Teknika 20 (2): 377-385

JURNAL TEKNIKA
ISSN: 0854-3143
e-ISSN: 2622-3481
Journal homepage: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika
Journal Email: teknika@polsri.ac.id

Pengaruh Waktu Tunggu terhadap Nilai Kekerasan pada Perlakuan Panas Material ASSAB 709

Ahmad Dzaki Athallah[1], Taufikurrahman*[2], Hendradinata[3], Indra Gunawan[4]

[1,*2,3,4]Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia
[*]Email Penulis Korespondensi: taufikurrahman@polsri.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tunggu terhadap kekerasan pada proses hardening baja ASSAB 709. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan perlakuan hardening pada suhu 850°C selama 30, 60, dan 90 menit. Uji kekerasan Vickers dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan masing-masing spesimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu tunggu, nilai kekerasan material cenderung menurun. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada waktu tunggu 30 menit sebesar 404,740 HV dan terendah pada 90 menit sebesar 356,997 HV. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa variasi waktu tunggu berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan baja ASSAB 709.

Kata kunci*— hardening, waktu tunggu, hardness vickers, silicone oil, ASSAB 709.*

Abstract

This research aims to determine the effect of holding time variation on the hardness in the hardening process of ASSAB 709 steel. The research method used is an experimental approach with a hardening treatment at a temperature of 850°C for 30, 60, and 90 minutes. Vickers hardness testing was conducted to measure the hardness values of each specimen. The results show that the longer the holding time, the lower the material's hardness tends to be. The highest hardness value was obtained at a holding time of 30 minutes, reaching 404.740 HV, while the lowest was at 90 minutes with a value of 356.997 HV. It can be concluded that the variation in holding time has a significant effect on the hardness value of ASSAB 709 steel.

Keywords*— hardening, holding time, hardness vickers, silicone oil, ASSAB 709.*

1. PENDAHULUAN

Hardening adalah perlakuan yang umum digunakan pada material untuk meningkatkan kekerasan material agar dapat memenuhi kebutuhan aplikasi industri. Dalam era industri modern, pemilihan material dan perlakuan panas yang tepat sangat penting untuk meningkatkan performa komponen mekanik.

Perlakuan panas *hardening* telah diketahui dapat meningkatkan kualitas pada sifat material [1]. Perlakuan panas *hardening* bukan hanya mengubah sifat material, tapi juga mampu

Received: August 14, 2025; Online Available: February 15, 2026.

meningkatkan performa material dengan meningkatnya kekuatan atau karakteristik tertentu dari material yang telah diproses laku panas [2]. *Quenching* adalah proses pendinginan cepat yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan dengan mengubah austenit menjadi martensit. Pemilihan media pendinginan (misalnya, minyak, air, polimer, *silicone oil*) mempengaruhi laju pendinginan dan sifat mekanik akhir [3].

Menurut [4] austenit adalah fasa asal dari mana martensit dan bainit terbentuk melalui transformasi fasa, dan hubungan orientasi antara austenit dan produk transformasi menjadi penting untuk memahami sifat mekanik logam. Menurut [5] transformasi martensit bersifat spontan dan terjadi ketika suhu mencapai batas Ms *(martensite start).* Proses ini menghasilkan struktur keras dan getas, dan kecepatan pendinginan sangat mempengaruhi fraksi martensit.

Penelitian ini bertujuan akan menguji nilai kekerasan pada material ASSAB 709 sebelum dan setelah diberikan perlakuan panas dengan variasi waktu tunggu *(holding time)* yakni 30, 60, 90 menit dengan tujuan mengetahui pengaruh dari tiap variasi terhadap nilai kekerasan. Pada perlakuan panas yang dilakukan akan menggunakan suhu pemanasan 850°C dan waktu tunggu pemanasan selama 30, 60, 90 menit dan pendinginan menggunakan media pendingin *silicone oil* yang mana setiap variasi akan menggunakan tiga spesimen sehingga total spesimen yang akan diuji terdapat sepuluh spesimen termasuk spesimen tanpa perlakuan. Pengunaan material ini untuk sambungan gerbong kereta api, sambungan ini menggunakan bahan dari besi tuang.

Menurut [6] pemilihan media pendingin dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap hasil kekerasan dari material yang diberikan perlakuan panas *hardening*. Menurut [7] pemilihan media pendingin yang tepat juga dapat menghindari retakan yang terjadi pada proses *quenching*. *Silicone oil* sebagai media pendingin *(quenching)* telah diketahui dapat meningkatkan nilai kekerasan material [8]. Dengan pendinginan yang lebih terkontrol menggunakan *silicone oil*, diharapkan dapat menghindari retakan atau *crack* pada proses pendinginan.

Pengujian kekerasan akan menggunakan metode hardness *vickers* test. Uji kekerasan *vickers* adalah metode uji kekerasan mikro dimana indentor berbentuk piramida berlian ditekan ke permukaan material dengan beban tertentu, kemudian panjang diagonal bekas indentasi diukur untuk menentukan nilai kekerasan material tersebut [9].

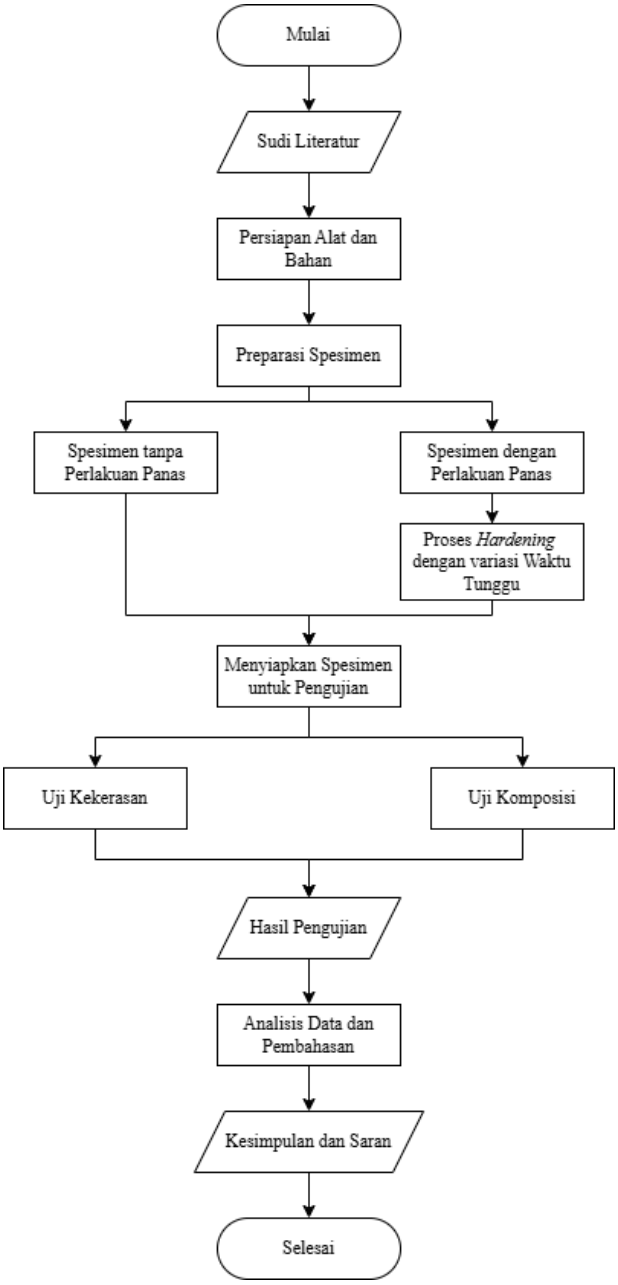
Produk baja *machinery steel* yang disuplai oleh PT ASSAB Steel Indonesia ialah ASSAB 709. Baja ASSAB 709 termasuk dalam baja karbon sedang dengan tingkat paduan *low alloy steel*. ASSAB menyatakan bahwa ASSAB 709 bisa diberikan perlakuan panas dan juga dapat dinitridasi atau *tuftrided* hingga kekerasan permukaan 54-55 *Rockwell C.* Aplikasi yang umum termasuk mesin berkekuatan tinggi bagian, spindel, baut dan kancing berkekuatan tinggi, roda gigi, poros gandar, poros engkol, batang penghubung, arbor, dan sebagainya [10].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pedekatan kuantitatif eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tunggu terhadap nilai kekerasan material baja ASSAB 709 pada proses *hardening*. Menurut 11] dalam bukunya "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D", penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkontrol. Proses eksperimen dilakukan dengan memanaskan spesimen pada suhu tertentu, menahan selama waktu tunggu yakni 30, 60, 90 menit, kemudian melakukan pendinginan cepat *(quenching)* dengan media *silicone oil* dan menguji kekerasannya menggunakan metode v*ickers hardness test*. Pada tiap variasi pengujian akan dilakukan 3 kali pengulangan pada tiap spesimen sehingga total spesimen akan menjadi 10 termasuk dengan spesimen tanpa perlakuan.

2.1 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir yang telah dibuat. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.2 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini akan menggunakan beberapa metode yaitu:

1. Metode observasi, Observasi adalah teknik pengumpulan data dengan cara mengamati secara langsung terhadap objek di lapangan untuk mengetahui keadaan sebenarnya [11].
2. Metode studi literatur, studi literatur bertujuan untuk menelaah berbagai teori, temuan, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan untuk membangun landasan teori, kerangka konseptual, serta mendukung argumentasi dalam penelitian [12].
3. Metode eksperimental, metode eksperimental adalah penyelidikan ilmiah di mana peneliti memanipulasi satu atau lebih variabel, mengontrol yang lain, dan mengamati efek dari manipulasi tersebut pada variabel dependen [13].

2.3 Tahapan Penelitian

Sesuai dengan diagram alir, berikut merupakan penjabaran lebih rinci terkait tahapan penelitian yang akan dilakukan.

2.3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mencari serta mempelajari berbagai penelitian terdahulu yang akan membantu penulis untuk melakukan penelitian yang akan dilakukan.

2.3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini penulis akan mempersiapkan seluruh peralatan dan bahan yang akan diperlukan untuk melakukan penelitian. Alat dan bahan yang digunakan adalah seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Alat

No	Nama Alat	Jumlah
1	Tungku pemanas	1
2	Tang penjepit	1
3	Mesin uji kekerasan *(vickers)*	1
4	Sarung tangan anti panas	1
5	*Stopwatch*	1
7	*X-Ray fluorescence (XRF) analyzer*	1

Tabel 2 Bahan

No	Nama Alat	Jumlah
1	Baja ASSAB 709	10
2	*Silicone oil*	1 Liter

2.3.3 Preparasi Spesimen

Pada tahap ini penulis akan melakukan preparasi spesimen dengan memberikan perlakuan panas pada spesimen. Perlakuan panas akan dilakukan dengan proses hardening pada temperatur 850°C dengan variasi waktu tunggu yakni 30 menit, 60 menit dan 90 menit dan didinginkan menggunakan *silicon oil*.

2.3.4 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia pada spesimen uji. Pengujian ini akan dilakukan menggunakan *x-ray fluorescence* (XRF) *analyzer*.

2.3.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui hasil dari proses perlakuan panas *hardening* yang telah dilakukan pada material ASSAB 709 yang kemudian akan dibandingkan dengan material ASSAB 709 yang tidak diberikan perlakuan panas *hardening* untuk mengetahui tingkat kekerasan yang paling baik. Standar pengujian kekerasan ISO 6507, menurut [14] dalam bukunya *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill, hasil nilai kekerasan dapat didapatkan dengan Rumus (1).

$$\text{HV} = \frac{1.854 \times \text{F}}{d^2} \quad (1)$$

Dimana:
HV = Nilai kekerasan *(Hardness vickers)*

d = Diagonal (mm)
F = Beban uji (kgf)

2.3.6 Analisis Data

Analisis data akan dilakukan menggunakan metode ANOVA *(Analysis of variance)*. ANOVA adalah suatu teknik analisis statistik yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan di antara rata-rata lebih dari dua kelompok data atau lebih. Metode ini membandingkan variabilitas dalam kelompok *(within groups)* dengan variabilitas antar kelompok *(between groups).* ANOVA termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Salah satu manfaat utama uji ANOVA adalah kemampuannya untuk membandingkan rata-rata di dua kelompok atau lebih secara bersamaan [15].

2.3.7 Kesimpulan dan Saran

Menyusun kesimpulan berdasarkan hasil yang telah di dapatkan serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Hasil dari pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwasannya komposisi kimia penyusun material yang akan digunakan telah sesuai dengan ketentuan komposisi penyusun untuk material ASSAB 709. Dengan hasil pengujian tersebut, maka material ASSAB 709 dapat dikelompokkan dalam baja karbon sedang dengan tingkat paduan *low alloy steel*. Menurut [16] dengan adanya unsur pembentuk karbida seperti kromium (Cr) dan molibdenum (Mo) akan meningkatkan tingkat kekerasan baja. Unsur kromium pada material dapat meningkatkan *hardenability*, ketahanan korosi dan juga ketahanan abrasi baja. Unsur molibdenum dapat menghasilkan baja dengan ukuran butir yang halus *(fine-grained)* serta meningkatkan *hardenability*.

Tabel 3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

No	Unsur	Kadar (%)
1	Karbon (C)	0,4
2	Kromium (Cr)	1,06
3	Silikon (Si)	0,2
4	Mangan (Mn)	0,79
5	Molibdenum (Mo)	0,18
6	Besi (Fe)	97,60

Penambahan unsur kromium (Cr) ini adalah untuk menambah sifat keuletan, kekerasan dan ketahanan material terhadap aus, sehingga material akan mempunyai sifat yang lebih baik. Penambahan unsur paduan silicon (Si) adalah untuk meningkatkan sifat elastisitas dari suatu material. Penambahan paduan samarium (Sm) dan Cobalt (Co) adalah untuk meningkatkan ketahanan terjadap panas, aus dan demagenitas saat temperature operasional yang tinggi. Penambahan unsur manganese (Mn) membuat baja menjadi mengeras yang mana kulit dari struktur yang di keraskan akan muncul jika penambahan (Mn) dalam jumlah yang besar [17].

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. Selain menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan seiring bertambahnya waktu tunggu, hasil uji kekerasan juga mengindikasikan bahwa waktu penahanan panas memiliki peran penting dalam menentukan proporsi fasa martensit yang terbentuk selama proses pendinginan. Pada waktu tunggu 30 menit, laju pendinginan dari suhu austenitisasi (850°C) menuju suhu kamar memungkinkan pembentukan martensit dalam

jumlah maksimal, sehingga menghasilkan nilai kekerasan tertinggi. Sebaliknya, pada waktu tunggu 60 dan 90 menit, terdapat kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir austenit atau difusi elemen paduan secara berlebih, yang mengakibatkan penurunan kecepatan transformasi martensit selama quenching. Hal ini sejalan dengan teori Totten [16] bahwa waktu tahan yang terlalu lama sebelum pendinginan dapat menurunkan *hardenability* material akibat penurunan supersaturasi karbon dalam fasa austenit. Selain itu, variasi dalam distribusi nilai kekerasan pada tiap kelompok juga dapat dikaitkan dengan homogenitas struktur mikro akibat waktu tahan yang berbeda, sebagaimana terlihat pada nilai variansi hasil uji. Oleh karena itu, waktu tunggu 30 menit dapat direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk memperoleh kekerasan maksimum pada perlakuan panas baja ASSAB 709.

Tabel 4 Hasil uji kekerasan

Spesimen	**Titik**	**Indentor**	**F (kgf)**	**d1 (mm)**	**d2 (mm)**	**d (mm)**	**HV**	**HV rata-rata**
Tanpa *hardening*	1	Piramida intan 136°	30	0,404	0,407	0,405	338,258	343,008
	2			0,402	0,399	0,400	346,757	
	3			0,404	0,396	0,4	347,625	
	4			0,403	0,406	0,404	339,933	
	5			0,403	0,403	0,403	342,468	
30 menit (a)	1	Piramida intan 136°	30	0,371	0,378	0,374	396,576	404,740
	2			0,379	0,382	0,380	384,168	
	3			0,382	0,381	0,381	382,157	
	4			0,36	0,363	0,361	425,612	
	5			0,354	0,361	0,357	435,189	
30 menit (b)	1	Piramida intan 136°	30	0,37	0,371	0,370	404,42	404,052
	2			0,371	0,372	0,371	402,791	
	3			0,371	0,371	0,371	403,877	
	4			0,37	0,370	0,370	405,186	
	5			0,37	0,371	0,371	403,986	
30 menit (c)	1	Piramida intan 136°	30	0,370	0,370	0,370	404,749	404,575
	2			0,370	0,370	0,370	404,967	
	3			0,371	0,371	0,371	403,877	
	4			0,370	0,370	0,370	404,749	
	5			0,370	0,370	0,370	404,531	
60 menit (a)	1	Piramida intan 136°	30	0,381	0,385	0,383	379,169	365,290
	2			0,382	0,383	0,382	380,161	
	3			0,397	0,386	0,391	362,883	
	4			0,393	0,394	0,393	359,204	
	5			0,396	0,407	0,401	345,032	
60 menit (b)	1	Piramida intan 136°	30	0,390	0,394	0,390	365,119	365,531
	2			0,389	0,390	0,389	366,056	
	3			0,385	0,395	0,39	365,680	
	4			0,385	0,395	0,39	365,680	
	5			0,390	0,390	0,390	365,119	
60 menit (c)	1		30	0,392	0,39	0,391	363,812	364,073
	2			0,390	0,390	0,390	364,558	

	3	Piramida intan 136°		0,390	0,391	0,390	364,185	
	4			0,390	0,391	0,391	363,812	
	5			0,390	0,391	0,390	363,999	
90 menit (a)	1	Piramida intan 136°	30	0,391	0,395	0,393	360,118	356,997
	2			0,401	0,396	0,398	350,246	
	3			0,402	0,402	0,402	344,174	
	4			0,394	0,384	0,389	367,562	
	5			0,393	0,39	0,391	362,883	
90 menit (b)	1	Piramida intan 136°	30	0,396	0,3962	0,3961	354,504	354,791
	2			0,3955	0,3961	0,3958	355,042	
	3			0,3957	0,3961	0,3959	354,862	
	4			0,3958	0,3966	0,3962	354,325	
	5			0,3954	0,396	0,3957	355,221	
90 menit (c)	1	Piramida intan 136°	30	0,395	0,3956	0,3953	355,940	355,796
	2			0,396	0,395	0,3955	355,581	
	3			0,395	0,3956	0,3953	355,940	
	4			0,3954	0,3956	0,3955	355,581	
	5			0,3949	0,3957	0,3953	355,940	

3.3. Hasil Analisis Data

Untuk mengetahui adanya perbedaan signifikan antara nilai kekerasan pada masing-masing variasi waktu tunggu, dilakukan analisis statistik menggunakan *One-Way* ANOVA. Uji ini bertujuan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata nilai kekerasan yang signifikan antara spesimen tanpa perlakuan dan spesimen dengan proses hardening dengan waktu tunggu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil perhitungan ANOVA disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji ANOVA

ANOVA: *Single Factor/One Way*						
Groups	***Count***	***Sum***	***Average***	***Variance***		
Tanpa Perlakuan	3	1029,024	343,008	0		
30 Menit	3	1213,367	404,4557	0,129016		
60 Menit	3	1094,891	364,9637	0,6135		
90 Menit	3	1067,567	355,8557	1,242206		
Source of Variation	***SS***	***df***	***MS***	***F***	***P-value***	***F crit***
Between Groups	6320,597	3	2106,866	4246,166	$3{,}82 \times 10^{-13}$	4,066181
Within Groups	3,969446	8	0,496181			
Total	6324,567	11				

Hasil uji ANOVA satu arah yang ditampilkan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa variasi waktu tunggu pada proses *hardening* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan material baja. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai F hitung sebesar 4246,166 jauh melebihi nilai *f crit* sebesar 4,066 pada taraf signifikansi 5%. Selain itu, nilai *p-value* yang diperoleh sebesar $3{,}82 \times 10^{-13}$ lebih kecil dari 0,05, yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antar kelompok perlakuan. Dengan demikian, terdapat perbedaan nilai kekerasan antar variasi waktu tunggu. Hasil ini memperkuat dugaan bahwa peningkatan atau penurunan waktu tunggu selama proses hardening mempengaruhi nilai kekerasan akhir material.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan pada material ASSAB 709 tanpa perlakuan dan perlakuan *hardening* dengan media pendingin *silicone oil*. Tanpa variasi waktu tunggu diperoleh nilai kekerasan 343,008 HV. Hasil kekerasan tertinggi didapatkan pada variasi waktu tunggu 30 menit dan nilai terendah terdapat pada variasi waktu tunggu 90 menit. Dengan demikian maka variasi terbaik terdapat pada variasi waktu tunggu 30 menit dengan nilai kekerasan 404,740 HV. Hasil uji ANOVA satu arah yang menunjukkan bahwa variasi waktu tunggu pada proses *hardening* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan material baja dengan hasil perhitungan, nilai F hitung sebesar 4246,166 jauh melebihi nilai *f crit* sebesar 4,066 pada taraf signifikansi 5%. Nilai *p-value* yang diperoleh sebesar $3{,}82 \times 10^{-13}$ lebih kecil dari 0,05. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa variasi waktu tunggu memberikan pengaruh signifikan secara statistik terhadap nilai kekerasan.

5. SARAN

Adapun saran bagi penelitian selanjutnya untuk mengkaji pengaruh media pendingin yang berbeda (misalnya *brine* atau oli mineral) terhadap struktur mikro dan kekerasan agar diperoleh parameter perlakuan panas yang lebih luas. Perlakuan lanjutan seperti *tempering* atau karburisasi dapat diteliti guna mengetahui pengaruhnya terhadap ketangguhan, keuletan, dan ketahanan aus dari baja ASSAB 709. Serta analias penggunaan analisis mikrostruktur melalui mikroskop optik atau SEM perlu dilakukan agar diperoleh gambaran morfologi martensit yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Effendi, S. (2009). Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil terhadap Kekerasan Logam. *AUSTENIT*, *1*(01). Retrieved from https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/89

[2] Pasol., Rizal, Y., & Suripto, H. (2022). Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Sifat Kekerasan pada Roda Gigi Depan Sepeda Motor. *Universitas Pasir Pengaraian.*

[3] Davis, J.R. (1993). *ASM Handbook Volume 4: Heat Treating*. ASM International.

[4] Yardley, V. A., & Payton, E. J. (2014). *Austenite–martensite/bainite orientation relationship: Characterisation parameters and their application*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 228(4), 302–310. https://doi.org/10.1179/1743284714Y.0000000572

[5] Oberaigner, M., Schreiber, A., & Werner, E. (2023). *Kinetics of martensite transformation in low-alloy steels*. Journal of Materials Research and Technology. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.014

[6] Purnomo, G., Putri, F., & Effendi, S. (2020). Pengaruh Quenching terhadap Kekerasan Material Baja JIS SUP 9. *MACHINERY Jurnal Teknologi Terapan*, *1*(1), 62–70. https://doi.org/10.5281/zenodo.4540929

[7] Mohmmed, J. H., & Al-hashimy, Z. I. . (2018). Effect of Different Quenching Media on Microstructure, Hardness, and Wear Behavior of Steel Used in Petroleum Industries. *Journal of Petroleum Research and Studies*, *8*(2), 199-208. https://doi.org/10.52716/jprs.v8i2.244

[8] Rizki, M., ., T. ., & ., K. (2021). Pengaruh Variasi Media Pendingin (Silikon Oil, Minyak Sayur, Oli Bekas) terhadap Kekerasan Pengecoran Alumunium Limbah Piston Bekas. *MACHINERY Jurnal Teknologi Terapan*, *2*(3), 122–127. https://doi.org/10.5281/zenodo.6383828

[9] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction (10th ed.).* John Wiley & Sons. https://www.wiley.com/en-

us/Materials+Science+and+Engineering%3A+An+Introduction%2C+10th+Edition-p-9781119722101
[10] ASSAB. 2018. *ASSAB 709 Product Book*. ASSAB Steels.
[11] Sugiyono, 2017, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, Alfabeta Bandung.
[12] Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
[13] Ary, D., Jacobs, L. C., & Sorensen, C. (2010). *Introduction to Research in Education* (8th ed.). Wadsworth.
[14] Dieter, George E. (1988) – *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill.
[15] Santoso, S. (2010). *Menguasai Statistik di Era Informasi dengan SPSS 17*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
[16] Totten, G.E. (2007). *Steel Heat Treatment Handbook*. 2nd Edition, Steel Heat Treatment—Metallurgy and Technologies, 561-706.
[17] Krisna, P. P., ., T., & Sundari, E. (2020). Studi Eksperimental: Analisa Kegagalan Roda Gigi pada Gear Box Mesin Screw Press Kelapa Sawit. *AUSTENIT*, *12*(2), 54–58. Retrieved from https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/2755