

## ANALISIS KEKUATAN SAMBUNGAN LAS PADA SIDE FRAME BOGIE KERETA API DENGAN VARIASI KUAT ARUS PENGEELASAN MEMAKAI METODE ELEMEN HINGGA

\*Muhammad Rizky Hidayat<sup>1</sup>, Ojo Kurdi<sup>2</sup>, Achmad Widodo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: Kikihidayat64@gmail.com

### Abstrak

Side frame merupakan komponen penting dalam sistem bogie kereta api yang berfungsi untuk menahan beban dan memberikan stabilitas. Kualitas sambungan las pada side frame sangat mempengaruhi kekuatan dan umur pakai struktur rangka. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan sambungan las pada side frame kereta dengan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) menggunakan variasi arus pengelasan. Uji tarik dilakukan terhadap spesimen hasil las dengan arus 180A, 200A, 220A, dan 240A. Data hasil uji tarik dimasukkan ke dalam simulasi FEM menggunakan perangkat lunak ANSYS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arus berpengaruh terhadap tegangan maksimum, deformasi, dan faktor keamanan sambungan las. Arus 200A memberikan performa sambungan terbaik berdasarkan hasil uji tarik dan simulasi FEM.

**Kata Kunci:** ansys; fem; sambungan las; side frame; sm490; uji tarik

### Abstract

*The side frame is a crucial component in a train bogie system, serving to support loads and provide stability. The quality of the welded joints on the side frame significantly affects the strength and service life of the frame structure. This study aims to analyze the stress of welded joints on the train side frame using the Finite Element Method (FEM) using varying welding currents. Tensile tests were conducted on welded specimens with currents of 180A, 200A, 220A, and 240A. The tensile test data were input into the FEM simulation using ANSYS software. The results showed that current variations affected the maximum stress, deformation, and safety factor of the welded joint. A current of 200A provided the best joint performance based on the tensile test results and FEM simulation.*

**Keywords:** ansys; fem; side frame; sm490; tensile test; welded joints

### 1. Pendahuluan

Side frame adalah Salah satu komponen utama dalam sistem suspensi dan penopang kereta, yang merupakan bagian dari bogie. Side frame bertugas menopang beban dinamis maupun statis dari badan kereta, mentransfer beban ke roda, serta menjaga stabilitas saat kereta melaju dalam berbagai kondisi seperti pengereaman, menikung, atau akselerasi [2]. Oleh karena itu, kekuatan struktur side frame menjadi sangat krusial terhadap keselamatan dan kenyamanan penumpang.

Material SM490, yaitu baja struktural dengan kekuatan tinggi dan kemampuan las yang baik, sering digunakan untuk pembuatan side frame. Namun, sambungan las menjadi titik lemah potensial dalam struktur rangka kereta. Proses pengelasan yang tidak optimal dapat menyebabkan cacat seperti porositas, retak, undercut, atau kurangnya penetrasi, yang berdampak pada berkurangnya kekuatan sambungan [3]. Di sisi lain, variasi parameter proses pengelasan seperti kuat arus las diketahui sangat memengaruhi sifat mekanik dari sambungan tersebut [4]. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengujian dan simulasi untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap kekuatan sambungan las.

Pemanfaatan simulasi numerik dalam desain dan analisis struktur menjadi bagian integral dari proses rekayasa. Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah Finite Element Method (FEM). Metode ini mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, dan respons struktural lainnya dengan akurat, bahkan pada geometri yang kompleks seperti sambungan las pada side frame [5]. Melalui perangkat lunak seperti ANSYS, kita dapat melakukan simulasi berbagai kondisi pembebahan sesuai standar internasional seperti EN 13749, sehingga dapat mengurangi kebutuhan prototipe fisik yang mahal dan mempercepat proses desain [6].

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan sambungan las pada side frame kereta, baik secara eksperimental melalui uji tarik, maupun secara numerik melalui simulasi FEM, diharapkan dapat diperoleh kombinasi parameter pengelasan yang menghasilkan sambungan paling optimal, serta memperkuat pemahaman terhadap perilaku mekanik sambungan las dalam kondisi pembebahan aktual.

## 2. Dasar Teori

Side frame adalah bagian penting dari bogie yang berfungsi untuk menopang dan mentransmisikan beban dari badan kereta ke roda melalui pegas suspensi. Komponen ini bekerja dalam kondisi dinamis dan menanggung beban vertikal, lateral, serta torsi yang timbul selama perjalanan kereta [1]. Kegagalan struktur pada bagian ini, seperti retakan atau deformasi permanen, dapat menyebabkan penurunan performa suspensi hingga kecelakaan fatal.

Pengelasan adalah proses penyambungan dua bahan logam dengan atau tanpa logam pengisi, menggunakan panas hingga titik rekristalisasi. Pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter seperti jenis kawat, metode, dan kuat arus. Dalam penelitian ini digunakan metode GMAW (Gas Metal Arc Welding) dengan kawat ER70S-6 [4]. Arus yang terlalu besar dapat menyebabkan cacat seperti undercut, sedangkan arus yang terlalu kecil dapat menyebabkan penetrasi tidak sempurna [5]. Uji tarik merupakan metode pengujian mekanik untuk mengetahui sifat material terhadap gaya tarik, termasuk parameter seperti ultimate tensile strength (UTS), yield strength (YS), modulus elastisitas, dan elongation. Uji ini dilakukan sesuai standar ASTM E8/E8M [6]. Grafik tegangan-regangan dari hasil uji dapat menunjukkan batas elastis, plastis, hingga titik patah material.

Finite Element Method (FEM) adalah metode numerik yang digunakan untuk menganalisis tegangan, regangan, dan deformasi dalam struktur teknik. FEM membagi struktur kompleks menjadi elemen-elemen kecil yang disebut mesh. Dalam simulasi FEM, digunakan software ANSYS untuk menganalisis side frame kereta dengan berbagai kondisi pembebahan berdasarkan standar EN 13749 [2][7]. FEM mempermudah prediksi titik lemah dan validasi desain struktur sebelum manufaktur.

## 3. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan beberapa proses yang dilewati. Proses-proses yang dilakukan pada penelitian kali ini akan dijelaskan berikut ini.

### 3.1 Langkah – Langkah Penelitian

Metodologi penelitian ini dimulai dengan tahap studi literatur yang bertujuan untuk mengumpulkan dan memahami informasi serta teori yang relevan terkait struktur side frame, sifat material SM490, teknik pengelasan GMAW, dan metode FEM. Selanjutnya, dilakukan persiapan alat dan bahan yang meliputi material SM490 dengan ketebalan 14 mm dan pembuatan spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E8 serta peralatan yang diperlukan untuk proses berikutnya. Setelah persiapan, tahap berikutnya adalah proses pengelasan butt joint pada spesimen menggunakan variasi arus 180A, 200A, 220A, dan 240A. Selanjutnya yaitu Pengujian tarik pada setiap spesimen menggunakan Universal Testing Machine untuk mendapatkan data kekuatan tarik. Tahap selanjutnya yaitu pemodelan side frame di software ANSYS dan simulasi FEM dengan pembebahan statis dan dinamis sesuai standar EN 13749.

Setelah mendapatkan hasil dari uji tarik ini kemudian dianalisis hasil uji tarik dan hasil simulasi FEM untuk menentukan arus terbaik dari sisi kekuatan sambungan las, berdasarkan analisis hasil pengujian, dibuat kesimpulan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

### 3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dengan fungsi spesifik yang mendukung proses pengolahan dan pengujian bahan. Mesin las GMAW digunakan untuk proses pengelasan spesimen dengan variasi arus. Universal Testing Machine (UTM) berfungsi untuk menguji kekuatan tarik spesimen hasil las. Gerinda potong dan mesin bor digunakan dalam proses preparasi spesimen sebelum pengelasan dan pengujian. Selain itu, digunakan juga perangkat lunak ANSYS yang berperan penting dalam proses simulasi numerik berbasis elemen hingga (FEM). Penggaris, jangka sorong, dan alat ukur lainnya digunakan untuk memastikan dimensi spesimen sesuai standar ASTM E8/E8M. Shielding gas CO<sub>2</sub> digunakan sebagai pelindung busur selama proses pengelasan agar hasil las lebih stabil.

Bahan utama dalam penelitian ini adalah baja SM490, yang digunakan sebagai material dasar spesimen pengelasan. Baja ini dipilih karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi serta kemampuan las yang baik. Kawat las ER70S-6 digunakan sebagai elektroda, dipilih karena kompatibel dengan baja SM490 dan mampu menghasilkan penetrasi las yang dalam serta kualitas sambungan yang tinggi.

Spesimen baja SM490 dipotong menjadi ukuran tertentu sesuai standar uji tarik dan dilakukan pengelasan dengan variasi arus sebesar 180A, 200A, 220A, dan 240A. Semua spesimen memiliki ketebalan 14 mm. Hasil pengelasan ini kemudian diuji tarik dan data hasilnya digunakan sebagai input dalam simulasi FEM untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi pada side frame kereta.

Simulasi FEM dilakukan pada struktur side frame berdasarkan geometri asli kereta dengan pembebahan berdasarkan standar EN 13749, untuk mensimulasikan kondisi nyata dalam pengoperasian kereta seperti akselerasi, pengereman, dan beban menikung.

### 3.3 Pengujian Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik sambungan las pada material SM490 hasil pengelasan dengan variasi arus 180A, 200A, 220A, dan 240A. Parameter yang diuji antara lain ultimate tensile strength (UTS), yield

strength (YS), modulus elastisitas, dan elongation (%EL).

Proses pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM E8/E8M. Spesimen uji dipotong sesuai standar dan dilas dengan metode GMAW. Setelah pengelasan, spesimen didinginkan dan dipersiapkan untuk pengujian tarik..



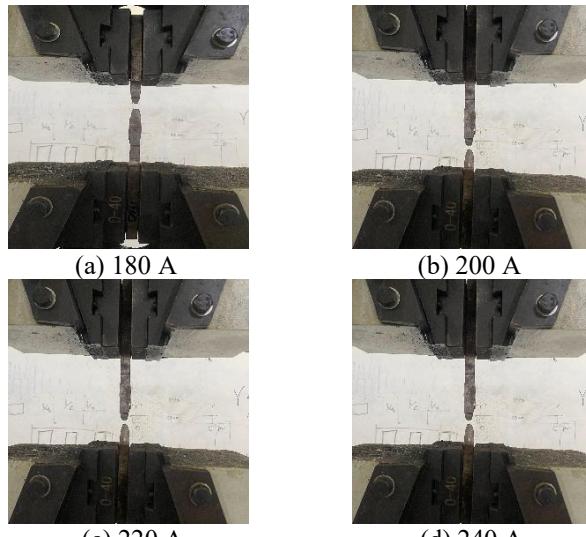
Gambar 1. Universal Testing Machine

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini menyajikan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan mengenai Bagian ini menyajikan hasil dari pengujian tarik dan simulasi FEM menggunakan ANSYS untuk melihat pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan sambungan las pada side frame kereta.

##### 4.1 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan terhadap spesimen SM490 hasil pengelasan dengan variasi arus 180A, 200A, 220A, dan 240A..



Gambar 2. Hasil Uji Tarik

Gambar diatas menunjukkan kondisi spesimen setelah pengujian. Hasil menunjukkan bahwa arus 200A menghasilkan kekuatan tarik maksimum tertinggi dan elongasi yang paling optimal.

##### 4.2 Analisis Hasil Simulasi FEM

Simulasi menggunakan ANSYS dilakukan untuk berbagai kondisi pembebahan sesuai standar EN 13749: kondisi statis, akselerasi, penggeraman, menikung, dan kombinasi ekstrem. Output yang dihasilkan antara lain adalah tegangan Von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan.

**Tabel 1.** Hasil Simulasi FEM

Load case	deformasi	Tegangan maks	Kriteria (MPa)	keterangan
Statik	<b>0,087935</b>	49,542	353	OK
Maju	0,047337	86,422	353	OK
Pengereman	0,047336	96,959	353	OK
Menikung	0,28461	193,77	353	OK

Hasil menunjukkan bahwa arus 200A menghasilkan distribusi tegangan paling merata dan deformasi paling rendah, serta nilai safety factor tertinggi dibanding variasi lainnya.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari Analisis side frame yang telah dilaksanakan Uji Tarik dan simulasi FEM, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil uji tarik dan simulasi FEM, variasi arus pengelasan mempengaruhi performa sambungan las. Arus 180A cenderung menghasilkan penetrasi kurang sempurna, sementara arus 240A menunjukkan potensi cacat akibat overheating. Arus optimal berada pada 200A, dengan kombinasi hasil uji tarik dan distribusi tegangan dalam simulasi yang paling baik.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Pasau, A., dkk. (2023). Teknik Pengelasan Industri Modern.
- [2] EN 13749. Railway Applications – Structural Requirements of Railway Vehicle Bodies.
- [3] Sulamet-Ariobimo, et al. (2016). Analisis Sifat Material Baja SM490 untuk Struktur Kereta.
- [4] Zulfadly, A. & Ghony, A. (2022). Studi Pengelasan SMAW dan GMAW pada Baja Struktural.
- [5] Sheykhi, M. & Mostafaei, M. (2024). Welding Parameter Effect on Steel Alloys.
- [6] ASTM E8/E8M-13. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- [7] Logan, D. (2011). A First Course in the Finite Element Method.
- [8] Budi Sitorus, et al. (2024). *Transportasi Massal Ramah Lingkungan*.
- [9] Kurniadi, A. (2024). *Desain Bogie dan Side Frame untuk Kereta Listrik KCI*.
- [10] Mahendra, A. Y., & Rahmat, H. (2022). Evaluasi tegangan von Mises dan faktor keamanan struktur side frame kereta api dengan pembebanan statik dan dinamik. Jurnal Transportasi Rel, 4(3), 56–66.