



Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Pendinginan Terhadap Sifat Mekanik Pada Proses Annealing Baja AISI410 Setelah Pengerasan

Bayu Pranoto^{1*}, Subagiyo², Samsul Hadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Email Penulis: bayupranoto@polinema.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 15/08/2022
Naskah Direvisi 13/09/2022
Naskah Disetujui 16/11/2022
Naskah Online 30/12/2022

ABSTRACT

Stainless steel has good mechanical properties compared to other materials for strength and hardness, usually will experience an increase in hardness after hardening. The purpose of this study was to obtain information about: Value of hardness and strength Impact of martensitic stainless steel annealed with variations in temperature and cooling. The research method used is an experimental method, namely by annealing martensitic stainless steel with variations in temperature and cooling rate. The results were tested for Impact and hardness using the Rockwell C (HRC) method with the category of Research Infrastructure development and science and technology in the field of Mechanical Engineering. The research results are expected to be used as an alternative to improve the mechanical properties of materials, especially in the annealing process. The level of technological readiness to be achieved: 2, because in this study a model is made to test the truth of the basic principle that the hardness level of martensitic stainless steel steel in annealing is influenced by varying temperatures and cooling.

Keywords: annealing, impact, hardness, martensitic

1. PENDAHULUAN

Baja tahan karat jenis martensitik banyak digunakan untuk bahan komponen-komponen mesin, baik komponen transmisi atau alat potong. Baja tersebut termasuk baja tahan karat yang memiliki sifat *hardenability* atau kemampukerasan yang cukup baik yaitu mudah untuk dikeraskan hingga mencapai nilai kekerasan cukup tinggi yaitu 60-70 HRC [1].

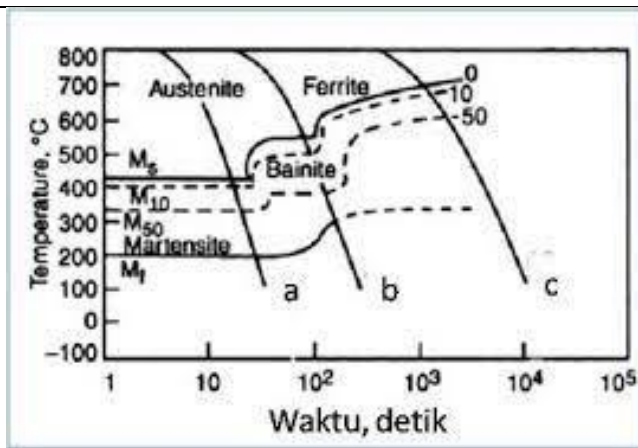
Dalam *annealing* melalui proses *heating* dan *cooling*, sehingga bahan mengalami perlakuan panas [2]. Karena jenis martensitik memiliki sifat *hardenability* yang baik, maka setelah pengerasan cenderung mengalami peningkatan kekuatan dan kekerasan, sehingga sifat bahan berubah menjadi kuat dan keras [3]. Hal tersebut diperlukan untuk komponen mesin yang memerlukan ketahanan gesek. Berbagai macam pendinginan mempunyai laju pendinginan yang berbeda tergantung dari jenis media pendinginnya [4]. Media pendingin yang umum digunakan adalah: udara, air, oli atau lainnya. Selain media pendingin, metode pendinginan yang berbeda juga menghasilkan tingkat kekerasan yang berbeda [5] [6]. Jika sudah keras, maka sulit untuk dikerjakan khususnya pekerjaan reparasi. Dari uraian singkat tersebut, maka perlu penelitian *annealing* pada

baja tahan karat jenis martensitik dengan variasi temperatur pemanasan dan laju pendinginan, sehingga dapat mengetahui sifat kekuatan pukul dan kekerasan.

1.1 Baja Tahan Karat Martensitik

Baja AISI410 mengandung 11,5% - 18% Kromium, contohnya tipe 403, 410, 416, 420, 440A, 501, dan 502. Tipe 410 dan 416 yang paling populer digunakan untuk sudu turbin dalam bentuk coran (*casting*). Perlakuan panas untuk baja jenis tersebut sama dengan baja karbon dan baja paduan rendah. Pemanasan pada *hardening* dilakukan pada temperatur 1010°C dan tempering pada temperatur 399°C. Kekerasan dicapai sesuai kadar karbon yang dikandungnya.

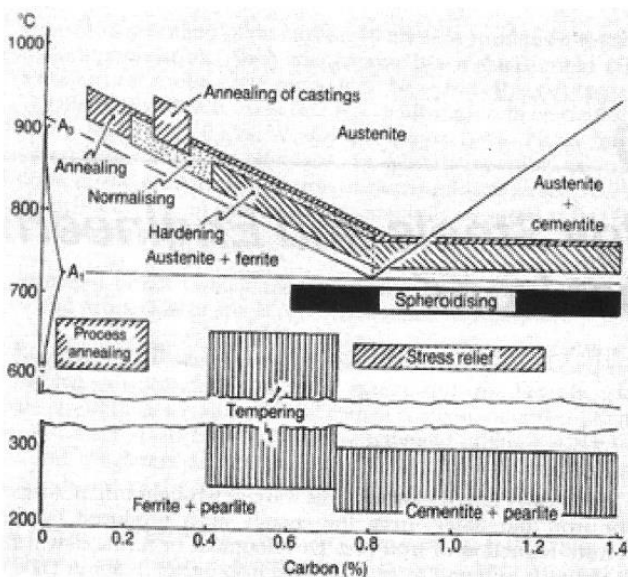
Untuk mempermudah dalam mengidentifikasi struktur yang terjadi setelah perlakuan panas, maka dapat dilihat pada Diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)*. Diagram tersebut digunakan untuk memprediksi struktur yang terbentuk karena diagram tersebut menggambarkan hubungan laju pendinginan dengan struktur yang akan terbentuk setelah terjadi transformasi fasa. Garis a, b, dan c [pada Gambar 1] merupakan batas awal dan akhir dekomposisi austenit menjadi struktur baja final yang terbentuk.



Gambar 1. Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT) [8]

1.2 Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *heat treatment* dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dan dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu. Langkah pertama dalam setiap proses perlakuan panas adalah memanaskan logam atau paduannya sampai temperatur tertentu. Selama pemanasan dan pendinginan terjadi beberapa perubahan struktur mikro. Hal tersebut yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam atau paduan. Perlakuan panas baja tahan karat jenis martensitik sama dengan baja karbon dan baja paduan rendah, yaitu untuk *hardening* pemanasan hingga temperatur sekitar 1100°C dan *tempering* pada temperatur sekitar 400°C.



Gambar 2. Daerah pemanasan proses perlakuan panas [7]

Pada perlakuan panas dibutuhkan *holding time* atau waktu penahanan untuk mendapatkan struktur *austenite* yang homogen. Lamanya waktu penahanan pada baja harus sesuai dengan jenis baja karena jika menggunakan *holding time* yang terlalu cepat mendapatkan nilai kekerasan yang rendah dan jika terlalu lama akan membuang waktu proses.

Satu diantara perlakuan panas adalah *annealing* yang tujuannya untuk: mengurangi kekerasan, menghilangkan tegangan sisa, memperbaiki kekuatan, memperbaiki *ductility*, dan memperbesar ukuran butir.

1.3 Media Pendingin

Fungsi dari media pendingin adalah untuk mendinginkan bahan logam setelah proses perlakuan panas. Kemampuan setiap media pendingin untuk mendinginkan bahan berbeda-beda. Hal tersebut tergantung dari beberapa faktor seperti temperatur media pendingin, kekentalan, dan laju perpindahan panas. Beberapa media pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah: udara normal, kapur kering, pendinginan di dalam tungku.

1.4 Pengujian Kekerasan Vickers

Prinsip dasar pengujian *vickers* sama dengan uji *brinell*, perbedaannya hanya terdapat pada penggunaan indenter intan yang berbentuk piramida beratas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°. Pengukuran diagonal segiempat lebih akurat dibandingkan pengukuran pada lingkaran. Pengujian tersebut dapat dilakukan untuk spesimen tipis yang punya ketebalan hanya sekitar 1.5 mm.

Hasil pengukuran yang diperoleh cukup akurat hingga nilai 1300 (setara dengan *brinell* 850). Indentor relatif tidak menjadi rata seperti pada *brinell*. Beban yang digunakan pada uji *vickers* antara 1 - 120 kgf. Perubahan beban relatif tidak mempengaruhi hasil pengujian, penggunaan beban yang berbeda tetap menghasilkan nilai yang sama untuk bahan yang sama. Nilai *hardness vickers* dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

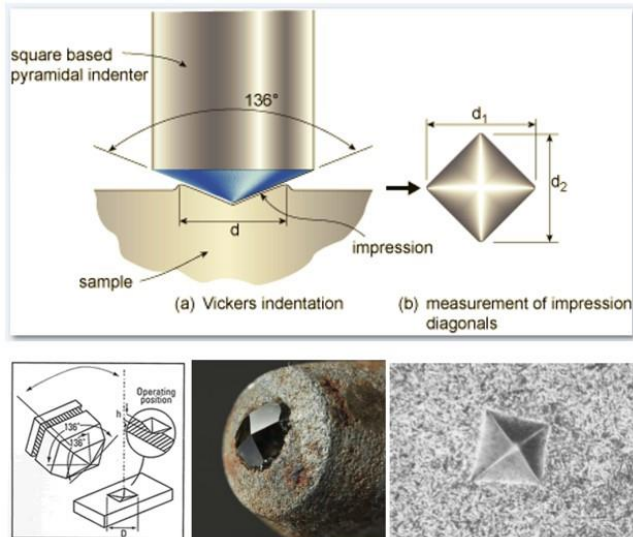
$$HV = 2P \cdot \frac{\sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2} \quad (1)$$

dengan:

- HV* : *Hardness Vickers*
- P* : Beban (kgf)
- α* : Sudut dua sisi yang berhadapan pada indenter (0)
- d* : Diagonal indentasi rata-rata (mm)

Penulisan nilai kekerasan *Vickers* harus diikuti akhiran yang menunjukkan gaya yang digunakan dan durasi pembebanan jika waktu yang digunakan di luar 10-15 detik. Contohnya adalah sebagai berikut:

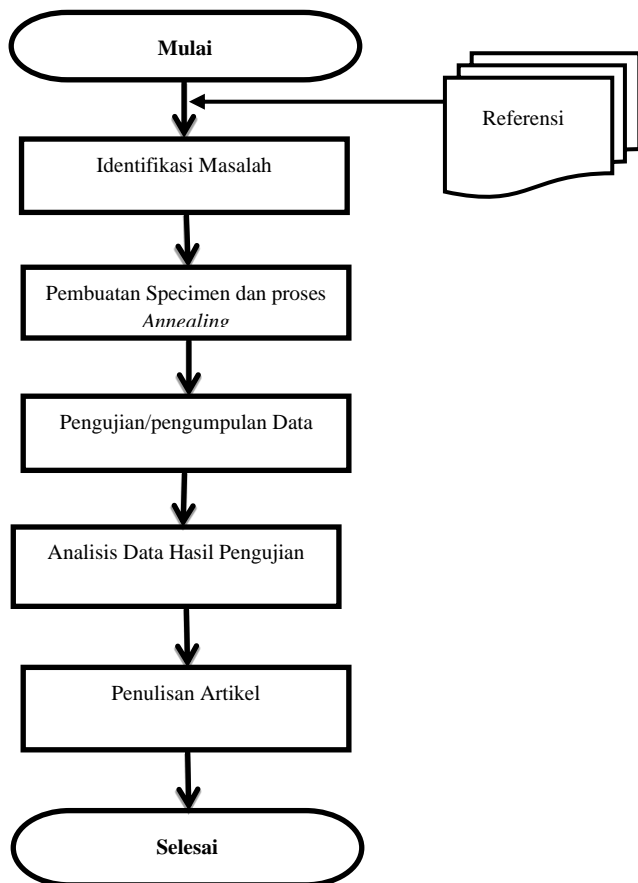
- 440HV 30 artinya nilai *hardness* 440 dengan beban 30 kgf dan durasi pembebanan 10-15 detik.
- 440HV 30/20 artinya nilai *hardness* 440 dengan beban 30 kgf dan durasi pembebanan 20 detik.



Gambar 3. Prinsip uji vickers [9]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan persiapan alat, bahan, dan tempat uji. Selanjutnya urutan langkah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

- Mistar sorong, untuk pengukuran benda kerja atau spesimen uji;
- Dapur pemanas listrik atau *Muffle furnace* untuk memanaskan spesimen uji sesuai dengan variasi temperatur yang telah ditentukan;
- Media pendingin: udara normal, kapur kering, dan pendinginan di dalam tungku
- Spesimen uji baja tahan karat martensitic AISI410 ukuran 6x4x60 mm.
- Mesin uji kekerasan dan uji pukul, untuk menguji hasil *annealing* dan mendapatkan nilai kekerasan (*HV*) dan kekuatan impact (J/mm^2).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik

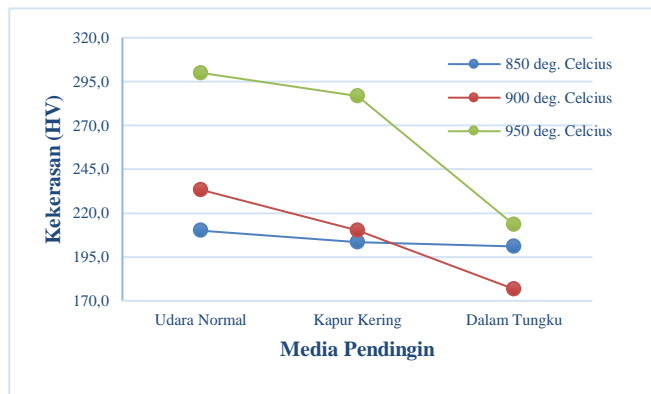
Penelitian yang telah dilaksanakan dimulai dengan menyiapkan spesimen uji yang punya dimensi 6x4x60 mm sebanyak 54 buah. Selanjutnya dilakukan pemanasan *annealing* yang dilakukan pada variasi temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C. Setiap variasi temperatur tersebut menggunakan 18 buah spesimen. Dimana 18 buah spesimen tersebut selanjutnya dibagi menjadi tiga kelompok yang mana setiap kelompok terdiri dari 6 buah spesimen. Selanjutnya ketiga kelompok spesimen yang telah dibagi tadi didinginkan dalam tiga variasi media pendingin yaitu: udara normal, kapur kering, dan pendinginan di dalam tungku. Berdasarkan variasi temperatur pemanasan *annealing* dan media pendingin, didapatkan data hasil pengujian berupa data kekerasan (*HV*) sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Data Kekerasan (*HV*)

Temp. Pemanasan <i>Annealing</i> (°C)	Media Pendingin		
	Udara Normal	Kapur Kering	Dalam Tungku
850	215	210	198
	205	200	200
	210	200	205
Rata-rata	210	203,3	201
900	240	210	180
	220	200	170
	240	220	180
Rata-rata	233,3	210	176,7
950	310	280	210
	290	280	210
	300	300	220
Rata-rata	300	286,7	213,3

Gambar 5. menunjukkan nilai kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan *annealing*. Nilai kekerasan untuk setiap variasi temperatur pemanasan *annealing* 850°C, 900°C, dan 950°C adalah senilai 210 HV, 233.3 HV, dan 300 HV. Semakin tinggi temperatur pemanasan *annealing*, bahan semakin keras yang terlihat dari grafik kekerasan yang semakin meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa rekristalisasi yang diikuti oleh pertumbuhan butir memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap peningkatan kekerasan bahan baja tahan karat AISI410. Semakin tinggi temperatur, maka struktur butir pada bahan AISI410 menjadi homogen. Peningkatan nilai kekerasan juga disebabkan karena terjadi presipitasi atau pengendapan karbida pada batas butir AISI410. Proses presipitasi tersebut disebabkan karena adanya kadar Kromium yang bereaksi dengan karbon membentuk *CCr* (*Carbide Chromium*). Semakin banyak kromium karbida

yang terbentuk, maka kekerasan bahan AISI410 juga semakin meningkat.



Gambar 5. Grafik interaksi variasi temperatur pemanasan annealing dan media pendingin terhadap nilai kekerasan

Selanjutnya untuk kekerasan baja tahan karat martensitik dengan variasi media pendingin didapatkan bahwa variasi media pendingin setelah annealing memberikan nilai kekerasan yang berbeda. Nilai kekerasan untuk setiap media pendingin yang berupa udara normal, kapur kering, dan pendinginan di dalam tungku masing-masing adalah 210 HV, 203.3 HV, dan 201 HV. Perbedaan nilai kekerasan tersebut disebabkan oleh laju pendinginan yang berbeda. Semakin tinggi laju pendinginan, maka semakin banyak struktur martensit yang terbentuk. Pembentukan struktur martensit terjadi melalui proses pendinginan cepat (quench) dari fasa austenite (struktur FCC/Face Centered Cubic) hingga temperatur ruang, yang berakibat pada terperangkapnya atom karbon (tidak sempat berdifusi), sehingga terjadi peregangannya kisi dari struktur BCC (Body Centered Cubic) yang seharusnya terbentuk (ferrite) menjadi martensit yang berstruktur BCT (Body Centered Tetragonal). Media pendingin udara normal mempunyai laju pendinginan yang paling tinggi dibandingkan media kapur kering dan pendinginan di dalam tungku, sehingga mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi pula.

3.2 Uji Kekuatan Pukul Baja Tahan Karat Martensitik

Berdasarkan variasi temperatur pemanasan annealing dan media pendingin, didapatkan data hasil pengujian berupa data kekuatan pukul spesifik (J/mm²) ditunjukkan pada Tabel 2.

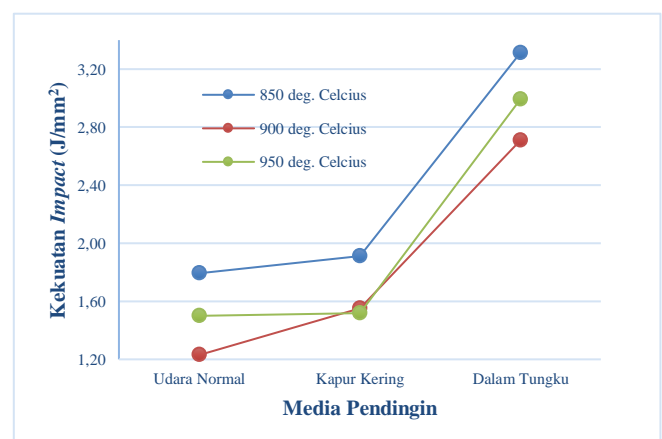
Pengaruh variasi temperatur pemanasan annealing terhadap nilai kekuatan pukul ditunjukkan pada Gambar 6. Kekuatan pukul tertinggi dimiliki oleh bahan baja yang dilakukan annealing pada temperatur 850°C yaitu sebesar 1.79 J/mm² kemudian diikuti oleh bahan yang dilakukan annealing pada temperatur 950°C (nilai kekuatan pukul sebesar 1.50 J/mm²) dan 900°C (nilai kekuatan pukul sebesar 1.23 J/mm²). Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh homogenitas ukuran butiran bahan, yang mana berkaitan erat dengan gaya antar ikatan atom-atomnya. Semakin kecil ukuran butir, maka bahan tersebut semakin rapuh dan kekuatan pukulnya semakin rendah. Sebaliknya, semakin besar ukuran butir, maka bahan tersebut semakin ulet dan kekuatan pukulnya semakin besar. Kekuatan pukul juga dipengaruhi oleh arah orientasi kristalnya. Semakin sama arah orientasi kristalnya, maka kekuatan pukulnya semakin

besar. Sebaliknya, semakin berbeda arah orientasi kristalnya maka kekuatan pukulnya semakin kecil.

Tabel 2. Kekuatan Pukul Spesifik (J/mm²)

Temp. Pemanasan Annealing (°C)	Media Pendingin		
	Udara Normal	Kapur Kering	Dalam Tungku
850	1,83	2,08	2,48
	1,48	1,57	3,61
	2,07	2,08	3,85
Rata-Rata	1,79	1,91	3,31
900	1,25	1,68	2,81
	1,15	1,35	2,70
	1,29	1,62	2,62
Rata-Rata	1,23	1,55	2,71
950	1,49	1,68	3,17
	1,47	1,63	3,03
	1,54	1,24	2,78
Rata-Rata	1,50	1,52	2,99

Kekuatan pukul spesifik tertinggi dimiliki oleh baja dengan media pendinginan di dalam tungku yaitu sebesar 3,31 J/mm², diikuti oleh baja dengan media pendingin kapur kering yaitu sebesar 1,91 J/mm², dan kekuatan impact terendah dimiliki oleh baja dengan media pendingin udara normal yaitu sebesar 1,79 J/mm². Baja dengan media pendingin udara normal punya kekuatan impact yang rendah karena memiliki butiran logam yang lebih kecil akibat rekristalisasi yang membentuk martensit semakin banyak dibandingkan baja dengan media pendingin kapur kering dan baja dengan media pendinginan di dalam tungku. Nilai kekuatan pukul meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan annealing dan penggunaan media pendingin yang mempunyai laju pendinginan yang rendah. Dengan kata lain, nilai kekuatan pukul berbanding terbalik dengan nilai laju pendinginan bahan.



Gambar 6. Grafik interaksi variasi temperatur pemanasan annealing dan media pendingin terhadap nilai kekuatan pukul

4. SIMPULAN

Perlakuan panas annealing pada baja tahan karat martensitik dan variasi media pendingin dapat meningkatkan kekerasannya seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan annealing dan laju pendinginan, untuk nilai kekerasan tertinggi didapat pada temperatur annealing

950⁰C dengan media pendingin udara normal yaitu sebesar 300 HV. Selanjutnya didapatkan semakin tinggi nilai kekerasan, maka semakin rendah kekuatan pukulnya, untuk nilai kekuatan pukul tertinggi pada temperatur *annealing* 850⁰C dengan media pendinginan di dalam tungku yaitu sebesar 3,31 J/mm².

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prasetyo, M. A., Anwar, M. S., Mahruri, E., Agustiningtyas, D. T., Noviana, R. C., Laksono, A. D. 2020. Pengaruh Perlakuan Panas Baja Tahan Karat Martensitik AISI 410 terhadap Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Simulasi Geothermal dalam Larutan Artificial Brine. Jurnal Teknik. p-ISSN: 0852-1697. e-ISSN: 240-9919 41(2). 179-185
- [2] Puspasari, V., Prasetyo, M. A., Hala, J. V. T., Anwar, M. S., Herbirowo, S., Mabruri, E. 2020. Pengaruh Annealing Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 410-3Mo-3Ni. Majalah Ilmu dan Teknologi. p-ISSN: 0126-3188. e-ISSN: 2443-3926. 2. 75-82
- [3] Sinaga, A. J., Simanjuntak, S. L. M. H., Manurung, C. S. P. 2020. Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316L Dalam Larutan 10% NaCl dengan Variasi Waktu Perendaman. SJoME. e-ISSN: 2685-8916. I(2). 92-99
- [4] Fikara, F. A., Siswanto, R. 2021. Pengaruh Holding Time dan Media Pendingin Pada Carburizing Material SUS 630 Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro. ROTARY. p-ISSN: 2721-6225. e-ISSN: 2745-6331. 3(1). 81-94
- [5] Herizen, D., Siswanto, R. 2020. Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja SUS 630 Metode Hardening. ROTARY. p-ISSN: 2721-6225. e-ISSN: 2745-6331. 2(2). 149-160
- [6] Sarigih, D. J. P., Subagyo. 2021. Pengaruh Variasi Waktu Penahanan dan Tebal Benda Kerja Hasil Quenching Terhadap Sifat Mekanik Baja Stainless Steel Martensit. Jurnal Teknik: Ilmu dan Aplikasi. 02(1). 15-19
- [7] Hadi, S. 2016. Teknologi Bahan. Andi Offset. Yogyakarta.
- [8] Avner, Sidney, H., 1974. Introduction to physical metalurgi, 2nd Edition, Mc. Graw-Hill Publishing Co. Ltd, Singapore.
- [9] <https://detech.co.id/hardness-test/>

Halaman ini sengaja dikosongkan