

Analisis Pengaruh Parameter *Hardening* terhadap Distorsi Spesimen CT58 dengan Metode Taguchi

Millenino Bergas Sartoyo^a, Perwita Kurniawan^b, Aditya Nugraha^a, Adi Nugroho^b

^aProgram Studi Rekayasa Teknologi Manufaktur, Politeknik ATMI Surakarta, Jl. Adisucipto/ Jl. Mojo No.1 Surakarta

^bProgram Studi Perancangan Manufaktur, Politeknik ATMI Surakarta, Jl. Adisucipto/ Jl. Mojo No.1 Surakarta

e-mail: ninosartoyo@gmail.com, aditya.nugraha@atmi.ac.id, perwita.kurniawan@atmi.ac.id, adi.nugroho@atmi.ac.id

Kata kunci:

Distorsi, S45C,
Hardening, *Austenite*,
Quench, *Tempering*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas masalah distorsi komponen mesin rokok setelah proses *hardening*. Penelitian ini berfokus pada perubahan dimensi diameter dalam lubang, lebar gap, dan kerataan pada komponen. Temperatur austenit, media quench, dan temperatur tempering diperiksa untuk menentukan pengaruhnya terhadap distorsi. Komponen terbuat dari kelompok baja mesin S45C setara AISI 1045. Penelitian ini menggunakan spesimen bernama CT58 dengan variasi temperature Austenite 820°C 840°C 860°C, lalu variasi media quenching oli, oli+air, dan air dan variasi temperature Tempering 200°C, 250°C, dan 300°C. Penelitian ini menggunakan Design of Experiment, dilanjutkan dengan analisis statistik dengan aplikasi minitab. Hasil penelitian didapatkan bahwa distorsi pada spesimen CT58 paling besar dipengaruhi oleh suhu *Austenite* dan diikuti oleh media *Quench* dan suhu *Tempering*. Temperatur austenit 820°C, media quench oli, dan temperatur tempering 250°C merupakan parameter pengerasan terbaik untuk aspek *Inner Diameter*. Temperatur austenit 820°C, media quench oli, dan temperatur tempering 250°C merupakan parameter pengerasan terbaik untuk aspek *Gap Width*. Temperatur austenit 820°C, media quench oli, dan temperatur tempering 250°C merupakan parameter pengerasan terbaik untuk aspek *Flatness*.

Keywords:

Distortion, S45C,
Hardening, *Austenite*,
Quench, *Tempering*

ABSTRACT

This research discusses the problem of distortion of cigarette engine components after the hardening process. This research focuses on changes in the dimensions of the hole diameter, gap width, and flatness of the components. The austenite temperature, quench medium, and tempering temperature were examined to determine their effect on distortion. Components are made of machine steel group S45C equivalent to AISI 1045. This study used a specimen named CT58 with Austenite temperature variations of 820°C 840°C 860°C, then variations of oil, oil + water, and water quenching media and Tempering temperature variations of 200°C, 250°C, and 300°C. This research used the Design of Experiment, followed by statistical analysis using the Minitab application. The results showed that the distortion in the CT58 specimen was most affected by the Austenite temperature, followed by the Quench medium and Tempering temperature. The austenite temperature of 820°C, the oil quench medium, and the tempering temperature of 250°C are the best hardening parameters for the Inner Diameter aspect. The austenite temperature of 820°C, oil quench media, and tempering temperature of 250°C are the best setting parameters for the Gap Width aspect. The austenite temperature of 820°C, oil quench media, and tempering temperature of 250°C are the best setting parameters for the Flatness aspect.

1. PENDAHULUAN

Perlakuan panas (heat treatment) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia [1]–[3]. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat setelah perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian logam atau sebagian dari logam [4]. Perlakuan panas biasanya menggunakan pemanasan dan pendinginan hingga suhu ekstrim, untuk mencapai hasil yang diinginkan seperti pengerasan atau pelunakan baja [5], [6]. Perlakuan panas yang umum digunakan yaitu normalisasi, *hardening*, tempering, dan lain-lain [7]–[9].

Baja dapat dikeraskan hingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakan untuk mempermudah permesinan lebih lanjut [10]. *Hardening* adalah proses pemanasan logam sampai temperatur *austenite*, ditahan pada temperatur *austenite* sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur *austenite* dan kemudian didinginkan secara mendadak [11]–[13].

CT58 clamping tools merupakan salah satu komponen mesin pembuatan rokok yang terdapat pada bagian sub fungsi pencetakan. Terdapat 36 pasang CT58 clamping tools pada satu buah mesin rokok. CT58 clamping tools berfungsi sebagai *holder* pada alat tersebut. CT58 memiliki bentuk persegi Panjang dengan lubang berdiameter 16mm dan memiliki slot dengan lebar 4mm. Material baja S45C dipilih sebagai bahan pembuatan komponen CT58. Material S45C digunakan karena kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan yang baik [14], [15]. CT58 memerlukan *hardening* karena komponen CT58 dituntut memiliki ketangguhan dan nilai kekerasan yang baik agar memiliki umur pakai panjang. Kondisi aktual CT58 sebelum dilakukan penelitian yaitu hanya sebatas di *Blackened* saja karena belum ada percobaan untuk dilakukan proses *harden*.

Masalah yang muncul setelah proses *hardening* adalah terjadi distorsi atau penyimpangan sumbu utama pada komponen lubang poros (berbentuk silindris) sehingga secara terukur lubang poros tersebut mengalami deformasi dengan besaran tertentu [16], [17]. Distorsi atau deformasi merupakan salah satu proses kegagalan yang dapat menyebabkan sebagian dari struktur mengalami kegagalan proses [18]. Distorsi yang umum terjadi pada benda-benda yang memiliki lubang berdiameter kecil dan memiliki panjang tertentu. Dari beberapa pengalaman yang ditemui dilapangan, ditemukan beberapa masalah pada material AISI 1045(1.1730) dimana masalah yang umum ditemui yaitu tingkat distorsi yang berupa bengkok yang besar akibat dari proses *hardening* dari temperatur 830°C didinginkan secara cepat dengan media *quenching* air pada temperatur normal [19].

Berdasarkan permasalahan yang sudah dijelaskan ditambah dengan data – data pendukung produk, hal yang dilakukan dalam penelitian adalah pengoptimalan beberapa parameter yang terdapat pada proses *hardening* seperti temperature Austenite, media Quenching, dan temperature Tempering. Hasil yang diharapkan pada penelitian yaitu mendapatkan variasi *setting* parameter terbaik sehingga mendapatkan nilai distorsi dapat diminimalkan Penelitian dilakukan dengan melakukan pengukuran dimensi pada sampel material S45C yang sudah melalui proses *hardening* sesuai desain yang dibuat. Metode pengujian optimasi yang akan digunakan yaitu metode *Taguchi*.

2. Metode

2.1 Metode

Metode Taguchi merupakan metode yang berbasis eksperimen dalam mengoptimasi proses kerja, parameter, maupun material yang ditunjukkan untuk mendapatkan kombinasi yang sesuai agar tercapai efektivitas produksi [20], [21]. Metode Taguchi memiliki keuntungan dalam hal uji coba, karena parameter terukur telah dimodifikasi menjadi susunan orthogonal array. Selain itu, metode Taguchi juga menstransformasi data yang diperoleh dalam bentuk Signal to Noise Ratio (SNR). SNR mengakomodasi berbagai jenis optimasi yang diperlukan oleh peneliti, dan diberikan 3 pilihan, yaitu smaller the better, nominal the better, dan larger the better

2.2 Perhitungan Signal to Noise Ratio (SNR)

Nilai SNR diperoleh dari hasil pengolahan data orthogonal array dengan 9 percobaan, dan didapatkan data pada Tabel 3. Pemilihan karakteristik SNR dengan respon dimensi menggunakan SNR Smaller the Better karena nilai yang terkecil merupakan nilai yang menunjukkan hasil distorsi specimen yang paling sedikit

Rumus untuk SNR dengan karakteristik Smaller the Better adalah sebagai berikut :

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

2.3 Penentuan Parameter Terukur dan Orthogonal Array

Pada penelitian ini terdapat 3 parameter yang dioptimalkan, yaitu: temperature Austenite, media Quenching, dan temperature Tempering. Setiap parameter ditentukan 3 level yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui pada level berapakah parameter tersebut optimum (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter dan Level

Faktor	Parameter	Level		
		1	2	3
A	Temperatur <i>Austenite</i> (° C)	820	840	860
B	Media <i>Quenching</i>	Oli	Oli + Air	Air
C	Temperatur <i>Tempering</i> (° C)	200	250	300

Berdasarkan pemilihan parameter dan level tersebut, langkah berikutnya adalah penentuan orthogonal array, yang berfungsi untuk acuan dalam pembuatan dan pengujian sampel. Orthogonal array dari Metode Taguchi yang dipilih adalah L9. L9 adalah terdapat 9 pengujian pembuatan sampel dan nantinya akan di-uji tentang optimasi dari proses pembuatan produk dengan menggunakan oven (Tabel 2).

Tabel 1. Orthogonal Array L9

Spesimen	Temperatur <i>Austenite</i> (° C)	Media <i>Quenching</i>	Temperatur <i>Tempering</i> (° C)
1	820	Oli	300
2	820	Air + Oli	250
3	820	Air	200
4	840	Oli	250
5	840	Air + Oli	200
6	840	Air	300
7	860	Oli	200
8	860	Air + Oli	300
9	860	Air	250

2.4 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan oven listrik dengan merk ILF seri 153 yang berada di divisi *Heat Treatment* Politeknik ATMI Surakarta (Gambar 1). Spesimen dibuat dengan menggunakan material S45C dengan dimensi 40 x 22 mm dan ketebalan 8 mm (Gambar 2)



Gambar 1. Oven listrik ILF 153



Gambar 2. Spesimen CT58

Pengukuran besar distorsi spesimen dilakukan untuk mengetahui tingkat penyimpangan ukuran permukaan yang terdampak dari proses *Hardening*. Pengukuran dimensi spesimen menggunakan alat

Profile Projector-Mitutoyo, model: PJ 311, sedangkan pengukuran kerataan permukaan spesimen menggunakan Dial Indicator dengan ketelitian 0,01 mm Brand Mitutoyo.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Spesimen

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran 9 spesimen dengan 3 aspek pengukuran yaitu Inside Diameter, Gap Width, dan Flatness dimana masing – masing aspek memiliki pengaruh dalam hasil distorsi specimen. Point yang diukur adalah selisih ukuran masing – masing aspek pada saat sebelum dan sesudah mengalami proses Hardening. Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran specimen sebelum dan sesudah mengalami proses harden.

Tabel 3. Hasil Pengujian Spesimen CT58

Spesimen	Parameter Pengukuran					
	Inside Diameter (mm)		Gap Width (mm)		Flatness (mm)	
	Before	After	Before	After	Before	After
1	16,018	15,984	3,725	3,681	-0,02	0,03
2	16,182	16,160	4,342	4,030	-0,01	0,06
3	16,043	15,975	3,861	3,712	0,01	0,04
4	16,065	15,969	4,082	4,012	0,04	0,05
5	16,048	16,044	4,383	4,322	0,02	0,04
6	16,038	15,974	4,262	4,203	-0,02	0,02
7	16,064	15,967	4,041	3,940	-0,03	0,01
8	16,059	15,911	4,124	3,965	0,02	0,05
9	16,032	16,026	4,079	4,025	-0,01	0,06

3.2 Hasil Analisis SNR

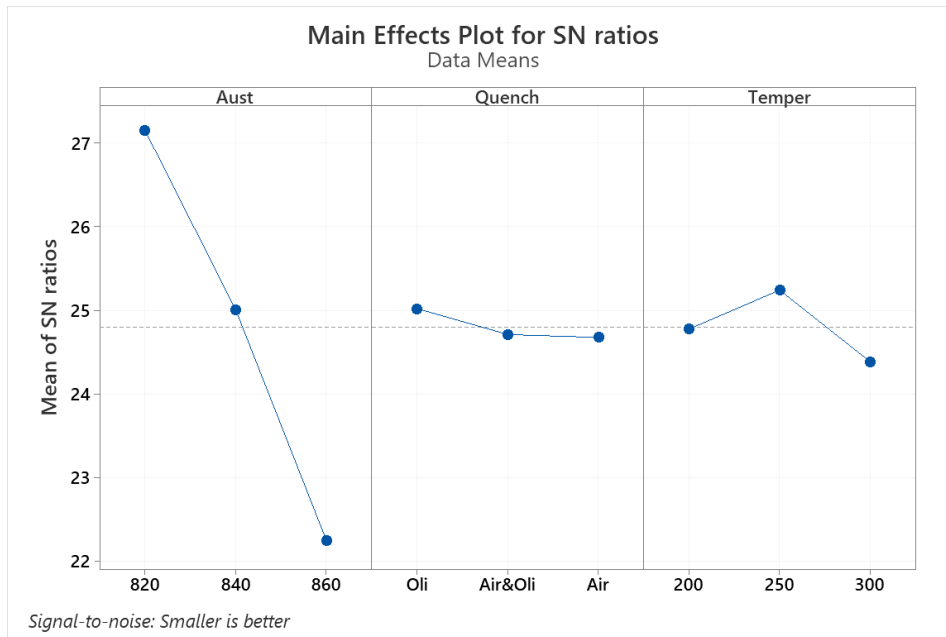
Nilai *S/N Ratio* diperoleh dari perhitungan pengolahan data hasil pengujian yang dilakukan. Rumus *S/N Ratio Smaller the Better* dipilih karena nilai yang terkecil merupakan nilai yang menunjukkan hasil distorsi specimen yang paling sedikit. Tabel 2 menunjukkan hasil pengolahan data pengujian aspek Inner Diameter, Tabel 3 menunjukkan hasil data pengolahan pengujian aspek Gap Width, dan Tabel 4 menunjukkan hasil data pengolahan pengujian aspek Flatness.

Means of SNR dengan karakteristik *Smaller is Better* yang memiliki poin tertinggi adalah level parameter dengan hasil terbaik sehingga dapat digunakan sebagai parameter optimal specimen untuk melakukan proses hardening. Level parameter terbaik ditunjukkan oleh Gambar 3 untuk aspek Inner Diameter, Gambar 4 untuk aspek Gap Width, dan Gambar 5 untuk aspek Flatness.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Distorsi Inner Diameter CT58

Penyimpangan Inside Diameter CT58								
No	Austenite	Media Quench	Tempering	Ø ID awal	Ø ID akhir	Selisih	Y ²	S/N Ratio
1	820	Oli	300	16,025	15,984	0,041	0,001681	29,37042166
2	820	Air + Oli	250	16,203	16,16	0,043	0,001849	33,15154638
3	820	Air	200	16,023	15,975	0,048	0,002304	23,34982175
4	840	Oli	250	16,025	15,969	0,056	0,003136	20,35457534
5	840	Air + Oli	200	16,096	16,044	0,052	0,002704	29,37042166
6	840	Air	300	16,035	15,974	0,061	0,003721	23,87640052
7	860	Oli	200	16,044	15,967	0,077	0,005929	22,2701855
8	860	Air + Oli	300	15,989	15,901	0,088	0,007744	21,11034656
9	860	Air	250	16,094	16,026	0,068	0,004624	31,70053304

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan SNR distorsi aspek Inner Diameter pada specimen ke-1 memiliki hasil selisih ukuran awal – akhir paling kecil yaitu 0,041mm dan memiliki nilai SNR 29,37042166.



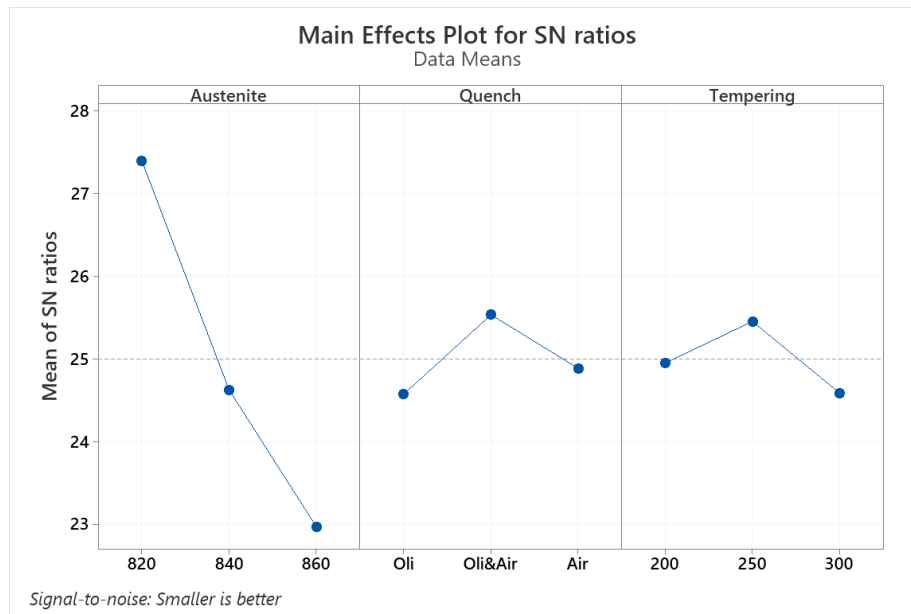
Gambar 3. S/N Ratio Inner Diameter

Berdasarkan Gambar 3 ditunjukkan bahwa untuk aspek Inner Diameter, parameter proses hardening yang paling optimal adalah temperature Austenite 820°C dengan media Quenching oli dan temperature Tempering 250°C

Tabel 5. Hasil Pengukuran Distorsi Gap Width

Penyimpangan Gap Width CT58								
No	Austenite	Media Quench	Tempering	Ø GW awal	Ø GW akhir	Selisih	Y ²	S/N Ratio
1	820	Oli	300	3,725	3,681	0,044	0,001936	27,13094647
2	820	Air + Oli	250	4,067	4,031	0,036	0,001296	28,87394998
3	820	Air	200	3,761	3,712	0,049	0,002401	26,1960784
4	840	Oli	250	4,078	4,012	0,066	0,004356	23,60912129
5	840	Air + Oli	200	4,374	4,322	0,052	0,002704	25,67993313
6	840	Air	300	4,262	4,203	0,059	0,003481	24,58295977
7	860	Oli	200	4,011	3,94	0,071	0,005041	22,97483303
8	860	Air + Oli	300	4,044	3,965	0,079	0,006241	22,04745817
9	860	Air	250	4,089	4,025	0,064	0,004096	23,87640052

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan SNR distorsi aspek Gap Width pada specimen ke-2 memiliki hasil selisih ukuran awal – akhir paling kecil yaitu 0,036mm dan memiliki nilai SNR 28,87394998



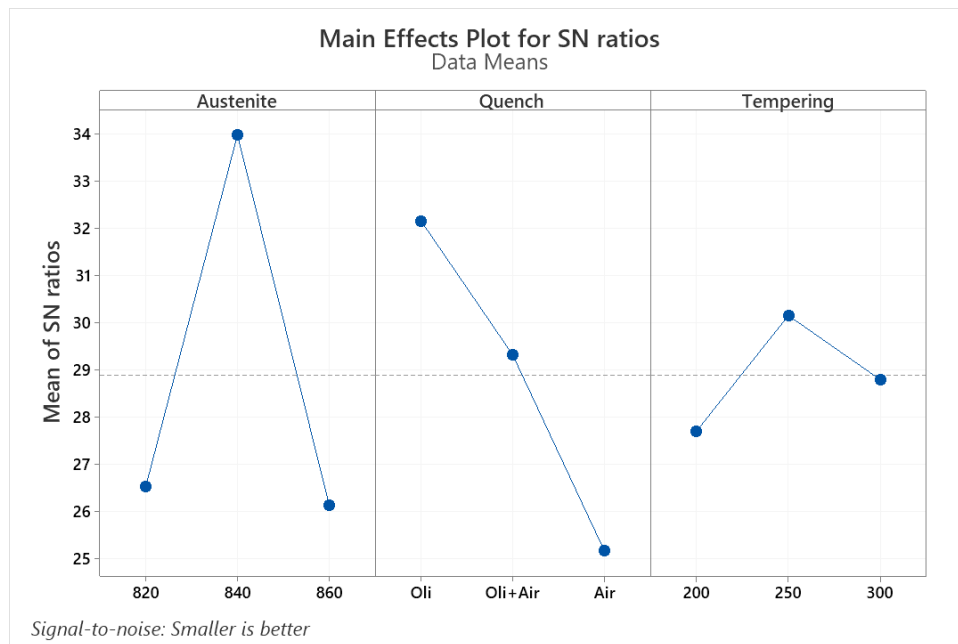
Gambar 4. S/N Ratio Gap Width

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk aspek Gap Width, parameter proses hardening yang paling optimal adalah temperature Austenite 820°C dengan media Quenching oli + air dan temperature Tempering 250°C

Tabel 6. Hasil Pengukuran Distorsi Flatness

Penyimpangan Flatness CT58								
No	Austenite	Media Quench	Tempering	Flatness awal	Flatness akhir	Selisih	Y ²	S/N Ratio
1	820	Oli	300	-0,02	0,01	0,03	0,0009	30,45757491
2	820	Air + Oli	250	-0,01	0,04	0,05	0,0025	26,02059991
3	820	Air	200	0,01	0,08	0,07	0,0049	23,0980392
4	840	Oli	250	0,04	0,05	0,01	0,0001	40
5	840	Air + Oli	200	0,02	0,04	0,02	0,0004	33,97940009
6	840	Air	300	-0,02	0,02	0,04	0,0016	27,95880017
7	860	Oli	200	-0,03	0,02	0,05	0,0025	26,02059991
8	860	Air + Oli	300	0,02	0,06	0,04	0,0016	27,95880017
9	860	Air	250	-0,01	0,05	0,06	0,0036	24,43697499

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan SNR distorsi aspek Flatness pada specimen ke-4 memiliki hasil selisih ukuran awal – akhir paling kecil yaitu 0,01mm dan memiliki nilai SNR 40.



Gambar 5. S/N Ratio Flatness

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan bahwa untuk aspek Inner Diameter, parameter proses hardening yang paling optimal adalah temperature Austenite 840°C dengan media Quenching oli dan temperature Tempering 250°C

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisis yang bertujuan untuk mencari parameter hardening yang optimal dan menghasilkan nilai distorsi minimal, maka dapat diambil kesimpulan pada aspek *Inner Diameter*, temperature *Austenite* menjadi parameter yang paling mempengaruhi distorsi spesimen CT58, dan parameter optimal untuk aspek *Inner Diameter* adalah temperature *Austenite* 820°C, media *Quench* oli. Pada aspek *Gap Width*, temperature *Austenite* menjadi parameter yang paling mempengaruhi distorsi spesimen CT58, dan parameter optimal untuk aspek *Gap Width* adalah temperature *Austenite* 820°C, media *Quench* oli + air. Pada aspek *Flatness*, temperature *Austenite* menjadi parameter yang paling mempengaruhi distorsi spesimen CT58, dan parameter optimal untuk aspek *Flatness* adalah temperature *Austenite* 840°C dengan media *Quench* oli.. Hasil analisis menunjukkan bahwa temperature *Tempering* yang optimal untuk ketiga aspek parameter adalah 250°C

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Himarosa et al., "Effect of MIG Welding Speed Butt-Joint on Physical and Mechanical Properties of Materials AA 5083," *Mater. Today Proc.*, vol. 66, pp. 3101–3106, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.08.011.
- [2] M. Alphonse, V. K. Bupesh Raja, M. S. Vivek, N. V. Sai Deepak Raj, M. Satya Sai Darshan, and P. Bharmal, "Effect of heat treatment on mechanical properties of forged aluminium alloy AA2219," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 3811–3815, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.334.
- [3] A. Zavdoveev et al., "Effect of heat treatment on the mechanical properties and microstructure of HSLA steels processed by various technologies," *Mater. Today Commun.*, vol. 28, p. 102598, 2021, doi: 10.1016/j.mtcomm.2021.102598.
- [4] S. Mizhar and Suherman, "Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Dari Baja Aisi 4140," *Dinamis*, vol. II, no. 8, pp. 21–26, 2011.
- [5] T. V Rajan, C. P. Sharma, and A. Sharma, *Heat treatment: principles and techniques*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2023.
- [6] L. de C. F. Canale, G. E. Totten, and R. A. Mesquita, *Failure Analysis of Heat Treated Steel Components*.

- ASM international, 2008. doi: 10.31399/asm.tb.fahtsc.9781627082846.
- [7] B. Zan, Q. Wang, N. Xu, X. Wang, and D. Wu, "Effect of heat treatment on microstructure and hardness of GH4169 alloy," in *Jinshu Rechuli/Heat Treatment of Metals*, IOP Publishing, 2023, pp. 193–197. doi: 10.13251/j.issn.0254-6051.2023.07.033.
- [8] J. B. Wiskel et al., "Study the Effect on the Hardness of three Sample Grades of Tool Steel i . e . EN-31 , EN-8 , and D3 after Heat Treatment Processes Such As Annealing , Normalizing , and Hardening & Tempering Ashish Bhateja," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2012.
- [9] E. Diagram, "六理 Heat Treatment," *Appl. Metall. Corros. Control A Handb. Petrochemical Ind.*, pp. 1–8, 2013.
- [10] A. S. Arlingga, S. -, and S. -, "Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan Baja S45C Pada Proses Hardening-Tempering," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 31–38, 2021, doi: 10.36655/sprocket.v3i1.565.
- [11] Y. Handoyo, "Pengaruh quenching dan tempering pada baja jis grade s45c terhadap sifat mekanis," *J. Imiah Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal.unismabekasi.ac.id/>
- [12] H. Berns, *The history of hardening*. Härterei Gerster AG, 2013.
- [13] M. K. Banerjee, "Fundamentals of Heat Treating Metals and Alloys," *Compr. Mater. Finish.*, vol. 2–3, pp. 1–49, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.09185-2.
- [14] A. Pramono, "Karakteristik Struktur Mikro Hasil Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, p. 115, 2011, doi: 10.36055/tjst.v8i2.6710.
- [15] J. W. Park et al., "Microstructure, mechanical properties, and wear properties of friction-stir processed S45C steel," *Tribol. Int.*, vol. 186, p. 108646, 2023, doi: 10.1016/j.triboint.2023.108646.
- [16] S. Khoddam, S. Solhjoo, and P. D. Hodgson, "State of the art methods to post-process mechanical test data to characterize the hot deformation behavior of metals," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 11, p. 16878140211061026, 2021, doi: 10.1177/16878140211061026.
- [17] G. S. Schajer and P. S. Whitehead, *Hole-Drilling Method for Measuring Residual Stresses*, vol. 1, no. 1. Morgan & Claypool Publishers, 2018. doi: 10.2200/s00818ed1v01y201712sem001.
- [18] R. A. Himarosa et al., "Simultaneous Double-Sided Metal Inert Gas Welding of AA5052 Aluminum Alloy T-Joints," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1067, pp. 53–59, 2022, doi: 10.4028/p-t0072n.
- [19] F. F. Rachman and U. Rumendi, "Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Media Quenching Pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Permukaan Dan Tingkat Distorsi Baja AISI 1045," *Steman*, 2014.
- [20] J. Antony, S. Warwood, K. Fernandes, and H. Rowlands, "Process optimisation using Taguchi methods of experimental design," *Work Study*, vol. 50, no. 2, pp. 51–58, 2001, doi: 10.1108/00438020110366330.
- [21] C. F. Jeffrey Kuo, T. L. Su, P. R. Jhang, C. Y. Huang, and C. H. Chiu, "Using the Taguchi method and grey relational analysis to optimize the flat-plate collector process with multiple quality characteristics in solar energy collector manufacturing," *Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 3554–3562, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.03.065.