

ANALISIS PERBANDINGAN METODE REGRESI LINIER DAN NON-LINIER PADA SAMBUNGAN MATERIAL PELAT BAJA KARBON ASTM A36

Zefri Azharman^{1*}, Adi Nugroho¹, Suharlina¹, Delia Meldra²

¹Prodi. Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Universal, Batam, Indonesia

²Prodi. Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Ibnu Sina, Batam, Indonesia

*email: zefri@uvers.ac.id

Abstract

The joining of ASTM A36 carbon steel plates using the Shield Metal Arc Welding (SMAW) technique is influenced by the tensile strength and hardness of the joint. To improve the quality of ASTM A36 carbon steel plate joints in the future, prediction methods are used. The prediction results play a significant role in determining the quality of the material connection. The method used in this research was descriptive quantitative, by predicting linear regression and non-linear (quadratic) regression models. The purpose of the discussion in this article was to determine the best prediction model for current variations on the tensile strength of future material connections. The analysis of the correlation coefficient showed a strong relationship in both models discussed. This indicates that the current strength variable had a strong relationship with tensile strength. Meanwhile, the highest R-square score was obtained in the non-linear regression model. The determination of the best prediction method was found in the non-linear regression model on tensile strength, with a MAPE value of 3.57%. These results indicate that the non-linear regression model better describes the relationship between current strength and tensile strength in ASTM A 36 carbon steel plate joining.

Keywords: Linear Regression, Non-Linear Regression (Quadratic), Carbon Steel ASTM A36 Plate

1. Pendahuluan

Selama proses pengelasan pelat baja karbon ASTM A36 menggunakan teknik *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), berbagai cacat las teramati pada permukaan sambungan las. Dalam 50 kali pengujian las dilakukan, terdapat 26% ditemukan mengalami cacat las dan 6% diantaranya tidak dapat diperbaiki (Ritonga & Purwaningsih, 2018). Berdasarkan identifikasi yang dilakukan, cacat-cacat tersebut meliputi *undercut*, porositas, dan retakan (Djatri et al., 2020). Cacat ini terjadi pada proses pengelasan pelat baja karbon dengan ketebalan ± 10 mm, ketebalan ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi struktural, dan kehadiran cacat tersebut dapat secara signifikan mengurangi kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las, menjadikannya rapuh dan rentan terhadap kegagalan (Feriansah, 2020; Rahmatika et al., 2021). Cacat *undercut*, yang merupakan alur atau cekungan di sepanjang tepi sambungan las, dapat mengurangi luas penampang efektif logam dasar, melemahkan kekuatan sambungan las, dan menyebabkan konsentrasi tegangan yang dapat memicu retakan. Porositas, yang terjadi ketika gas

terperangkap dalam logam cair dan membentuk rongga-rongga kecil saat logam mengeras, dapat mengurangi kekompakan las dan efektifitas penampang las, serta mempengaruhi sifat mekanik las. Retakan, yang merupakan celah yang dibentuk oleh penghancuran kekuatan ikatan atom di area lokal logam pada sambungan las, dapat secara signifikan mempengaruhi struktur yang terkena beban bolak-balik dan benturan, yang mungkin menyebabkan kegagalan struktural (Feriansah, 2020).

Secara teoritis, terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya cacat las, antara lain arus pengelasan yang tidak konsisten, teknik pengelasan yang digunakan, serta bahan dan elektroda yang dipakai (Bhardwaj & Chandima Ratnayake, 2021)(Wang et al., 2021). Dalam pengelasan pelat baja karbon, variasi arus yang digunakan sebagai masukan panas (heat input) selama proses pengelasan diketahui memengaruhi kekuatan tarik hasil sambungan las (Nugroho, A., & Setiawan, 2018). Perbedaan kekuatan tarik diamati pada variasi arus dari 90 hingga 120 ampere, dengan nilai tegangan maksimum rata-rata sebesar 360,163 MPa (90 ampere), 397,59 MPa (100 ampere), dan 467,78 MPa (110

ampere). Keterbatasan ini terlihat dari penurunan kekuatan tarik maksimum pada arus 120 ampere, di mana kekuatan tarik menurun menjadi 426,893 MPa. Hubungan yang kuat antara variasi arus dengan kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las baja karbon ASTM A36 pada tingkat tertentu belum dapat disimpulkan secara akurat, sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan rentang arus optimal dalam proses pengelasan ini (Nugroho, A., & Setiawan, 2018). Kekuatan hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah pemilihan arus tinggi. Berdasarkan penelitian, ditemukan bahwa pengelasan dengan arus tinggi sebesar 100 ampere menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi (Pratomo et al., 2020). Dari hasil uji tarik, dapat dihitung bahwa kekuatan tarik maksimum dan teknik regangan pada spesimen dengan arus pengelasan 80 A adalah $U_s = 60,6$ kgf/mm² dan $et = 10,89\%$. Sementara itu, pada spesimen dengan arus 100 A, kekuatan tarik maksimum dan teknik regangan adalah $U_s = 61,24$ kgf/mm² dan $et = 8,22\%$ (Gunawan et al., 2019). Dari hasil ini, tidak ada satu nilai yang mutlak lebih baik. Pemilihan antara spesimen dengan arus 80 A atau 100 A bergantung pada kebutuhan aplikasi spesifik. Jika fokus utama adalah pada kekuatan tarik maksimum, maka spesimen dengan arus 100 A lebih disukai. Sebaliknya, jika penekanan berada pada ketangguhan dan kemampuan menahan deformasi, spesimen dengan arus 80 A lebih unggul. Kedua spesimen memiliki keunggulan masing-masing, sehingga pilihan terbaik tergantung pada kriteria yang diprioritaskan dalam suatu aplikasi tertentu.

Selain itu, meskipun beberapa penelitian telah menggunakan metode statistik seperti regresi linier untuk memprediksi hasil dari variasi parameter pengelasan, penerapan model regresi non-linier masih belum banyak dieksplorasi, terutama dalam memprediksi perilaku mekanik baja karbon ASTM A36 pada berbagai variasi arus pengelasan. Kesenjangan dalam literatur ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih kuat dan komprehensif yang mampu memodelkan secara akurat pengaruh variasi arus yang lebih luas terhadap kualitas sambungan las.

Analisis komparatif antara model regresi linier dan non-linier dalam memprediksi dampak variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan las baja karbon ASTM A36 menjadi topi utama yang dibahas. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini tidak hanya mempertimbangkan rentang arus pengelasan, tetapi juga mengevaluasi akurasi kedua model regresi tersebut dalam memprediksi sifat mekanik, dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai metrik kinerja

utama. Dengan mengidentifikasi rentang arus optimal untuk pengelasan baja karbon ASTM A36 serta membangun model prediktif, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kerangka kerja yang lebih akurat dan aplikatif dalam meningkatkan kualitas las pada aplikasi industri. Penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi terhadap pengembangan proses pengelasan yang lebih efisien dengan menawarkan pemahaman yang lebih rinci mengenai bagaimana variasi arus memengaruhi sifat mekanik dari sambungan las. Hal ini dapat mengarah pada pedoman dan standar pengelasan yang lebih baik, terutama dalam industri yang sangat bergantung pada integritas struktural sambungan las baja karbon.

2. Landasan Teori

2.1. Pengelasan (*welding*)

Menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) pengelasan adalah proses menghubungkan logam atau logam paduan melalui ikatan metalurgi saat dalam keadaan leleh atau cair (Hamid, 2016). Aktifitas ini membutuhkan sumber panas yang berfungsi untuk melumerkan material yang digunakan serta beberapa material tambahan yang bertujuan menghasilkan penyambungan yang sempurna (Bakhori, 2017). *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan sebuah proses pengelasan SMAW melibatkan penggunaan busur logam yang dipanaskan untuk melebur menjadi logam cair. Logam cair ini berfungsi sebagai bahan tambahan yang menyatu dengan bahan spesimen yang akan dilas. SMAW memiliki metode pengelasan yang umum digunakan karena sederhana dan relatif murah dalam hal persiapan benda kerja, bahan, dan alat pelindung diri (APD) (Hidayat et al., 2021).

Pada teknik pengelasan shield metal arc welding (SMAW), proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik. Semakin besar arus listrik yang digunakan maka butiran logam cair yang terbawa menjadi semakin halus. Sebaliknya, jika arus yang digunakan kecil maka butiran logam cair menjadi semakin besar (Bakhori, 2017). Hingga saat ini, teknik ini merupakan salah satu teknik pengelasan yang cukup banyak digunakan oleh profesional (*welder*) karena kemudahan dalam operasionalnya (penggunaan). Walaupun, dalam segi kualitas hasil pengelasan masih ditemukan beberapa kelemahan seperti cacat yang dihasilkan.

2.2. Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan salah satu pendekatan statistik yang banyak digunakan dalam proses analisis data, terutama untuk memahami hubungan antara satu atau lebih variabel bebas (independen) dengan variabel terikat (dependen). Dalam pengelasan, regresi linier sering digunakan untuk memodelkan hubungan antara parameter proses, seperti arus pengelasan, dengan kekuatan tarik hasil las. Misalnya, penelitian yang dilakukan pada variasi arus dan kecepatan pengelasan pada proses SMAW mempengaruhi kekuatan tarik baja St 37. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 373 MPa diperoleh pada arus 60 A dan kecepatan pengelasan 0,7 cm/detik. Analisis regresi linier sederhana dalam penelitian ini menunjukkan bahwa arus pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las (Sulardjaka et al., 2017). Pendekatan ini berperan penting dalam menemukan, mengenali, dan menampilkan pola yang terdapat dalam data, sehingga memungkinkan dilakukannya perkiraan, prediksi, klasifikasi, klusterisasi, hingga pengamatan hubungan asosiasi. Pemilihan jenis metode regresi yang akan digunakan bergantung pada karakteristik data yang dianalisis. Dalam beberapa kasus, hubungan antara parameter pengelasan dan kekuatan tarik tidak selalu linier. Sebagai contoh, penelitian oleh Iswar dan Syam (2019) menggunakan regresi linier berganda untuk menganalisis pengaruh variasi putaran dan temperatur pada proses friction welding terhadap kekuatan sambungan las pada baja karbon rendah. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi kedua parameter tersebut mempengaruhi kekuatan tarik secara signifikan, dan model regresi yang digunakan mampu memprediksi kekuatan tarik dengan akurasi yang baik (Iswar & Syam, 2012). Apabila data menunjukkan kecenderungan hubungan linier, maka pendekatan regresi linier dapat digunakan. Sebaliknya, jika terdapat pola hubungan yang tidak linier, maka regresi non-linier menjadi alternatif yang lebih tepat (Kusuma & Hidayat, 2024).

2.3. Regresi Linear dan Non-Linear

Untuk menentukan hubungan matematis antara satu variabel dependen (Y) dan satu atau lebih variabel independen (X), gunakan regresi linier, teknik statistik klasik. (Alfarisi et al., 2024). Model yang dibangun dalam regresi linier sederhana biasanya berbentuk persamaan umum sebagai berikut: $Y' = a + bX$, di mana Y' adalah nilai prediksi variabel terikat, X adalah variabel bebas, a adalah konstanta atau tepi, dan b adalah

koefisien regresi. Nilai a dan b dihitung dengan menggunakan rumus tertentu berdasarkan data yang tersedia (Utami et al., 2021). Hubungan linier ini diasumsikan memiliki pengaruh yang konsisten dan dapat diukur antara variabel-variabel yang dianalisis, sehingga cocok digunakan untuk membuat prediksi terhadap fenomena-fenomena yang bersifat kuantitatif, seperti estimasi harga atau nilai dari suatu objek berdasarkan atribut-atribut tertentu.

Sementara itu, dalam situasi di mana hubungan antar variabel tidak bersifat linier, metode regresi non-linier diperlukan. Salah satu bentuk regresi non-linier yang umum digunakan adalah regresi kuadratik. Dalam metode ini, hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dinyatakan dalam bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$, yang menggambarkan adanya pengaruh dari X secara kuadratik terhadap Y . Hal ini biasanya ditunjukkan melalui *scatter plot*, di mana pola hubungan antara X dan Y membentuk kurva parabola, baik naik maupun turun. Model ini sangat berguna ketika hubungan antar variabel menunjukkan percepatan atau perlambatan yang tidak dapat ditangkap oleh model linier biasa (Utami et al., 2021).

2.4. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Analisis *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) adalah metode statistik yang mengukur akurasi prediksi dalam peramalan dengan menghitung rata-rata persentase kesalahan absolut (Chicco et al., 2021; Nazaré et al., 2020). MAPE diperoleh dengan menghitung selisih absolut antara nilai ramalan dan nilai aktual pada setiap periode, kemudian membagi selisih tersebut dengan nilai aktual pada periode yang bersangkutan. Selanjutnya, diambil rata-rata dari seluruh persentase kesalahan absolut tersebut. Suatu model prediksi dianggap memiliki performa baik apabila nilai MAPE berada di bawah 10 % (Utami et al., 2021).

Rumus untuk MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - y'_t|}{y_t} \quad (1)$$

Di mana:

y_t = nilai aktual pada waktu ke- t

y'_t = nilai prediksi pada waktu ke- t

n = jumlah titik data

Semakin kecil persentase kesalahan dalam MAPE, maka semakin akurat prediksi yang dihasilkan (Roy et al., 2020) (Nurani et al., 2023). Nilai MAPE dapat diinterpretasikan sebagai berikut (Nabillah & Ranggadara, 2020):

- Kurang dari 10%: Akurasi Sangat Baik,
- 10% hingga 20%: Akurasi Baik,
- 20% hingga 50%: Akurasi Cukup,
- Lebih dari 50%: Akurasi Buruk

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif, yang melibatkan penggunaan data kuantitatif dalam bentuk angka untuk pengumpulan, interpretasi, dan penyajian temuan penelitian. Data kuantitatif yang diperoleh akan diolah untuk mengembangkan model estimasi yang menjelaskan hubungan antara variasi arus pengelasan dengan kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las. Analisis deskriptif kuantitatif ini digunakan untuk merancang model yang dapat mengidentifikasi pola dan tren dalam data yang ada serta memprediksi nilai kekuatan tarik dan kekerasan pada variasi arus tertentu.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik studi pustaka, yaitu dengan memanfaatkan data sekunder dari hasil pengujian las pelat material ASTM A36 dengan metode SMAW pada arus 20 A, 100 A, 110A dan 120 A. Data sekunder merupakan informasi yang diperoleh dari sumber-sumber relevan seperti jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, dan sumber internet lainnya yang mendukung proses analisis. Studi pustaka ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi yang dapat menunjang penyusunan laporan penelitian serta membantu dalam menganalisis data yang telah ada. Data yang dikumpulkan melalui metode ini memberikan landasan teoritis dan empiris yang kuat untuk mendukung proses pengujian dan validasi model yang akan dikembangkan (Tanujaya, 2017). Sumber data yang digunakan adalah data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya mengenai uji kekuatan tarik dan kekerasan pada sambungan pelat baja karbon ASTM A36 (Nugroho, A., & Setiawan, 2018).

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Minitab versi 20.3 untuk analisis regresi, dan beberapa uji asumsi klasik dilakukan guna memastikan validitas model. Uji tersebut meliputi Uji Normalitas, yang bertujuan memastikan bahwa residual berdistribusi normal; Uji Homogenitas, yang memeriksa kesamaan varians residual; Uji Independensi Residual, yang menilai apakah residual bersifat independen; serta Uji Linearitas, yang memastikan bahwa hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat bersifat linear.

Analisis *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) juga dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model, yang merupakan aspek penting dalam membangun model prediktif (Nazaré et al., 2020). Rumus MAPE yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|yt - y't|}{yt}$$

Di mana:

yt = nilai aktual pada waktu ke- t

$y't$ = nilai prediksi pada waktu ke- t

n = jumlah titik data

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi dan memvalidasi model regresi yang paling sesuai dalam memprediksi kekuatan tarik dan kekerasan berdasarkan variasi arus pengelasan yang digunakan dalam proses pengelasan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Uji Kekuatan Tarik

Data uji kekuatan tarik diperoleh dengan variasi arus pengelasan (variabel bebas) dan kekuatan tarik (variabel terikat). Berikut ini adalah hasil uji tarik untuk variasi arus sebesar 90 ampere, 100 ampere, 110 ampere, dan 120 ampere.

Tabel 1. Data Uji kuat Plat ASTM A36 Carbon Steel

| Kuat Arus (Ampere) | <i>Ultimate Tensile Strength</i> (Mpa) |
|--------------------|--|
| 90 | 360.77 |
| 90 | 363.94 |
| 90 | 355.78 |
| 100 | 400.45 |
| 100 | 391.16 |
| 100 | 401.16 |
| 110 | 468.24 |
| 110 | 462.35 |
| 110 | 472.75 |
| 120 | 426.89 |
| 120 | 435.74 |
| 120 | 418.05 |

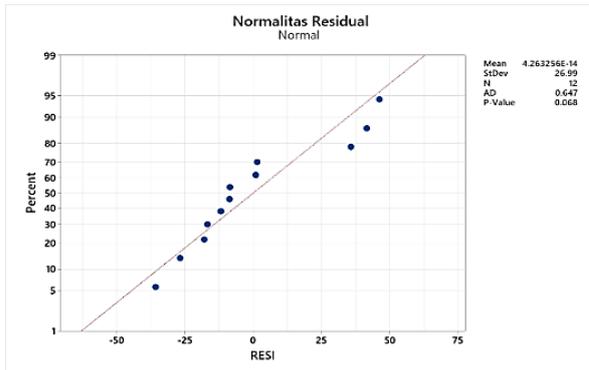
Sumber: (Nugroho & Setiawan, 2018)

4.2. Uji Asumsi Klasik

Uji normalitas digunakan untuk menilai apakah data mengikuti distribusi normal. Data penelitian yang berkualitas tinggi seharusnya memiliki distribusi normal. Distribusi normal (berbentuk lonceng) menunjukkan bahwa data tersebar secara merata, sehingga menjadi representasi yang andal dari populasi (Ainiyah et al., 2016). Berdasarkan hasil uji normalitas terhadap data kekuatan tarik pada Gambar 1, diperoleh nilai $P\text{-Value} = 0,068 > 0,05$, yang menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi normalitas residual.

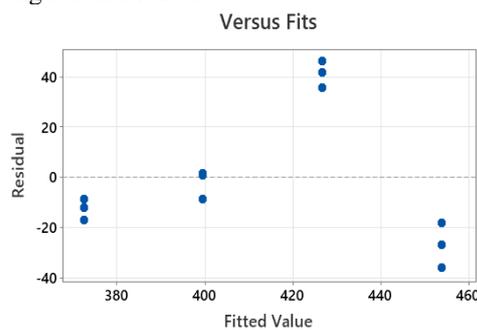
Dalam konteks analisis statistik, normalitas residual merujuk pada distribusi residual (selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi) yang

mengikuti distribusi normal. Akibatnya, dapat disimpulkan bahwa residual terdistribusi secara normal jika nilai P-Value lebih besar dari 0,05 (Ainiyah et al., 2016).



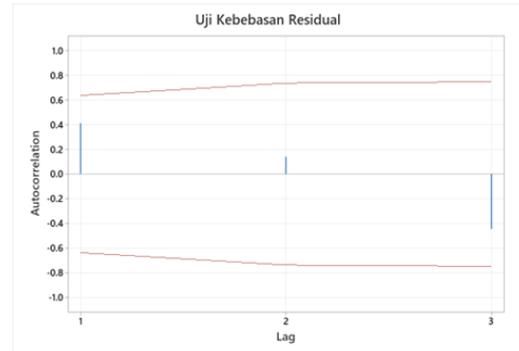
Gambar 1. Uji Normalitas Data Kekuatan Tarik
Sumber: Pengolahan Data

Hasil uji homogenitas terhadap data arus pengelasan dan kekuatan tarik menunjukkan bahwa data berada dalam rentang antara (-40, 40) (Gambar 2), yang mengindikasikan bahwa residual berada dalam distribusi yang wajar, sehingga menunjukkan variabilitas yang konsisten (homogen). Hasil uji homogenitas ini menunjukkan bahwa residual (selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi) berada dalam distribusi yang relatif konstan.



Gambar 2. Uji Homogenitas Data Kekuatan Tarik
Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Gambar 3, hasil uji kebebasan residual pada data kuat arus dan kekuatan tarik menunjukkan bahwa garis biru (data) tidak melebihi garis merah, yang menunjukkan bahwa residual bersifat independen atau tidak ada korelasi di antara mereka. Selain itu, bentuk grafik data yang tersebar mengikuti garis normalitas atau tidak menyimpang secara signifikan dari garis tersebut menunjukkan bahwa data terdistribusi normal.



Gambar 3. Uji Homogenitas Data Kekuatan Tarik
Sumber: Pengolahan Data

4.3. Pemodelan Hubungan antara Kekuatan Arus dan Kekuatan Tarik

Studi ini menggunakan analisis regresi untuk menunjukkan hubungan matematis antara variabel dependen dan independen. Persamaan regresi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kekuatan arus, satu variabel independen, dan kekuatan tarik, masing-masing. Hasilnya adalah sebagai berikut: persamaan regresi linear dan non-linear didapat dari aplikasi Minitab.

Persamaan Regresi Linear:

$$Y = 129.2 + 2.704 X$$

Persamaan Regresi Non-linear:

$$Y_1 = -2005 + 43.8 X - 0,1958 X^2$$

Keterangan:

X = Kuat arus (A)

Y = Nilai skor kuat tarik (MPa)

Berdasarkan persamaan yang diperoleh, skor prediksi kekuatan tarik dapat dihitung menggunakan persamaan regresi linear dan non-linear, yang hasilnya disajikan dalam Tabel 2.

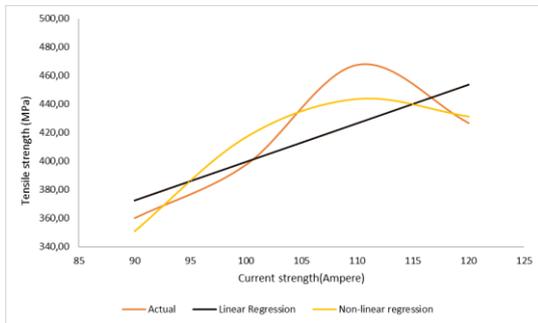
Tabel 2. Prediksi Kuat Tarik dengan persamaan Linear dan Non Linear

| Kuat Arus (X) | Kuat Tarik Aktual | Prediksi Kuat Tarik (Y') | |
|---------------|-------------------|--------------------------|------------------|
| | | Pers. Linear | Pers. Non-linear |
| 90 | 360.77 | 372.56 | 351.02 |
| 90 | 363.94 | 372.56 | 351.02 |
| 90 | 355.78 | 372.56 | 351.02 |
| 100 | 400.45 | 399.6 | 417 |
| 100 | 391.16 | 399.6 | 417 |
| 100 | 401.16 | 399.6 | 417 |
| 110 | 468.24 | 426.64 | 443.82 |
| 110 | 462.35 | 426.64 | 443.82 |
| 110 | 472.75 | 426.64 | 443.82 |
| 120 | 426.89 | 453.68 | 431.48 |

| Kuat Arus (X) | Kuat Tarik Aktual | Prediksi Kuat Tarik (Y') | |
|---------------|-------------------|--------------------------|------------------|
| | | Pers. Linear | Pers. Non-linear |
| 120 | 435.74 | 453.68 | 431.48 |
| 120 | 418.05 | 453.68 | 431.48 |

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan skor prediksi kekuatan tarik yang diperoleh dari persamaan regresi linear dan non-linear, terlihat bahwa pada model regresi linear, kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya kekuatan arus. Sementara itu, pada model regresi non-linear, terdapat kecenderungan hubungan yang menunjukkan kondisi optimum, di mana peningkatan kekuatan arus hanya meningkatkan kekuatan tarik hingga titik tertentu, setelah itu cenderung menurun. Hubungan ini dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan perbandingan kekuatan arus vs kekuatan tarik

Sumber: Pengolahan Data

4.4. Deteksi Linearitas

Koefisien korelasi (R) adalah skor yang menunjukkan seberapa kuat hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Skor yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan tersebut lebih kuat. Sebaliknya, skor R-kuadrat menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen (Shrestha, 2020). Tabel 3 menunjukkan hasil

koefisien determinasi dan korelasi untuk kedua metode regresi linear dan non-linear.

Tabel 3. Hasil Uji R² pada Regresi Linear dan Non-Linear terhadap Kekuatan Tarik

| Model | R | R-sq | R-sq(adj) |
|-----------------------|-------|--------|-----------|
| Linear Regression | 0.760 | 57.79% | 53.57% |
| Non-linear Regression | 0.906 | 82.03% | 78.03% |

Sumber: Pengolahan Data

Koefisien korelasi yang diperoleh menggunakan metode regresi linear adalah 57,79%. Ini berarti terdapat hubungan sebesar 57,79% antara variabel independen, yaitu kekuatan arus, dan kekuatan tarik, sementara 42,21% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Selain itu, koefisien korelasi yang diperoleh menggunakan metode regresi non-linear adalah 82,03%. Ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan sebesar 82,03% antara variabel independen, yaitu kekuatan arus, dan kekuatan tarik, sementara 16,97% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Selain itu, R² adalah persentase variasi dalam respons yang dijelaskan oleh model. Semakin tinggi nilai R², semakin baik model tersebut dalam mencocokkan data. R² selalu berada antara 0% dan 100% (Ntumi & Effrim, 2022). Berdasarkan hal ini, dapat dinyatakan bahwa model regresi non-linear lebih baik dalam menggambarkan hubungan antara kekuatan arus dan kekuatan tarik pada sambungan pelat baja ASTM A36.

4.5. Evaluasi MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

Berdasarkan perhitungan dan pemodelan regresiliner dan non-linear, dilakukan evaluasi MAPE untuk melihat tingga mengukur akurasi prediksi dalam peramalan dengan menghitung rata-rata persentase kesalahan absolut (Chicco et al., 2021; Nazaré et al., 2020).

Tabel 4. Hasil Evaluasi Kekuatan Arus terhadap Kekuatan Tarik Aktual dan Kekuatan Tarik Prediksi dalam Pengujian Persamaan Regresi Linear

| Kuat Arus (X) | Kuat Tarik Aktual (Y) | Kuat Tarik Prediksi (Y1') | Y1-Y1' |
|---------------|-----------------------|---------------------------|----------|
| 90 | 360.77 | 372.56 | 0.03268 |
| 90 | 363.94 | 372.56 | 0.023685 |
| 90 | 355.78 | 372.56 | 0.047164 |
| 100 | 400.45 | 399.6 | 0.002123 |
| 100 | 391.16 | 399.6 | 0.021577 |

| Kuat Arus (X) | Kuat Tarik Aktual (Y) | Kuat Tarik Prediksi (Y1') | Y1-Y1' |
|---------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| 100 | 401.16 | 399.6 | 0.003889 |
| 110 | 468.24 | 426.64 | 0.088843 |
| 110 | 462.35 | 426.64 | 0.077236 |
| 110 | 472.75 | 426.64 | 0.097536 |
| 120 | 426.89 | 453.68 | 0.062756 |
| 120 | 435.74 | 453.68 | 0.041171 |
| 120 | 418.05 | 453.68 | 0.085229 |
| Total | | | 0.583889 |

Sumber: Pengolahan Data

Perhitungan MAPE:

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk kekuatan arus terhadap kekuatan tarik (Regresi Linear):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y1-Y1'|}{Y1}$$

$$MAPE = \frac{1}{12} (0.583889)$$

$$= 0,0487 \approx 4,87\%$$

Hasil evaluasi kekuatan arus terhadap kekuatan tarik aktual dan kekuatan tarik prediksi dalam pengujian regresi linear menghasilkan nilai evaluasi total sebesar 4,87%. Ketepatan hasil prediksi dapat dievaluasi melalui nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Bila MAPE bernilai kurang dari 10%, hal ini mengindikasikan bahwa model prediktif memiliki keakuratan yang

sangat tinggi. Apabila nilai MAPE berada dalam rentang 10% sampai 20%, maka tingkat keakuratannya masih tergolong baik. Sementara itu, nilai MAPE antara 20% hingga 50% merefleksikan tingkat ketepatan yang sedang atau moderat. Di sisi lain, MAPE yang melebihi angka 50% menandakan bahwa prediksi yang dihasilkan memiliki akurasi yang rendah atau tidak dapat diandalkan (Nurfadhilah et al., 2022). Oleh karena itu, berdasarkan hasil evaluasi ini, model regresi dalam pengujian regresi linear antara kekuatan arus terhadap kekuatan tarik menghasilkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 4,78%, yang berada di bawah 10%, sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik. Model ini direpresentasikan oleh persamaan $Y = 129,2 + 2,704X$, yang menunjukkan bahwa model ini sangat baik dalam memprediksi hubungan antara kekuatan arus dan kekuatan tarik.

Tabel 5. Hasil Evaluasi Kekuatan Arus terhadap Kekuatan Tarik Aktual dan Kekuatan Tarik Prediksi dalam Pengujian Regresi Non-Linear

| Kuat Arus (X) | Kuat Tarik Aktual (Y) | Kuat Tarik Prediksi (Y1') | Y1-Y1' |
|---------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| 90 | 360.77 | 372.56 | 0.03268 |
| 90 | 363.94 | 372.56 | 0.023685 |
| 90 | 355.78 | 372.56 | 0.047164 |
| 100 | 400.45 | 399.6 | 0.002123 |
| 100 | 391.16 | 399.6 | 0.021577 |
| 100 | 401.16 | 399.6 | 0.003889 |
| 110 | 468.24 | 426.64 | 0.088843 |
| 110 | 462.35 | 426.64 | 0.077236 |
| 110 | 472.75 | 426.64 | 0.097536 |
| 120 | 426.89 | 453.68 | 0.062756 |
| 120 | 435.74 | 453.68 | 0.041171 |
| 120 | 418.05 | 453.68 | 0.085229 |
| Total | | | 0.583889 |

Sumber: Pengolahan Data

Perhitungan MAPE:

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk kekuatan arus terhadap kekuatan tarik (Regresi Non-Linear):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y1 - \hat{Y1t}|}{Y1}$$

$$MAPE = \frac{1}{12} (0428859)$$

$$= 0,0357 \approx 3,57 \%$$

Hasil evaluasi kekuatan arus terhadap kekuatan tarik aktual dan kekuatan tarik prediksi menghasilkan nilai evaluasi total sebesar 3,57%. Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang kurang dari 10% menunjukkan tingkat akurasi prediksi yang sangat baik. Nilai MAPE antara 10% hingga 20% menunjukkan akurasi prediksi yang baik, sedangkan nilai MAPE antara 20% hingga 50% menunjukkan akurasi sedang. Jika nilai MAPE melebihi 50%, maka hal tersebut menunjukkan akurasi prediksi yang buruk (Nurfadhilah et al., 2022). Oleh karena itu, berdasarkan hasil evaluasi ini, model regresi non-linear antara kekuatan arus terhadap kekuatan tarik menghasilkan nilai MAPE sebesar 3,57%, yang berada di bawah 10%, sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik. Persamaan $Y = -2005 + 43,8X - 0,1958X^2$ semakin memperkuat bahwa model ini sangat akurat dalam memprediksi hubungan antara kekuatan arus dan kekuatan tarik. Kesalahan yang terjadi disebabkan oleh faktor lain, yang menyumbang sebesar 9,4%. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Efendi et al. (2024), yang menganalisis hubungan kuat tekan uniaksial dan kuat tarik tidak langsung pada batupasir menggunakan metode regresi. Dalam penelitian tersebut, nilai MAPE sebesar 5,89% diperoleh, menunjukkan bahwa pendekatan regresi dapat memberikan prediksi yang akurat dalam konteks material yang berbeda. Meskipun konteks materialnya berbeda, pendekatan regresi tetap menunjukkan efektivitas dalam memodelkan hubungan antara parameter mekanik (Muhlisin Efendi et al., 2024). Selain pendekatan regresi, model klasifikasi juga telah digunakan untuk meningkatkan akurasi prediksi kualitas pengelasan. Dalam studi oleh Ritonga & Purwaningsih (2018), penggunaan data kualitas pengelasan SMAW dan penerapan model klasifikasi dengan kernel fungsi kuadrat menghasilkan akurasi sebesar 96,2% pada pengujian model dan meningkat hingga 98% saat diuji menggunakan data uji. Hasil ini menunjukkan bahwa metode statistik dan

machine learning dapat secara baik dimanfaatkan untuk memprediksi dan meningkatkan kualitas sambungan las secara signifikan.

5. Kesimpulan

Perbandingan antara analisis regresi linear dan non-linear pada sambungan pelat baja ASTM A36 menunjukkan bahwa metode regresi non-linear lebih sesuai untuk memodelkan hubungan antara kuat arus pengelasan dan kekuatan tarik sambungan las. Hal ini terbukti dari nilai kesalahan prediksi yang lebih kecil dan koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi pada model regresi non-linear dibandingkan dengan model linear, yang mengindikasikan bahwa model tersebut mampu merepresentasikan hubungan antar variabel dengan lebih akurat. Model ini juga terbukti efektif dalam memprediksi kekuatan tarik berdasarkan variasi kuat arus yang diberikan selama proses pengelasan. Berdasarkan temuan pada ini, peneliti selanjutnya disarankan untuk menerapkan pendekatan regresi, khususnya model non-linear, pada data uji sambungan lainnya seperti variasi jenis elektroda, posisi pengelasan, maupun ketebalan pelat. Hal ini dapat membantu memperluas penerapan model dalam memahami berbagai parameter yang memengaruhi kualitas sambungan las. Dalam aplikasi industri pengelasan studi ini menyarankan model regresi non linear sebagai alat bantu dalam memprediksi kuat tarik yang diharapkan dalam proses pengelasan terutama pada material ASTM A36 dengan metode SMAW. Dengan menggunakan model ini, diharapkan dapat meminimalkan cacat las dan dapat meningkatkan efisiensi produksi, serta memiliki sambungan las dengan kekuatan tarik yang sesuai standar.

Daftar Referensi

- Ainiyah, N., Deliar, A., & Virtriana, R. (2016). The Classical Assumption Test to Driving Factors of Land Cover Change In The Development Region of Northern Part of West Java. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B6, 205–210. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B6-205-2016>
- Alfarisi, S., Astuti, R., & M Basysyar, F. (2024). Implementasi Data Mining Menggunakan Algoritma Regresi Linear Untuk Prediksi Penjualan Dan Cashflow di Ayam Geprek Cap Cangkir. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 3392–3395. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i3.9717>
- Bakhori, A. (2017). Perbaikan Metode

- Pengelasan SMAW (Shield Metal Arc Welding) Pada Industri Kecil di Kota Medan. *Buletin Utama Teknik*, 13(1), 14–21.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30743/but.v13i1.255>
- Bhardwaj, S., & Chandima Ratnayake, R. M. (2021). Residual stress estimation in defect assessment procedures at weld toe and away locations on girth welds: Review of key parameters. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 111, 102848.
<https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102848>
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, e623.
<https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Djarmiko, R. D., Kurniawan, D. A., & Pratiwi, H. (2020). Visual inspection on shielded metal arc welding products of Asian welding contestants in Yogyakarta province. *Journal of Physics: Conference Series*, 1446(1), 012006.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1446/1/012006>
- Feriansah, A. (2020). Pengaruh Proses Pengelasan Pada Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Tarik. *AL JAZARI: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 5(2).
<https://doi.org/10.31602/al-jazari.v5i2.4033>
- Gunawan, E., Choifin, M., Khoirul Rosidin, M., Nur Afifah, Y., Lestariningsih, W., Sungging Pradana, M., Adhi Prasnowo, M., & Makki, A. (2019). Analysis of the Effect of Current Flow Variations in GTAW on SS 400 Plate Material Connected with SUS 304 Stainless Steel Plate Against Tensile Strength and Hardness with ER308L Electrodes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175, 012277.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012277>
- Hamid, A. (2016). Analisa Pengaruh Arus Pengelasan SMAW Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan. *Jurnal Teknologi Elektro*, 7(1).
<https://doi.org/10.22441/jte.v7i1.813>
- Hidayat, M., Febnesia, H., & Ramdani, S. (2021). Effect of DCRP and DCSP Polarity on SMAW Welding on the Depth of Penetration with E7018 Electrodes using Low Carbon Steel ASTM A36. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 5(1), 36–46.
<https://doi.org/10.17977/um016v5i12021p037>
- Kusuma, M. D. H., & Hidayat, S. (2024). Penerapan Model Regresi Linier dalam Prediksi Harga Mobil Bekas di India dan Visualisasi dengan Menggunakan Power BI. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 5(2), 1097–1110.
<https://doi.org/10.35870/jimik.v5i2.629>
- Muhlisin Efendi, Revia Oktaviani, & Windhu Nugroho. (2024). Analisis Hubungan Kuat Tekan Uniaksial dan Kuat Tarik Tidak Langsung dengan Metode Regresi pada Batupasir Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4), 143–163.
<https://doi.org/10.61132/venus.v2i4.407>
- Nabillah, I., & Ranggadara, I. (2020). Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut. *JOINS (Journal of Information System)*, 5(2), 250–255.
<https://doi.org/10.33633/joins.v5i2.3900>
- Nazaré, G., Castro, R., & Gabriel Filho, L. R. A. (2020). Wind power forecast using neural networks: Tuning with optimization techniques and error analysis. *Wind Energy*, 23(3), 810–824.
<https://doi.org/10.1002/we.2460>
- Ntumi, S., & Effrim, P. K. (2022). Beyond Standardized Regression Coefficients Beta Weights: Interpreting and Applying Multiple Linear Regression in Educational Research. *Al-Hikmah Journal of Arts & Social Sciences Education*, 4(2), 8–15.
- Nugroho, A., & Setiawan, E. (2018). Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel ASTM 36. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 3(2), 134–142.
- Nurani, A. T., Setiawan, A., & Susanto, B. (2023). Perbandingan Kinerja Regresi Decision Tree dan Regresi Linear Berganda untuk Prediksi BMI pada Dataset Asthma. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(1), 34–43.
<https://doi.org/10.24246/juses.v6i1p34-43>
- Nurfadhilah, A. N., Budi, W., Kurniati, E., & Suhaedi, D. (2022). Penerapan Metode Moving Average untuk Prediksi Indeks Harga Konsumen. *Matematika: Jurnal Teori Dan Terapan Matematika*, 21(1), 19–26.
- Pratomo, M. A., Jasman, J., Erizon, N., & Fernanda, Y. (2020). The Variation Effect of Electric Current Toward Tensile Strength on Low Carbon Steel Welding with

- Electrode E7018. *Teknomekanik*, 3(1), 9–16. <https://doi.org/10.24036/tm.v3i1.5572>
- Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX. *JURNAL VOKASI TEKNOLOGI INDUSTRI (JVTI)*, 3(1). <https://doi.org/10.36870/jvti.v3i1.218>
- Ritonga, A. S., & Purwaningsih, E. S. (2018). Penerapan Metode Support Vector Machine (SVM) Dalam Klasifikasi Kualitas Pengelasan Smaw (Shield Metal Arc Welding). *Jurnal Ilmiah Edutic: Pendidikan Dan Informatika*, 5(1), 17–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.21107/edutic.v5i1.4382>
- Roy, S. S., Samui, P., Nagtode, I., Jain, H., Shivaramakrishnan, V., & Mohammadi-ivatloo, B. (2020). Forecasting heating and cooling loads of buildings: a comparative performance analysis. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(3), 1253–1264. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01317-y>
- Shrestha, N. (2020). Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(2), 39–42. <https://doi.org/10.12691/ajams-8-2-1>
- Sulardjaka, S., Fitriyana, D. F., & Budiman, A. (2017). Kajian Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Shield Metal Arc Welding dan Friction Stir Welding Baja Karbon St 37. *ROTASI*, 19(4), 193. <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.4.193-200>
- Tanujaya, C. (2017). Perancangan Standart Operational Procedure Produksi Pada Perusahaan Coffeein. *Jurnal Performa: Jurnal Manajemen Dan Start-up Bisnis*, 2(1), 90–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.37715/jp.v2i1.441>
- Utami, G. F., Suhaedi, D., & Kurniati, E. (2021). Perbandingan metode regresi linier dan non-linier kuadratik pada peramalan penjualan air minum. *Matematika: Jurnal Teori Dan Terapan Matematika*, 20(2), 33–41.
- Wang, D. Q. Q., Yao, D. D., Gao, Z. B., Wang, Q., Zhang, Z. F., & Li, X. W. (2021). Fatigue mechanism of medium-carbon steel welded joint: Competitive impacts of various defects. *International Journal of Fatigue*, 151, 106363. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106>