pada perangkat lunak Autodesk Inventor menggunakan dua material yang berbeda untuk membandingkan kedua material tersebut. Material yang digunakan pada rangka meja industri penelitian ini adalah Baja AISI 1050 dan Stainless Steel 202.

Tabel 2. Sifat fisik material

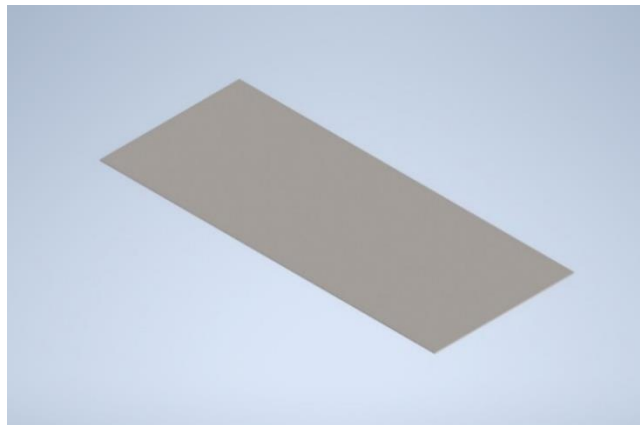
Material	Baja AISI 1050	Stainless Steel 202
<i>Young Modulus</i>	199,947 GPa	204,773 Gpa
<i>Shear Modulus</i>	77221,28 MPa	79979,18 MPa
<i>Densitas</i>	7,850 g/cm ³	7,855 g/cm ³
Poissons's Modulus	0,3	0,29

B. Hasil Perancangan

Setelah melakukan studi lapangan mengetahui kebutuhan di lapangan mengenai dimensi meja, area penempatan, dan fungsi meja, maka didapatkan hasil bentuk perancangan meja industri tersebut. Hasil perancangan tersebut terbagi dalam beberapa komponen, berikut hasil perancangan komponen dan *assembly*.



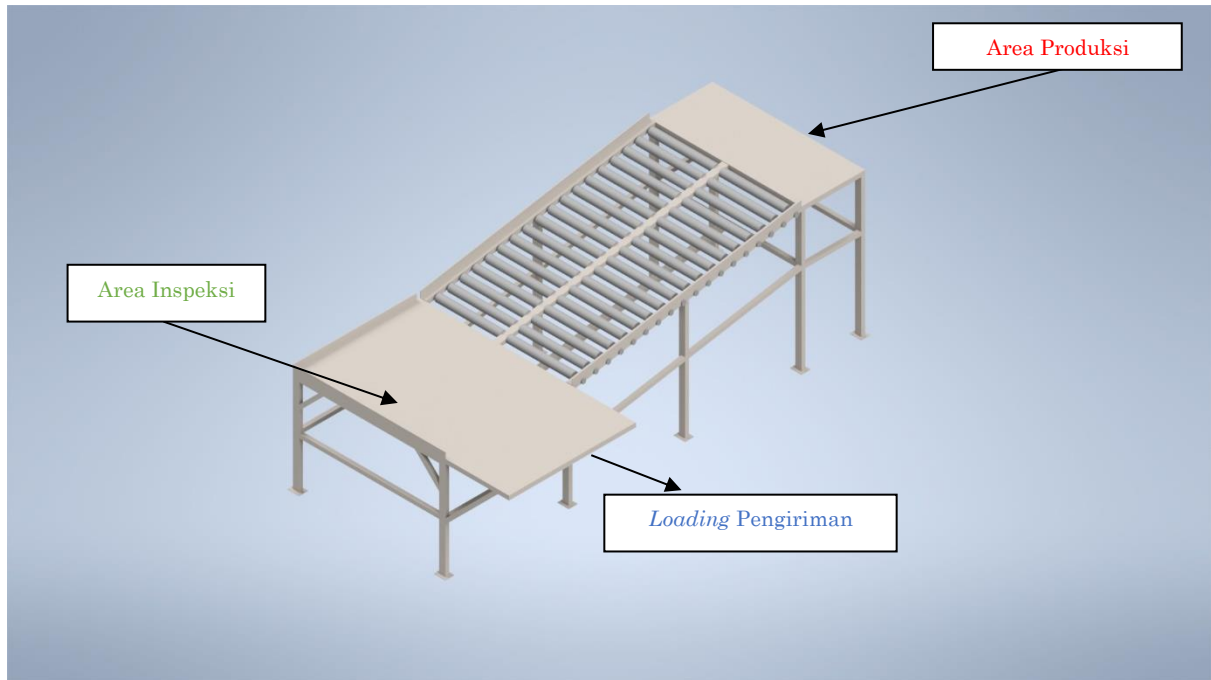
Gambar 2. Gambar tiga dimensi rangka meja



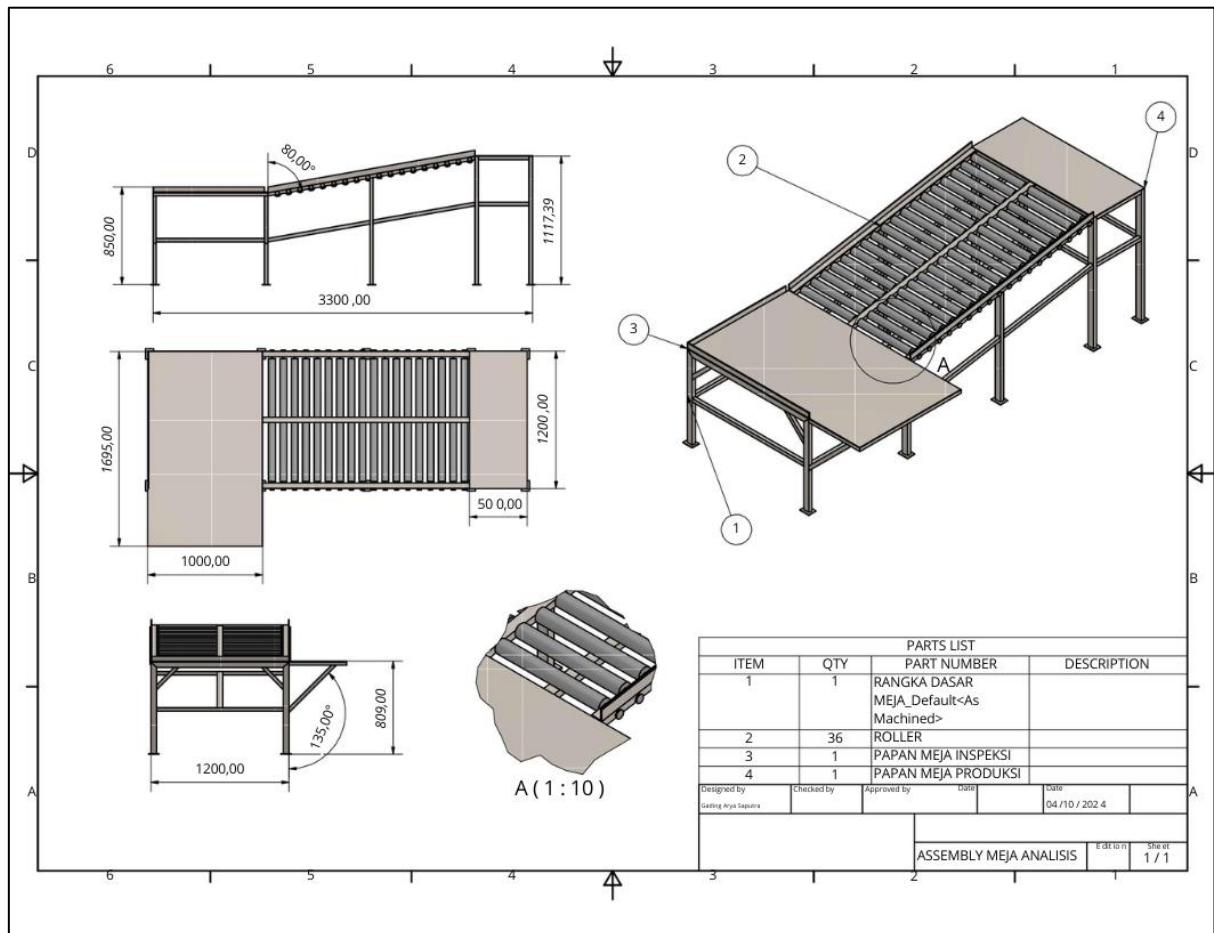
Gambar 3. Gambar tiga dimensi papan meja



Gambar 4. Gambar tiga dimensi roller



Gambar 5. Assembly komponen meja industri



Gambar 6. Dimensi meja industri

C. Stress Analysis

Sebagai bentuk memperkirakan mengenai kekuatan struktur rangka meja industri yang dibuat, maka diperlukan simulasi *stress analysis* dengan kondisi yang sebenarnya. Kebutuhan PT XYZ adalah meja yang dirancang harus dapat menahan beban komponen *differential Carrier* dengan data sebagai berikut,

Tabel 3. Data pembebanan pada meja

Area	Produksi	Inspeksi
<i>Jumlah Komponen</i>	2 komponen	2 komponen
<i>Total Beban</i>	150 kg	150 kg
<i>Gaya Total</i>	1500 N	1500 N
<i>Gaya Total pada Meja</i>	3000 N	

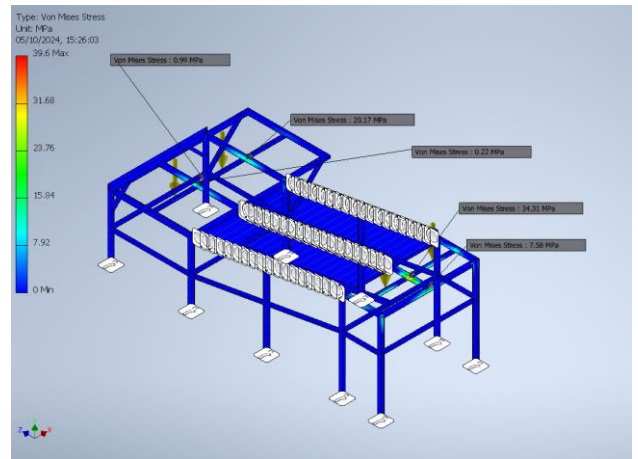
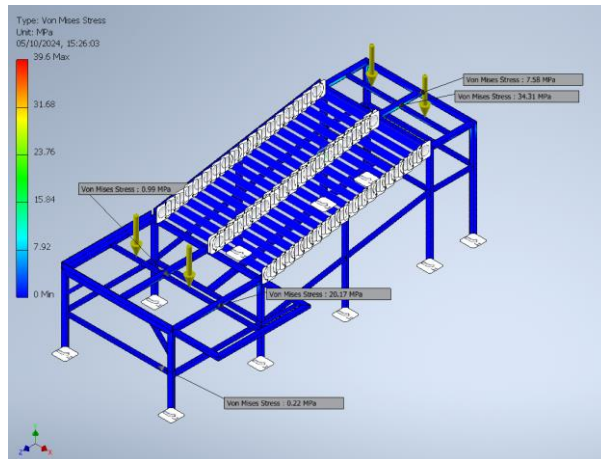
Beban yang telah ditentukan untuk simulasi harus dimasukkan ke dalam *boundary condition* simulasi. Pada simulasi ini, ditambahkan beberapa komponen untuk mendapatkan keadaan yang seperti lingkungan asli. Kondisi tersebut adalah melakukan *setting* material, penentuan titik tumpu dari rangka meja, sambungan *roller*, menambahkan titik-titik pembebanan dan menyatakan kondisi meja dalam keadaan statis tanpa ada pengaruh dari hal lain. Setelah mengatur *boundary condition* simulasi, maka simulasi bisa dijalankan. Berikut hasil simulasi *stress analysis* pada meja industri yang telah dibuat.

- Baja AISI 1050

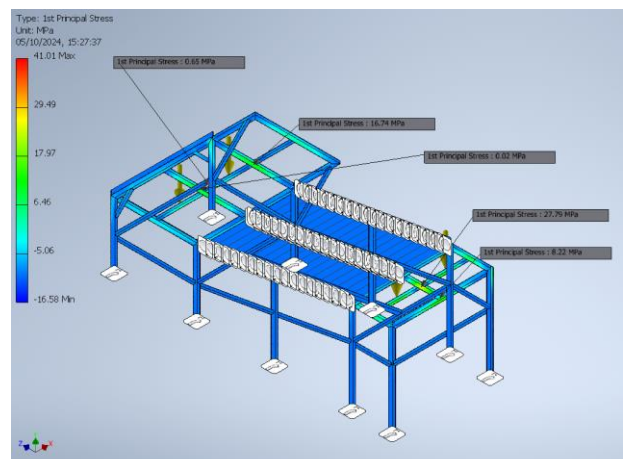
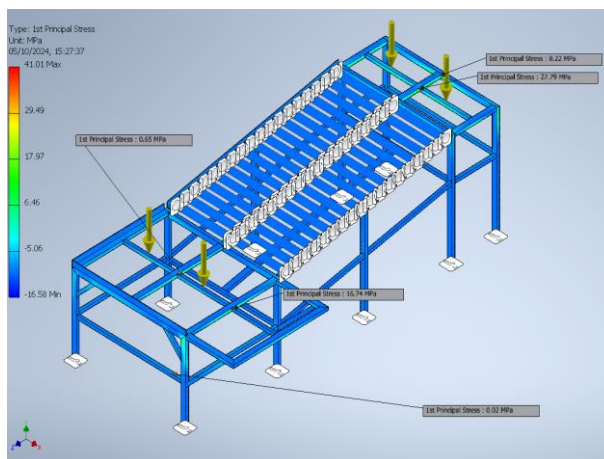
Setelah melakukan analisis dengan situasi dan pengaturan terhadap simulasi, maka didapatkan hasil analisis sebagai berikut,

Tabel 4. Data hasil *stress analysis* menggunakan material Baja AISI 1050

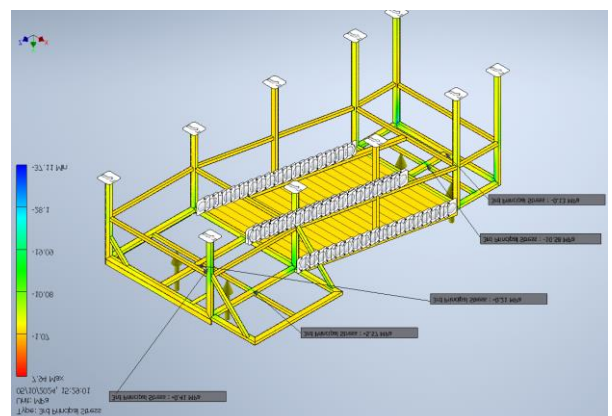
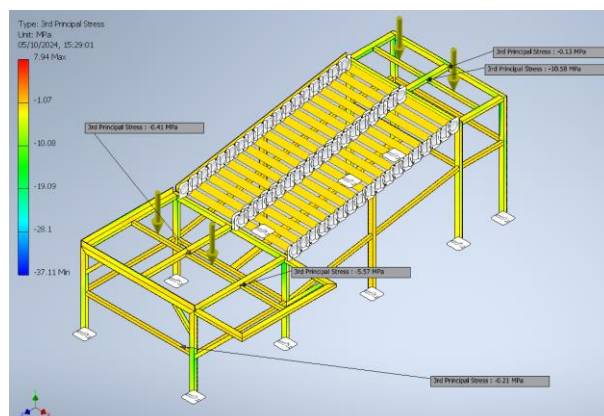
Nama	Minimum	Maksimum
<i>Volume</i>	72586100 mm ³	
<i>Mass</i>	239,613 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,00000000126797 MPa	39,5951 MPa
<i>1st principal stress</i>	-16,5777 MPa	41,0076 MPa
<i>3rd principal stress</i>	-37,1136 MPa	7,94286 MPa
<i>Displacement</i>	0 mm	0,304201 mm
<i>Safety factor</i>	5,22393 ul	15 ul



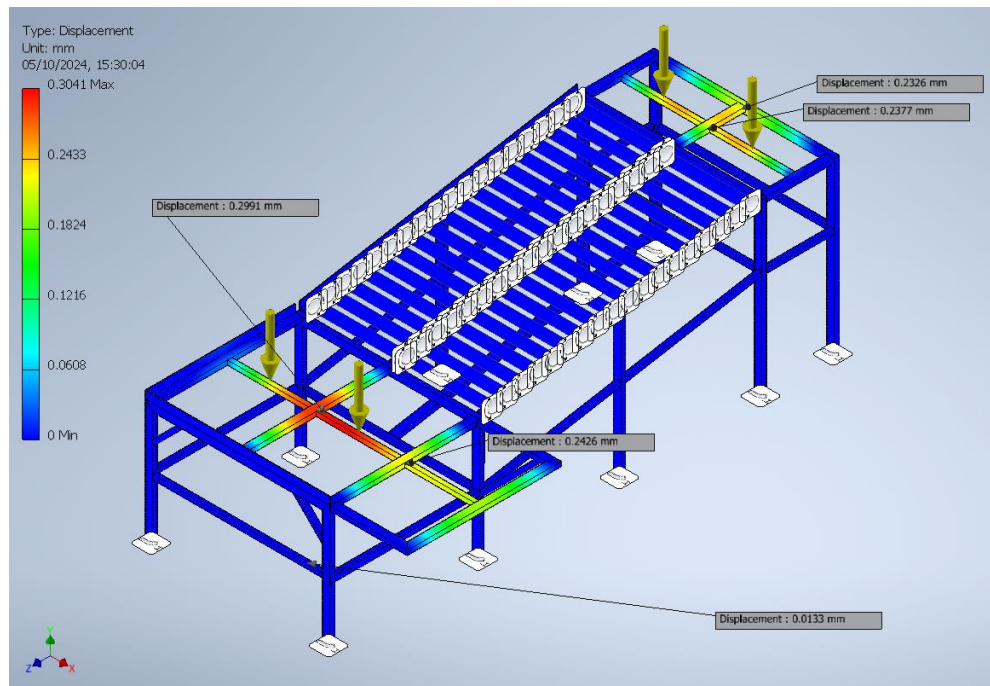
Gambar 7. Hasil *Von mises stress* Baja AISI 1050



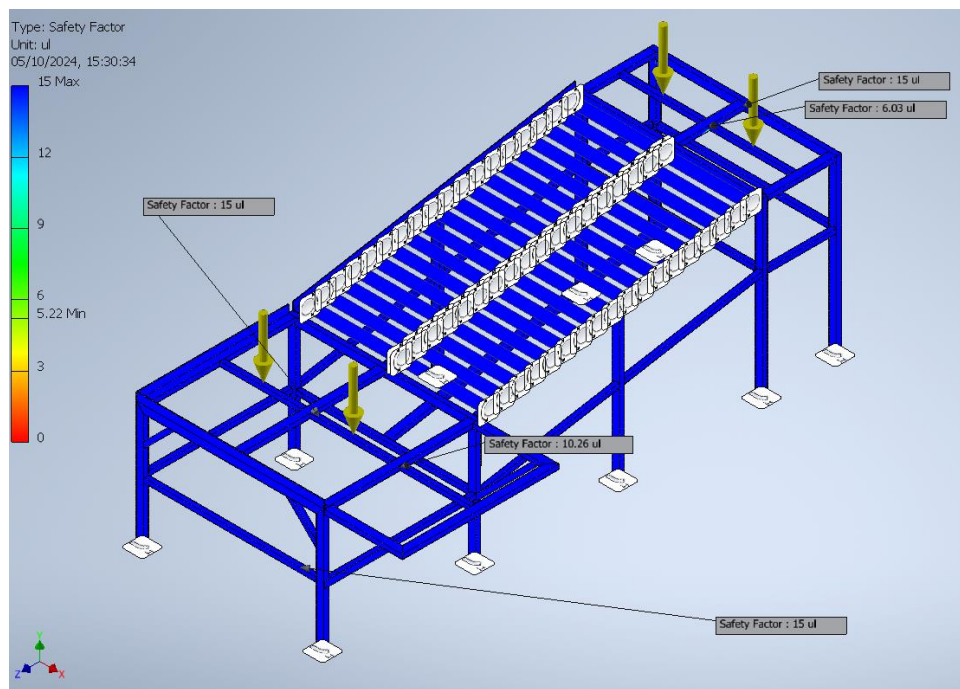
Gambar 8. Hasil *1st principal stress* Baja AISI 1050



Gambar 9. Hasil *3st Principal Stress* Baja AISI 1050



Gambar 10. Hasil *Displacement* Baja AISI 1050



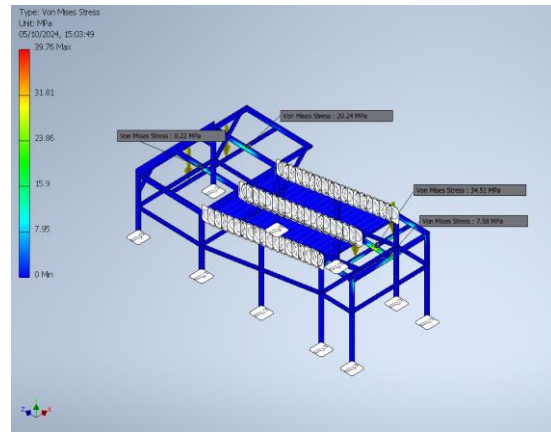
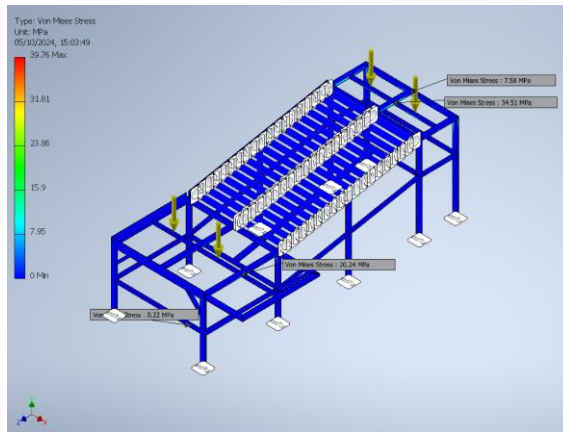
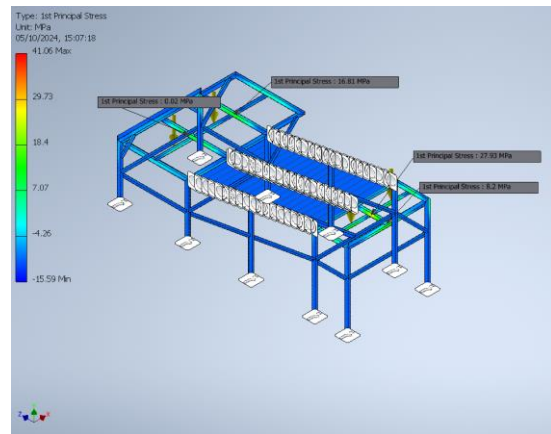
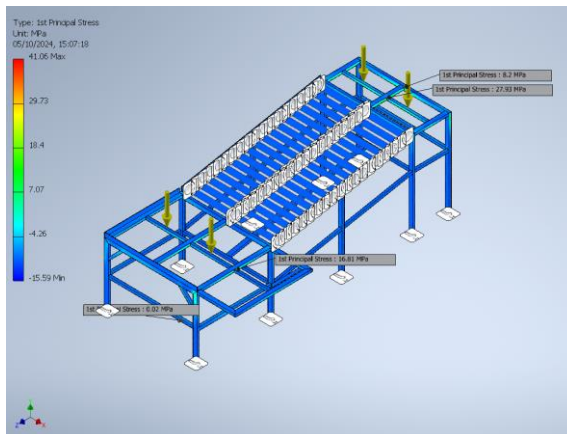
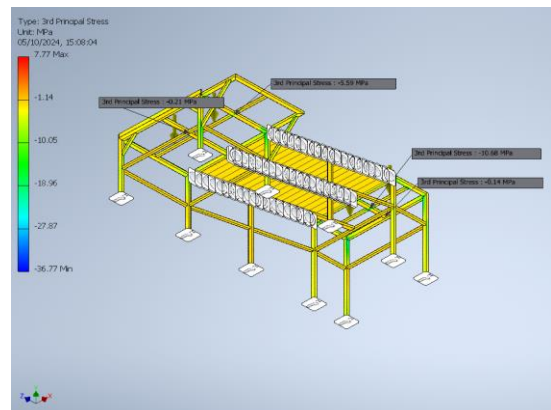
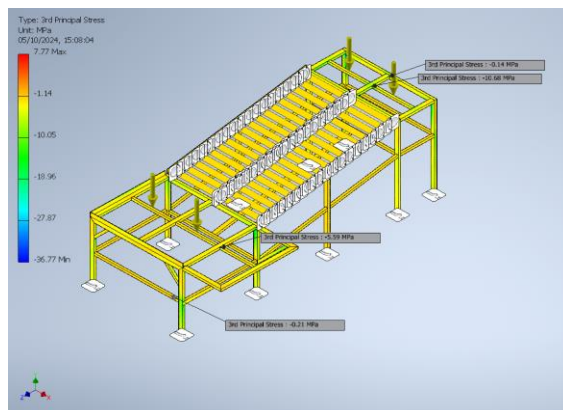
Gambar 11. Hasil *Safety factor* Baja AISI 1050

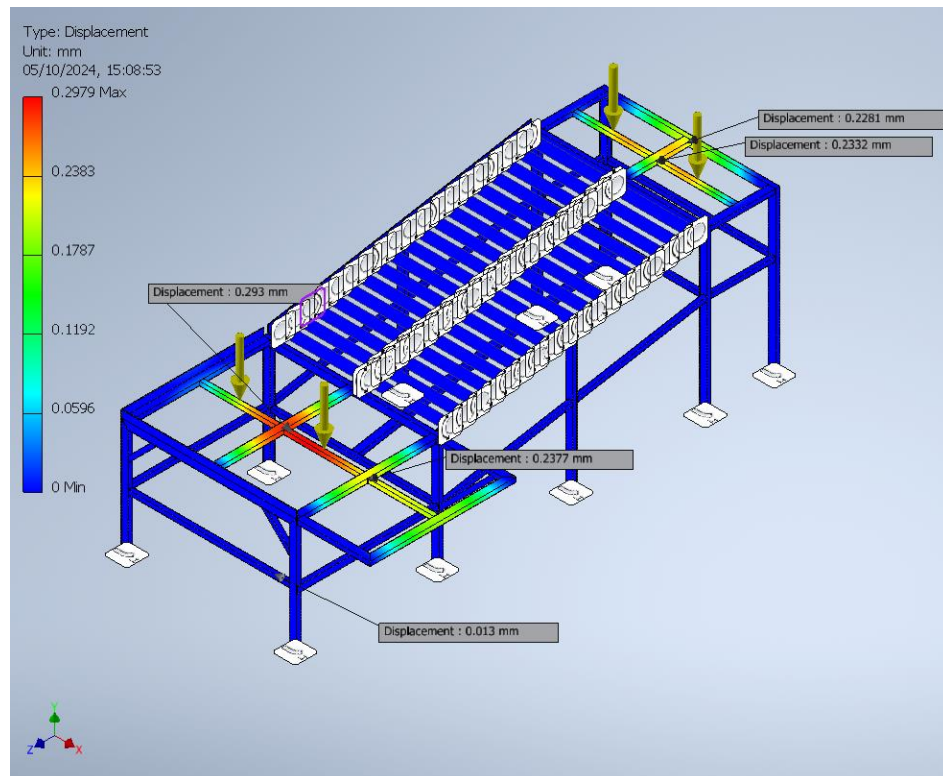
- **Stainless Steel 202**

Setelah melakukan analisis dengan situasi dan pengaturan terhadap simulasi, maka didapatkan hasil analisis sebagai berikut,

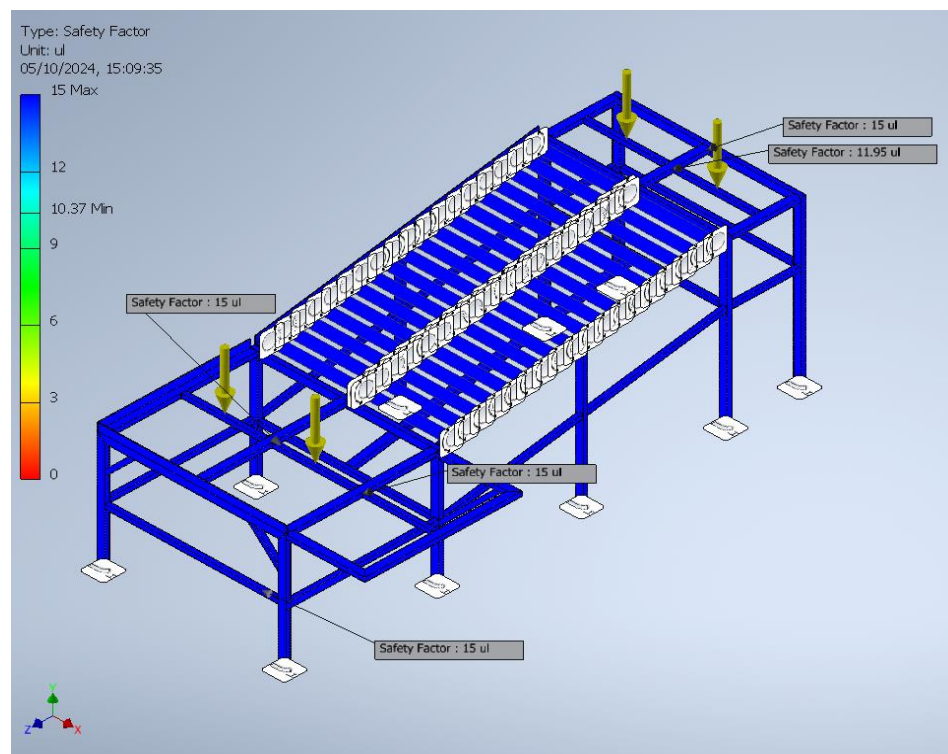
Tabel 5. Data hasil *stress analysis* menggunakan material Stainless Steel 202

Nama	Minimum	Inspeksi
<i>Volume</i>	72586100 mm ³	
<i>Mass</i>	239,613 kg	
<i>Von mises stress</i>	0,00000000182902 MPa	39,7617 MPa
<i>1st principal stress</i>	-15,591 MPa	41,06 MPa
<i>3rd principal stress</i>	-36,7743 MPa	7,77192 MPa
<i>Displacement</i>	0 mm	0,298047 mm
<i>Safety factor</i>	10,3694 ul	15 ul

**Gambar 12.** Hasil *Von mises stress* Stainless Steel 202**Gambar 13.** Hasil *1st principal stress* Stainless Steel 202**Gambar 14.** Hasil *3rd Principal Stress* Stainless Steel 202



Gambar 15. Hasil *Displacement* Stainless Steel 202



Gambar 16. Hasil *Safety factor* Stainless Steel 202

Setelah melakukan analisis menggunakan metode *finite element analysis* dengan fitur *stress analysis* pada Autodesk Inventor terhadap perancangan struktur meja industri menggunakan dua material berbeda dapat dilihat melalui tabel hasil analisis kedua material, bahwa material Stainless Steel 202 memiliki perbedaan dibandingkan material Baja Steel AISI 1050. Hal ini dilihat dari perbandingan hasil analisis dengan parameter

von mises stress material Stainless Steel 202 lebih besar yaitu 39,7617 MPa dibanding material Baja Steel AISI 1050 sebesar 39,5951. Kemudian pada parameter *maximal displacement*, pada material Stainless Steel 202 memiliki nilai yang lebih kecil yaitu 0,298047 mm dibanding material Baja Steel AISI 1050 sebesar 0,304201 mm. Sedangkan dalam parameter *minimum safety factor* yang dihasilkan pada analisis adalah nilai material Stainless Steel 202 lebih besar yaitu 10,3694 dibandingkan nilai material Baja AISI 1050 sebesar 5,22393.

Kesimpulan

Hasil dari penelitian perancangan tiga dimensi meja industri dengan metode *finite element analysis* menghasilkan beberapa nilai dengan beberapa parameter yaitu *von mises stress*, *displacement* dan *safety factor*. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah material Stainless Steel 202 memiliki nilai *von mises stress* yang lebih besar, *displacement* yang lebih kecil, dan nilai *safety factor* yang lebih besar dibandingkan penggunaan material Baja AISI 1050. Hal ini menunjukkan bahwa material Stainless Steel 202 lebih unggul dibanding material Baja AISI 1050. Penggunaan material Stainless Steel 202 akan lebih baik digunakan sebagai material meja industri. Penelitian ini terfokus pada hasil dari analisis terhadap pembebanan struktur. Diperlukan analisis lebih lanjut untuk melengkapi penelitian ini seperti analisis pengaruh getaran, dan pengaruh temperatur terhadap material yang digunakan sebagai analisis.

Daftar Pustaka

- [1] E. Supriyanto, “Manufaktur’ dalam Dunia Teknik Industri,” 2013.
- [2] D. Supriyatna dan D. R. Muttaekid, “Analisis Kerusakan Differential Pada Kendaraan HINO 260 FM (SH17): Studi Kasus di PT. Hudaya Maju Mandiri,” *AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, vol. 2, no. 1, p. 11–20, May 2021, doi: 10.24036/aej.v2i1.61.
- [3] Suzuki, “Ketahui, Ini Komponen Differential dan Fungsinya Pada Mobil | Suzuki Indonesia.” Accessed: 30 September 2024. [Online]. Available in: <https://www.suzuki.co.id/tips-trik/ketahui-ini-komponen-differential-dan-fungsinya-pada-mobil?pages=all>
- [4] D. Djoko, J. Triyono, dan S. Wuri, “Penerapan Metode Mode Kegagalan dan Analisa Efek pada Proses Perakitan Produk Meja Operasi Manual,” *MEKANIKA*, vol. 7, no. 2, 2009.
- [5] L. A. N. Wibawa, “Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (*Workbench*) Balai Lapan Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Teknik Mesin ITI*, vol. 3, no. 1, p. 13, Feb. 2019, doi: 10.31543/jtm.v3i1.216.
- [6] W. Triharto Prabowo, F. Arifin, Y. Dewantoro Herlambang, dan W. H. Ravindo Damanik, “Analisis Kekuatan Pembebanan Frame Pada Meja Las,” *Jurnal Inovator*, vol. 6, no. 1, pp. 21–25, 2023, [Online]. Available in: www.jurnal.politeknikjambi.ac.id/inovator
- [7] L. A. N. Wibawa, “Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Lemari Perkakas di Balai Lapan Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 45, Okt 2019.
- [8] S. Arif, “Analisa Design Structural pada *Bed Machine Milling* CNC Terhadap Pengaruh Defleksi Dengan Analisa CAE,” vol. 5, no. 2, 2022.
- [9] A. Toteles dan Fi. Alhaffis, “Analisis Material Kontruksi Chasis Mobil Listrik Laksamana V2 Menggunakan Software Autodesk Inventor,” *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 30–37, Apr. 2021.

- [10] B. Ahmad *dkk.*, “Penerapan Studi Lapangan dalam Meningkatkan Kemampuan Analisis Masalah (Studi Kasus Pada Mahasiswa Sosiologi Iisip Yapis Biak)”.
- [11] A. Toteles dan F. Alhaffis, “Analisis Material Kontruksi Chasis Mobil Listrik Laksamana V2 Menggunakan Software Autodesk Inventor,” *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, Apr. 2021.
- [12] M. Teknik pada Pelajar Kejuruan Alviani Hesthi Permata Ningtyas, K. Ayunaning, dan B. Arif Prambudiarto, “Implemetasi Penggunaan Software AutoDesk Inventor Dalam Meningkatkan Kompetensi,” *ADI WIDYA Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 5, pp. 161–169, Nov. 2021, doi: 10.33061.
- [13] A. hamid dan A. Avicenna Luthfie, “Simulasi Uji Bending pada Shaft Generator Awing 500 Watt dengan Material Astm A36 Menggunakan Software CAD,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, 2022.
- [14] S. Suryady dan A. D. Sapto, “Analisis Pembebanan Statis terhadap Rangka Mesin Alat Pengaduk untuk Adonan Donat menggunakan Sofware FEA,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, p. 22, 2024.
- [15] S. Suryady dan E. A. Nugroho, “Simulasi Faktor Keamanan dan Pembebanan Statik Rangka pada Turbin Angin Savonius,” *JURNAL JUKIM*, vol. 1, no. 2, p. 42–48, Mar 2022.
- [16] S. Suryady dan A. D. Sapto, “Analisis Pembebanan Statis terhadap Rangka Mesin Alat Pengaduk untuk Adonan Donat menggunakan Sofware FEA,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, p. 22, 2024.
- [17] M. A. Fauzi dan S. Nugroho, “Analisis Kegagalan Clamp U pada Sepeda Motor 200 Cc,” 2015.
- [18] Y. Winardi, F. Fadelan, M. Munaji, dan W. N. Krisdiantoro, “Pengaruh Elektroda Pengelasan Pada Baja AISI 1045 Dan SS 202 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik,” *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 8, no. 2, p. 86, Agu 2020, doi: 10.23887/jptm.v8i2.27772.
- [19] Akmal, M. Habibi, A. Nayan, Muhammad, dan Alchalil, “STUDI PENGELASAN SMAW PADA SAMBUNGAN KAMPUH V TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA AISI 1050,” *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, vol. 7, pp. 42–49, Jun 2024.