Journal of Automotive Engineering Technology

ISSN (Print) XXXX-XXXX ISSN (Online) XXXX-XXXX

Article Category

Perancangan dan Optimasi Posisi Clamp pada Jig Welding untuk Mengurangi Distorsi Pengelasan Mounting Yamaha Aerox Menggunakan Simulasi CAE

Rachmat Rizami [1], Muhammad Daffa Fredian Pasha [2], Abu Ya'la ALkholili [3], Desy Agustin [4]

[1,2,3,4] *Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik STMI Jakarta, 10510, Indonesia*

ARTICLE INFO

Received : 06 February 2025
Revised : 08 July 2025
Accepted : 30 November 2025

KEYWORDS

Distortion, Von Mises, CAD, FEM, JIS G5501

CORRESPONDENCE

E-mail Correspnding Author:
rachmatrizami291005@gmail.com
E-mail Co-Author:
daffafredian12@gmail.com
buyaalkholili@gmail.com
desyag@stmi.ac.id

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

A B S T R A C T

Proses pengelasan pada komponen pemasangan Yamaha Aerox rentan terhadap distorsi karena pemanasan dan pendinginan yang tidak merata, yang secara langsung memengaruhi akurasi dimensi dan kualitas produk akhir. Tanpa mekanisme kontrol yang tepat, komponen yang dilas seringkali gagal memenuhi spesifikasi dimensi yang telah ditentukan, menjadikan desain jig las dengan posisi penjepit yang optimal menjadi solusi penting. Penelitian ini bertujuan untuk merancang jig las dan mengoptimalkan posisi penjepit untuk meminimalisir distorsi pengelasan pada komponen pemasangan Yamaha Aerox. Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada penerapan simulasi CAE yang secara sistematis menganalisis sensitivitas posisi penjepit untuk geometri komponen pemasangan sepeda motor tertentu, sebuah pendekatan yang sebelumnya tidak dilaporkan dalam literatur yang ada. Penelitian dilakukan secara sistematis, meliputi tinjauan literatur, desain jig las berbasis CAD, pengembangan empat varian konfigurasi penjepit, dan simulasi CAE/FEM untuk menganalisis distribusi suhu, tegangan Von Mises, dan nilai deformasi maksimum untuk setiap varian. Bahan yang digunakan adalah cor besi abu-abu (JIS G5501) dengan parameter pengelasan yang tetap konstan di semua varian simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Varian C dengan enam titik penjepit yang didistribusikan secara simetris menghasilkan deformasi maksimum terendah 0,873 MPa dan tegangan Von Mises sebesar 43 MPa. Varian A mencatat deformasi tertinggi pada 1.693 MPa, sedangkan Varian B dan D masing-masing menengah pada 1.223 MPa dan 1.308 MPa. Tingkat konvergensi 0,388% untuk Varian C menegaskan keandalan dan stabilitas hasil simulasi. Varian C terbukti menjadi konfigurasi penjepit yang paling optimal dan direkomendasikan untuk diimplementasikan dalam proses pengelasan komponen pemasangan Yamaha Aerox.

PENDAHULUAN

Proses pengelesan merupakan salah satu metode penyambungan logam yang paling sering digunakan dalam dunia industri manufaktur. Mounting mesin motor merupakan salah satu komponen yang menggunakan metode penyambungan tersebut untuk menyatukan beberapa bagian plat dan besi sehingga membentuk mounting motor (Nalawade et al., 2026). Tetapi, proses pengelasan sudah melekat dengan yang namanya distorsi akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak merata pada material, yang berdampak langsung terhadap akurasi dimensi dan kualitas produk akhir (R. Liu et al., 2026). Distorsi pengelasan adalah perubahan bentuk permanen pada struktur yang dilas yang disebabkan oleh tegangan termal dan tegangan sisa yang terbentuk selama siklus pengelasan berlangsung (Dogan et al., 2022). Berbagai studi telah menunjukkan bahwa distorsi pengelasan dapat menurunkan kualitas sambungan, memperpendek umur pakai komponen, serta meningkatkan biaya produksi akibat pekerjaan perbaikan yang diperlukan pascapengelasan (Osman, 2025). Pada komponen mounting mesin motor yang memiliki geometri kompleks dan toleransi dimensi yang ketat, distorsi pengelasan menjadi tantangan teknis yang signifikan. Tegangan sisa yang timbul akibat perubahan termal selama proses pengelasan berpotensi mengurangi kekuatan struktural komponen serta mengganggu keselarasan titik sambungan (Li et al., 2023).

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

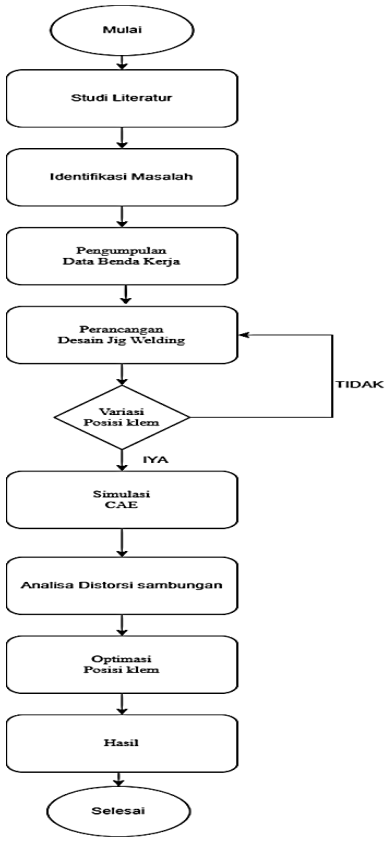
Penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa distorsi pengelasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain parameter pengelasan, urutan pengelasan, metode pengelasan, sifat material, serta kondisi pengekangan yang diterapkan selama proses pengelasan berlangsung (Dogan et al., 2022). Tanpa adanya mekanisme pengendalian distorsi yang tepat, komponen hasil pengelasan sering kali tidak memenuhi spesifikasi dimensi yang telah ditentukan (Osman, 2025). Oleh karena itu, perancangan welding jig yang efektif dengan posisi clamp yang optimal menjadi salah satu solusi kritis dalam pengendalian distorsi pengelasan pada proses manufaktur komponen otomotif. Penelitian ini memberikan pendekatan yang mengintegrasikan perancangan jig welding berbasis CAE dengan optimasi posisi clamp secara sistematis untuk komponen mounting Yamaha Aerox (Nalawade et al., 2026). Pembaruan pada penelitian ini terletak pada penerapan simulasi CAE yang membantu menganalisis sensitivitas posisi clamp secara sistematis untuk geometri komponen mounting sepeda motor dengan spesifik, sebuah pendekatan yang belum pernah dilaporkan sebelumnya dalam literatur yang ada (Li et al., 2023).

Pendekatan optimasi yang diusulkan mempertimbangkan secara komprehensif distribusi termal selama proses pengelasan, kondisi batas pengekangan, serta respons mekanik struktural komponen secara simultan, sehingga menghasilkan konfigurasi clamp yang optimal berdasarkan analisis fenomena yang komprehensif (Křepelka et al., 2024). Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang pada umumnya mempertimbangkan optimasi parameter tunggal, penelitian ini secara simultan mengoptimalkan jumlah titik clamp, posisi koordinat spasial, dan besarnya gaya pengekangan untuk mendapatkan konfigurasi terbaik yang meminimalkan distorsi pengelasan secara keseluruhan (Sadeghi Tabar et al., 2024). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merancang jig welding yang sesuai untuk proses pengelasan mounting Yamaha Aerox, mengoptimalkan posisi clamp menggunakan simulasi CAE untuk meminimalkan distorsi pengelasan, memvalidasi efektivitas desain jig yang dioptimalkan melalui perbandingan antara hasil simulasi dan pengujian eksperimental, serta, mengembangkan panduan desain praktis untuk perancangan jig welding pada komponen otomotif sejenis (Naksri et al., 2021). (Yusa et al., n.d.)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental berbasis simulasi *Computer Aided Engineering* (CAE) untuk menganalisis pengaruh variasi posisi klem pada jig welding terhadap distorsi pengelasan mounting Yamaha Aerox. Metode penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari studi literatur, identifikasi masalah, pengumpulan data benda kerja, perancangan jig welding, variasi posisi klem, simulasi CAE/FEM, analisis distorsi sambungan, hingga optimasi konfigurasi klem untuk memperoleh desain penjepitan yang paling optimal dalam meminimalkan deformasi hasil pengelasan.

Prosedur Penelitian



https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

Gambar 1. *Flowchart* Perancangan *Jig Welding*

Studi Literatur

Tahap ini dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu mengenai distorsi pengelasan, jig welding, posisi klem, serta simulasi CAE/FEM. Studi literatur bertujuan sebagai dasar teori dan acuan metode penelitian.

1. Identifikasi Masalah
   Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui penyebab distorsi pada sambungan las mounting Yamaha Aerox yang dipengaruhi oleh distribusi panas pengelasan dan posisi penjepitan clamp yang kurang optimal.
2. Pengumpulan Data Benda Kerja
   Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur dimensi benda kerja, ketebalan material, jenis material, titik pengelasan, serta parameter pengelasan yang digunakan sebagai data input simulasi.
3. Perancangan Desain Jig Welding
   Tahap ini dilakukan dengan membuat desain jig welding menggunakan perangkat lunak CAD agar mampu menopang dan menjaga posisi benda kerja selama proses pengelasan berlangsung.
4. Variasi Posisi Klem
   Beberapa variasi posisi clamp dibuat dengan mengubah jumlah dan letak penjepitan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai distorsi hasil pengelasan.
5. Simulasi CAE
   Model benda kerja dan jig dianalisis menggunakan simulasi CAE/FEM untuk mengetahui distribusi temperatur, tegangan sisa, serta deformasi akibat proses pengelasan.
6. Analisa Distorsi Sambungan
   Hasil simulasi dibandingkan untuk mengetahui besar distorsi pada setiap variasi posisi clamp sehingga dapat diketahui konfigurasi yang paling stabil.
7. Optimasi Posisi Klem
   Tahap optimasi dilakukan dengan menentukan posisi klem terbaik yang menghasilkan distorsi minimum dan kestabilan benda kerja yang optimal selama pengelasan.
8. Result
   Tahap ini menghasilkan data akhir berupa nilai distorsi tiap variasi klem, hasil simulasi CAE, serta desain jig welding dengan konfigurasi klem terbaik.

Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 jenis variabel yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Rincian variabel tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Keterangan
Variabel Bebas	Variasi titik pengkleman terhadap benda kerja	Variasi dilakukan pada jumlah *clamp*, jarak clamp terhadap titik las, serta posisi simetris dan asimetris penjepitan.
Variabel Terikat	Distorsi hasil pengelasan mounting Yamaha Aerox	Diukur berdasarkan nilai deformasi maksimum hasil simulasi CAE/FEM dalam satuan mm
Variabel Kontrol	Jenis material, ketebalan pelat, parameter pengelasan, dan jenis sambungan las	Material baja karbon rendah, ketebalan pelat sesuai spesimen, arus dan tegangan pengelasan dibuat tetap selama simulasi berlangsung

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

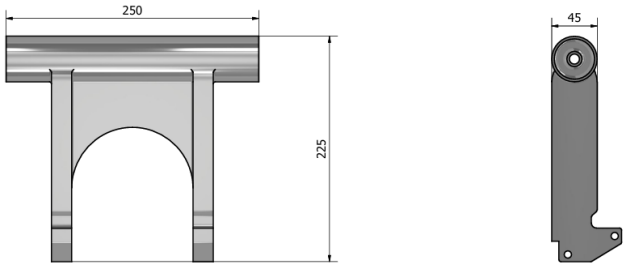
1. Variabel bebas pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sistem penjepitan terhadap kestabilan benda kerja selama proses pengelasan berlangsung. Posisi *clamp* yang berbeda akan menghasilkan distribusi gaya penahanan yang berbeda pula, sehingga mempengaruhi besar kecilnya deformasi akibat pemuaian dan penyusutan termal selama proses pengelasan.
2. Variabel terikat pada penelitian ini adalah distorsi hasil pengelasan mounting Yamaha Aerox. Distorsi dianalisis berdasarkan nilai deformasi maksimum yang diperoleh dari hasil simulasi CAE/FEM. Nilai deformasi tersebut digunakan sebagai indikator utama untuk menentukan efektivitas variasi posisi *clamp* dalam mengurangi perubahan bentuk pada sambungan las. Semakin kecil nilai distorsi yang dihasilkan, maka konfigurasi penjepitan dianggap semakin optimal dalam menjaga kestabilan benda kerja.
3. variabel kontrol digunakan untuk menjaga konsistensi penelitian agar hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel bebas. Variabel kontrol yang digunakan meliputi jenis material, ketebalan pelat, parameter pengelasan, dan jenis sambungan las. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan ketebalan pelat sesuai spesimen penelitian. Parameter pengelasan seperti arus, tegangan, dan kondisi proses dibuat tetap pada setiap variasi simulasi sehingga perubahan nilai distorsi yang terjadi hanya dipengaruhi oleh perubahan posisi *clamp*.

Data Benda Kerja

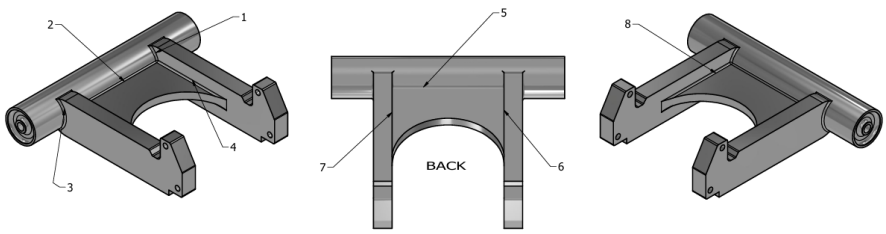
Data penelitian diperoleh melalui observasi dan pengukuran langsung terhadap komponen mounting Yamaha Aerox dengan material yang umum digunakan untuk produksi komponen mounting adalah jenis grey iron cast (JIS G5501). Data yang dikumpulkan meliputi:

Tabel 2. Properti Material *Grey Iron Cast*

Material	Sifat	Nilai
Grey iron cast/F-200/JIS G5501	Mass Density	7.15 g/cm^3
	Yield Strength	758 MPa
	Tensile Strength	884 MPa
	Young's Modulus	120.5 GPa
	Poisson's Ratio	0.3 ul
	Shear Modulus	46.3462 GPa



Gambar 2. Dimensi Luar Benda Kerja *Mounting Aerox*



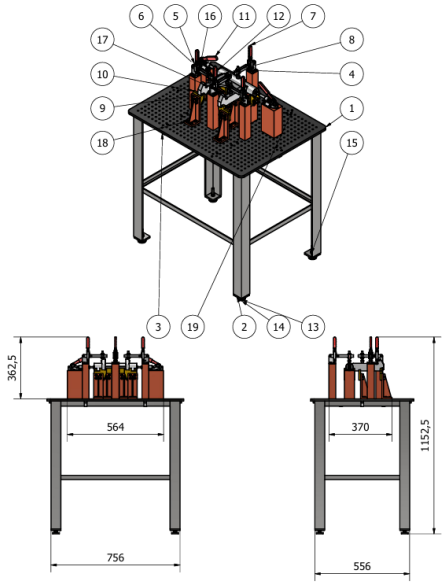
Gambar 3. Titik - Titik Pengelasan Pada Benda Kerja *Mounting Aerox*

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Perancangan Jig Welding

Hasil perancangan *jig welding* memungkinkan mampu menahan komponen mounting agar tetap stabil saat dilakukan proses pengelasan dan diharapkan mendapatkan hasil akhir yang maksimal. Jig dirancang menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor dengan mempertimbangkan dimensi aktual benda kerja, titik-titik pengelasan, serta aksesibilitas proses pengelasan. Desain akhir jig welding terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4 berikut.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TABLE PLATE	S50C
2	1	FRAME TABLE	FIREBALL TOOL EU
3	10	PLAT U	FIREBALL TOOL EU
4	4	DUDUKAN CLAMP VERTIKAL	S45C
5	2	DUDUKAN CLAMP HORIZONTAL	S45C
6	6	LOCATOR BODY	S45C
7	4	VERTIKAL CLAMP	MISUMI
8	2	LOCATOR HEAD V	S50C
9	2	LOCATOR HEAD IN	S50C
10	2	LOCATOR HEAD OUT	S50C
11	2	HORIZONTAL CLAMP	MISUMI
12	1	MOUNTING	JIS G5501
13	4	PLATE FOOT	FIREBALL TOOL EU
14	4	FEET	FIREBALL TOOL EU
15	4	NUT FOOT	FIREBALL TOOL EU
16	24	CLAMP BOLT	MISUMI
17	24	LOCATOR BOLT TO HEAD	MISUMI
18	24	LOCATOR BOLT	MISUMI
19	20	BOLT PLAT U	MISUMI

Gambar 4. Rancangan *Jig Welding Mounting* Beserta Komponen Pendukungnya

Hasil desain *jig welding* rancang secara visual melalui simulasi perakitan pada perangkat lunak CAD sebelum dilanjutkan ke tahap simulasi CAE untuk mengetahui apakah titik pengkleman berfungsi semestinya.

Variasi Konfigurasi Posisi *Clamp*

Berdasarkan hasil perancangan jig, empat variasi konfigurasi posisi clamp dikembangkan untuk dianalisa melalui simulasi CAE. Perbedaan antar variasi terletak pada jumlah clamp yang digunakan, jarak penempatan terhadap titik clamp, serta pola distribusi penjepitan (simetris atau asimetris). Pemilihan jenis klem didasarkan pada geometri benda kerja yang cukup kompleks, jadi diperlukan bentuk clamp yang dapat menjangkau titik pengkleman. Untuk klemp vertikal menggunakan jenis *long arm* dengan tekanan maks 1800 N. Untuk jenis klem horizontal juga menggunakan tekanan 1800 N. Nilai tekanan tersebut sudah cukup melakukan pengkleman agar benda kerja tetap pada posisinya.

Tabel 3. Rincian Posisi Pengkleman Terhadap Benda Kerja

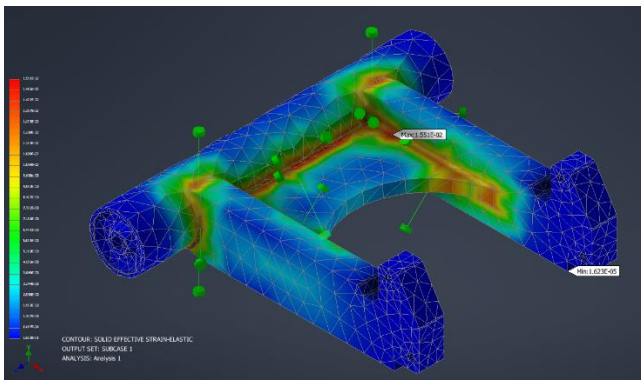
Variasi	Jumlah Clamp	Posisi Pengkleman	Distribusi	Force/Clamp (N)
A	4	Di tengah titik las dan ujung mounting	Simetris	1800
B	5	Dominan horizontal di sisi luar mengarah ke titik las	Simetris	1800
C	6	Kombinasi pengkleman terhadap sumbu x dan y secara simetris	Simetris	1800
D	8	Kombinasi pengkleman terhadap sumbu x dan y secara simetris dengan bantuan clamp dari ujung mounting	Simetris	1800

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

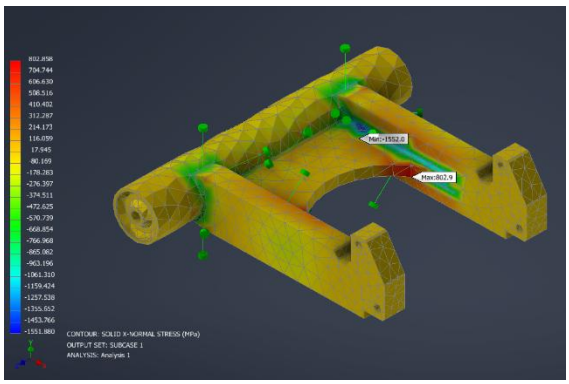
Hasil Simulasi CAE (Distribusi Temperatur)

Simulasi distribusi temperatur dilakukan untuk memverifikasi pola rambat panas selama proses pengelasan pada tiap variasi konfigurasi clamp. Hasil simulasi menggunakan software inventor menunjukkan bahwa sumber panas pengelasan menghasilkan gradien temperatur yang signifikan antara zona fusi, heat-affected zone (HAZ), dan material di luar area pengelasan. Pada Gambar 5, distribusi temperatur secara keseluruhan tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar variasi konfigurasi clamp, karena parameter pengelasan (arus, tegangan, kecepatan) dijaga konstan sebagai variabel kontrol.

Perbedaan yang diamati terjadi pada laju pendinginan di area sekitar clamp, di mana kontak fisik antara clamp dan benda kerja menciptakan jalur konduksi panas tambahan yang mempercepat proses pendinginan lokal. Hal ini berkontribusi pada perbedaan tegangan sisa yang terbentuk antar variasi. Gambar 6, menunjukkan bahwa pada area sekitar pengelasan mengalami peningkatan tegangan yang dapat menyebabkan deformasi. Nilai tegangan maksimum dari hasil simulasi FEA tersebut menunjukkan angka +802,9 MPa, sedangkan nilai tegangan minimum berada di angka -1551 Mpa. Nilai tersebut sudah melewati nilai yield strength material sehingga diperlukan pembebanan tambahan berupa penambhan clamp untuk menjaga struktur benda kerja agar dapat mempertahankan kondisi aslinya.



Gambar 5. Distribusi Termal Hasil Pengelasan dari Simulasi FEA



Gambar 6. Distribusi Tegangan Akibat Perbedaan Suhu yang Tinggi

Pada **Gambar 5.** Titik Maks. distribusi termal ditandai dengan warna merah pada setiap sudut benda kerja yang merupakan titik alur pengelasan. Titik termal tersebut menyebar karena perpindahan suhu sampai ketitik rendah yang ditandai dengan warna biru. Sedangkan **Gambar 6.** Memperlihatkan tentang potensi terjadinya distorsi akibat suhu yang tinggi. Potensi tersebut ditandai dengan warna merah yang terdapat di area sekitar area pengelasan dengan geometri yang tidak terlalu tebal.

Nilai Deformasi Pada Setiap Variabel Hasil Simulasi CAE

Nilai deformasi maksimum yang diperoleh dari simulasi CAE untuk masing-masing variasi konfigurasi clamp disajikan pada **Tabel 4.** Nilai ini merupakan parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas setiap konfigurasi dalam mengendalikan distorsi pengelasan pada komponen mounting Yamaha Aerox.

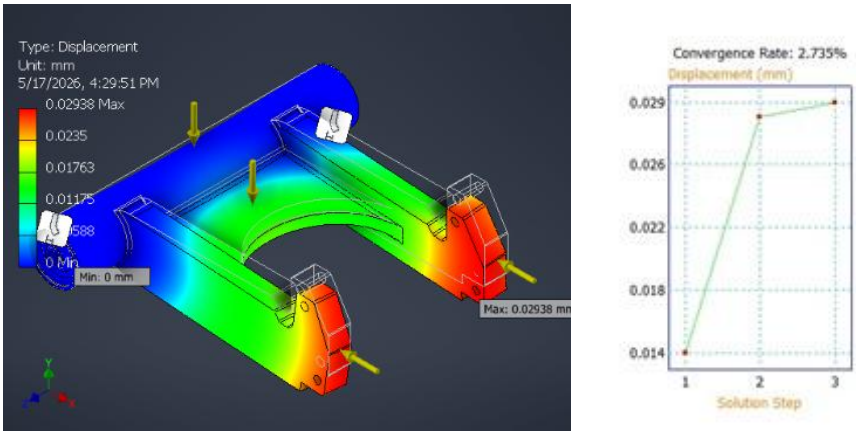
Tabel 4. Analisis Nilai Deformasi pada Setiap Variasi Titik Pengkleman

Variasi	Deformasi Maks. (MPa)	Von Mises (MPa)	Temp. Maks. (C°)
A	1,693	58	1.478
B	1,223	66	1.501
C	0,873	43	1.456
D	1,308	89	1.497

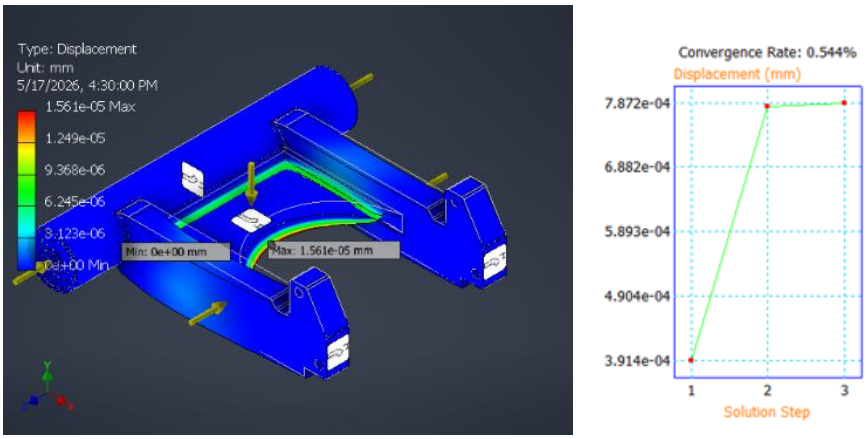
Tabel 4. menunjukkan bahwa Variasi C menghasilkan nilai deformasi maksimum terendah sebesar 0,873 MPa dengan tegangan Von Mises 43 MPa, mengindikasikan konfigurasi titik pengkleman yang paling efektif dalam meminimalkan distorsi. Sebaliknya, Variasi A mencatat deformasi tertinggi sebesar 1,693 MPa meskipun memiliki tegangan Von Mises yang relatif rendah (58 MPa). Variasi D menunjukkan tegangan Von Mises paling tinggi (89 MPa) dengan temperatur maksimum 1,497 °C, sementara Variasi B berada pada posisi menengah di semua parameter.

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

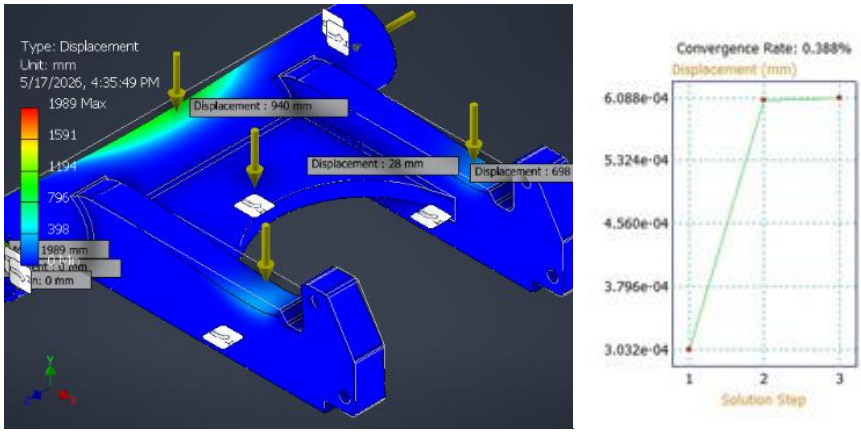
Hasil simulasi CAE berupa distribusi displacement pada komponen mounting untuk empat variasi konfigurasi titik pengkleman (A, B, C, dan D) disajikan pada Gambar 7-10, disertai grafik konvergensi masing-masing variasi untuk mempermudah validasi pertimbangan pilihan titik pengkleman yang optimal.



Gambar 7. Hasil Simulasi CAE Pada Variasi A

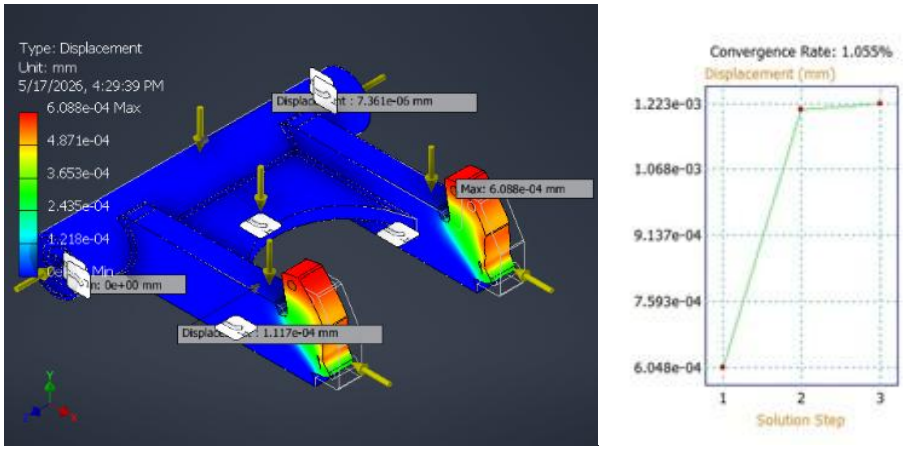


Gambar 8. Hasil Simulasi CAE Pada Variasi B



Gambar 9. Hasil Simulasi CAE Pada Variasi C

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609



Gambar 10. Hasil Simulasi CAE Pada Variasi D

Dari keempat hasil simulasi CAE diatas, Variasi C Gambar. 9, menunjukkan kondisi paling optimal dengan nilai displacement maksimum terendah dan convergence rate sebesar 0,388%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa konfigurasi titik pengkleman pada variasi ini paling efektif dalam mendistribusikan beban secara merata sehingga deformasi yang terjadi pada komponen dapat diminimalkan secara signifikan. Variasi B Gambar. 8, juga menunjukkan hasil yang cukup baik dengan convergence rate 0,544% dan nilai displacement yang relatif rendah, meskipun belum seoptimal Variasi C. Variasi D Gambar. 10, berada pada posisi menengah dengan nilai displacement maksimum sebesar 6,088e-04 mm dan convergence rate 1,055%, menunjukkan bahwa konfigurasi ini masih memberikan tingkat kestabilan yang cukup memadai. Sementara itu, Variasi A Gambar. 7, mencatat nilai displacement tertinggi dengan convergence rate 2,735%, yang mengindikasikan distribusi beban pengkleman paling tidak merata di antara keempat variasi, sehingga berpotensi menghasilkan distorsi yang lebih besar pada hasil pengelasan. Hasil simulasi ini menegaskan bahwa variasi C merupakan konfigurasi yang paling direkomendasikan untuk diterapkan dalam proses pengelasan komponen mounting karena paling stabil. Hasil akhir proses perancangan jig welding komponen mounting dapat dilihat pada Gambar. 10, berikut.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan dalam bab pendahuluan, yakni merancang jig welding yang efektif dan mengoptimalkan posisi clamp untuk meminimalkan distorsi pengelasan pada komponen mounting Yamaha Aerox melalui pendekatan simulasi CAE. Hasil dan pembahasan mengonfirmasi bahwa variasi posisi dan jumlah titik pengkleman memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai deformasi, distribusi tegangan, serta kestabilan benda kerja selama proses pengelasan berlangsung.

Di antara keempat konfigurasi yang diujikan, Variasi C dengan enam titik clamp yang terdistribusi secara simetris terhadap sumbu x dan y terbukti menjadi konfigurasi paling optimal, menghasilkan deformasi maksimum terendah sebesar 0,873 MPa, tegangan Von Mises 43 MPa, dan convergence rate 0,388%. Temuan ini selaras dengan hipotesis awal bahwa distribusi pengekangan yang lebih merata dan simetris mampu menekan tegangan sisa serta deformasi akibat pemuaian dan penyusutan termal secara lebih efektif. Sementara itu, Variasi A yang hanya menggunakan empat titik clamp menunjukkan performa terburuk dengan deformasi tertinggi sebesar 1,693 MPa, mengindikasikan bahwa jumlah titik pengkleman yang terlalu sedikit tidak mampu menahan gaya termal secara memadai.

Ke depannya, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan validasi eksperimental secara fisik terhadap desain jig Variasi C menggunakan pengujian distorsi aktual pascapengelasan, hal tersebut mengonfirmasi keselarasan antara hasil simulasi CAE dan kondisi nyata di lapangan. Selain itu, studi lanjutan dapat diarahkan pada optimasi parameter pengelasan seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan secara bersamaan dengan variasi posisi clamp untuk memperoleh kombinasi parameter yang lebih komprehensif dalam meminimalkan distorsi. Pengembangan model simulasi dengan mempertimbangkan fenomena metalurgi seperti perubahan fasa material dan tegangan sisa jangka panjang juga dapat meningkatkan akurasi prediksi distorsi.

DAFTAR PUSTAKA

Adamsab, K. (2021). Simulation of welding to study residual stress and distortions. *Materials Today: Proceedings*, *44*, 4445–4450. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.10.683

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609

Adamsab, K. (2022). Materials Today: Proceedings. *Materials Today: Proceedings*, *110*(C), 7853. https://doi.org/10.2139/ssrn.5011675

Arifandi, S., Faqih, M. N., & Apriyanto, H. (2026). *ANALISIS CHASSIS PROTOTIPE GREEN AGV MENGGUNAKAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) DI AKADEMI KOMUNITAS TOYOTA INDONESIA*. *8*, 39–50.

Arifin, F., Azharuddin, Arnoldi, D., Effendi, S., Herlambang, Y. D., Yahya, Muhammad Arif Fadilah, & Radjiq, A. (2023). Design Simulation of Upper Arm on Welding Table. *International Journal of Mechanics, Energy Engineering and Applied Science (IJMEAS)*, *1*(1), 7–11. https://doi.org/10.53893/ijmeas.v1i1.215

ARMAS, R. F., & Sudiro, S. (2021). Optimasi pada Welding Station untuk Menekan Waktu tidak Produktif pada Pengelasan Robotik Rangka Tempat Tidur. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, *11*(3), 151–158. https://doi.org/10.35814/teknobiz.v11i3.2902

Doan, T. T. (2023). Experiment measurement of the cracks by the Sodium Chloride concentration and temperature changes. *Materials Today: Proceedings*, *111*(C), 199–213. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.02.024

Dogan, E., Ay, M., Kurtulmus, M., Yukler, A. I., & Etyemez, A. (2022). Effects of welding parameters on the angular distortion of welded steel plates. *Open Chemistry*, *20*(1), 417–423. https://doi.org/10.1515/chem-2022-0152

Garcia, L. M., Noronha, V. T., & Ribeiro, J. (2021). Effect of welding orientation in angular distortion in multipass gmaw. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, *5*(2). https://doi.org/10.3390/JMMP5020063

Guo, J., Park, C., Qian, D., Hughes, T. J. R., & Liu, W. K. (2026). Large language model-empowered next-generation computer-aided engineering. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, *450*, 118591. https://doi.org/10.1016/J.CMA.2025.118591

Hanafi, A. F., Siregar, A. S., Bhisma, P., Wardhana, W., & Umar, M. L. (2025). *Mechanical Contact Stress Analysis of Rollers at Various Hot Rolling Reductions Using Finite Element Approach Agung Fauzi Hanafi et al ./ Jurnal Rekayasa Mesin*. *20*(3), 359–368.

Ilham Taufik Maulana, Ahmad Zohari, Adik Susilo Wardoyo, & Pilar Adhana Heryanto. (2021). Analisa Desain Rangka Alat Compact Heat Induction Press Menggunakan Metode Finite Element Analysis . *Jurnal Engine : Energi, Manufaktur, Dan Material*, *5*(2), 83–89.

K, A. R. N., Buku, A., & Ranterung, C. L. (2026). *Analisis Aliran Udara Dan Tekanan Pada Silinder Double Acting Scissor Lift Pneumatik Menggunakan Metode FEA dan CFD*. *5*(1), 400–406.

Křepelka, J., Schovánek, P., Tuček, P., Hrabovský, M., & Jáně, F. (2024). Optimization of Component Assembly in Automotive Industry. *Measurement Science Review*, *24*(1), 36–41. https://doi.org/10.2478/msr-2024-0005

Krisdiyanto, K., Fikri, M. N., Adi, R. K., & Nugroho, A. R. A. (2021). Stress Analysis on Tubesheet Referring to TEMA Standard. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, *5*(1), 52–57. https://doi.org/10.18196/jmpm.v5i1.12340

Lasinta Ari Nendra Wibawa. (2021). Static Stress Analysis and Fatigue Life Prediction of Rocket Motor Test Stand Using Numerical Simulation. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, *6*(2), 9–13. https://doi.org/10.21070/r.e.m.v6i2.1533

Li, X., Hu, L., Fang, S., & Deng, D. (2023). Influence of clamping on out-of-plane deformation in thin-plate mild steel welded structures. *Journal of Materials Research and Technology*, *25*, 4380–4395. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.229

Liu, R., Xu, T., Li, W., Liu, H., Cai, J., & Lei, J. (2026). *Structural optimization and stiffness enhancement strategy for wing horizontal assembly tooling fixture Structural optimization and stiffness enhancement strategy for wing horizontal assembly tooling fixture*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/3207/1/012036

Liu, S., Wu, Z., Zhou, W., Zhou, H., Zhang, K., Yin, D., Lei, Y., & Qiu, Y. (2023). A review of welding simulation methods for large components. *Progress in Natural Science: Materials International*, *33*(5), 551–568. https://doi.org/10.1016/J.PNSC.2023.12.004

Methods, C., Mech, A., Guo, J., Park, C., Kam, W., & Hughes, T. J. R. (2026). *Large language model-empowered next-generation computer-aided engineering*. *450*(November 2025), 118591.

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

Nalawade, R., Deshmukh, K. P., Vidhate, D., Prakash, V., & Dabhadkar, M. M. (2026). Advanced Welding Process Simulation for Prediction and Control of Distortion and Residual Stresses in Automotive Sheet Metal Component Assembly. *SAE Technical Paper Series*, *1*, 4–5. https://doi.org/10.4271/2026-26-0412

Osman, S. A. (2025). Improving Weld Accuracy and Reducing Production Time through Fixture-Assisted TIG Welding. *Journal of Mechanical Engineering*, *14*(SI 2025), 1–17. https://doi.org/10.24191/jmeche.v14i1.8780

Prasetya, D., & Jannati, E. D. (2024). Pembuatan Bracket Finish Panel Mounting D74 Menggunakan Mesin Press Stamping Pux 100. *Seminar Teknologi Majalengka (Stima)*, *8*, 387–393. https://doi.org/10.31949/stima.v8i0.1125

Ramadhani, N. R., Pramudya, G. A., Ihsan, N., Alif, A., & Ibrahim, F. R. (2023). *Literature Review : The Application of Jigs and Fixtures in the Manufacturing Industry to Improve Production Efficiency*. 1–4.

Rear, A., & Component, C. (2022). *Automotive Rear Chassis Component*.

Sadeghi Tabar, R., Lindkvist, L., Wärmefjord, K., Franciosa, P., Ceglarek, D., & Söderberg, R. (2024). Enhancing Welding Geometric Precision: Analyzing the Impact of Weld Path Directions, Sequences and Locating Schemes on Displacement. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(23). https://doi.org/10.3390/app142311144

Safril, Wirandi, M., Sumasto, F., Imansuri, F., Fauzi, W., & Aji, R. M. P. (2024). Improvement productivity analysis in the application of electro-pneumatic for production of automotive components. *AIP Conference Proceedings*, *3093*(1), 70001. https://doi.org/10.1063/5.0248567

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.

Wang, J., Zhou, X., & Yi, B. (2022). Buckling distortion investigation during thin plates butt welding with considering clamping influence. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *37*, 278–290. https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2022.02.008

Yetri, Y., Ganumba, O., Zamrud Kurnia, A. A., Budiman, D., & Junaidi, J. (2022). Rancang Bangun Welding Fixture Table Untuk Pemotongan Dan Pegelasan Plat. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, *14*(02), 103–109. https://doi.org/10.33504/manutech.v14i02.217

Yusa, H. S., Mesin, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Studi, P., Teknik, S., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). *PENGELASAN BAJA ST37 KETEBALAN 2 , 5MM Akhmad Hafizh Ainur Rasyid Abstrak*.

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
σ	Tegangan (stress)	MPa
σ^y	Yield strength	MPa
σ^u	Tensile strength	MPa
δ	Displacement Maks.	mm
E	Modulus young	GPa
G	Shear strength	GPa
ρ	Massa jenis	g/cm^3
T	Temperatur	°C
F	Gaya pengkleman	N
HAZ	Heat-Affected Zone (Zona terpengaruh panas)	-
CAE	Computer Aided Engineering	-
CAD	Computer Aided Design	-
FEM/FEA	Finite Element Method / Analysis	-
CR	Convergence Rate (Tingkat konvergensi simulasi)	%

https://doi.org/10.52330/jaet.v1i1.609