

Analisis Perbandingan Metode Quenched Terhadap Sifat Mekanik Baja Tahan Karat Austenitik Berbasis Big Data

Desmarita Leni¹, Islahuddin², Mulyadi³, Hendra⁴, Ruzita Sumiati^{5*}

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Bara

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Dharma Andalas

^{3,4,5}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

*Email: ruzita.sumiati@gmail.com

ABSTRACT

A profound understanding of the mechanical properties of stainless steel is crucial in modern industrial applications. However, comprehensively understanding the mechanical properties of stainless steel requires sufficient testing to gather data on its characteristics. In this research, an analysis was conducted on the influence of chemical composition and heat treatment on the mechanical properties of stainless steel, utilizing data from the Material Algorithm Project (MAP), which is a material database. The dataset comprises 986 samples, encompassing 11 chemical elements, variations in quenching, and 3 mechanical properties of stainless steel. The data was analyzed using descriptive statistics and Pearson correlation to examine the relationships between these variables. The research results indicate a negative correlation of -0.35 between temperature and Yield Strength (YS) in samples of steel undergoing air cooling. The YS values in this treatment can reach 300 MPa at temperature combinations ranging from 1300 K to 1330 K, with heating times ranging from 180 seconds to 420 seconds. Meanwhile, water cooling exhibits a wide range of cooling times and relatively high temperatures. Combinations of time between 1400 seconds and 2200 seconds and temperatures between 1300 K and 1400 K result in YS ranging from 240 MPa to 260 MPa. This research suggests that experimental material testing datasets not only play a passive role in validating an experiment but can also be actively utilized in the analysis and design of materials more effectively.

Keywords: Quenched, Mechanical Properties, Stainless Steel, Big Data.

PENDAHULUAN

Baja tahan karat austenitik adalah jenis baja tahan karat yang memiliki struktur kristal utama dalam bentuk austenit [1]. Struktur austenit pada baja ini memberikan sifat deformabilitas yang tinggi, membuatnya mudah untuk ditempa dan dibentuk. Namun, kelemahan utamanya adalah kurangnya kekerasan relatif dibandingkan dengan baja karbon tinggi atau baja tahan karat martensitik. Baja ini terdiri dari beberapa komposisi utama seperti kandungan nikel, krom, dan mangan [2]. Sifat mekanik dari baja ini melibatkan kekuatan tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuan untuk mempertahankan kekerasan pada suhu tinggi [3]. Kelebihan ini membuatnya menjadi pilihan yang ideal dalam industri modern seperti industri otomotif, konstruksi, komponen mesin, industri pengolahan makanan, dan industri perkapalan [4]. Pesatnya penggunaan baja tahan karat sebagai material di era industri modern, mendorong para pelaku industri baja untuk terus mengembangkan sifat material yang sesuai dengan kebutuhan industri saat ini. Hal ini, tidak terlepas dari peningkatan kualitas baja serta aspek keselamatan untuk mencegah terjadinya kegagalan terhadap komponen industri secara *premature* [5]. Sifat mekanik baja tahan karat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti unsur kimia paduan, struktur mikro dan jenis perlakuan panas.

Quenching merupakan salah satu metode perlakuan panas, yang bertujuan untuk memodifikasi sifat mekanik baja [6]. *Quenching* adalah proses pendinginan cepat dari suhu tinggi ke suhu rendah untuk menghasilkan struktur kristal yang berbeda pada baja tahan karat [7]. Pada baja tahan karat, quenching dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi dengan menghasilkan struktur kristal martensit [8]. Struktur ini terbentuk ketika baja tahan karat didinginkan dengan cepat dari suhu tinggi ke suhu rendah, biasanya media pendinginan yang umum digunakan adalah air dan udara [9]. Media pendinginan dengan air memberikan pendinginan yang sangat cepat. Ketika baja

tahan karat austenitik dicelupkan ke dalam air selama proses *quenching*, pendinginan yang cepat dapat menyebabkan transformasi fase struktur kristal menjadi lebih keras, seringkali menuju fase martensit [10]. Hal ini dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi juga dapat menyebabkan ketidaksempurnaan atau retak mikro pada struktur kristal, yang disebut sebagai distorsi. Distorsi ini dapat mengurangi keuletan baja. Sedangkan pada *quenching* menggunakan udara, pendinginan terjadi lebih lambat dibandingkan dengan air. Proses pendinginan yang lebih lambat dapat menghasilkan struktur yang lebih homogen [11]. Hasilnya, kekerasan dan kekuatan tarik baja tidak meningkat sebanyak ketika menggunakan air, tetapi keuletan dan ketahanan terhadap retak mikro dapat lebih baik. Oleh sebab itu, untuk menganalisis pengaruh media pendinginan terhadap sifat mekanik seperti *Yield Strength* (YS), *Ultimate Tensile Strength* (UTS), dan *Elongation* (EL), secara komprehensif diperlukan sampel dan data yang memadai dari berbagai kondisi *quenching* [12]. Keterbatasan variasi sampel dan data yang valid sering menjadi kendala dalam melakukan analisis lebih lanjut.

Pesatnya pertumbuhan data sifat material yang dihasilkan dari pengujian experimental hingga simulasi komputer selama bertahun-tahun, memberikan efek positif bagi peneliti dalam melakukan sebuah analisis sifat mekanik baja tahan karat berbasis data. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya database material seperti *open quantum material database*, *material project*, *computational materials repository*, *harvard clean energy project*, *anorganic crystal structure database*, *matmach*, *matweb*, dan *flowlab*. Fenomena ini memunculkan paradigma keempat dalam ilmu material dan rekayasa, yang menggabungkan tiga paradigma pertama yaitu eksperimen, teori, dan simulasi menjadi ilmu pengetahuan yang didorong oleh data [13]. Banyak penelitian terkait sifat mekanik material berbasis data yang sudah dilakukan seperti menganalisis sifat mekanik berbasis data untuk baja tahan karat 17-4 PH yang dibuat oleh manufaktur aditif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan antara mikrostruktur dan sifat mekanik pada komponen logam yang diproduksi dengan metode manufaktur aditif. Hasil analisis sifat mekanik baja tahan karat berbasis data ini menunjukkan tingkat korelasi yang sangat baik antara data prediksi dan data eksperimental. Model prediktif yang dikembangkan mampu memprediksi sifat mekanik dengan tingkat akurasi yang tinggi. Penelitian lain yang dilakukan tentang analisis sifat mekanik baja tahan karat berbasis database material, dimana penelitian ini memanfaatkan database material yang besar untuk menganalisis sifat mekanik baja tahan karat. Database material yang mencakup informasi komposisi kimia, perlakuan panas, dan sifat mekanik digunakan untuk mengidentifikasi pola, hubungan, dan tren dalam sifat mekanik baja tahan karat. Analisis statistik dan teknik data mining digunakan untuk menggali informasi yang berharga dari database material tersebut. Hasil analisis dalam penelitian ini dapat dijadikan sebagai landasan dalam merancang sebuah material yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya dan kesadaran akan pentingnya penggunaan database material sebagai alat bantu dalam merancang material yang sesuai dengan persyaratan konstruksi, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis tentang pengaruh komposisi kimia dan suhu perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja tahan karat. Dalam penelitian ini, database material tersebut dijadikan sumber data yang relevan dan kredibel untuk memperoleh informasi tentang komposisi kimia serta suhu perlakuan panas yang berpengaruh pada sifat mekanik baja tahan karat. Dengan menggunakan data yang terkumpul dari sumber-sumber tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menggambarkan hubungan antara variabel-variabel tersebut dengan sifat mekanik yang diukur, seperti YS, UTS, *elongation* EL.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Exploratory Data Analysis* (EDA), yang merupakan suatu pendekatan analisis data untuk menggali informasi dari data secara visual dan deskriptif. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi pola, hubungan, dan anomali dalam data serta mendapatkan wawasan yang berharga sebelum melakukan analisis lebih lanjut. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian.

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dataset Materials Algorithms Project yang dikelola oleh *Cambridge University*. Dataset ini berisi informasi tentang komposisi kimia paduan, suhu perlakuan panas dan sifat mekanik baja tahan karat.

2. Data Preprocessing

Data *preprocessing* adalah tahap awal dalam analisis data yang bertujuan untuk membersihkan, mempersiapkan, dan mengorganisasi data mentah sehingga dapat digunakan dengan lebih efektif dalam analisis statistik atau pemodelan [14]. Pada tahap ini, dilakukan Identifikasi dan penanganan nilai-nilai yang hilang atau tidak valid dalam dataset, seperti penggantian nilai yang hilang, penghapusan baris atau kolom yang tidak relevan, atau penanganan outlier yang signifikan. Selain itu, juga dilakukan pemilihan variabel untuk menentukan variabel mana yang akan digunakan dalam analisis. Terkadang, dataset dapat mengandung banyak variabel, dan perlu memilih variabel yang paling relevan untuk tujuan analisis Anda.

3. Analisis data

Analisis data dilakukan dengan tujuan untuk memahami pola, hubungan, dan karakteristik dari data hasil uji tarik baja tahan karat austenitik [15]. Data yang telah melalui proses *preprocessing* kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan analisis hubungan antar variabel input dengan variabel target menggunakan korelasi Pearson, yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{(n-1)S_x S_y} \quad (1)$$

Dimana r_{xy} adalah koefisien korelasi Pearson, $\sum xy$ adalah jumlah perkalian x dan y , n adalah ukuran sampel, x adalah variabel independen, y adalah variabel dependen, dan S adalah standar deviasi. Nilai koefisien korelasi berkisar dari -1 hingga 1. Nilai -1 menunjukkan korelasi negatif yang kuat antara kedua variabel, nilai 0 menunjukkan tidak ada korelasi, dan nilai 1 menunjukkan korelasi positif yang kuat [14].

4. Interpretasi dan Kesimpulan

Informasi yang ditemukan dari analisis deskriptif, korelasi Pearson dan analisis optimasi sifat mekanik akan digunakan untuk memahami hubungan antara komposisi kimia paduan, suhu perlakuan panas, dan sifat mekanik baja tahan karat. Kesimpulan dari penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanik material dan dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan material yang lebih optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil uji tarik dari beberapa jenis baja tahan karat austenitik (ASS) seperti SUS 304, SUS 316, SUS 321, SUS 347, dan NCF 800H. Dataset ini berjumlah 2180 sampel yang terdiri dari sifat mekanik baja tahan karat austenitik, unsur kimia paduan, suhu perlakuan panas dan metode pendinginan. Data diperoleh dari Creep Data Sheet of Steel (No.4B, 5B, 6B, 14B, 15B, 26B, 27B, 28B, 32A, 42, dan 45) yang merupakan sumber data dari NIMS MatNavi serta BSCC High Temperature Data dari The British Steelmakers Creep Committee. Data tersebut telah dikumpulkan oleh Material Algorithm Project (MAP) yang

merupakan proyek yang dilakukan oleh University of Cambridge dan dapat digunakan untuk kepentingan penelitian dan pendidikan.

Data Preprocessing

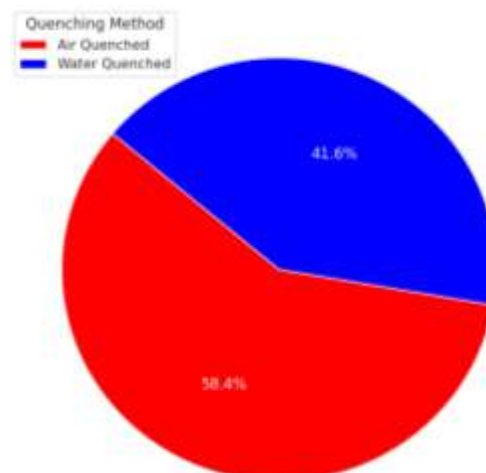
Dataset baja tahan karat austenitik ini berjumlah 2180 sampel, namun setelah dilakukan *preprocessing* data terdapat 1194 sampel data yang memiliki informasi yang tidak diperlukan seperti nilai yang hilang dan tidak valid sehingga tidak digunakan dalam penelitian ini. Dalam database asli terdapat beberapa fitur lain seperti jenis peleburan, ukuran butir, dan bentuk produk, namun data-data tersebut tidak lengkap dan memiliki korelasi yang sangat rendah dengan sifat mekanik baja tahan karat sehingga tidak digunakan dalam penelitian ini. Data yang memiliki informasi yang lengkap dan relevan dengan penelitian ini hanya berjumlah 986 sampel yang terdiri dari variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen adalah unsur kimia dan suhu perlakuan panas yang berjumlah 14 variabel seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan variabel dependen adalah sifat mekanik baja tahan karat yang terdiri dari *Yield Strength* (YS), *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan *Elongation* (EL).

Tabel 1. Variabel Dataset Baja Tahan Karat Austenitik (ASS).

No	Variable	No	Variabels
1	Chromium (Cr, wt%)	8	Carbon (C, wt%)
2	Nickel (Ni, wt%)	9	Boron (B, wt%)
3	Molybdenum (Mo, wt%)	10	Phosphorus (P, wt%)
4	Manganese (Mn, wt%)	11	Sulfur (S, wt%)
5	Silicon (Si, wt%)	12	Solution treatment temperature (Ts, K)
6	Niobium (Nb, wt%)	13	Solution treatment time (ts, s)
7	Titanium (Ti, wt%)	14	Water-quenched or Air-quenched

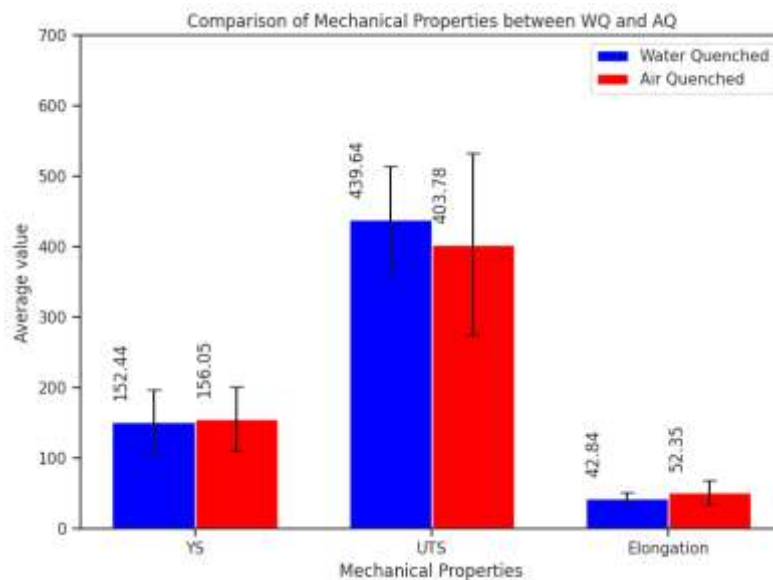
Analisis Data

Pentingnya memahami jumlah data atau persentase data pada setiap perlakuan sebelum melakukan analisis lebih lanjut terletak pada keakuratan dan representativitas hasil [16]. Proporsi yang seimbang antara perlakuan memastikan hasil analisis mencerminkan variasi sebenarnya dalam data, mendukung generalisasi hasil, dan memberikan dasar yang kuat untuk kesimpulan yang dapat diandalkan. Dengan pemahaman yang baik tentang distribusi data, analisis statistik menjadi lebih handal, dan risiko kesalahan interpretasi atau penarikan kesimpulan yang kurang akurat dapat diminimalkan. Selain itu, pemahaman ini juga memfasilitasi deteksi outlier atau anomali yang dapat mempengaruhi interpretasi keseluruhan. Sebagai langkah awal dalam proses analisis data, memeriksa dan memahami jumlah data pada masing-masing perlakuan menjadi kunci untuk menghasilkan hasil yang lebih valid. Pada penelitian ini, dataset terdiri dari dua perlakuan yaitu, *water quenched* dan *air quenched* dengan jumlah persentase di dalam dataset dapat dilihat pada Gambar 2.



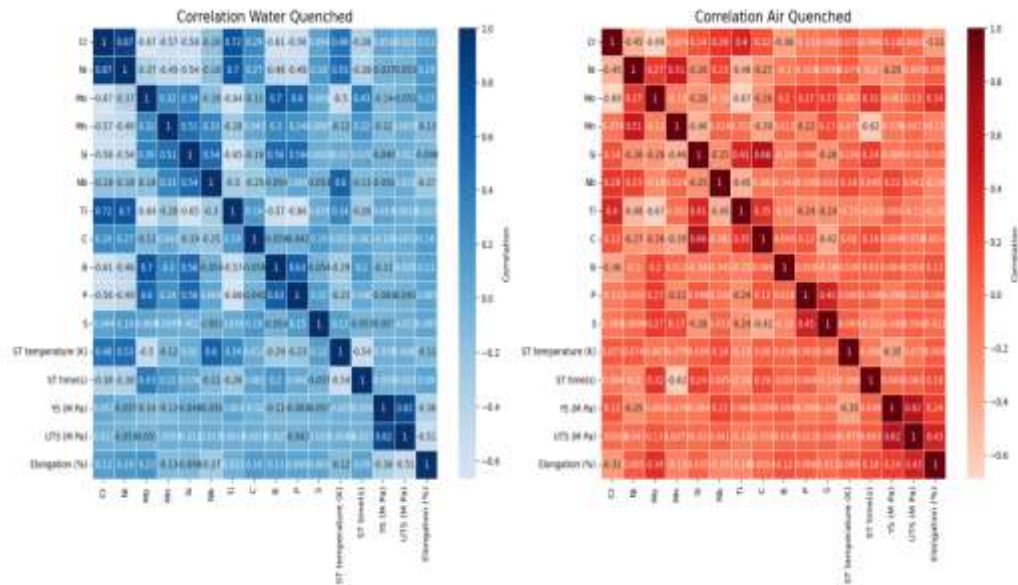
Gambar 2. Persentase Media Pendingin dengan Air dan Udara.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa air *quenched* memiliki jumlah data yang lebih banyak yaitu 576 sampel dibandingkan water quenched 410 sampel. Namun, ketika melihat rata-rata nilai sifat mekanik, khususnya UTS pada Gambar 3, terlihat bahwa *water quenched* menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari pada *air quenched*. Perbandingan nilai tersebut adalah 439 MPa untuk water quenched dan 403 MPa untuk *air quenched*. Sedangkan nilai rata-rata YS dan elongation tidak jauh berbeda untuk kedua perlakuan. Temuan ini menyoroiti bahwa, meskipun *water quenched* memiliki jumlah sampel yang lebih sedikit, water quenched mampu mencapai nilai UTS yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa water quenched memiliki potensi yang lebih unggul dalam mengoptimalkan sifat mekanik baja tahan karat. Hasil ini, sejalan dengan penelitian [16], yang menyatakan bahwa pendinginan dengan air dapat menghasilkan kekuatan tarik akhir (UTS) yang lebih tinggi dibandingkan dengan pendinginan dengan udara. Hal ini disebabkan karena sampel baja yang didinginkan dengan air memiliki stabilitas austenit yang lebih rendah dan efek plastisitas yang lebih tinggi daripada sampel yang didinginkan dengan udara. Sampel yang didinginkan dengan udara memiliki stabilitas austenit yang lebih tinggi dan kekuatan tarik akhir yang lebih tinggi, tetapi elastisitas total yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang didinginkan dengan air. Selain itu, sampel yang didinginkan dengan air memiliki austenit yang lebih granular, yang menunjukkan stabilitas austenit yang lebih tinggi. Di sisi lain, sampel yang ditempa dengan udara memiliki kandungan Mn dan C yang lebih tinggi, yang meningkatkan stabilitas austenit.



Gambar 3. Perbandingan Nilai Rata-rata Sifat Mekanik.

Selanjutnya, dilakukan analisis korelasi *pearson* untuk melihat hubungan antara unsur kimia, suhu perlakuan panas, lama waktu perlakuan panas, dan metode pendinginan terhadap sifat mekanik. Metode ini digunakan untuk mengukur sejauh mana dua variabel berkaitan satu sama lain dalam hubungan linier. Nilai koefisien korelasi berkisar dari -1 hingga 1. Nilai -1 menunjukkan korelasi negatif yang kuat antara kedua variabel, nilai 0 menunjukkan tidak ada korelasi, dan nilai 1 menunjukkan korelasi positif yang kuat. Hasil perbandingan korelasi dari kedua perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.

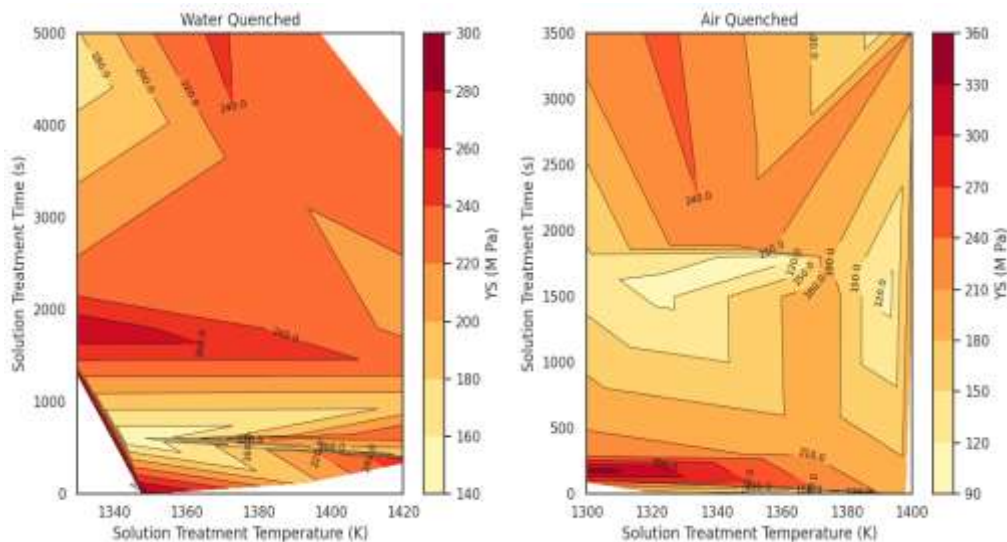


Gambar 4. Perbandingan Analisis Korelasi.

Berdasarkan perbandingan korelasi antara kedua perlakuan, terlihat bahwa pada air quenched memiliki korelasi negatif antara unsur kimia seperti Ni dengan Yield Strength (YS) sebesar -0,25, dan Cr dengan elongation sebesar -0,31. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase Ni pada baja tahan karat dapat berkontribusi pada penurunan YS, begitu pula dengan Cr, di mana peningkatan kandungan Cr dapat menyebabkan penurunan elongation. Temuan ini memberikan indikasi bahwa komposisi kimia, khususnya kandungan Ni dan Cr, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik YS dan elongation pada material yang diberikan perlakuan air quenched. Hal ini dapat terjadi karena penambahan nikel dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan luluh baja pada kondisi tertentu. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan struktural dan sifat-sifat mekanis yang dihasilkan oleh penambahan nikel, terutama jika proses quenching tidak diatur dengan optimal. Sedangkan Kandungan Cr yang tinggi dapat meningkatkan kekerasan baja, tetapi pada saat yang sama dapat meningkatkan kerapuhan. Ini dapat mengurangi kemampuan baja untuk menahan deformasi sebelum terjadi retakan atau patahan, yang pada gilirannya dapat mengurangi elongation. Selain itu, juga terlihat bahwa unsur Mo memiliki korelasi positif dengan elongation sebesar 0,35, dan Nb memiliki korelasi positif dengan elongation sebesar 0,22. Temuan ini mengindikasikan bahwa adanya peningkatan persentase Mo pada baja tahan karat berkorelasi dengan peningkatan elongation, begitu pula dengan Nb yang menunjukkan korelasi positif terhadap elongation. Sedangkan pada water quenched Nb tidak terlalu berpengaruh terhadap YS, tetapi Nb memiliki korelasi negatif yg cukup kuat dengan elongation sebesar -0.27. hasil ini jauh lebih kuat dibandingkan pada perlakuan air quenched.

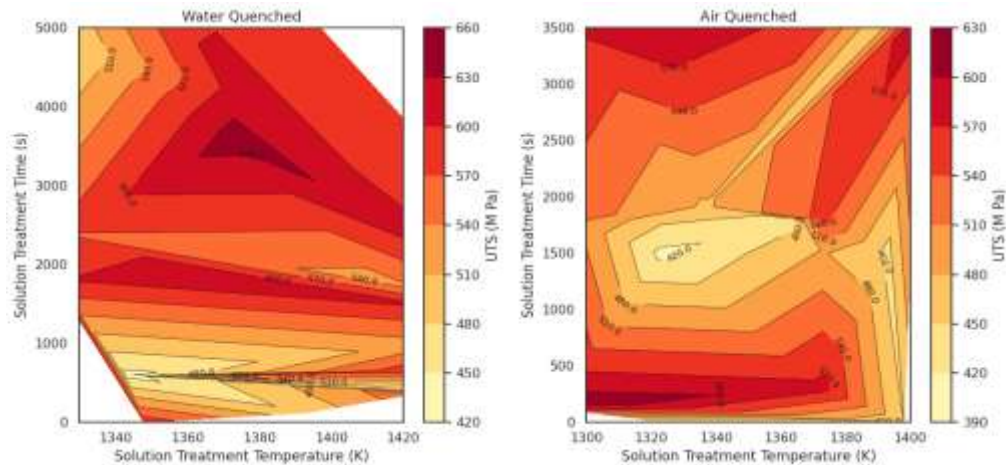
Pada hubungan perlakuan panas dengan sifat mekanik baja tahan karat pada kedua perlakuan dapat dilihat bahwa pada water quenched, solution treatment temperature menunjukkan korelasi negatif dengan elongation yaitu -0.12 dan korelasi positif yang sangat kecil dengan Yield Strength (YS). Sebaliknya, pada air quenched, ditemukan korelasi yang negatif sebesar -0,35. Hasil ini mengindikasikan bahwa pada water quenched, pengaruh solution treatment temperature terhadap YS tidak begitu signifikan. Namun, pada air quenched, terlihat bahwa semakin tinggi suhu solution treatment temperature dapat mengakibatkan penurunan nilai YS. Pada water quenched dapat dilihat bahwa lama waktu pemanasan memiliki korelasi positif yang cukup kecil dengan elongation. Sedangkan pada air quenched dapat dilihat bahwa lama waktu pemanasan memiliki korelasi positif yang cukup kecil dengan elongation yaitu 0.18. Temuan ini memberikan wawasan penting mengenai pengaruh variabel suhu terhadap sifat mekanik YS, tergantung pada metode quenching yang digunakan.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis lebih lanjut untuk menentukan rentang nilai optimal pada kedua perlakuan panas. Variabel yang dianalisis adalah lama waktu pemanasan dan temperatur, guna mencapai sifat mekanik sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Gambar 5 menunjukkan perbandingan pola distribusi YS pada rentang temperatur dan waktu menggunakan *countur plots*. *Water Quenched* menunjukkan variasi rentang waktu yang cukup luas dan suhu yang relatif tinggi. Kombinasi waktu antara 1400 detik hingga 2200 detik dan suhu antara 1300 K hingga 1400 K terbukti mampu menghasilkan *Yield Strength* (YS) yang signifikan, berkisar antara 240 Mpa hingga 260 Mpa. Sementara itu, pada perlakuan dengan metode *Air Quenched*, YS dapat mencapai hingga 300 Mpa. Nilai ini dapat dicapai pada kombinasi suhu 1300 K hingga 1330 K, dengan rentang waktu pemanasan mulai dari 180 detik hingga 420 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa rentang waktu optimal yang berlaku pada metode *Water Quenched* tidak dapat langsung diterapkan pada metode *Air Quenched*. Hal ini terlihat jelas ketika pada rentang waktu yang sama, metode *Air Quenched* memperoleh nilai YS yang paling rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa terdapat kondisi optimal pada masing-masing metode *quenching*, yang dapat mempengaruhi tingkat *Yield Strength* pada baja tahan karat austenitik. Kombinasi tertentu dari suhu dan waktu pemanasan pada masing-masing perlakuan panas dapat menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan, dan pemahaman ini dapat membantu dalam mengoptimalkan proses perlakuan panas untuk mencapai kinerja material yang diinginkan.



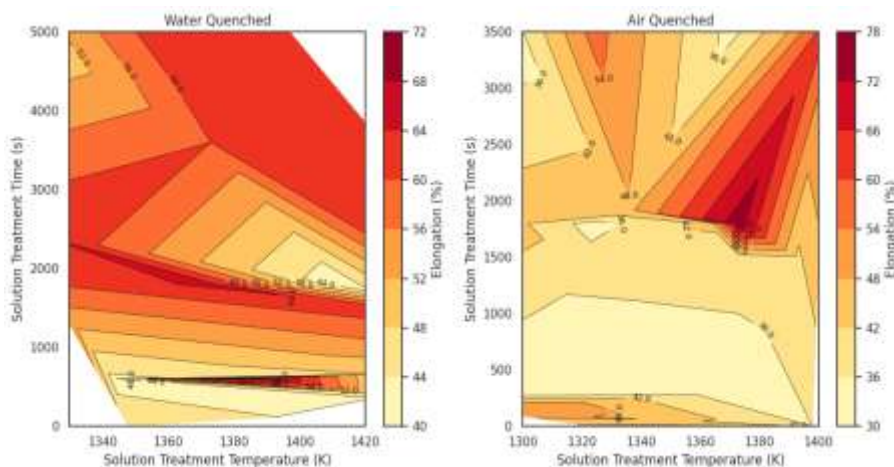
Gambar 5. Perbandingan YS Berbagai Kombinasi Temperatur dan Lama Waktu Pemanasan.

Hasil perbandingan pola distribusi *Ultimate Tensile Strength* (UTS) baja tahan karat *austenitic* pada rentang temperatur dan waktu dapat dilihat pada gambar 6. *Water Quenched*, dengan variasi rentang lama waktu pemanasan antara 1500 hingga 5000 detik dan temperatur dari 1239 K hingga 1420 K, mampu mencapai nilai UTS di atas 510 Mpa hingga 630 Mpa. Dengan melihat lebih detail, kombinasi lama waktu pemanasan antara 2800 detik hingga 4800 detik, dengan temperatur mulai dari 1360 K hingga 1420 K, mampu mencapai UTS di atas 600 Mpa. Di sisi lain, pada metode *Air Quenched*, cenderung memperoleh UTS yang lebih tinggi pada rentang waktu yang lebih kecil, yaitu antara 120 detik hingga 500 detik, dan temperatur antara 1300 K hingga 1350 K.



Gambar 6. Perbandingan Treatment UTS pada Berbagai Kombinasi Temperatur dan Lama Waktu Pemanasan.

Hasil perbandingan pola distribusi *elongation* baja tahan karat austenitic pada rentang temperatur dan waktu dapat dilihat pada Gambar 6. Analisis ini dapat memberikan wawasan tentang bagaimana variasi temperatur dan waktu pada masing-masing perlakuan panas mempengaruhi *elongation* pada baja tahan karat austenitik. Pada kedua perlakuan dapat dilihat bahwa nilai *elongation* cenderung lebih tinggi pada variasi waktu yang lebih lama dan temperatur yang lebih tinggi. Pemanasan pada suhu tinggi dapat menyebabkan rekristalisasi, yaitu perubahan dalam susunan butir kristal pada struktur baja. Ini dapat mengurangi kekerasan baja dan meningkatkan kemampuannya untuk mengalami deformasi plastis sebelum mengalami retak atau patah. Pemanasan pada suhu tinggi juga dapat memungkinkan pembentukan karbida dan nitrida dalam struktur baja, dimana proses ini dapat meningkatkan elastisitas dan perpanjangan baja.



Gambar 7. Perbandingan *Elongation* pada Berbagai Kombinasi Temperatur dan Lama Waktu Pemanasan.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis perbandingan metode *quenched* terhadap sifat mekanik baja tahan karat austenitik berbasis *big data*, dapat disimpulkan bahwa database material seperti *Material Algorithm Project* (MAP) dapat berfungsi sebagai alat bantu untuk menganalisis sifat mekanik baja tahan karat berdasarkan komposisi kimia dan suhu perlakuan panas. Dataset ini dianalisis menggunakan statistik deskriptif, korelasi pearson, dan analisis distribusi pola sifat mekanik yang optimal pada dua perlakuan pendinginan dalam *quenching*, yaitu dengan air dan udara. Pada hubungan perlakuan panas dengan sifat mekanik baja tahan karat pada kedua perlakuan ditemukan pada *water quenched* bahwa *solution treatment temperature* menunjukkan korelasi negatif dengan *elongation* yaitu -0.12 dan korelasi positif yang sangat kecil dengan *Yield Strength* (YS). Sebaliknya, pada *air quenched*, *solution treatment*

temperature menunjukkan korelasi negatif yang tinggi sebesar -0,35. Hasil ini mengindikasikan bahwa pada *water quenched*, pengaruh *solution treatment temperature* terhadap YS tidak begitu signifikan. Namun, pada *air quenched*, terlihat bahwa semakin tinggi suhu *solution treatment temperature* dapat mengakibatkan penurunan nilai YS. Pada *water quenched* ditemukan bahwa lama waktu pemanasan memiliki korelasi positif yang cukup kecil dengan *elongation*. Sedangkan pada *air quenched* ditemukan bahwa lama waktu pemanasan memiliki korelasi positif yang cukup kecil dengan *elongation* yaitu 0.18. Hasil penelitian ini, mengindikasikan bahwa dataset pengujian experimental material tidak hanya berperan pasif dalam memvalidasi sebuah eksperimen, tetapi dapat dimanfaatkan secara aktif dalam analisis dan merancang sebuah material dengan lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ramadhan Cahya and A. Abdulah, "Analisis Terjadinya Korosi Batas Butir Akibat Proses Pengelasan Gtaw Pada Material Austenitic Stainless Steel Aisi a304," *J. Teknol.*, 2019.
- [2] M. Nofri and A. Fardiansyah, "Analisis Sifat Mekanik Pipa Carbon Steel Grade a a106 Dan Grade B a53 Untuk Proses Produksi Pada Kilang Lng," *Bina Tek.*, vol. 14, no. 2, p. 119, 2018, doi: 10.54378/bt.v14i2.335.
- [3] M. Nofri and A. Taryana, "Analisis Sifat Mekanik Baja Skd 61 Dengan Baja St 41 Dilakukan Hardening Dengan Variasi Temperatur," *Bina Tek.*, vol. 13, no. 2, p. 189, 2017, doi: 10.54378/bt.v13i2.218.
- [4] A. P. Lubis, "Analisis Keandalan dan Pemeliharaan Mesin Industri," pp. 1–11.
- [5] D. Leni, F. Earnestly, R. Sumiati, A. Adriansyah, and Y. P. Kusuma, "Evaluasi sifat mekanik baja paduan rendah berdasarkan komposisi kimia dan suhu perlakuan panas menggunakan teknik exploratory data analysis (EDA)," *Din. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, p. 74, 2023, doi: 10.29303/dtm.v13i1.624.
- [6] B. H. Priyambodo, M. Margono, and R. I. Yaqin, "Gabungan Quenching-Variasi Tekanan Shot peening Terhadap Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Permukaan Baja S45C," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–34, 2022, doi: 10.18196/jqt.v4i1.16170.
- [7] Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft," *Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal.unismabekasi.ac.id/>
- [8] E. Gunawan, "Pengaruh Temperatur Pada Proses Perlakuan Panas Baja Tahan Karat Martensitik Aisi 431 Terhadap Laju Korosi Dan Struktur Mikro," *Tek. Eng. Sains J.*, vol. 1, no. 1, p. 55, 2017, doi: 10.51804/tesj.v1i1.69.55-66.
- [9] M. Mini, R. Hutahaean, and A. Kambu, "ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PROSES PENGELASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 304 (STAINLES STEEL) DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN," vol. 304.
- [10] G. Dwi Haryadi, "Pengaruh Kecepatan Air Sirkulasi Sebagai Medium Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja Aisi 4140," *Rotasi*, vol. 8, no. 1, pp. 24–33, 2006.
- [11] A. Pramono, "Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 2011, [Online]. Available: www.uddeholm.com,
- [12] A. O. Andreas, "Analisa Pengaruh Media Pendingin pada Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Tarik Baja Aisi 104," *Piston*, vol. 6, no. 02, pp. 72–80, 2022.
- [13] Ade usra Berli, Desmarita Leni, and Helga Yermadona, "Analisis Pengaruh Komposisi Kimia dan Suhu Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Baja Tahan Karat untuk Aplikasi Konstruksi," *J. Surya Tek.*, vol. 10, no. 2, pp. 811–819, 2023, doi: 10.37859/jst.v10i2.6059.
- [14] A. Rohanah, D. L. Rianti, B. N. Sari, T. Informatika, U. S. Karawang, and K. Pelanggan, "Perbandingan Naïve Bayes Dan Support Vector Machine," vol. 6, no. 1, pp. 3182–3188, 2021.
- [15] A. Sulistyawan, M. Ichwan, and D. D. Hp, "Studi Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Austenitik Untuk Material Ortopedi," *J. Sains Mater. Indones. Indones. J. Mater. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 1411–1098, 2003.
- [16] I. Alwi, "Kriteria Empirik Dalam Menentukan Ukuran Sampel," *J. Form.*, vol. 2, no. 2, pp. 140–148, 2012.