

ANALISIS KEKUATAN SAMBUNGAN LAS BAJA SS400 PADA SIDE FRAME BOGIE KERETA API AKIBAT VARIASI KECEPATAN PENGELASAN DENGAN PENDEKATAN UJI TARIK DAN SIMULASI METODE ELEMEN HINGGA

*Mochamad Cahyo Adi Nugroho¹, Ojo Kurdi², Achmad Widodo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: adicahyonugroh@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi kecepatan las terhadap tegangan sambungan las butt joint pada side frame kereta berbahan SS400 menggunakan metode elemen hingga. Pengelasan dilakukan dengan metode GMAW dan filler ER70S-6 pada kecepatan 10–30 cm/menit, lalu diuji tarik sesuai ASTM E8 untuk memperoleh sifat mekanik. Data ini digunakan dalam simulasi ANSYS dengan empat kondisi pembebatan: statik, maju, pengereman, dan menikung. Hasil menunjukkan kecepatan 20 cm/menit memberikan performa terbaik berdasarkan tegangan Von Mises dan faktor keamanan, serta sambungan mampu menahan beban kerja selama tegangan tidak melebihi batas luluh material..

Kata Kunci: fem; gmaw; kecepatan las; sambungan las; side frame; ss400

Abstract

This study analyzes the effect of welding speed variations on the butt joint weld stress on the side frame of a train made of SS400 using the finite element method. Welding was carried out using the GMAW method and ER70S-6 filler at a speed of 10–30 cm/min, then tensile tested according to ASTM E8 to obtain mechanical properties. This data was used in ANSYS simulations with four loading conditions: static, forward, braking, and cornering. The results showed that a speed of 20 cm/min provided the best performance based on Von Mises stress and safety factor, and the joint was able to withstand the working load as long as the stress did not exceed the yield limit of the material.

Keywords: fem; gmaw; side frame; ss400; welding joints; welding speed

1. Pendahuluan

Side frame merupakan salah satu komponen utama dalam rangkaian bogie kereta api yang berfungsi menopang beban statik dan dinamik dari carbody serta menyalurkan gaya-gaya operasional ke roda [1]. Sambungan antar pelat pada side frame umumnya menggunakan sambungan las, di mana kualitas sambungan tersebut sangat berpengaruh terhadap kekuatan struktural dan keamanan kereta api [2]. Proses pengelasan yang tidak optimal dapat menyebabkan kegagalan sambungan, terutama jika terjadi cacat seperti porositas, incomplete fusion, atau kekerasan tidak merata pada daerah HAZ (Heat Affected Zone) [3].

Whiting dkk mengatakan Pengelasan dengan metode Gas Metal Arc Welding (GMAW) merupakan salah satu metode yang umum digunakan karena efisiensi tinggi dan kualitas penetrasi yang baik. Namun, kualitas hasil las sangat dipengaruhi oleh parameter proses, salah satunya adalah kecepatan pengelasan (travel speed) [4]. pengelasan berpengaruh terhadap masukan panas (heat input) yang menentukan struktur mikro, kekuatan tarik, dan daktilitas hasil lasan [1]. Dalam industri perkeretaapian, khususnya pada struktur side frame, sambungan las akan mengalami berbagai kondisi pembebatan seperti beban vertikal dari berat kereta, gaya longitudinal akibat akselerasi atau pengereman, serta gaya lateral akibat pergerakan menikung [4]

Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi kualitas sambungan las tidak hanya secara mekanik melalui uji tarik, tetapi juga melalui simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi pada kondisi pembebatan nyata.

2. Dasar Teori

Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih material logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan/atau menambahkan logam pengisi (filler) pada sambungan tersebut untuk membentuk satu kesatuan monolitik. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam industri manufaktur dan perkeretaapian adalah Gas Metal Arc Welding (GMAW), yang dikenal karena efisiensi, penetrasi panas yang baik, dan kemampuan otomatisasi yang tinggi [5].

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan las yang umum digunakan untuk menyambung dua pelat sejajar pada satu bidang. Jenis sambungan ini banyak diaplikasikan dalam struktur rangka, termasuk side frame bogie kereta api, karena menghasilkan kekuatan tarik yang relatif tinggi jika dikontrol dengan baik [4]. SS400 merupakan baja

karbon rendah yang sering digunakan dalam struktur konstruksi karena harganya yang ekonomis serta kemudahan dalam proses pembentukan dan pengelasan. Material ini memiliki kekuatan tarik minimum sekitar 400 MPa dan elongasi sekitar 15–25% tergantung kondisi perlakuan termal dan proses pengelasan [6].

Metode Elemen Hingga adalah teknik numerik yang digunakan untuk menganalisis tegangan, deformasi, dan perilaku struktural suatu benda padat dalam kondisi pembebahan tertentu. Dalam penelitian ini, FEM digunakan untuk mensimulasikan sambungan las side frame kereta api yang menerima empat jenis pembebahan, yaitu statik (berat kereta), akselerasi maju, deselerasi (rem mendadak), dan lateral (menikung) [4].

Analisis FEM pada struktur las memungkinkan pemetaan distribusi tegangan von Mises, total deformasi, serta faktor keamanan (safety factor) pada tiap kondisi beban. Dengan demikian, FEM sangat berguna untuk memverifikasi ketahanan sambungan las sebelum dilakukan pengujian fisik secara eksperimental [7].

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 studi literatur untuk mengumpulkan dan memahami informasi yang relevan mengenai struktur side frame kereta api, sambungan las butt joint, parameter pengelasan (khususnya kecepatan pengelasan), serta penggunaan metode elemen hingga (FEM) dalam analisis struktural.

Setelah tahap literatur, dilakukan persiapan alat dan bahan, yang mencakup spesimen uji tarik berupa pelat baja SS400, filler wire ER70S-6, serta peralatan pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) dan mesin uji tarik (Universal Testing Machine). Proses pengelasan dilakukan pada variasi kecepatan pengelasan yaitu 15 cm/menit, 20 cm/menit, dan 25 cm/menit dengan menggunakan parameter pengelasan lainnya yang dikondisikan tetap. Kemudian, dilakukan pengujian tarik sesuai standar ASTM E8 untuk memperoleh data sifat mekanik sambungan, seperti kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength), regangan, dan modulus elastisitas. Nilai kekuatan tarik hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas sambungan berdasarkan kecepatan pengelasan yang divariasikan.

Pada tahap selanjutnya, dilakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench dengan pendekatan metode elemen hingga (FEM). Model side frame kereta api disusun dan sambungan las dimodelkan pada lokasi aktual pada struktur. Pembebahan dilakukan berdasarkan empat skenario beban utama yang umum terjadi pada kereta api.

Terakhir, dilakukan interpretasi dan perbandingan antara hasil pengujian tarik dan simulasi FEM untuk menentukan pengaruh variasi kecepatan las terhadap kekuatan sambungan butt joint pada side frame kereta api. Kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya dirumuskan berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh-.

3.2 Alat dan Bahan

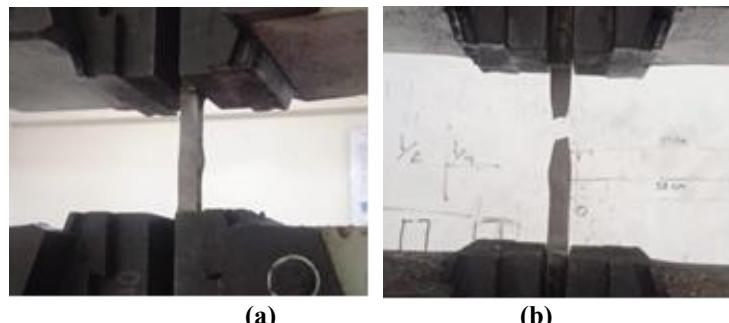
Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan utama untuk mendukung proses pengelasan, pengujian mekanik, serta simulasi numerik sambungan las butt joint pada side frame kereta api. Alat yang digunakan meliputi mesin las GMAW (Gas Metal Arc Welding) dengan arus DC dan polaritas DCEP, yang dilengkapi pengatur arus dan kecepatan kawat untuk memastikan parameter pengelasan tetap stabil. Meja las dan perlengkapan penjepit digunakan untuk menjaga posisi pelat tetap selama pengelasan berlangsung. Stopwatch digunakan untuk memastikan kecepatan pengelasan sesuai target yang divariasikan, yaitu 15 cm/menit, 20 cm/menit, dan 25 cm/menit. Setelah proses pengelasan, spesimen diuji menggunakan mesin uji tarik (Universal Testing Machine/UTM) berdasarkan standar ASTM E8 untuk memperoleh sifat mekanik berupa kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas.

Penelitian ini memfokuskan pada variasi kecepatan pengelasan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tarik sambungan. Selain uji tarik, simulasi dilakukan pada model side frame yang dibebani dengan empat skenario pembebahan utama, yaitu beban statik (berat vertikal dari kereta dan penumpang), gaya longitudinal saat akselerasi (maju), gaya longitudinal saat penggereman mendadak (rem), dan gaya lateral akibat menikung (gaya centrifugal). Keempat kondisi tersebut dipilih untuk merepresentasikan beban kerja aktual yang terjadi pada side frame selama operasi kereta api.

Selain itu, simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench dengan pendekatan metode elemen hingga (FEM) untuk menganalisis distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan sambungan las pada side frame di bawah berbagai kondisi pembebahan.

3.3 Pengujian Tarik

dengan menggunakan metode standar ASTM E8 untuk spesimen sub-size. Spesimen hasil pengelasan dengan variasi kecepatan pengelasan 15 cm/menit, 20 cm/menit, dan 25 cm/menit dipotong sesuai dimensi uji tarik dan diklem pada mesin Universal Testing Machine (UTM). Mesin ini mengaplikasikan gaya tarik secara aksial dengan kecepatan konstan hingga spesimen mengalami kegagalan (putus). Selama proses pengujian, sensor pada mesin mencatat gaya maksimum yang diterima oleh spesimen dan proses pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pengujian tarik (a) sebelum patah (b) sesudah patah

4. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil uji tarik terhadap spesimen las dengan variasi kecepatan pengelasan, serta hasil simulasi numerik struktur side frame kereta dengan perangkat lunak ANSYS 2024 R2. Analisis dilakukan terhadap konfigurasi mesh optimal, distribusi tegangan dan deformasi akibat berbagai kondisi pembebatan (statik, maju, rem, dan menikung), serta evaluasi performa sambungan las berdasarkan data eksperimen.

4.1 Hasil Pengujian pembebatan

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kecepatan pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan dan duktilitas sambungan. Spesimen dengan kecepatan 20 cm/menit menunjukkan kekuatan tarik maksimum sebesar 392,5 MPa dan elongasi 35,35%. Spesimen dengan kecepatan 10 cm/menit menghasilkan tegangan tinggi namun duktilitas rendah, sedangkan kecepatan 30 cm/menit justru menghasilkan struktur getas akibat pendinginan cepat.

Load case	deformasi	Tegangan maks	Lokasi tegangan maksimum	Kriteria (MPa)	keterangan
Statik	0,0437	43,14	Sambungan pelat bawah	392	OK
Maju	0,0474	73,75	Sambungan pelat bawah	392	OK
Pengereman	0,0445	215,23	Sambungan pelat bawah	392	OK
Menikung	0,339	56,89	Sambungan pelat atas	392	OK

Gambar 2. Grafik Hasil Uji Densitas

Dari gambar hasil simulasi finite element method (FEM) terhadap sambungan las side frame bogie kereta api untuk empat skenario pembebatan utama: statik, maju (akselerasi), pengereman, dan menikung. Masing-masing skenario dianalisis terhadap deformasi total, nilai tegangan von-Mises maksimum, serta lokasi terjadinya tegangan tertinggi. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh pada keempat load case tidak melebihi batas yield strength material hasil uji tarik (330 MPa) dan tetap berada dalam batas yang diperkenankan menurut kriteria kebolehan EN 13749.

Dengan demikian, semua kondisi pembebahan dikategorikan aman (OK) berdasarkan kriteria keandalan struktur sambungan las.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan menunjukkan hasil simulasi pembebahan struktur side frame kereta dengan variasi empat load case, yaitu statik, maju (akselerasi), pengereman (deselerasi), dan menikung. Berdasarkan hasil tersebut, nilai deformasi tertinggi terjadi pada kondisi menikung sebesar 0,339 mm, sedangkan deformasi terendah ditemukan pada beban statik sebesar 0,0437 mm. Nilai tegangan maksimum tertinggi tercatat pada kondisi menikung sebesar 215,23 MPa yang terjadi pada sambungan pelat atas. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada di bawah batas kriteria tegangan izin (yield strength) material hasil uji tarik sebesar 392 MPa, sehingga masih tergolong aman. Sementara itu, kondisi statik menunjukkan tegangan maksimum paling rendah, yaitu 43,14 MPa, dengan lokasi konsentrasi tegangan pada sambungan pelat bawah. Untuk kondisi pengereman, tegangan maksimum tercatat sebesar 56,89 MPa dan terletak pada sambungan pelat atas, mengindikasikan peran gaya centrifugal dalam memengaruhi distribusi tegangan. Semua kondisi pembebahan menunjukkan hasil yang memenuhi syarat kelayakan berdasarkan kriteria penerimaan material, ditunjukkan dengan status "OK" dalam kolom keterangan. Hal ini menandakan bahwa sambungan las yang dianalisis mampu menahan beban kerja ekstrem pada struktur side frame kereta tanpa melewati batas elastis material.

Dari hasil simulasi pembebahan diatas dapat disimpulkan sementara bahwa kondisi menikung sebesar 215,23 MPa yang terjadi pada sambungan pelat atas. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada di bawah batas kriteria tegangan izin (yield strength) material hasil uji tarik sebesar 392 MPa.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji tarik dan simulasi metode elemen hingga (FEM) pada sambungan las butt joint side frame kereta berbahan SS400, dapat disimpulkan bahwa.

1. Dari Hasil simulasi FEM menunjukkan bahwa nilai tegangan von Mises dan deformasi tertinggi terjadi pada kondisi menikung, yaitu sebesar 215,23 MPa dan 0,339 mm. Nilai ini masih berada di bawah batas yield strength material hasil uji tarik (392 MPa), sehingga struktur sambungan dinyatakan aman terhadap keempat kondisi pembebahan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Astuti, D. (2018). Analisis tegangan dan deformasi pada sambungan las baja karbon menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(2), 45–52.
- [2] Badan Standardisasi Eropa. (2005). EN 13749: Railway applications – Wheelsets and bogies – Method of specifying structural requirements of bogie frames. European Committee for Standardization.
- [3] Budiman, A. (2020). Pengaruh variasi kecepatan pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan las baja karbon rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 12–18.
- [4] JIS G 3101. (2014). Rolled Steel for General Structure: SS400 Standard. Japanese Industrial Standards Committee.
- [5] Kadir, A., & Putra, R. (2021). Studi eksperimental pengaruh parameter pengelasan GMAW terhadap sifat mekanik baja karbon. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 14(2), 87–95.
- [6] Kartika, D., & Arifin, Z. (2023). Simulasi sambungan las GMAW dengan variasi parameter pengelasan menggunakan metode elemen hingga (FEM). *Jurnal Rekayasa Struktur*, 6(1), 33–42.
- [7] Mahendra, A. Y., & Rahmat, H. (2022). Evaluasi tegangan von Mises dan faktor keamanan struktur side frame kereta api dengan pembebahan statik dan dinamik. *Jurnal Transportasi Rel*, 4(3), 56–66.
- [8] Rahmawati, S., & Pratama, D. (2020). Pengaruh pengelasan MIG terhadap kekuatan sambungan las baja struktural SS400. *Jurnal Teknologi Mesin dan Material*, 11(2), 102–110.
- [9] Wahyudi, S. (2017). Teori Dasar dan Aplikasi Metode Elemen Hingga (Finite Element Method). Surabaya: Graha Ilmu Teknik.
- [10] ASTM International. (2014). ASTM E-415 Standart Test Method for Analysis of Carbon and Low-Ally Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry. In American Society for Testing and Materials (pp. 1–11).