

ANALISIS KEGAGALAN SAMBUNGAN LAS PADA UPPER STUCTURE BUS LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

*Andi Rafly Santosa¹, Ojo Kurdi², Gunawan Dwi Haryadi²

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: Andiraflysantosa@gmail.com

Abstrak

Perkembangan kendaraan listrik sebagai solusi transportasi ramah lingkungan menuntut inovasi pada struktur rangka kendaraan, termasuk bus listrik. Salah satu tantangan krusial dalam konstruksi rangka adalah kualitas sambungan las, terutama pada struktur atas (upper structure) yang memengaruhi integritas dan keselamatan kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan sambungan las dengan pendekatan eksperimental dan simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Pengujian dilakukan pada material stainless steel dengan ketebalan 3 mm, menggunakan elektroda ER 70S-6 dan variasi kuat arus pengelasan sebesar 90A, 100A, dan 110A. Parameter yang diuji meliputi kekuatan tarik maksimum, regangan, serta modulus elastisitas, yang diukur melalui uji tarik standar ASTM E8/8M. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kuat arus memengaruhi signifikan terhadap kekuatan mekanik sambungan. Kuat arus 100A memberikan hasil kekuatan tarik tertinggi sebesar 374,29 MPa, sedangkan arus 90A menghasilkan modulus elastisitas tertinggi sebesar 14.291,83 N/mm². Analisis numerik dengan FEM melalui perangkat lunak Ansys Workbench digunakan untuk memvalidasi hasil eksperimental. Model simulasi dibangun berdasarkan spesimen uji tarik dan memberikan gambaran tegangan maksimum serta deformasi akibat beban tarik. Validasi hasil FEM terhadap data eksperimental menunjukkan korelasi yang baik dan memperkuat keandalan pendekatan numerik sebagai alat prediktif dalam desain sambungan las. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengaturan parameter pengelasan, khususnya variasi arus, dalam mendesain sambungan las struktural pada bus listrik. Hasilnya diharapkan menjadi referensi dalam pengembangan teknik pengelasan yang optimal dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi produksi kendaraan listrik.

Kata Kunci: kekuatan tarik; metode elemen hingga; pengaruh kuat arus pengelasan; rangka bus; *stainless steel*

Abstract

The development of electric vehicles as an environmentally friendly transportation solution demands innovation in vehicle frame structures, including electric buses. One of the critical challenges in frame construction is the quality of welded joints, especially in the upper structure, which significantly affects the vehicle's integrity and safety. This study aims to analyze weld joint failures using both experimental methods and numerical simulations through the Finite Element Method (FEM). The experiments were conducted on stainless steel material with a thickness of 3 mm, using ER 70S-6 electrodes and varying welding currents of 90A, 100A, and 110A. The parameters tested included maximum tensile strength, strain, and modulus of elasticity, measured according to the ASTM E8/E8M standard tensile test. The results showed that the variation in welding current significantly influenced the mechanical strength of the joints. A current of 100A produced the highest tensile strength at 374.29 MPa, while 90A yielded the highest modulus of elasticity at 14,291.83 N/mm². Numerical analysis using FEM in Ansys Workbench was carried out to validate the experimental results. The simulation model was based on the tensile test specimen and provided insights into the maximum stress and deformation under tensile loading. Validation of the FEM results against experimental data showed good correlation, reinforcing the reliability of numerical approaches as predictive tools in weld joint design. This study highlights the importance of controlling welding parameters—particularly current variation—in designing structural welds for electric buses. The findings are expected to serve as a reference for optimizing welding techniques and improving both safety and production efficiency in electric vehicle manufacturing.

Keywords: *finite element method; stainless steel; strong influence of welding current; tensile strength; upper structure bus*

1. Pendahuluan

Transportasi memiliki hal penting dalam kehidupan manusia, kebutuhan akan jenis transportasi yang semakin meningkat, terutama yang mudah seperti mobil, bus, dan truk. Bus adalah jenis transportasi umum yang populer dan memiliki kapasitas yang cukup besar. Umumnya, bus digerakkan oleh mesin diesel, dan proses pembakaran dilakukan di dalam mesin itu sendiri. Hasil pembakaran yang tidak sempurna dimesin dapat melepaskan NO_x, CO, dan HO, yang dapat mencemari lingkungan[1]

Kendaraan listrik, khususnya bus, telah terbukti menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan aksesibilitas transportasi publik bagi masyarakat. Dibandingkan dengan bus konvensional, bus listrik menawarkan biaya perawatan yang jauh lebih rendah berkat desainnya yang sederhana dan minim komponen bergerak. Hal ini memungkinkan operator bus untuk mengalokasikan lebih banyak dana untuk menurunkan tarif, sehingga transportasi umum menjadi lebih terjangkau. Selain itu, penggunaan bus listrik juga berkontribusi signifikan dalam mengurangi polusi udara dan kebisingan lingkungan yang diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor [2]

Penelitian ini berkaitan dengan analisis dan mengoptimalkan rangka bus menggunakan experimental dan Metode Elemen Hingga (FEM) dalam kondisi statik. Dalam penelitian ini, banyak digunakan untuk membuat bingkai struktur badan bus karena tidak hanya dapat mengarsipkan kekakuan yang akurat tetapi juga mengurangi banyak komputasi biaya. Tujuan penelitian ini untuk menentukan berat minimum rangka bus tanpa melanggar frekuensi alami kendala [3]

Mobil bus memiliki rancangan yang berbeda dengan kendaraan bermotor lainnya sebab fungsi yang diembannya, sehingga dibutuhkan pengujian lebih kompleks baik rancangan, material maupun proses konstruksi bus. Kecelakaan yang melibatkan mobil bus hingga body bus ringsek dan melibatkan korban jiwa yang tidak sedikit. Dibutuhkan Pedoman Teknis Rancang Bangun dan Rekayasa Mobil Bus sebagai acuan bagi pihak-pihak terkait dalam perancangan bus.

2. Dasar Teori

Berdasarkan PP No. 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan, mobil bus adalah kendaraan bermotor angkutan orang yang memiliki tempat duduk lebih dari 8 (delapan) orang, termasuk untuk pengemudi atau yang beratnya lebih dari 3.500 (tiga ribu lima ratus) kilogram. Bus listrik menawarkan solusi transportasi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan bus konvensional. Dengan biaya perawatan yang lebih rendah dan emisi yang nol, bus listrik berkontribusi pada peningkatan kualitas udara dan aksesibilitas transportasi publik [3]

Baja tahan karat adalah jenis baja khusus yang sangat berguna karena sifatnya yang tahan karat, kuat, dan tahan lama. Lapisan kromium yang ada di permukaannya membuat baja tahan karat menjadi sangat tahan terhadap korosi, sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi yang keras [4]

Pengelasan adalah cara menyambungkan dua atau lebih bagian logam dengan memanfaatkan panas. Menurut American Welding Society (AWS), pengelasan menciptakan ikatan metalurgi antara logam atau paduan logam dalam kondisi meleleh. Sederhananya, pengelasan adalah proses menghubungkan beberapa batang logam menggunakan panas sebagai pengikatnya [5]. ASME Section IX adalah standar yang digunakan secara luas dalam industri untuk memastikan kualitas dan keandalan sambungan las pada peralatan bertekanan, seperti boiler, pipa, dan vessel bertekanan. Standar ini mengatur prosedur kualifikasi pengelasan (WPS — Spesifikasi Prosedur Pengelasan) dan kualifikasi juru las (WPQ — Kualifikasi Kinerja Juru Las) melalui serangkaian pengujian mekanik, termasuk uji tarik dan uji bending (ASME Section XI, 2019)

Shielded metal arc welding (SMAW) adalah metode pengelasan yang populer karena praktis dan mudah digunakan. Kita bisa mengelas di posisi apa pun dengan metode ini, dan hasilnya juga bagus [6]

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), atau biasa disebut Tungsten Inert Gas (TIG) welding, adalah metode yang sering digunakan untuk mengelas baja tahan karat dengan ketebalan tipis karena hasilnya yang sangat berkualitas. Teknik ini memanfaatkan elektroda tungsten yang tidak habis digunakan serta gas pelindung seperti argon untuk menjaga area las tetap bersih dari kontaminasi. Namun, meskipun sangat efektif untuk material tipis, metode ini kurang optimal untuk mengelas material yang lebih tebal dalam satu kali pengerjaan [7]

Kekuatan pengelasan pada material baja tahan karat sangat dipengaruhi oleh arus las. Arus yang lebih tinggi umumnya menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan sambungan las yang lebih kuat, karena meningkatkan input panas yang membantu fusi lebih baik antara logam dasar. Namun, arus yang berlebihan dapat menyebabkan cacat seperti terbakar atau distorsi, yang dapat memengaruhi kualitas las secara negatif. Pengendalian tingkat arus sangat penting untuk mencapai kekuatan yang diinginkan dan menghindari kelemahan pada sambungan las [8]

Pengujian komposisi adalah salah satu langkah untuk menganalisa atau mengetahui dari elemen kimia yang terdapat dari setiap material yang diuji, guna untuk mengetahui atau menentukan susunan kandungannya. Untuk pengujian ini sendiri bisa menggunakan berbagai spesimen sesuai dengan metode dan spesimen yang dipakai, pengujian ini akan mendapatkan hasil berupa komposisi kimia secara kuantitatif (jumlah persen berat atau atom) dari elemen-elemen yang membentuk dari material yang digunakan [9]

Uji kekutan tarik adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari material yang diuji. Prinsip pengujian ini yaitu memberi beban gaya tarik sesumbu dengan spesimen yang mana gaya akan bertambah besar hingga spesimen putus sambil dihitung pertambahan panjangnya. Hasil dari penarikan kekuatan tarik terhadap spesimen adalah perubahan bentuk (deformasi) spesimen, yaitu pergeseran butiran kristal spesimen hingga terlepasnya ikatan kristal tersebut karena gaya maksimum.

FEA sangat berguna dalam mengoptimalkan pola pembalutan dan ketebalan lapisan untuk meminimalkan konsentrasi stress, yang sangat penting untuk meningkatkan integritas struktural tangki secara keseluruhan dan ketahanan terhadap tekanan ledak [10].

3. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dari pengujian spesimen untuk mengetahui nilai mechanical properties dari material (baja tahan karan stainless steel 410, terdapat 3 variasi kuat arus yaitu 90A, 100A, dan 110A, setelah melakukan pengujian uji tarik akan dilakukan pengujian density dan pengukuran poison ratio yang ada dari hasil pengujian uji tarik.

Pada bagian Finite Element methods (FEM) atau elemen tak hingga, dilakukan setelah pengujian experiment akan dilakukan simulasi, diawali studi literatur untuk boundary condition lalu dilanjutkan dengan pembuatan geometri berdasarkan experiment, setelah pembuatan geometri akan dilakukan meshing untuk mencacah hasil geometri menjadi bagian bagian kecil guna memasukan rumus pada geometri. Lalu memberikan boundary condition seperti pembebanan yang diterima pada spesimen, setelah melakukan tahapan itu akan membuktikan hasil sesuai dengan experiment.

3.1 Material dan Geometri

Material yang digunakan yaitu stainless steel 410 didapat dari hasil pengujian yang telah didapat dari eksperimen dengan pengelasan menggunakan elektroda Er 70s-6 pada pengelasan ya

Pada simulasi ini, mengadopsi geometri berdasarkan spesimen pada pengujian uji tarik. Adapun geometri dengan sumbu $x, y, z = 0$ yang dibuat menggunakan software solidworks

Pada tahap ini, dilakukan simulasi menggunakan Ansys Workbench 2022 R1. Tujuan dari simulasi ini yaitu untuk melakukan perhitungan numerik pengujian uji tarik untuk menghasilkan nilai tegangan maksimum. Terdapat beberapa tahap pada bagian processing ini, pada simulasi ini pertama kita harus memasukan material properties dari hasil experiment yang sudah kita lakukan, lalu masukan nilai yang telah didapat ke dalam aplikasi simulasi ansys seperti berikut (dengan kondisi geometry telah dimasukan ke aplikasi Ansys Workbench)

Untuk dapat melakukan simulasi, geometri perlu di mesh terlebih dahulu. Dalam konteks simulasi FEM (Finite Element Method), elemen Mesh digunakan untuk membagi domain menjadi subdomain yang lebih kecil, di mana persamaan diferensial diterapkan dan dipecahkan secara numerik. Pentingnya Meshing yang baik adalah untuk memastikan akurasi dan kestabilan solusi numerik serta mengoptimalkan waktu komputasi. Pada proses Meshing, penentuan ukuran elemen merupakan faktor penting guna memastikan apakah analisis yang dilakukan valid atau tidak..

Setelah menginput mechanical properties dan geometry ke ansys akan menentukan titik tumpu dan pembebanan yang akan disimulasi (gaya vertikal, pengereman, dan dorong).

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian uji tarik terhadap material yang disambungkan menggunakan las dengan variasi kuat arus listrik menunjukkan perbedaan signifikan dalam kekuatan tarik dan sifat mekanis sambungan las termasuk nilai tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas. Variasi arus listrik mempengaruhi penetrasi dan kualitas fusi logam las, yang berpengaruh pada tegangan tarik maksimum, regangan, dan mode kegagalan sambungan. Dari data yang diperoleh, dapat dianalisis hubungan antara peningkatan arus listrik dengan kekuatan tarik sambungan, serta identifikasi parameter las yang optimal untuk mencapai performa mekanik terbaik.

hasil dari uji konvergensi yang bertujuan untuk menentukan ukuran meshing yang tepat. Hal ini dilakukan agar simulasi menunjukkan hasil yang sudah konvergen dengan menggunakan meshing dan total deformasi sebagai acuan.

Analisis statis yang dilakukan pada penelitian ini terdapat tiga macam yaitu simulasi pembebanan vertikal, pembebanan gaya dorong, dan pembebanan pengereman. Berikut hasil dari simulasi dengan setiap simulasi menghasilkan tiga buah output yaitu total deformation, von mises stress, dan safety factor.

Terdapat tiga variasi dan tiga pembebanan dengan setiap pembebanan terdapat 3 hasil yaitu stress, deformasi dan safety factor total dari hasil simulasi ini adalah 27. Dari konfigurasi ini berfokus untuk mengetahui apakah nilai dari mechanical properties yang berbeda dari masing masing variasi dapat mempengaruhi hasil simulasi dan mengetahui kuat arus mana yang terbaik untuk mengaplikasikan pada rangka bus yang digunakan

5. Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh kuat arus pengelasan pada material stainless steel 410 menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan pembebanan yang berbeda. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa regangan maksimum pada variasi 90A yaitu 369 Mpa, untuk 100 A 374,29 Mpa, dan 110A 349,77 Mpa dapat dilihat dari pengujian uji tarik memiliki kekuatan paling baik yaitu 100 A.

6. Daftar Pustaka

- [1] Gustomo, G., & Anis, S. (2020). ANALISIS KEKUATAN RANGKA BODI BUS LISTRIK MD12E PERSEROAN TERBATAS MOBIL ANAK BANGSA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. 9(1), 1–5.
- [2] Putri, L. W., Fitrianto, A. R., Islam, U., Sunan, N., & Surabaya, A. (2023). DAMPAK SOSIAL DAN EKONOMI DARI PERUBAHAN TRANSPORTASI : PERAN BUS LISTRIK DALAM MENCIPTAKAN. 14(November).
- [3] LEE, T. Y. K. and S. H. (2012). Combustion and Emission Characteristics of Wood Pyrolysis Oil-Butanol Blended Fuels in a Di Diesel Engine. International Journal of ..., 13(2), 293–300. <https://doi.org/10.1007/s12239>

-
- [4] Karimi, M. (2023). Issue 1 Citation M. Karimi*. Review of Steel Material Engineering and Its Application in Industry. *J. Eng. Ind. Res*, 4(1), 61–67.
 - [5] Studi, P., Industri, T., Putera, U., Soeprapto, J. R., Kuning, M., & Riau, K. (2018). KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN SAMBUNGAN LAS PLATE Email : aaddinugroho@gmail.com *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*. 3(2), 134–142.
 - [6] Zulfadly, Z., & Ghony, M. A. (2022). Variasi Ampere Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Dengan Posisi Down Hand. *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(01), 39–50.
<https://doi.org/10.55904/hexatech.v1i01.75>
 - [7] Pandya, D., Badgujar, A., & Ghetiya, N. (2021). A novel perception toward welding of stainless steel by activated TIG welding: a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 36(8), 877–903.
<https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1854467>
 - [8] Sheykhi, M. M., & Mostafaei, M. A. (2024). Optimizing weld strength and microstructure in CP-titanium and 304 stainless steel friction welds with chromium interlayer. *Results in Materials*, 24(April), 100627.
<https://doi.org/10.1016/j.rinma.2024.100627>
 - [9] Antamba, J., Azanza, V., Reyes, G., Remache, Á., & Ruiz, S. (2020). Manufacture material characteristic analysis of original and alternative auto parts. Case Study: Brake Disc. *Enfoque UTE*, 11(3), 102–110.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n3.631>
 - [10] Li, Li, et al. “Studies on Modification of Polyamide 6 Plastics for Hydrogen Storage.” *Polymers*, vol. 17, no. 4, 18 Feb. 2025, pp. 523–523, <https://doi.org/10.3390/polym17040523>. Accessed 19 Apr. 2025.