



Article Category

## ANALISIS STABILITAS DAN KETAHANAN MEJA JIG WELDING RANGKA SEPEDA MENGGUNAKAN PENDEKATAN CAE

Danu Adhitya Permana<sup>1</sup>, Naufal Raffi Nayyara<sup>2</sup>, Aldinal Anjasmara<sup>3</sup>, Ridho Hans Gurning<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Teknologi Rekayasa Otomotif, Jl. Letjen Suprpto No.26, Cemp. Putih Tim, Jakarta 10510, Indonesia

### ARTICLE INFO

Received : 06 February 2025  
 Revised : 08 April 2025  
 Published : 30 May 2025

### KEYWORDS

Bicycle Frame, Computer Aided Engineering (CAE), Fixture Rigidity, Jig Welding, Stress Analysis

### CORRESPONDENCE

E-mail Corresponding Author:

[danupermana256@gmail.com](mailto:danupermana256@gmail.com)

E-mail Co-Author:

[naufalraffi341@gmail.com](mailto:naufalraffi341@gmail.com)

[aldinal.anjas@gmail.com](mailto:aldinal.anjas@gmail.com)

[ridhohans@stmi.ac.id](mailto:ridhohans@stmi.ac.id)

This is an open access article under the CC-BY-NC license



### A B S T R A C T

Stabilitas dan ketahanan meja jig welding untuk rangka sepeda merupakan faktor kritis dalam memastikan presisi dan kualitas proses pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas struktural dan ketahanan meja jig welding rangka sepeda menggunakan analisis tegangan dan deformasi melalui pendekatan Computer-Aided Engineering (CAE). Material yang digunakan adalah Baja ASTM A572 dengan kekuatan luluh 344,756 MPa, kekuatan tarik ultimate 448,2 MPa, modulus Young 199,959 GPa, dan rasio Poisson 0,3. Metodologi meliputi karakterisasi material, perancangan 3D menggunakan CAD, dan simulasi CAE berbasis Finite Element Analysis (FEA) di bawah gaya beban penjepitan 413,21 N. Hasil analisis CAE menunjukkan tegangan Von Mises maksimum sebesar 7,58132 MPa, jauh di bawah kekuatan luluh material 344,756 MPa (rasio tegangan 2,2%), mengindikasikan tidak terjadi deformasi plastis. Perpindahan maksimum sebesar 0,0189499 mm mengkonfirmasi kekakuan struktural yang sangat baik, jauh di bawah ambang batas toleransi jig welding 0,5 mm. Faktor keamanan secara konsisten bernilai 15 ul di seluruh struktur. Dibandingkan dengan studi referensi menggunakan material SS400 yang memperoleh faktor keamanan 9,74 ul, desain ini menunjukkan keunggulan struktural yang lebih baik. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa desain meja jig welding dengan Baja ASTM A572 secara struktural memenuhi syarat dan aman digunakan sebagai alat bantu pengelasan rangka sepeda dalam lingkungan industri maupun pendidikan vokasional.

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terus mengalami kemajuan dari tahun ke tahun, teknologi baru dipertimbangkan untuk meningkatkan stabilitas kerangka kerja. Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang penting dalam industri manufaktur modern, termasuk otomotif, dirgantara, perkapalan, dan produk konsumen. Selain itu, untuk meningkatkan kerangka otomotif memerlukan teknologi pelumasan yang ideal untuk memaksimalkan sistem mekanik (Azmi et al., 2023) (Safri et al., 2024). Namun, evaluasi mekanik diperlukan setelah proses pengelasan. Sebagai contoh pada pembuatan rangka sepeda, pengelasan berperan besar dalam menjaga integritas struktural dan keselamatan pengguna (Naksri et al., 2021). Deviasi kecil pada sudut atau posisi sambungan las dapat memicu ketidakseimbangan struktur dan menurunkan kualitas hasil perakitan (Savu et al., 2021).

Meja jig welding merupakan alat bantu untuk menahan, mendukung, dan memosisikan benda kerja secara presisi selama proses pengelasan (Naksri et al., 2021). Implementasi jig welding pada proses pengelasan frame base terbukti

meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil pengelasan, karena posisi material dapat ditempatkan secara presisi sehingga mengurangi variasi hasil, kesalahan operator, dan cacat pengelasan (Purbaningrum & Imansuri, 2024). Hal ini sangat relevan untuk lingkungan pendidikan vokasional maupun produksi skala kecil yang membutuhkan alat bantu dengan tingkat presisi tinggi (Lianny et al., 2022).

Computer-Aided Engineering (CAE), khususnya dengan simulasi metode elemen hingga, dapat menganalisis perilaku mekanik model desain untuk memahami dan menguji kemampuan kinerja, termasuk memprediksi distribusi tegangan dan *displacement* (perpindahan) (Supriyanto & Hermawan, 2020). Pendekatan ini membantu perancang mengoptimalkan geometri dan material lebih awal sehingga biaya dan waktu pengembangan dapat ditekan.

Baja A572 grade 50, 60, dan 65 adalah baja HSLA yang umum digunakan dalam proyek konstruksi komersial, kelautan, serta jembatan/ sipil. Material ini memiliki kekuatan luluh 345 MPa (50,000 psi) dan kekuatan tarik ultimate 450 MPa (65,300 psi), sehingga sangat cocok untuk menahan gaya penjepitan dan getaran selama pengelasan (David, 2024).

Material baja ASTM A572 Grade 50 dipilih karena termasuk baja HSLA (High Strength Low Alloy) yang memiliki kekuatan tinggi, kemampuan las yang baik, dan efisiensi biaya untuk aplikasi struktural. ASTM A572 merupakan salah satu baja berkekuatan tinggi HSLA yang mencakup standar untuk kelas 42, 50, 55, 60, dan 65, serta memiliki sifat mekanik yang lebih baik dan ketahanan korosi dibandingkan baja biasa (Assidik & Gusniar, 2021). Dengan karakteristik tersebut, ASTM A572 menjadi kandidat yang layak untuk meja jig welding rangka sepeda.

## METODE

### Karakterisasi Material

Pada penelitian ini, material ASTM A572 digunakan sebagai material utama meja jig welding karena memiliki nilai *yield strength* yang lebih tinggi dibandingkan baja karbon biasa seperti ASTM A36 sehingga lebih mampu menjaga kestabilan struktur selama proses pengelasan berlangsung (Lee & Choi, 2021). Material ini juga memiliki sifat ketahanan terhadap tegangan sisa (*residual stress*) yang cukup baik sehingga cocok digunakan pada konstruksi jig welding yang menerima pengaruh panas secara berulang.

Karakteristik mekanik material ASTM A572 yang digunakan dalam simulasi CAE meliputi modulus elastisitas, massa jenis, rasio Poisson, tegangan luluh (*yield strength*), dan tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) (Saputro et al., 2024). Parameter tersebut digunakan sebagai data masukan dalam analisis *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan struktur meja jig welding.

**Tabel 1.** Material propertis Baja ASTM A572 Grade 50

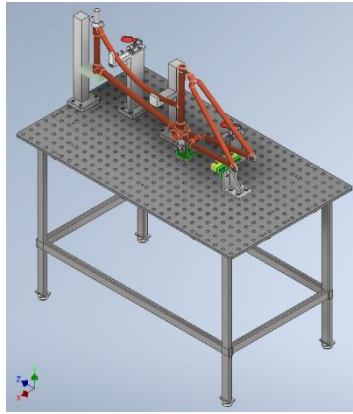
No.	Steel ASTM A572	Nilai
1.	Mass Density	7,85 g/cm <sup>3</sup>
2.	Yield Strength	345 MPa
3.	Ultimate Tensile Strength	450 MPa
4.	Young's Modulus	200 GPa
5.	Poisson's Ratio	0.3 ul

Data tersebut digunakan sebagai parameter utama dalam simulasi CAE untuk mengevaluasi kestabilan dan ketahanan struktur meja jig welding terhadap beban kerja.

### Perancangan Meja Jig Welding

Perancangan meja *jig welding* dilakukan untuk menghasilkan konstruksi yang mampu menopang rangka sepeda selama proses pengelasan sehingga posisi benda kerja tetap stabil dan presisi. Desain meja *jig* harus mempertimbangkan kekuatan struktur, kemudahan proses produksi, serta kemampuan menahan deformasi akibat pembebanan dan temperatur pengelasan (Soleh & Mulyadi, 2021).

Tahap awal perancangan dilakukan dengan menentukan dimensi meja berdasarkan ukuran rangka sepeda yang akan diproduksi. Selanjutnya dilakukan pemilihan profil struktur dan sistem penjepit (*clamping system*) agar rangka sepeda dapat ditahan dengan baik selama proses *welding* berlangsung (Soleh & Mulyadi, 2021).



**Gambar 1.** Desain 3D Meja Jig Welding Rangka Sepeda Berbahan ASTM A572 (Tampilan Isometri CAD)

Dimensi dan konfigurasi meja jig ditentukan berdasarkan geometri rangka sepeda standar dengan pendekatan ergonomis. Gaya penjepitan dihitung menggunakan persamaan berikut:

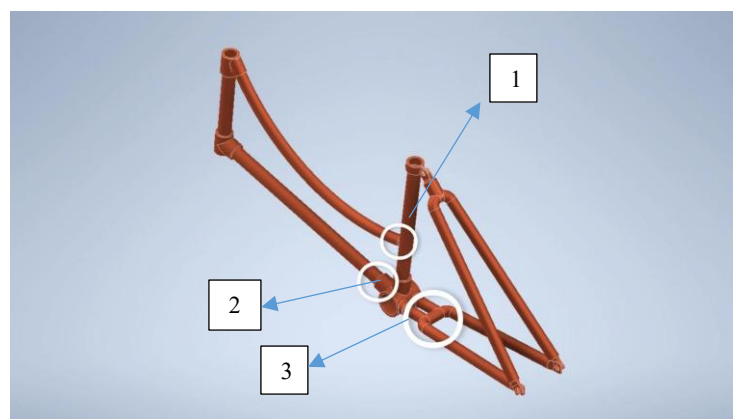
$$F_c = \frac{mg\mu_s}{A} \quad (1)$$

Di mana  $F_c$  adalah gaya penjepitan (N),  $m$  adalah massa benda kerja (kg),  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $\mu_s$  adalah koefisien gesek statis antara benda kerja dan ujung clamp, dan  $A$  adalah luas kontak ujung clamp ( $\text{m}^2$ ). Dengan menggunakan parameter benda kerja rangka sepeda, gaya beban yang dihitung dan diterapkan dalam simulasi CAE adalah 413,21 N, merepresentasikan total gaya penjepitan pada struktur jig.

Material ASTM A572 dipilih sebagai material utama konstruksi meja karena memiliki kekuatan yang tinggi dan kekakuan yang baik sehingga mampu mengurangi deformasi saat menerima beban kerja. Penggunaan material dengan kekuatan tinggi juga membantu meningkatkan umur pakai meja jig welding pada proses produksi berulang (Saputro et al., 2024).

Dalam proses desain, model meja jig welding dibuat menggunakan software CAD 3D untuk mempermudah proses simulasi dan evaluasi struktur. Desain yang telah dibuat kemudian dianalisis menggunakan pendekatan CAE untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi pada struktur meja sebelum proses manufaktur dilakukan (Shalihah & Kiswanto, 2023). Pendekatan desain awal berbasis simulasi seperti ini relevan dengan studi (Shalihah & Kiswanto, 2023) yang menunjukkan bahwa variasi dimensi pada desain *flexure* dapat dievaluasi secara numerik sebelum pembuatan prototipe, sehingga risiko kegagalan desain dapat diminimalisir sejak tahap awal.

#### **Penentuan titik las**



**Gambar 2.** Posisi Las pada Benda Kerja Rangka Sepeda

Gambar 2 menunjukkan tiga titik pengelasan yang ditandai dengan lingkaran putih pada area pertemuan komponen-komponen rangka. Ketiga titik tersebut terletak pada simpul struktural tempat dua atau lebih tube rangka saling bertemu, yaitu:

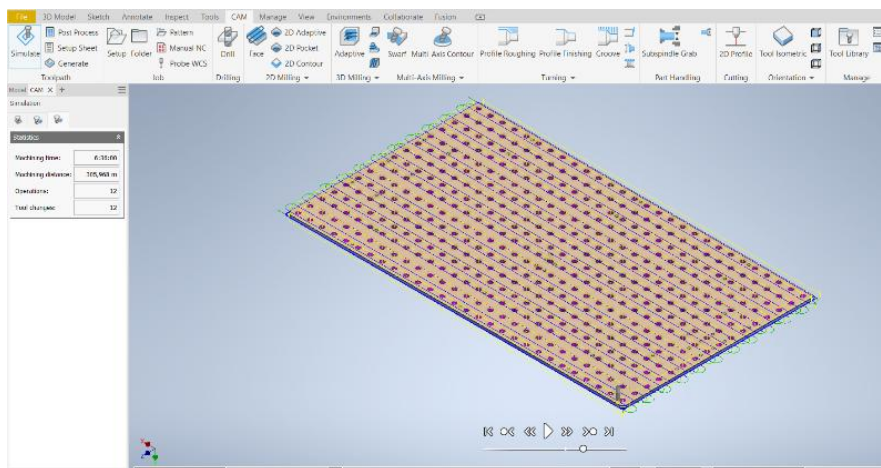
**Tabel 2.** Lokasi Titik Las

No.	Penentuan titik las
1.	Pertemuan antara <i>seat tube</i> dan <i>chain stay</i> bagian atas
2.	Area <i>bottom bracket</i> , tempat <i>down tube</i> bertemu dengan komponen tengah rangka
3.	Pertemuan antara <i>seat stay</i> dan <i>chain stay</i>

Pemilihan ketiga titik ini didasarkan pada pertimbangan struktural yang matang. Area-area tersebut merupakan simpul dengan konsentrasi tegangan tertinggi karena menerima gaya dari beberapa arah secara bersamaan. Menurut (Panca et al., 2024) integritas sambungan las pada titik-titik kritis seperti ini menjadi penentu utama ketangguhan keseluruhan struktur komponen, sehingga kesalahan pada tahap ini berdampak langsung pada keandalan rangka secara keseluruhan. Di sisi lain, aspek yang tidak kalah penting adalah pengendalian *deformasi* selama proses pengelasan berlangsung. (Sibanda et al., 2023) mengungkapkan bahwa pemanfaatan jig sebagai alat bantu posisi terbukti efektif dalam meningkatkan ketelitian penempatan benda kerja sekaligus menekan distorsi geometri yang umumnya timbul akibat paparan panas pengelasan. Ini berarti bahwa tanpa jig, risiko rangka menjadi tidak simetris atau bergeser dari dimensi rancangan menjadi jauh lebih besar.

### CAM (Computer-Aided Manufacturing)

Sebelum proses fabrikasi dijalankan secara langsung pada mesin CNC, tahapan simulasi *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) terlebih dahulu dilakukan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Fusion 360*. Dalam lingkungan CAM tersebut, lintasan pahat (*toolpath*) direncanakan secara virtual sehingga seluruh gerakan pemotongan dapat diverifikasi sebelum mesin beroperasi secara nyata. Pendekatan ini sejalan dengan pernyataan (Fauzan Novansyah & Abizar, 2023) bahwa simulasi CAM berfungsi sebagai langkah validasi yang memastikan proses pemesinan berjalan akurat dan efisien, sekaligus meminimalkan risiko kesalahan saat mesin CNC dioperasikan pada kondisi aktual.

**Gambar 3.** Hasil Waktu CAM Meja Jig Welding

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar, komponen *base plate* memerlukan waktu pemesinan sebesar 6 jam 36 menit dengan total jarak tempuh pahat mencapai 305,968 meter. Selama proses tersebut, terdapat 12 operasi pemesinan yang dijalankan secara berurutan dengan 12 kali pergantian pahat. Visualisasi *toolpath* pada tampilan 3D memperlihatkan pola lintasan pahat yang sejajar dan merata di seluruh permukaan komponen, mengindikasikan strategi pemesinan jenis *parallel finishing* atau *face milling* yang diterapkan untuk menghasilkan permukaan yang rata dan presisi.

Banyaknya tahapan operasi serta panjangnya lintasan yang ditempuh pahat mengindikasikan bahwa komponen ini mencakup area permukaan yang luas dengan standar akurasi geometri yang ketat. Dalam hal ini, penentuan jalur gerak pahat secara terencana melalui sistem CAM memegang peranan penting, sebab jalur tersebut mengatur seluruh pergerakan pahat mulai dari awal pemotongan hingga kembali ke posisi semula. Dengan demikian, pengaturan yang matang dan terorganisir atas jalur gerak pahat tersebut secara langsung berdampak pada pengurangan waktu proses produksi sekaligus menjamin keseragaman tingkat presisi dimensi komponen yang dikerjakan oleh mesin CNC (Liao & Huang, 2024) Dengan demikian, simulasi CAM pada komponen *base plate* ini menjadi tahapan krusial yang menghubungkan desain 3D dengan proses fabrikasi aktual, memastikan bahwa setiap lintasan pahat telah terencana dengan baik sebelum material sesungguhnya dikerjakan.

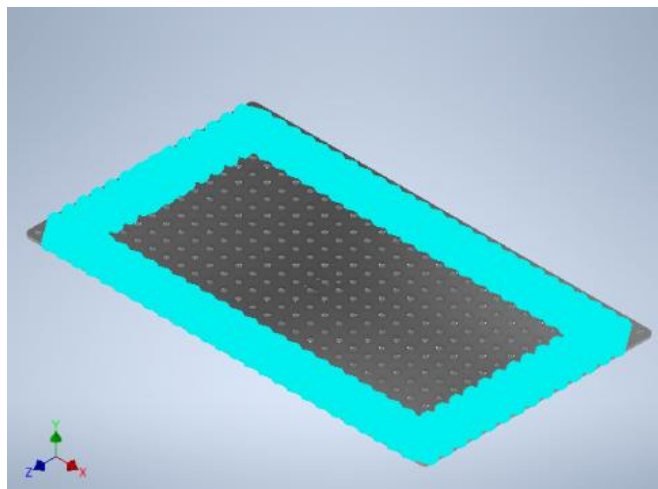
## CAE (Computer Aided Engineering)

Metodologi simulasi CAE dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengetahui karakteristik kekuatan dan kestabilan meja jig welding terhadap beban kerja. Simulasi dilakukan secara numerik dengan membagi model struktur menjadi elemen-elemen kecil (*meshing*) sehingga distribusi tegangan dan deformasi dapat dianalisis secara detail.

Tahap pertama simulasi dimulai dengan pembuatan model 3D meja *jig welding* menggunakan *software* CAD. Model tersebut kemudian diimpor ke dalam *software* CAE untuk dilakukan proses simulasi struktur. Setelah model dimasukkan, dilakukan penentuan jenis material ASTM A572 beserta sifat mekaniknya seperti modulus elastisitas, massa jenis, dan *yield strength* (Saputro et al., 2024).

Tahap berikutnya adalah proses *meshing* yang bertujuan membagi model menjadi elemen-elemen kecil agar proses perhitungan numerik dapat dilakukan dengan lebih akurat. Ukuran mesh yang lebih kecil umumnya menghasilkan tingkat ketelitian yang lebih baik namun membutuhkan waktu komputasi yang lebih besar. Rata-rata mesh yang di gunakan adalah 0.1 dengan minimum 0.2.

Setelah proses *meshing*, dilakukan penentuan *boundary condition* berupa titik tumpuan (*fixed support*) dan pemberian beban kerja sesuai kondisi aktual meja jig welding. Beban yang diberikan meliputi berat rangka sepeda dan beban tambahan akibat proses pengelasan.



**Gambar 4.** Penentuan titik tumpuan (*fixed support*)

Hasil simulasi CAE kemudian dianalisis untuk mengetahui distribusi tegangan Von Mises, nilai deformasi total, dan faktor keamanan (*safety factor*) pada struktur meja jig welding. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan harus berada di bawah batas *yield strength* material ASTM A572 agar struktur dinyatakan aman digunakan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Hasil Analisis CAE*

Analisis elemen hingga CAE pada meja jig welding rangka sepeda menghasilkan data komprehensif mengenai kinerja struktural di bawah kondisi pembebanan operasional. Hasil lengkap dirangkum pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Analisis CAE Meja Jig Welding Rangka Sepeda

Parameter	Minimum	Maksimum
Volume	12.296.300 mm <sup>3</sup>	–
Massa	96,5258 kg	–
Tegangan Von Mises	0,0001535 MPa	7,58132 MPa
Perpindahan	0 mm	0,0189499 mm
Faktor Keamanan	15 ul	15 ul

Total volume struktur meja jig welding adalah 12.296.300 mm<sup>3</sup> dengan total massa 96,5258 kg, massa struktur jig yang besar seperti yang dimiliki meja jig welding ini memberikan keunggulan dalam menjaga stabilitas dimensional selama proses pengelasan. Penggunaan jig sangat membantu operator yang dituntut untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan berkuantitas tinggi (Santoso, 2021). Dalam operasi pengelasan presisi, jig yang kokoh mampu mempersingkat proses

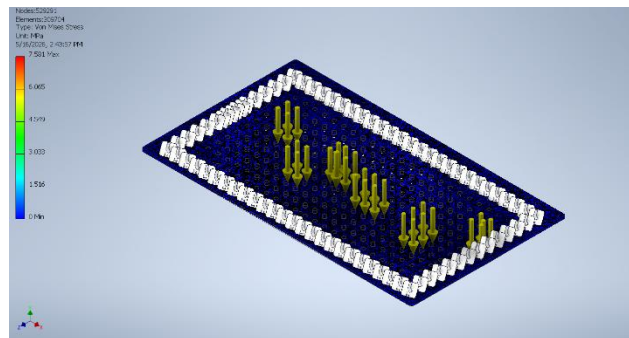
pengelasan dan mempertahankan toleransi yang ketat yang diperlukan, terutama pada fabrikasi komponen otomotif seperti rangka sepeda yang memerlukan akurasi sudut dan alignment yang sempurna.

### ***Analisis Tegangan von Mises***

Analisis tegangan von Mises merupakan kriteria utama untuk mengevaluasi integritas struktural meja jig welding (Tenggara & Djiwo, 2026). Kriteria von Mises (distortion energy theory) menentukan apakah material akan mengalami keluluhan di bawah kondisi tegangan gabungan triaksial yang ada dalam struktur tiga dimensi (Tenggara & Djiwo, 2026). Hasil simulasi menunjukkan tegangan von Mises minimum sebesar 0,0001535 MPa dan tegangan von Mises maksimum sebesar 7,58132 MPa.

Tegangan Von Mises maksimum sebesar 7,58132 MPa jauh lebih rendah dibandingkan kekuatan luluh Baja ASTM A572 yang sebesar 344,756 MPa (Riski Aldi Pratama et al., 2025). Rasio tegangan terhadap kekuatan luluh hanya 2,2%, mengindikasikan bahwa struktur meja jig sepenuhnya berada dalam rentang deformasi elastis dan tidak terjadi deformasi plastis atau keluluhan pada titik manapun dalam struktur (Tenggara & Djiwo, 2026).

Analisis tegangan von Mises digunakan untuk mengevaluasi distribusi tegangan dan menentukan faktor keamanan pada struktur, di mana nilai tegangan von Mises yang lebih besar dari tegangan luluh material akan mengindikasikan terjadinya keluluhan (Tenggara & Djiwo, 2026). Dalam penelitian simulasi Von Mises pada komponen las, hasil menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi masih jauh di bawah batas kekuatan material, yang mengindikasikan bahwa struktur aman dan tidak akan mengalami deformasi plastis.

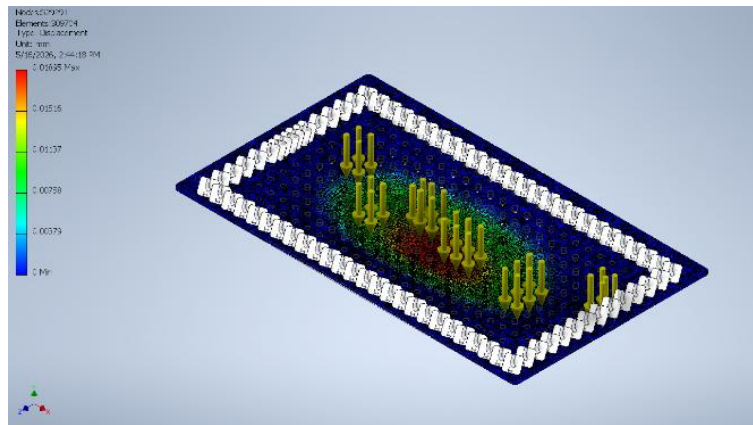


**Gambar 5.** Distribusi Tegangan Von Mises pada Meja Jig Welding (Maks: 7,581 MPa)

Ketika tegangan von Mises berada di bawah batas luluh, kondisi ini menunjukkan bahwa struktur berada dalam keadaan elastis dan tidak terjadi buckling atau deformasi permanen. Pendekatan analisis Von Mises dengan metode elemen hingga memberikan akurasi tinggi dalam memprediksi perilaku struktur di bawah pembebanan gabungan (Tenggara & Djiwo, 2026).

### ***Analisis Perpindahan (Displacement)***

Analisis perpindahan atau displacement berfungsi untuk mengetahui deformasi struktural pada meja jig (Li et al., 2024). Dalam menganalisis struktural pada meja jig menggunakan software autodesk inventor pada fitur *stress analyst*. Hasil simulasi menunjukkan perpindahan minimum sebesar 0 mm pada permukaan *fixed constraint* (bagian bawah pelat dasar) dan perpindahan maksimum sebesar 0,0189499 mm pada bagian teratas struktur di mana gaya penjepitan diterapkan. Deformasi yang sangat kecil membuktikan bahwa struktur meja jig memiliki kekakuan yang memadai dan tidak berpengaruh terhadap akurasi posisi maupun kualitas proses penjepitan yang dilakukan.

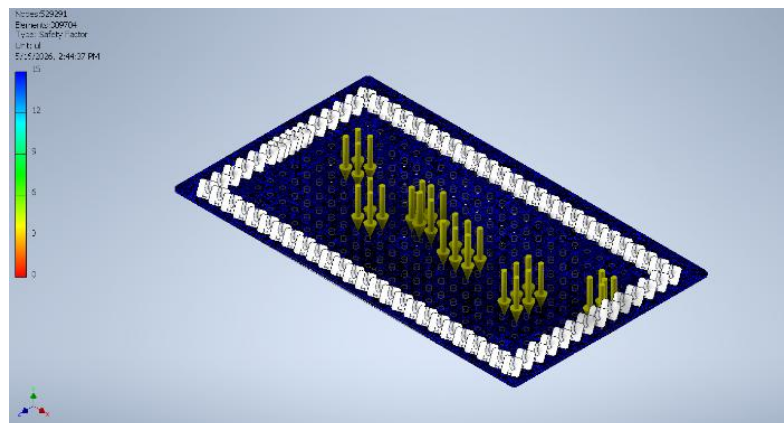


**Gambar 6.** Distribusi Perpindahan pada Meja Jig Welding (Maks: 0,01895 mm)

Nilai perpindahan yang sangat rendah sebesar 0,019 mm — atau hanya 3,8% dari ambang batas toleransi mengkonfirmasi kekakuan struktural yang sangat baik. Tingkat kekakuan struktural meja *jig* dapat dikaitkan dengan modulus yang tinggi dari Baja ASTM A572 (199,959 GPa) dan dimensi penampang yang besar dari elemen-elemen struktural. Konstruksi yang kokoh ini mencegah terjadinya defleksi yang berarti sehingga tidak mengorbankan akurasi geometri rangka sepeda selama dan setelah proses pengelasan (Shalihah & Kiswanto, 2023) (Ferdinandov et al., 2024).

#### **Analisis Faktor Keamanan**

Faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) merupakan parameter kritis yang mengukur margin antara tegangan yang diterapkan dengan tegangan kegagalan material. Berdasarkan standar teknik industri,  $SF > 1,5$  umumnya disyaratkan untuk komponen struktural statis, sementara  $SF > 2,0$  direkomendasikan untuk aplikasi dengan beban dinamis atau siklik. Hasil simulasi CAE menunjukkan bahwa faktor keamanan meja *jig welding* secara konsisten bernilai 15 ul di seluruh struktur.



**Gambar 7.** Distribusi Faktor Keamanan pada Meja Jig Welding (Nilai: 15 ul)

Faktor keamanan sebesar 15 ul melampaui standar minimum 1,5 dengan margin sangat besar (10 kali lipat), mengindikasikan desain yang sangat kokoh dengan cadangan keamanan substansial terhadap kegagalan struktural. Ini berarti struktur mampu menahan beban hingga 15 kali gaya penjepitan nominal (413,21 N) sebelum mencapai kondisi keluluhan, menjadikannya sangat robust untuk kondisi operasional yang tidak terduga (Sugiono et al., 2025).

#### **Validasi Desain dan Analisis Perbandingan**

Perbandingan ringkasan hasil CAE utama terhadap ambang batas material dan teknik disajikan pada Tabel 3, mengkonfirmasi kecukupan struktural desain secara komprehensif.

**Tabel 3.** Validasi Hasil CAE terhadap Standar Teknik

Parameter	Nilai CAE	Standar / Ambang Batas
Tegangan Von Mises (maks)	7,58 MPa	< 344,756 MPa (Kekuatan Luluh)
Perpindahan (maks)	0,019 mm	< 0,5 mm (Toleransi Jig)
Faktor Keamanan	15 ul	> 1,5 ul (Standar Industri)
Rasio Tegangan	2,20%	< 100% dari Kekuatan Luluh

Tabel 4 menyajikan perbandingan komprehensif penelitian ini dengan studi-studi terdahulu yang relevan menggunakan material dan konfigurasi berbeda.

**Tabel 4.** Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Parameter	Penelitian Ini (ASTM A572)	Referensi SS400(Fadhlorrohman Nurhadi & Putri Purbaningrum, 2025)
Material	ASTM A572	SS400
Fy (MPa)	344,756	400
$\sigma$ max (MPa)	7,58	32,74
$\Delta$ max (mm)	0,019	0,312
Faktor Keamanan	15 ul	

Dibandingkan dengan studi literatur yang menggunakan material SS400, desain meja *jig* dengan material ASTM A572 menunjukkan performa struktural yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai tegangan yang lebih rendah, yaitu 7,58 MPa dibandingkan 32,74 MPa, serta faktor keamanan yang lebih tinggi, yaitu 15 dibandingkan 9,74. Hasil ini mengindikasikan bahwa desain tersebut memiliki efisiensi struktural dan ketahanan yang lebih unggul untuk aplikasi rangka sepeda. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian FEA pada *fixture* otomotif yang menunjukkan bahwa optimasi material dan geometri secara bersamaan dapat meningkatkan faktor keamanan secara signifikan (Fadhlorrohman Nurhadi & Putri Purbaningrum, 2025)

## KESIMPULAN

Stabilitas struktural dan ketahanan meja *jig* welding rangka sepeda telah dianalisis secara komprehensif menggunakan pendekatan FEA berbasis CAE dengan Baja ASTM A572 Grade 50. Temuan utama penelitian ini adalah:

Tegangan Von Mises maksimum sebesar 7,58132 MPa (rasio 2,2% dari kekuatan luluh 344,756 MPa) mengkonfirmasi bahwa desain meja *jig* beroperasi sepenuhnya dalam rentang elastis tanpa deformasi plastis di bawah gaya penjepitan 413,21 N. Perpindahan struktural maksimum sebesar 0,0189499 mm (hanya 3,8% dari toleransi *jig* 0,5 mm) mendemonstrasikan kekakuan yang sangat baik yang menjamin akurasi posisi untuk operasi pengelasan rangka sepeda.

Faktor keamanan sebesar 15 ul secara substansial melampaui standar teknik minimum 1,5 ul (margin 10x), memberikan cadangan keamanan yang besar terhadap kegagalan struktural dalam kondisi operasional maupun beban berlebih yang tidak terduga. Dibandingkan dengan penelitian referensi (SF 9,74 ul untuk SS400), desain ini menunjukkan keunggulan struktural yang lebih baik, mengkonfirmasi bahwa Baja ASTM A572 merupakan pilihan material yang optimal untuk aplikasi *jig* welding rangka sepeda.

Untuk penelitian mendatang, direkomendasikan perluasan validasi dengan analisis tegangan termal selama proses pengelasan, prediksi umur kelelahan (*fatigue life*) di bawah beban penjepitan siklik, validasi eksperimental melalui pengujian prototipe fisik menggunakan *strain gauge*, serta optimasi topologi desain untuk mengurangi massa struktur sambil mempertahankan faktor keamanan di atas ambang batas yang disyaratkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assidik, A. F., & Gusniar, I. N. (2021). Analisa Pengaruh Pengelasan terhadap Sifat Mekanis Material High Strength Low-Alloy. *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(3), 63–68. <https://jurnal.unisa.ac.id/index.php/jft/article/download/99/92>
- Azmi, W. H., Nadia, N., Zawawi, M., & Ramadhan, A. I. (2023). *Binary Ratios for the Automotive Air-conditioning System*. 6(3), 485–496.
- Bagja Brilliant Tenggaral,\*, S. D. 1. (2026). *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi Analisa Tegangan Von Mises Stress , Deformation , Dan Safety Factor*. 6(1), 292–297.
- Fadhlorrohman Nurhadi, F., & Putri Purbaningrum, et al. (2025). Rancang Bangun dan Analisis Jig Welding Pengelasan Siku Sebagai Alat Bantu Praktikum Produksi Jig & Fixture di Politeknik STMI Jakarta. *Serambi Engineering*, X(2), 13091–13099.
- Fauzan Novansyah, & Abizar, H. (2023). Analisis Pemrograman Cnc Milling Pada Pembuatan Disc Brake Menggunakan Cad Cam. *Kurvatek*, 8(1), 73–80. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v8i1.4022>

- Ferdinandov, N., Gospodinov, D., Ilieva, M., Radev, R., & Hristov, G. (2024). Influence of the Pulse Mode of Manual Metal Arc Welding on Weldment Distortions. *Materials*, *17*(20). <https://doi.org/10.3390/ma17205067>
- Lee, S. H., & Choi, B. J. (2021). Mechanical properties of astm a572 grades 50 and 60 steels at high temperatures. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(24). <https://doi.org/10.3390/app112411833>
- Li, C., Hu, J., Kang, R., Yang, Y., Jin, J., & Tian, W. (2024). Structural deformation and clamping force monitoring of reconfigurable tooling motivated by strain data in aircraft assembly. *Smart Materials and Structures*, *33*(5). <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ad3eca>
- Lianny, I. K. M., Purbaningrum, S. P., & Solih, E. S. (2022). Implementation of Single Minute Exchange of Dies at PT Ganding Toolsindo. In *ACM International Conference Proceeding Series* (Vol. 1, Issue 1). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3557738.3557830>
- Liao, J., & Huang, Z. (2024). Data model-based toolpath generation techniques for CNC milling machines. *Frontiers in Mechanical Engineering*, *10*(March), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmech.2024.1358061>
- Naksri, C., Chuchom, S., & Chaiprapat, S. (2021). Design of Fixture for Welding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1163*(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1163/1/012007>
- Panca, A., Harun, P., Rantererung, C. L., & Salu, S. (2024). *Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Las Metode Lap Joint*. 1–4.
- Purbaningrum, S. P., & Imansuri, F. (2024). *Implementasi Jig Welding Untuk Meningkatkan*. *1*, 55–64.
- Riski Aldi Pratama, Idiar Idiar, & Subkhan Subkhan. (2025). Analisis Simulasi Von Mises Punch dan Die pada Bending Dudukan Handphone. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, *3*(5), 114–121. <https://doi.org/10.61132/mars.v3i5.1109>
- Safril, Azmi, W. H., Sharif, M. Z., & Zawawi, N. N. M. (2024). The Tribology Evaluation on a Four-Ball Tribometer Lubricated by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/PAG Nanolubricants. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, *21*(1), 11055–11063. <https://doi.org/10.15282/ijame.21.1.2024.09.0855>
- Saputro, S. A., Andoko, A., & Puspitasari, P. (2024). Evolution of Residual Stress, Crystal Orientation, and Texture on Preheating Weld Treatment of Low Carbon Steel ASTM A572 Grade 42. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*, *8*(1), 15. <https://doi.org/10.17977/um016v8i12024p015>
- Savu, T., Nanu, S., & Ene, I. C. (2021). Automatic positioning methodology and algorithm for modular jigs and fixtures components. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1018*(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1018/1/012015>
- Shalihah, A. R., & Kiswanto, G. (2023). *Preliminary Design of 2D Ultrasonic Vibration Assisted Micro-milling (UVAMM) Using Piezoelectric Stack Actuator BT - Advances in Automation, Mechanical and Design Engineering* (G. Carbone, M. A. Laribi, & Z. Jiang (eds.); pp. 269–276). Springer Nature Switzerland.
- Sibanda, P. S., Daniyan, I. A., Mpofu, K., Sekano, E. P., & Seloane, W. T. (2023). Performance Evaluation of a Smart Welding Fixture and Jig Assembly. *International Journal of Applied Engineering and Technology (London)*, *5*(3), 163–170. <https://doi.org/10.61485/ijaet/v5-3-2023-21>
- Soleh, M. Z. A., & Mulyadi, M. (2021). Design and Build JIG Design on Friction Stir Welding Using Fillet Connection on AA6061-T6 Material. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, *14*, 8–12. <https://doi.org/10.21070/ijins.v14i.536>
- Sugiono, D., Suprpto, S., Rahmad Aldori, Y., & Supardi, S. (2025). Analisa Tegangan dan Deformasi Pada Desain Kursi Menggunakan Finite Element Method Dengan Variasi Pembebanan. *Infotekmesin*, *16*(2), 387–393. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v16i2.2807>
- Supriyanto, A., & Hermawan, M. V. (2020). Prediksi Tegangan Dan Displacement Pada Desain Ulang Point Ripper Dozer D85E-Ss-2 Oleh Beban Vertikal Dengan Simulasi Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Atw*, *6*(3), 85–94.

**NOMENCLATUR**

Fc	Gaya penjepitan (N)
m	Massa benda kerja (kg)
g	Percepatan gravitasi (m/s <sup>2</sup> )
$\mu_s$	Koefisien gesek statis
A	Luas kontak ujung clamp (m <sup>2</sup> )
$\sigma_{vm}$	Tegangan Von Mises (MPa)
$\Delta$	Perpindahan / deformasi (mm)
Fy	Kekuatan luluh material (MPa)
Fu	Kekuatan tarik ultimate (MPa)
E	Modulus Young (GPa)
$\nu$	Rasio Poisson
G	Modulus geser (GPa)
SF	Faktor keamanan (ul = tak berdimensi)