



Dinamika Teknik Mesin

Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin
<http://dinamika.unram.ac.id/index.php/DTM/index>



Evaluasi sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia dan suhu perlakuan panas menggunakan teknik exploratory data analysis (EDA)

Evaluation of mechanical properties of low alloy steel based on chemical composition and heat treatment temperature using exploratory data analysis (EDA) techniques

D. Leni¹, F. Earnestly², R. Sumiat³, A. Adriansyah⁴, Y.P. Kusuma*⁵

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Jl. Pasir Jambak No.4, Pasie Nan Tigo, Kec. Koto Tangah, Kota Padang, Sumatera Barat 25586, Indonesia, Hp. 0811666385

^{3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25175, Indonesia.

⁵Jurusan Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25175, Indonesia

*E-mail: yudaperdana.kusuma@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received 19 January 2023

Accepted 07 March 2023

Available online 01 January 2023

Keywords:

Mechanical properties

Low alloy steel

Chemical composition

Exploratory data analysis techniques



ABSTRACT

This research aims to evaluate the relationship between the chemical composition of low alloy steel, temperature, and the mechanical properties of low alloy steel using Exploratory Data Analysis (EDA) techniques. The low alloy steel dataset is visualized using a correlation heat map, which shows a relationship between the mechanical properties of low alloy steel and its chemical composition and heat treatment temperature. Based on the results of the correlation heat map, an evaluation is carried out using scatterplots. The visualization results with scatterplots show a trend line indicating a linear relationship between YS and the elements V, Ni, and Mn, as well as a positive relationship between TS and V. In addition, there are determination coefficients (R^2) that show how well the trend line can explain the variation of the data. The R^2 values obtained for V are 0.405, Ni is 0.226, Mn is 0.159, and Mo is 0.130, while El and RA have a positive correlation with temperature with R^2 values of 0.166 and 0.320, respectively. It can be concluded that the evaluation results using scatterplots and R^2 show that variations in chemical composition and heat treatment temperature affect the mechanical properties of low alloy steel. The correlations that occur between these variables can help in determining the pattern of the relationship and evaluating how well the trend line can explain the variation of the data. The use of correlation heat maps and scatter plots can help in decision-making and developing low-alloy steel materials that meet specific needs.

1. PENDAHULUAN

Baja Paduan Rendah (*low alloy steels*) adalah salah satu jenis baja paduan yang ditandai dengan kandungan unsur paduannya di bawah 10%, dengan sedikit kadar karbon. Baja jenis ini memiliki sifat mekanik seperti keuletan, daktilitas dan memiliki ketahanan faktor temperatur yang tinggi sehingga banyak digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti industri perkapalan, jembatan, tangki, ketel uap, dan industri otomotif, Frista (2017). Penggunaan *low alloy steels* yang begitu pesat dan beragam di dunia teknik sejalan dengan kebutuhan industri baja untuk mengembangkan paduan baja yang sesuai dengan kebutuhan, hal ini bertujuan untuk mengenali karakteristik baja paduan serta mencegah terjadinya kegagalan pada material. Menurut Morini (2019) mengetahui sifat mekanik suatu material tidak hanya untuk mencegah terjadi kegagalan komponen mesin atau industri secara prematur tetapi juga aspek keselamatan pengguna. Komposisi kimia merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat mekanik baja paduan. Goritskii (2016) menyatakan unsur-unsur kimia yang terdapat dalam baja paduan dapat mempengaruhi struktur mikro baja, sehingga mempengaruhi sifat mekanik baja paduan, selain itu, proses perlakuan panas juga mempengaruhi struktur mikro baja paduan sehingga mempengaruhi sifat mekanik baja paduan. Proses perlakuan panas yang dilakukan pada baja paduan dapat mengubah struktur mikro baja paduan, seperti perubahan struktur fase yang terbentuk dan perubahan ukuran *grain*. Aziz (2016) melihat perubahan struktur mikro baja paduan yang terjadi selama proses perlakuan panas akan mempengaruhi sifat mekanik baja paduan. Pengetahuan tentang komposisi kimia dan sifat mekanik material merupakan hal yang penting bagi para peneliti dalam mengembangkan material yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Pengujian komposisi kimia dan sifat mekanik material secara experimental memiliki kendala seperti biaya yang mahal, waktu yang lama, serta membutuhkan keahlian yang cukup tinggi, tentu Hal ini dapat memperlambat proses analisis dan pengembangan material baja paduan rendah.

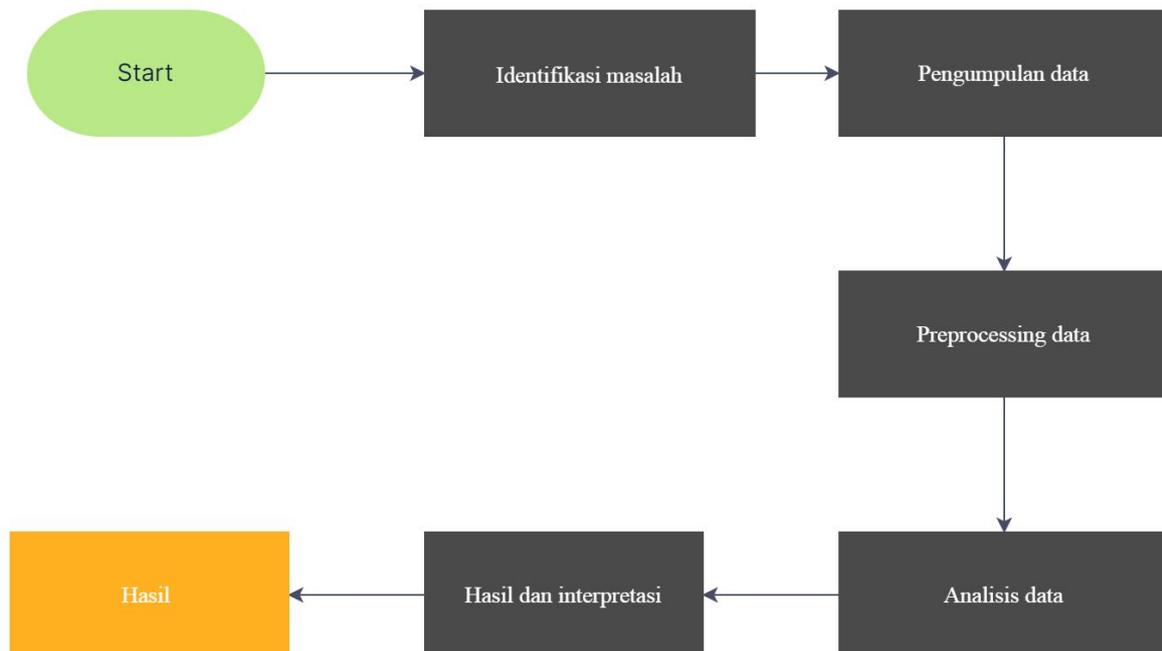
Era digitalisasi memberikan efek positif di bidang ilmu material sebab di era ini banyak ditemukan database material yang menyediakan data dan informasi seperti komposisi kimia material teknik, jenis perlakuan panas, variasi suhu perlakuan panas dan sifat mekanik. Wei, dkk. (2019) dan Merayo dkk. (2020) menyatakan bahwa database material yang populer saat ini seperti seperti seperti *Open quantum material database, material project, computational materials repository, harvard clean energy project, anorganic crystal structure database, matmach, matweb, dan aflowlib*. Database material ini dapat diakses secara gratis dan dapat digunakan sebagai acuan dan referensi untuk mengetahui sifat mekanik baja paduan, namun pada dasarnya database ini hanya memberikan informasi secara umum dan bahkan ada yang hanya berupa angka, oleh sebab itu dibutuhkan analisa yang mendalam untuk mengetahui karakteristik, pola dan korelasi antar data untuk mendapatkan informasi sifat mekanik baja paduan secara detail dan menyeluruh.

Exploratory data analysis (EDA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengetahui pola data, struktur data dan korelasi antara data yang di plot kedalam bentuk grafik sehingga mempermudah peneliti dalam memahami sebuah data. Menurut Martinez dkk. (2017) EDA adalah bidang statistik dan analisis data dimana sekumpulan data dieksplorasi menggunakan statistik deskriptif dan teknik visualisasi tanpa membuat asumsi apapun. Hal ini bertujuan untuk mengungkap pola data, menganalisis data dan memodelkan data menurut Martinez (2001). EDA diterapkan dalam berbagai disiplin ilmu untuk analisis data. Kurzl (1988) telah menerapkan EDA untuk menganalisis data geokimia yang diperoleh dari survei sedimen sungai regional di Austria. Jansen (1996), Kelkar dkk. (1996) telah menggunakan EDA untuk menganalisis data produksi untuk mengetahui hubungan antar sumur. Flumignan dkk. (2007) telah menunjukkan penerapan EDA untuk menentukan apakah kualitas bensin dari mobil di Brazil sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan pemerintah. Kumar dkk. (2020) telah melakukan analisis ekstensif terhadap data yang dikumpulkan oleh sensor tanah mereka melalui EDA untuk mengembangkan sistem pakar untuk memprediksi berbagai penyakit jamur pada tanaman. Ogunsina dkk. (2021) telah menerapkan EDA untuk menganalisis penjadwalan penerbangan historis dan data operasi untuk mengetahui penyebab gangguan jadwal penerbangan. Pesatnya penggunaan EDA diberbagai bidang ilmu tidak terlepas dari era digitalisasi yang memungkinkan untuk penyimpanan data hasil pengujian experimental secara digital. EDA paling banyak dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *python*.

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan diatas penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia paduan dan variasi suhu perlakuan panas dengan EDA (*Exploratory Data Analysis*) menggunakan library *python* seperti *matplotlib, pandas, seaborn, dan numpy*. Penggunaan EDA dalam penelitian ini dapat diperoleh informasi yang berguna mengenai bagaimana komposisi kimia dan suhu perlakuan panas mempengaruhi sifat mekanik baja paduan rendah. Selain itu, EDA juga dapat digunakan untuk mengetahui adanya *outlier* atau *anomali* pada data yang dapat mempengaruhi hasil analisis sifat mekanik baja paduan rendah.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, seperti diagram Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia paduan dan variasi suhu perlakuan panas menggunakan metode *Exploratory Data Analysis* (EDA). Data penelitian sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia dan variasi suhu perlakuan panas yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *Kaggle*, sebuah *platform data science* yang menyediakan data-data yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Data sifat mekanik baja paduan rendah ini terdiri dari komposisi kimia paduan terdiri dari Carbon (C), Silicon (Si), Manganese (Mn), Phosphorus (P), Sulfur (S), Nickel (Ni), Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Copper (Cu), Vanadium (V), Aluminum (Al), Nitrogen (N), Carbon equivalent (Ceq), Niobium + Tantalum (Nb + Ta), Temperatur dan sifat mekanik seperti *YS* (*Yield Strength*), *TS* (*Tensile Strength*), *El* (*Elongation*), dan *RA* (*Reduction of Area*) berjumlah 916 data yang dikontribusikan oleh Rohannemade dari Mumbai, Maharashtra, India. Sebelum data dianalisis maka dilakukan *Preprocessing* data seperti pembersihan data, perubahan data menjadi bentuk yang sesuai dengan kebutuhan analisis, dan pembersihan data yang tidak valid.

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap unsur kimia dan temperatur terhadap sifat mekanik baja paduan rendah menggunakan *heatmap* korelasi dan *R-squared*. Metode ini berguna untuk memahami hubungan antara variabel dalam data, serta seberapa baik model regresi dapat memprediksi sifat mekanik berdasarkan variabel komposisi kimia. *Heatmap* korelasi digunakan untuk mengukur tingkat korelasi antara dua variabel dalam bentuk koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah ukuran statistik yang menunjukkan seberapa kuat hubungan linear antara dua variabel. Koefisien korelasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Zou, 2003):

$$r = (n\sum xy - \sum x \sum y) / \sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)} \quad (1)$$

Dengan *r* adalah koefisien korelasi, *x* dan *y* adalah dua variabel yang dihitung, dan *n* adalah jumlah pengamatan. Nilai koefisien korelasi berkisar dari -1 hingga 1. Nilai -1 menunjukkan korelasi negatif sempurna antara dua variabel, 0 menunjukkan tidak ada korelasi, dan 1 menunjukkan korelasi positif sempurna antara dua variabel. Setelah diketahui variabel mana yang memiliki korelasi yang cukup kuat menggunakan *heatmap* korelasi kemudian dievaluasi kembali, menggunakan *R-squared* untuk mengukur seberapa baik model regresi dapat memprediksi sifat mekanik berdasarkan variabel komposisi kimia. *R-squared* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Chicco, 2021):

$$R\text{-squared} = 1 - (SS_{res} / SS_{tot}) \quad (2)$$

Dengan SS_{res} adalah jumlah kuadrat residual (perbedaan antara nilai prediksi dan nilai aktual) dan SS_{tot} adalah jumlah kuadrat total (perbedaan antara nilai aktual dan nilai rata-rata). Nilai R -squared berkisar dari 0 hingga 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa model regresi tidak dapat menjelaskan variasi dalam sifat mekanik, sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa model regresi dapat menjelaskan seluruh variasi dalam sifat mekanik. Penerapan heatmap korelasi dan R -squared pada penelitian ini, dapat membantu menemukan korelasi antara variabel-variabel seperti komposisi kimia, temperatur dengan sifat mekanik. dan R -squared dapat membantu untuk mengukur seberapa baik model regresi dapat memprediksi sifat mekanik berdasarkan variabel komposisi kimia.

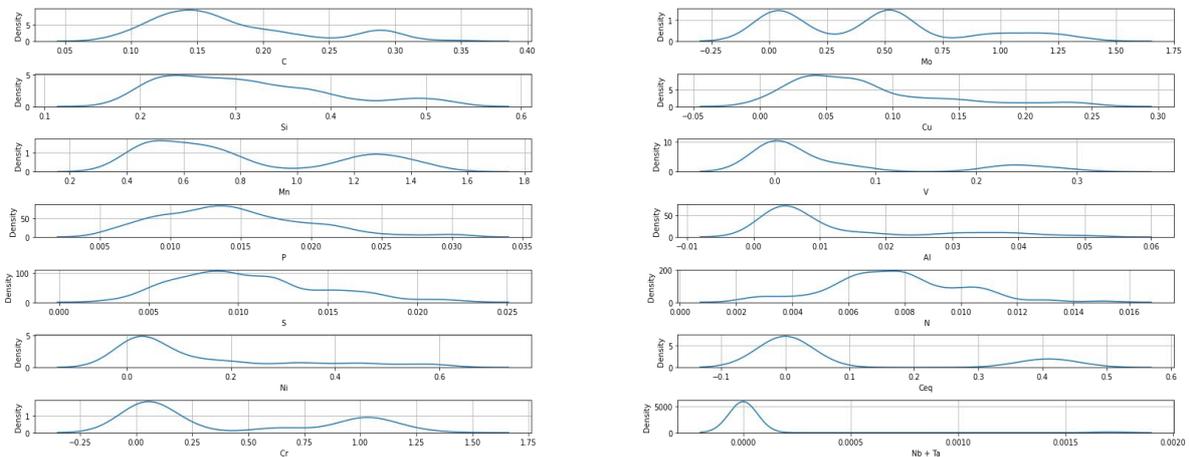
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Preprocessing data

Data sifat mekanik baja paduan rendah ini terdiri dari komposisi kimia paduan terdiri dari Carbon (C), Silicon (Si), Manganese (Mn), Phosphorus (P), Sulfur (S), Nickel (Ni), Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Copper (Cu), Vanadium (V), Aluminum (Al), Nitrogen (N), Carbon equivalent (Ceq), Niobium + Tantalum (Nb + Ta), Temperatur dan sifat mekanik seperti YS (*Yield Strength*), TS (*Tensile Strength*), El (*Elongation*), dan RA (*Reduction of Area*). Data sifat mekanik baja paduan rendah ini berjumlah 916 data dengan 20 variabel kemudian dilakukan preprocessing data sehingga data berjumlah 901 data dengan 20 variabel, data tersebut dihilangkan karena ada beberapa data yang tidak lengkap dan tidak valid, seperti nilainya yang terlalu tinggi dibandingkan nilai data lainnya sehingga dapat mengakibatkan bias saat melakukan analisis.

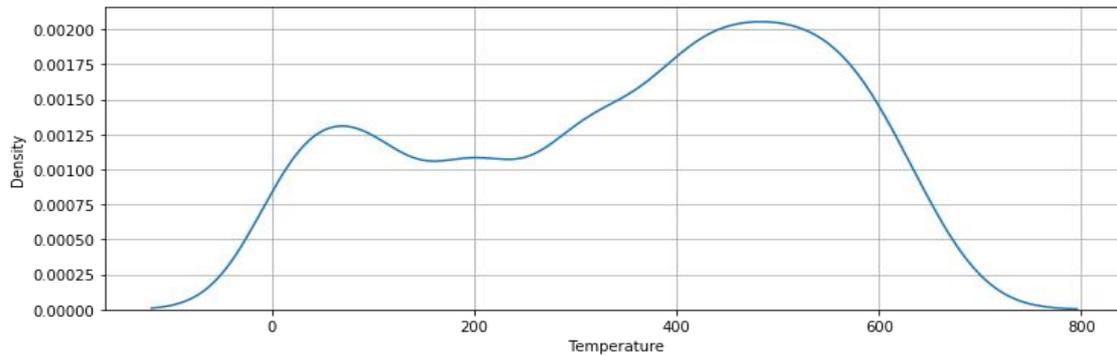
3.2 Analisis data

Setelah data dibersihkan langkah selanjutnya adalah melakukan EDA (*Exploratory data analysis*), data komposisi kimia paduan baja paduan rendah di visualisasikan dengan menggunakan *plot kernel density* untuk melihat sebaran data persentase pada setiap unsur kimia. *Plot kernel density* dapat memberikan informasi mengenai distribusi dari sebuah variabel dengan lebih detail daripada histogram, karena *plot kernel density* tidak terikat pada batasan-batasan nilai yang ditentukan seperti pada histogram dengan demikian, *plot kernel density* dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai distribusi dari sebuah variabel dalam dataset. Semakin tinggi garis *density* pada titik suatu nilai, menandakan bahwa nilai tersebut lebih banyak muncul didalam data tersebut. Sebaran data komposisi kimia baja paduan rendah dapat dilihat pada Gambar 2, dimana hampir semua data komposisi kimia memiliki sebaran data yang baik kecuali Carbon equivalent (Ceq) dan Niobium + Tantalum (Nb + Ta) dimana garis *density* tertinggi pada variabel tersebut berada pada titik 0 yang berarti nilai 0 pada variabel tersebut lebih dominan.



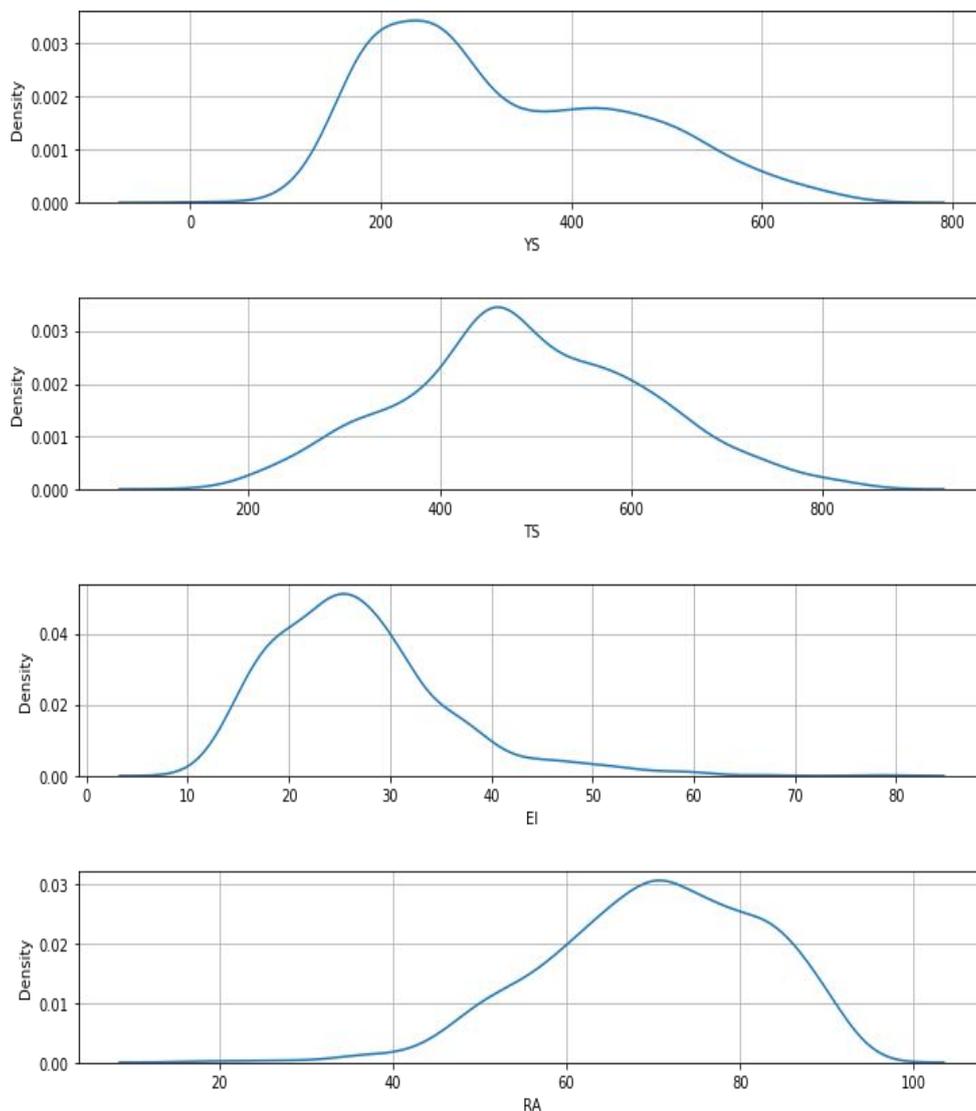
Gambar 2. Sebaran data unsur kimia baja paduan rendah

Data variasi suhu perlakuan panas baja paduan rendah juga divisualisasikan menggunakan *plot kernel density* seperti yang terlihat pada Gambar 3, dimana data variasi suhu memiliki distribusi yang merata.



Gambar 3. Sebaran temperatur

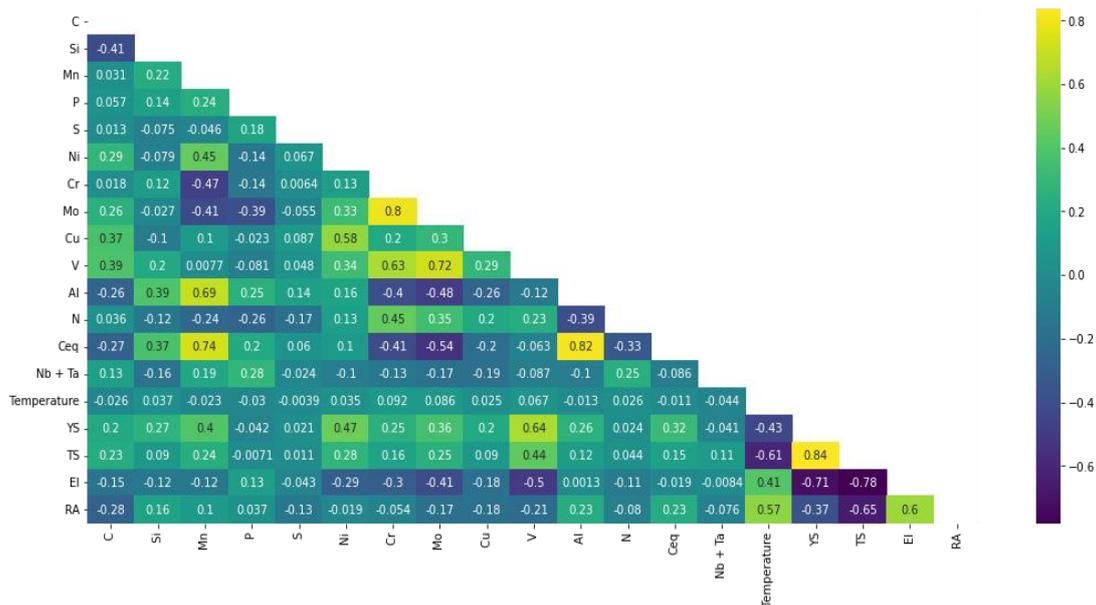
Data sifat mekanik baja paduan rendah yang terdiri dari YS (*Yield Strength*), TS (*Tensile Strength*), El (*Elongation*), dan RA (*Reduction of Area*) juga divisualisasikan menggunakan plot kernel density seperti yang terlihat pada Gambar 4, dimana data terdistribusi dengan baik.



Gambar 4. Sebaran data sifat mekanik baja paduan rendah

Dataset baja paduan rendah selanjutnya divisualisasikan menggunakan *heatmap* korelasi yang bertujuan untuk melihat hubungan komposisi kimia baja, temperatur dan sifat mekanik baja paduan rendah. *Heatmap* korelasi menggunakan warna dan nilai untuk melihat hubungan positif dan negatif antar setiap variabel pada

dataset baja paduan rendah seperti yang terlihat pada Gambar 4, dimana warna kuning pekat mengindikasikan bahwa variabel tersebut memiliki ikatan positif yang kuat sehingga apabila variabel satu ditingkatkan nilainya maka variabel yang lainnya juga mengalami kenaikan nilai dan begitu pula sebaliknya, warna ungu mengindikasikan bahwa variabel tersebut memiliki korelasi negatif yang kuat sedangkan warna hijau gelap yang mendekati nol menandakan tidak ada korelasi antara variabel tersebut.



Gambar 5. Heatmap korelasi data baja paduan rendah

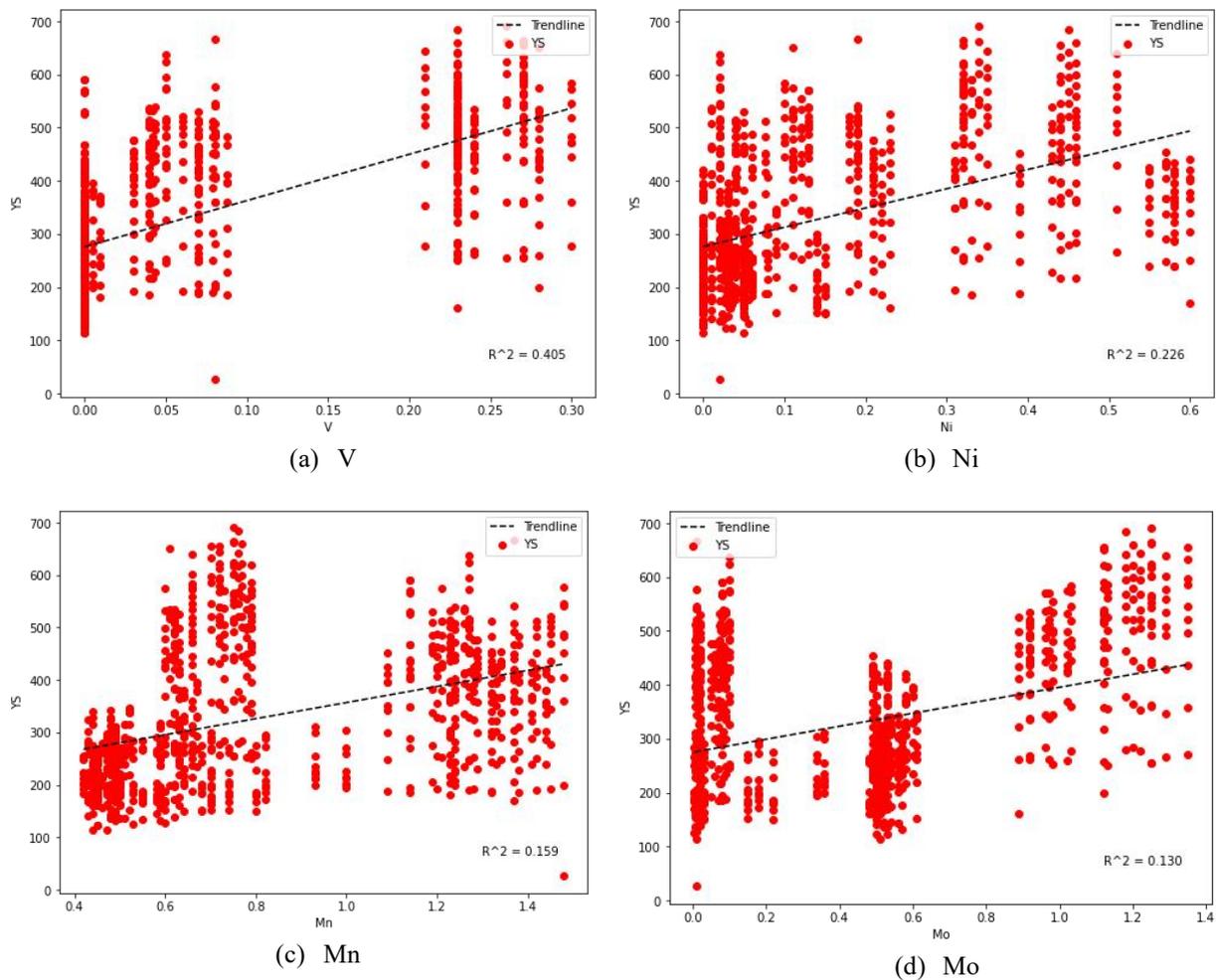
Berdasarkan hasil *heatmap* korelasi data sifat mekanik baja paduan rendah pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa variabel yang mempengaruhi sifat mekanik seperti :

1. YS memiliki korelasi positif dan cukup kuat dengan TS dengan nilai koefisien korelasi 0.84, unsur V 0.64 serta memiliki korelasi sedang dengan Ni 0.47, Mn 0.4 dan berkorelasi kecil dengan Mo 0.36 selain itu, YS memiliki korelasi negatif yang sangat kuat dengan El -0.71, Temperatur -0.43 dan RA -0.37.
2. TS memiliki korelasi positif sedang dengan V 0.44 dan memiliki korelasi yang kecil dengan Ni 0.28, Mo 0.25, Mn 0.24, dan C 0.23
3. El memiliki korelasi positif yang kuat terhadap RA 0.5, temperatur 0.41 dan korelasi kecil dengan P 0.13 serta memiliki korelasi negatif yang kuat dengan TS -0.78 dan YS -0.71.
4. RA memiliki korelasi positif yang kuat dengan temperatur 0.57, dan korelasi kecil dengan Al dan Ceq dengan masing – masing 0.23 serta memiliki korelasi negatif yang kuat dengan TS -0.65 dan YS -0.37.
5. Temperatur memiliki korelasi positif terhadap RA 0.57, El 0.41 dan korelasi negatif yang cukup kuat dengan TS -0.61, YS 0.43.

Heatmap korelasi menghasilkan informasi seberapa kuat hubungan semua variabel yang ada pada dataset seperti hubungan antar unsur kimia, temperatur dan sifat mekanik material baja paduan rendah seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya dan terlihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil *heatmap* korelasi terdapat sifat mekanik material yang memiliki korelasi kuat dengan beberapa unsur kimia dan suhu perlakuan panas, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap dua variabel yang memiliki korelasi yang cukup kuat dan divisualisasikan dengan menggunakan *scatterplot* untuk melihat hubungan linear antara dua variabel dengan nilai R^2 atau koefisien determinasi. Variabel yang dievaluasi adalah variabel dependen yaitu sifat mekanik material seperti YS, TS, El, dan RA dengan variabel independen yaitu unsur kimia paduan dan variasi suhu pemanasan.

Berdasarkan hasil *heatmap* korelasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa unsur kimia yang memiliki hubungan korelasi yang signifikan dengan YS. Salah satu unsur yang memiliki korelasi positif dan cukup kuat dengan YS adalah unsur V dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0.64, Selain itu unsur Ni dan Mn juga memiliki korelasi sedang dengan YS dengan nilai koefisien korelasi masing-masing sebesar 0.47 dan 0.4. Avazkonandeh-Gharavol (2009) berpendapat evaluasi dilakukan untuk membuktikan hubungan antara YS dengan unsur V, Ni, dan Mn tersebut, maka dilakukan visualisasi menggunakan *scatterplot*. Hasil visualisasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 6, dimana terdapat garis *trendline* yang menunjukkan adanya hubungan linear antara YS dengan unsur V, Ni, dan Mn. Selain itu, terdapat juga nilai koefisien determinasi (R^2) yang

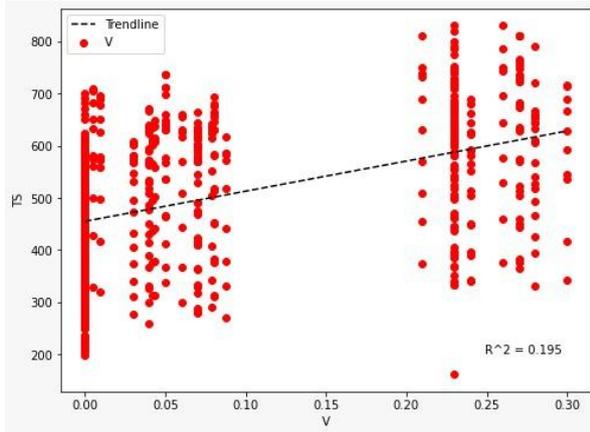
menunjukkan seberapa baik garis *trendline* tersebut dapat menjelaskan variasi dari data. Nilai R^2 yang diperoleh untuk unsur V adalah 0.405, Ni sebesar 0.226, Mn sebesar 0.159, dan Mo sebesar 0.130. Hasil evaluasi menggunakan *scatterplot* tersebut dapat disimpulkan bahwa unsur V, Ni, dan Mn memiliki pengaruh yang signifikan terhadap YS.



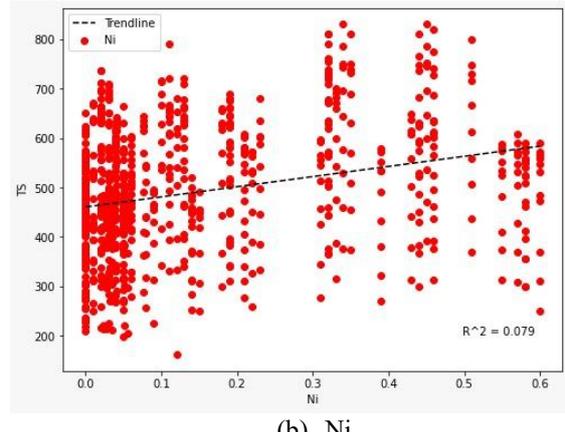
Gambar 6. *Scatterplot* YS terhadap (a) V, (b) Ni, (c) Mn, (d) Mo

TS memiliki korelasi sedang dengan beberapa unsur kimia paduan seperti yang telah diuraikan sebelumnya berdasarkan hasil *heatmap* korelasi, sehingga untuk memvalidasi hasil dari *heatmap* korelasi, maka dilakukan visualisasi dengan menggunakan *scatterplot*. Hasil visualisasi menggunakan *scatterplot* dapat dilihat pada Gambar 7, dimana terlihat bahwa terdapat hubungan positif antara TS dengan V dengan nilai R^2 sebesar 0.195, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan V pada baja paduan rendah, maka semakin tinggi pula nilai TS. Selain itu, TS juga memiliki korelasi yang kecil dengan unsur Ni (R^2 0.079), Mn (R^2 0.059) dan Mo (R^2 0.063). Artinya, unsur-unsur tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai TS.

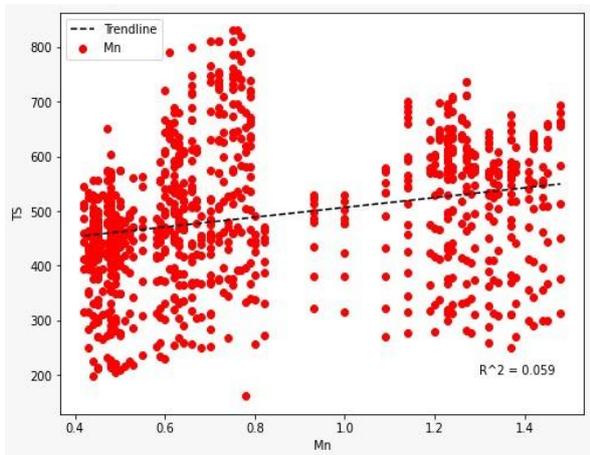
Berdasarkan hasil *heatmap* korelasi variabel El dan RA tidak memiliki korelasi yang signifikan dengan unsur kimia paduan. Peneliti melakukan validasi dengan unsur kimia yang memiliki korelasi positif dengan El dan RA namun hasil R^2 variabel tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil *heatmap*, Namun El dan RA memiliki korelasi yang cukup kuat dengan suhu perlakuan panas sehingga tahapan selanjutnya adalah memvalidasi sifat mekanik baja paduan rendah dengan suhu perlakuan panas. Hasil R^2 sifat mekanik baja paduan rendah yang divisualisasikan menggunakan *scatterplot* dapat dilihat pada Gambar 8, dimana YS dan TS menghasilkan garis regresi terbalik dari kiri atas ke arah kanan bawah yang menandakan memiliki korelasi negatif terhadap temperatur perlakuan panas dimana nilai YS (R^2 0.18) dan TS (R^2 0.372) sedangkan El dan RA memiliki korelasi positif dengan nilai El (R^2 0.166) dan RA (R^2 0.320).



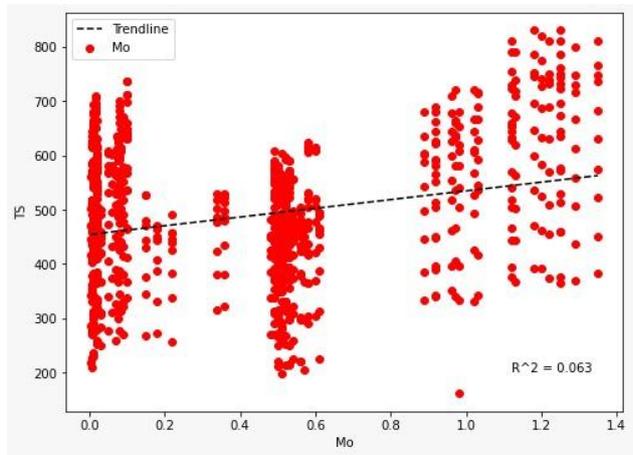
(a) V



(b) Ni

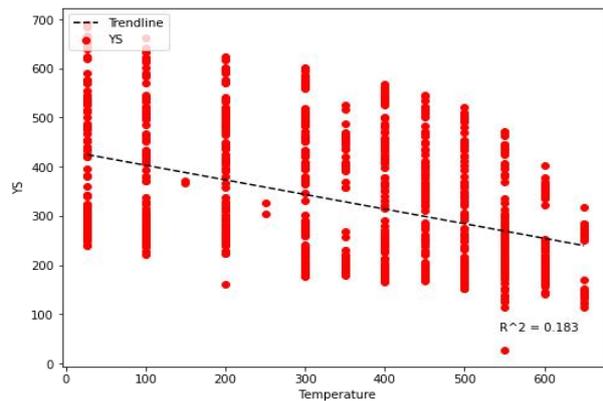


(c) Mn

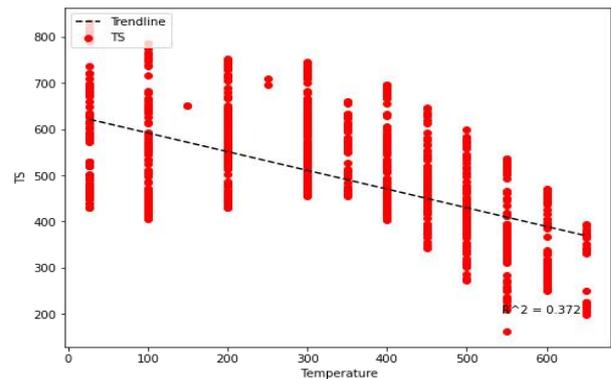


(d) Mo

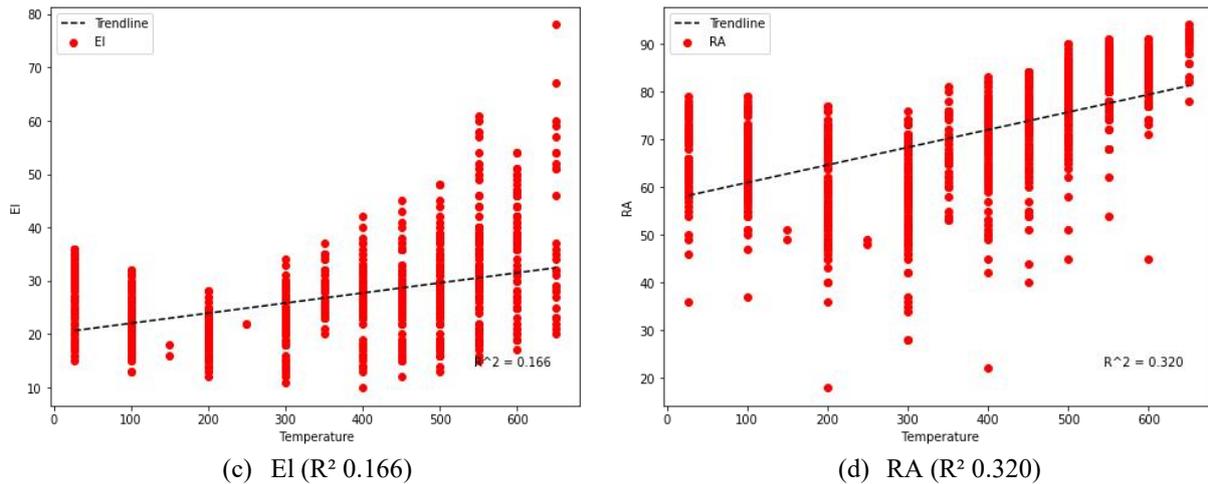
Gambar 7. Scatterplot TS terhadap (a) V, (b) Ni, (c) Mn, (d) Mo



(a) YS (R^2 0.18)

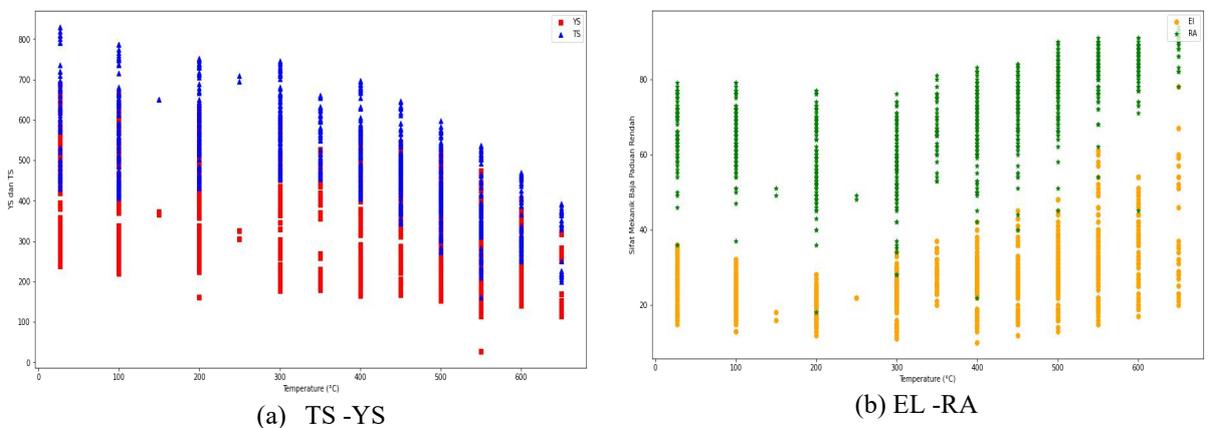


(b) TS (R^2 0.372)



Gambar 8. Suhu perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja paduan rendah terhadap (a) TS, (b) YS, (c) EL, (d) RA

Berdasarkan hasil heatmap korelasi, terlihat bahwa temperatur memiliki korelasi positif terhadap RA dan El, serta korelasi negatif yang cukup kuat dengan TS dan YS, hal ini menandakan dengan hasil evaluasi menggunakan *scatterplot*, dimana terlihat bahwa semakin tinggi nilai temperatur, maka nilai RA dan El akan semakin tinggi pula, sementara nilai TS dan YS akan semakin rendah seperti yang terlihat pada Gambar 9. Hasil visualisasi ini sama hasil penelitian yang dilakukan oleh Odeshi dkk. (2006), bahwa temperatur memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik baja paduan rendah, terutama pada YS dan TS. Pemanasan pada suhu tinggi dapat menyebabkan penurunan kekuatan tarik (TS) dan kekuatan luluh (YS), karena terjadi penuaan struktur mikro dan pelepasan kekuatan akibat perubahan struktur mikro, didalam penelitian ini pemanasan pada suhu 350°C tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap struktur mikro, namun pemanasan pada suhu 650°C atau lebih tinggi dapat menyebabkan penurunan kekuatan terhadap baja paduan rendah.



Gambar 9. Sifat mekanik baja paduan rendah terhadap suhu perlakuan panas terhadap (a) TS – YS dan (b) EL-RA

Menurut Wang dkk. (2020), hal ini dapat dijelaskan dengan mekanisme pembentukan struktur mikro pada baja yang pada umumnya, semakin tinggi temperatur *heat treatment*, maka struktur mikro yang terbentuk akan semakin homogen dan *fine grain*. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan tarik (YS) dan kekerasan (TS) baja, namun akan menurunkan keuletan (RA) dan kekuatan tegangan (El). Hal ini terjadi karena pada temperatur tinggi, molekul-molekul baja akan lebih mudah teracak dan terdistribusi secara merata sehingga terbentuk struktur mikro yang *fine grain*. Struktur mikro yang *fine grain* memiliki ukuran *grain* yang lebih kecil sehingga lebih kuat dan keras. Namun demikian, struktur mikro yang *fine grain* juga cenderung lebih rapuh sehingga keuletannya menurun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan Hasil dari penelitian analisis sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia paduan dan variasi suhu perlakuan panas menggunakan EDA dapat disimpulkan bahwa , *heatmap* korelasi mampu memberikan informasi hubungan setiap variabel yang ada pada dataset dengan sangat baik dan interaktif, hasil *heatmap* korelasi di evaluasi dengan *scatterplot* dan nilai R^2 untuk melihat seberapa kuat hubungan dua variabel tersebut. Unsur V (Vanadium) memiliki korelasi sedang dengan sifat mekanik material, yaitu *Yield Strength* (YS) dan *Tensile Strength* (TS). Hal ini sejalan dengan referensi yang menyatakan bahwa penambahan V juga dapat menurunkan keuletan baja paduan rendah, tergantung pada kondisi yang diberikan seperti suhu pemanasan dan pendinginan, serta jumlah penambahan unsur V. Unsur Ni, Mn dan Mo berdasarkan analisis *exploratory* dengan menggunakan *heatmap* korelasi dan nilai R^2 menggunakan *scatterplot* memiliki korelasi positif sedang dengan YS dan TS yang berarti penambahan kadar Ni, Mn dan Mo dapat meningkatkan nilai YS dan TS. Penambahan jumlah dan kombinasi yang tepat dari Ni, Mn, dan Mo sangat penting untuk mencapai kombinasi yang optimal antara kekuatan dan keuletan pada baja paduan rendah. Temperatur memiliki korelasi yang cukup kuat dengan sifat mekanik seperti korelasi negatif dengan YS dan TS serta korelasi positif dengan El dan RA, dengan kata lain semakin tinggi suhu temperatur maka nilai YS dan TS semakin rendah, sama halnya dengan temperatur nilai El dan RA juga ikut meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Avazkonandeh, Gharavol, M.H., Haddad, Sabzevar, .M., Haerian, A, Effect of copper content on the microstructure and mechanical properties of multipass MMA, low alloy steel weld metal deposits. *Materials & Design*, 30(6), 1902-1912, 2009.
- Aziz, E.M., Kodur, V.K, Effect of temperature and cooling regime on mechanical properties of high-strength low-alloy steel. *Fire and Materials*, 40(7), 926-939, 2016.
- Chicco, D., Warrens, M.J., Jurman, G, 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, 2021.
- Frista, G., Notonegoro, H.A., Fachrudin, H.G, Peningkatan Sifat Mekanik AISI 4130 Low Alloy Steel Melalui Perlakuan Panas. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 2(1), 2017.
- Flumignan, D.L., Anaia, G.C., De O. Ferreira, F., Tininis, A.G., De Oliveira, J.E, Screening brazilian automotive gasoline quality through quantification of saturated hydrocarbons and anhydrous ethanol by gas chromatography and exploratory data analysis. *Chromatographia*, 65, 617-623, 2007.
- Goritskii, V.M., Shneiderov, G.R., Guseva, I.A, Effect of chemical composition and structure on mechanical properties of low-alloy weldable steels after thermo mechanical treatment. *Metallurgist*, 60, 511-518, 2016.
- Jansen, F.E., Kelkar, M.G, Exploratory data analysis of production data. In *Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference*. OnePetro, 1996.
- Kürzl, H., Exploratory data analysis: recent advances for the interpretation of geochemical data. *Journal of Geochemical Exploration*, 30(1-3), 309-322, 1988.
- Kumar, M., Kumar, A., Palaparthi, V.S., Soil sensors-based prediction system for plant diseases using exploratory data analysis and machine learning. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17455-17468, 2020.
- Morini, A.A., Ribeiro, M.J., Hotza, D, Early-stage materials selection based on embodied energy and carbon footprint. *Materials & Design*, 178, 107861, 2019.
- Merayo F.D., Rodríguez-Prieto, A., Camacho, A.M., Prediction of the bilinear stress-strain curve of aluminum alloys using artificial intelligence and big data. *Metals*, 10(7), 904, 2020.
- Martinez, W.L., Martinez, A.R., Solka, J., Exploratory data analysis with MATLAB. Chapman and Hall/CRC, 2017.
- Martinez, W.L., Martinez, A.R, Computational statistics handbook with MATLAB. Chapman and Hall/CRC. 2001.
- Odeshi, A.G., Bassim, M.N., Al-Ameeri, S, Effect of heat treatment on adiabatic shear bands in a high-strength low alloy steel. *Materials Science and Engineering*, 419(1-2), 69-75, 2006.
- Ogunsina, K., Bilonis, I., DeLaurentis, D., Exploratory data analysis for airline disruption management. *Machine Learning with Applications*, 6, 100102, 2021.
- Wei, J., Sun, G., Zhao, L., Yang, X., Liu, X., Lin, D., Ma, X, Analysis of hair cortisol level in first-episodic and recurrent female patients with depression compared to healthy controls. *Journal of affective disorders*, 175, 299-302, 2015.
- Wang, Z., Hui, W., Chen, Z., Zhang, Y., Zhao, X, Effect of vanadium on microstructure and mechanical properties of bainitic forging steel. *Materials Science and Engineering*, 771, 138653, 2020.
- Zou, K.H., Tuncali, K., Silverman, S.G., Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227(3), 617-628, 2003.