



Analisis Pengaruh Nilai Variasi Temperatur Tempering Baja S50C Sebagai Bahan Pisau Mesin Pencacah Plastik

Ariyanto¹, Eko yudo², Adyu Arya Nicola³

^{1,2,3} Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Email : ariyanto2176@ gmail.com

Received 23 April 2024; Received in revised form : 14 Juni 2024; Accepted : 28 Juni 2024

Abstract

S50C steel is a steel with a carbon content of 0.497 - 0.53% tensile stress of at least 630 mpa. When viewed from the carbon content of the S50C material, this steel is included in medium carbon steel. The carbon range contained in medium carbon steel is between 0.3%C-0.6%C. The minimum requirement for the amount of carbon in steel that can be hardened is greater than 0.3%. By referring to the amount of carbon contained in S50C steel, it can be said that S50C steel can be hardened process. The hardening process is carried out at a temperature of 800 °C, a temperature of 840 °C and a temperature of 8800 C, with cooling media being salt water, oil and seawater. After the hardening process is carried out the tempering process at a temperature of 100 °C, 200 °C 300 °C, 400 °C and 500 °C, the whole heating process uses an electric oven. The overall parameters of the hardening process are optimized using the Taguchi method. Obtained optimal parameter values at a temperature of 880 °C with a brine-water cooling medium. The average hardness obtained before the tempering process was 56.84 HRC and the highest tempering result was 55.95 HRC the lowest result was 35.15 HRC.

Keywords: Heat treatment, Steel S50C, Optimization, Tempering

Abstrak

Baja S50C merupakan baja dengan kandungan karbon sebesar 0,497 - 0,53 % tegangan Tarik minimal 630 mpa. Jika ditinjau dari kandungan karbon pada material S50C maka baja ini masuk kedalam baja karbon menengah. Range karbon yang terdapat pada baja karbon menengah adalah antara 0,3%C-0,6%C. Syarat minimal jumlah karbon pada baja yang bisa dikeraskan adalah lebih besar dari 0,3%. Dengan merujuk jumlah karbon yang terkandung pada baja S50C maka dapat dikatakan baja S50C bisa dilakukan proses pengerasan. Proses pengerasan dilakukan pada temperatur 800°C, temperatur 840°C dan temperatur 880°C, dengan media pendingin adalah air garam, oli dan air laut. Setelah proses pengerasan dilakukan proses tempering pada temperatur 100°C, 200°C 300°C, 400°C dan 500°C, seluruh proses pemanasan menggunakan oven listrik. Keseluruhan parameter proses pengerasan tersebut dioptimasi menggunakan metode Taguchi. Diperoleh nilai parameter optimal pada temperatur 880°C dengan media pendingin air garam. Kekerasan rata-rata yang diperoleh sebelum proses tempering 56,84 HRC dan hasil temper tertinggi 55,95 HRC hasil terendah 35,15 HRC

Kata Kunci: Perlakuan panas, Baja S50C, Optimasi, Tempering

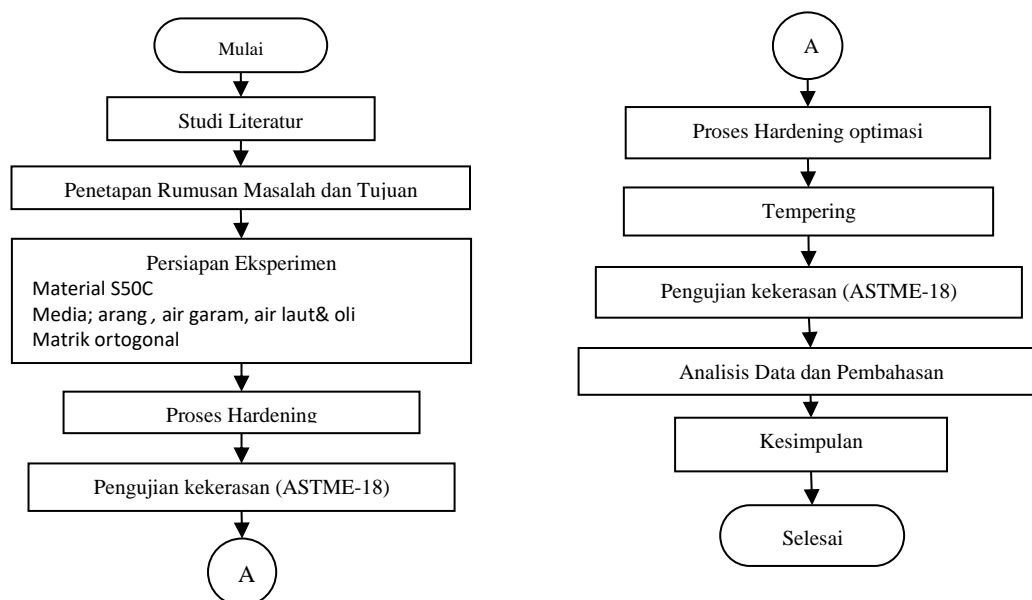
1. PENDAHULUAN

Baja adalah salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik. Penggunaan baja dapat disesuaikan dengan kebutuhan karena banyak sekali macamnya dengan sifat dan karakter yang berbeda-beda. Baja mengandung beberapa unsur paduan, unsur yang paling dominan pengaruhnya terhadap sifat baja adalah unsur karbon, besar kecilnya persentase unsur karbon akan berdampak pada efek pengerasan dan kekuatan [1], efek pengerasan berkaitan dengan ketahanan aus dan dibutuhkan oleh komponen yang mengalami gesekan seperti roda gigi, poros, ulir penggerak dan pisau pemotong.

Uji kekerasan dapat dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material pisau potong [2], untuk meningkatkan, memperbaiki sifat fisik dan mekanik material yang nantinya akan dijadikan sebagai bahan baku pisau pemotong diperlukan proses perlakuan panas, untuk memperoleh sifat yang diantaranya keras, tangguh dan tahan aus. Sifat fisik dari material pisau pemotong tanpa perlakuan panas terbentuk dari fasa *pearlite* dan *ferrite* sehingga material lunak dan tingkat kekerasannya rendah. Peningkatan nilai kekerasan material mata pemotong berakibat pada peningkatan kualitas hasil pencacahan plastik [3], dan meningkatkan ketahanan aus [4] sehingga dapat digunakan untuk mencacah plastik berulang kali. Tingkat kekerasan tinggi dapat dihasilkan apabila material sudah membentuk fasa *martensite* yang dominan. Semakin tinggi nilai kekerasan maka akan semakin tahan aus atau nilai keausan akan semakin rendah [5]. Akibat proses perlakuan panas ini adalah perubahan mikrostruktur pada logam. Proses perlakuan panas baja yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja dengan cara memanaskan baja tersebut pada temperatur tertentu, biasanya antara 845⁰C-870⁰C, kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*) pada media pendingin untuk mendapatkan struktur *martensite*. Saat proses pembentukan *martensite* dengan proses *quenching* dapat mengakibatkan muncul tegangan-tegangan dalam, tegangan dalam yang terbentuk berakibat retakan pada material [6]. Untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan dalam dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya dapat dilakukan proses *tempering*. Kembalinya sebagian keuletan atau ketangguhan ini didapat dengan mengorbankan sebagian kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan. Temperatur pemanasan pada *tempering* mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap struktur mikro baja. Dengan berubahnya struktur mikro maka kekerasan baja juga akan mengalami penurunan [7] oleh karena itu dengan penelitian ini diperlukan untuk mengetahui seberapa tinggi temperatur *tempering* yang harus dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dan sifat mekanis pada material baja JIS S50C. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang perlu dikaji lebih jauh bagaimana pengaruh kekerasan permukaan baja S50C sebagai bahan dasar dari pisau *crusher* pencacah plastik bekas dengan proses perlakuan panas menggunakan kombinasi temperatur dan media pendingin sehingga diperoleh nilai kekerasan optimum akibat proses perlakuan panas dan pendinginan cepat serta nilai kekerasan setelah dilakukan proses *tempering*.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yang digunakan untuk pedoman penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.1. Persiapan

Langkah awal dimulai dari studi-studi literatur yang didapat dari jurnal ilmiah. Internet dan *text book*. Selanjutnya data-data studi literatur dipelajari dan dijadikan referensi untuk melakukan penelitian. Material yang digunakan adalah baja S50C yang diperoleh dari pasar dengan komposisi 0.42-0.48 C, 0.15-0.35 Si, 0.6-0.9 Mn, 0.03 P, 0.035 S. [8]. Baja ini dilakukan proses pemesinan hingga diperoleh ukuran benda kerja 10 mm x 10 mm x 20 mm.

2.2. Optimasi

Pelaksanaan eksperimen Taguchi dapat mengikuti tahapan atau Langkah-langkah utama [9] yaitu perencanaan, pelaksanaan dan analisa. Pada pelaksanaan eksperimen taguchi menggunakan suatu matrik ortogonal dengan memperhatikan :

1. Jumlah faktor dan level
2. Derajat kebebasan
3. Matrik *orthogonal*

Faktor (variabel bebas) dapat diartikan dengan variabel yang perubahannya tidak bergantung pada variable lain, sedangkan level adalah tingkatan dari faktor tersebut. Derajat kebebasan adalah seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Untuk menghitung derajat kebebasan faktor dan level dapat menggunakan persamaan :

$$\text{Derajat kebebasan} = \text{banyaknya faktor} \times (\text{banyaknya level}-1) \dots \dots \dots (1)$$

Langkah berikutnya adalah pemilihan matriks *orthogonal*, dengan memperhatikan nilai derajat kebebasan hasil perhitungan harus lebih kecil atau sama dengan nilai derajat kebebasan matrik *orthogonal* standar. Faktor Kontrol dan *level* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1, matrik *orthogonal* Tabel 2.

Tabel 1. Faktor Kontrol Dan Level Yang Digunakan

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Temperatur	800°C	840°C	880°C
B	Media Pendingin	Air garam	Oli	Air Laut

Tabel 2. Matrik Orthogonal Eksperimen

Eksperimen	Matrik ortogonal $L_9(3^4)$		Replika (HRC)			Rata-rata (HRC)	S/N ratio
	A	B	1	2	3		
1	1	1					
2	1	2					
3	1	3					
4	2	1					
5	2	2					
6	2	3					
7	3	1					
8	3	2					
9	3	3					

Dalam eksperimen Taguchi untuk mengukur performa karakteristik kualitas dapat menggunakan jenis rasio S/N yaitu *Larger Is Better* [10], untuk menentukan nilai S/N dapat menggunakan persamaan

$$S/N = -10 \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Setelah memperoleh optimasi berdasarkan rasio S/N maka dilakukan penjumlahan rata-rata prediksi dan rata-rata uji konfirmasi. Rata-rata prediksi diperoleh dari nilai optimal eksperimen. Rata-rata nilai kekerasan prediksi dapat dihitung dengan persamaan [8] :

$$\hat{y}_{ijk} = \mu_{\text{prediksi}} = \bar{y} = (\bar{A}_i - \bar{y}) + (\bar{B}_j + \bar{y}) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

A dan B = factor pengamatan yang *significant*

i dan j = level factor yang menghasilkan respon optimum

Untuk kesimpulan yang didapat dari hasil optimasi dilakukan uji konfirmasi dengan cara membandingkan rata-rata uji konfirmasi dengan rata-rata prediksi. Nilai rata-rata konfirmasi dikatakan sama dengan nilai rata-rata prediksi jika nilai kedua rata-rata tersebut sama. Untuk mengetahui kesamaan rata-rata tersebut dapat menggunakan *t-Test Paired Two Sample for Means* dengan tingkat keyakinan 95%. hipotesis yang digunakan adalah

$H_0 : \mu = \mu_1$

$H_1 : \mu \neq \mu_1$

μ adalah nilai rata-rata prediksi hasil optimasi dan μ_1 adalah nilai rata-rata uji konfirmasi, tolak H_0 apabila $t_{\text{stat}} > t_{\text{kritis}}$ atau $P < 0,05$.

2.3. Proses Hardening

Hardening dilakukan dengan cara membuat variasi temperatur *austenite* pada suhu 800°C, 840°C dan 880°C dan ditahan selama 40 menit. Sebelum benda uji dipanaskan ke temperatur yang diinginkan dilakukan terlebih dahulu proses *preheating* dengan temperatur 600 °C dengan waktu penahanan selama 30 menit. Quenching menggunakan media pendingin air garam (kandungan garam 25%) oli dan air laut . Pemanasan dilakukan pada oven listrik yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Oven Untuk Proses *Hardening*

2.4. Proses Tempering

Proses *tempering* dilakukan untuk menghilangkan tegangan dalam dan mengetahui nilai kekerasan Struktur mikro setelah proses *hardening*. Hasil *tempering* berupa peningkatan ketangguhan dan penurunan tingkat kekerasan baja. Proses *tempering* pada penelitian ini menggunakan variasi temperatur yang dapat dilihat pada tabel 3 dan waktu penahanan temperatur selama 40 menit. Proses pemanasan benda kerja menggunakan *Oven* listrik yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Oven Untuk Proses *Tempering*

Tabel 3. Variasi Temperatur *Tempering*

No	Temperatur	Kekerasan Rata-Rata
1	100°C	
2	200°C	
3	300°C	
4	400°C	
5	500°C	

2.5. Analisis

Analisis dilakukan dengan cara melihat hasil kekerasan yang paling optimal setelah dilakukan *hardening* dan diikuti dengan pengamatan nilai kekerasan yang terjadi setelah dilakukan proses *tempering*. Hasil proses *Heat treatment* diukur nilai kekerasan dengan alat uji kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat Uji Kekerasan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hardening

Untuk setiap eksperimen dilakukan tiga kali pengulangan pengujian (replika) sehingga bentuk tabel yang digunakan untuk pengambilan data diperoleh pada Tabel 4. Nilai kekerasan yang terjadi karena ada perubahan struktur mikro pada baja, yaitu terbentuknya struktur *martensite* akibat dari proses pemanasan pada temperatur *austenite* yang diikuti pendinginan cepat [11], semakin cepat laju pendinginan maka baja akan semakin keras [12]. Jika hasil pemanasan pada baja sudah mencapai kondisi full *austenite* struktur butiran menjadi besar dan lebih rapat, sehingga dapat menghasilkan jumlah *martensite* yang lebih banyak dan rapat [13].

Tabel 4. Matrik Ortogonal Yang Digunakan Untuk Eksperimen

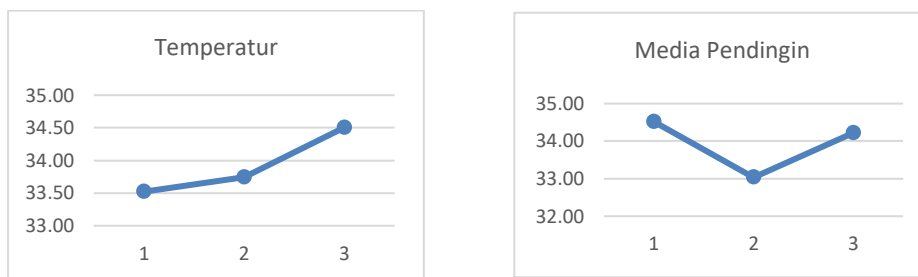
Matrik orthogonal $L_9(3^4)$	Replika (HRC)			Rata-rata (HRC)	s/n ratios		
	A	B					
Eksperimen			1	2	3		
1	1	1	43,3	53,3	51,5	49,4	33,76
2	1	2	44,4	41,4	44,6	43,4	32,74
3	1	3	57,3	48,5	47,3	51,0	34,06
4	2	1	53,9	58,1	57,2	56,4	35,01
5	2	2	50,9	39,8	39	43,2	32,53
6	2	3	56,1	53	40,4	49,9	33,68
7	3	1	53,9	56,4	54,4	54,9	34,79
8	3	2	48,3	49,9	49,2	49,1	33,83
9	3	3	52,7	56,7	57,8	55,8	34,90

Tabel 1. Rata-rata s/n Ratio Dan Rata-Rata Kekerasan Optimasi

Kombinasi	Rata-rata s/n ratio	Rata-rata kerasan (HRC)
A1 800	33,52	47,94
A2 840	33,74	49,83
A3 880	34,51	53,26
B1 garam	34,52	53,56
B2 oli	33,03	45,27
B3 air laut	34,22	52,21
Jumlah rata-rata	33,92	50,35

Dari hasil rata-rata *s/n larger is better* pada Tabel 5 diperoleh untuk temperatur 1 (800°C) : 33,52, temperatur 2 (840°C) : 33,74 dan temperatur 3 (880°C) : 34,51 sedangkan untuk pendingin 1 (air garam) : 34,52, pendingin 2 (oli) : 33,03 dan pendingin 3 (air laut) : 34,22. Dengan menggunakan nilai optimum yang terbesar adalah yang terbaik maka diperoleh parameter kombinasi pada temperatur 880°C dengan media pendingin air garam, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5 sedangkan rata-rata nilai kekerasan prediksi dapat dihitung dengan persamaan $\mu = \hat{y} + (A_i - \bar{y}) + (B_j - \bar{y})$. Berdasarkan Tabel 5 maka nilai

$$\begin{aligned}\hat{Y} &= 50,35, A_i = 53,26, B_j = 53,56 \\ &= 50,35 + (53,26 - 50,35) + (53,56 - 50,35) \\ &= 56,47 \text{ HRC.}\end{aligned}$$



Gambar 5. Main Effect Plot For SN Ratio

Setelah dilakukan optimasi dengan serangkaian percobaan yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan uji konfirmasi. Uji konfirmasi dilakukan dengan menggunakan parameter hasil optimasi pada temperatur 880°C dengan media pendingin air garam. Hasil uji konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 6, setelah dirata-rata diperoleh nilai rata-rata kekerasan 56,84 HRC.

Tabel 6. Hasil Uji Konfirmasi

No	Kekerasan (HRC)	No	Kekerasan (HRC)	No	Kekerasan (HRC)
1	59,63	6	55,53	11	57,26
2	55,10	7	53,20	12	55,40
3	59,13	8	61,43	13	53,86
4	58,86	9	58,46	14	56,43
5	54,60	10	59,33	15	54,43
Rata-rata					56,84

Untuk mengetahui apakah nilai rata-rata uji konfirmasi sama dengan rata-rata nilai optimasi dilakukan uji t. Hasil uji t yang diolah dengan aplikasi pengolah data dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji t

	<i>Uji konfirmasi</i>
Mean	56,84
Variance	6,22
Observations	15,00
Hypothesized Mean Difference	56,47
df	14,00
t Stat	0,58
P(T<=t) two-tail	0,57
t Critical two-tail	2,14

Hypotesis yang digunakan adalah:

$H_0 : \mu = \mu_1$

$H_1 : \mu \neq \mu_1$

Tolak H_0 jika t stat > t kritis atau $P < 0,05$. Dari tabel 7, nilai t kritis 2,14 lebih besar dari t stat 0,58 dan nilai P 0,57 lebih besar dari 0,05 maka gagal tolak H_0 , sehingga rata-rata uji konfirmasi sama dengan rata-rata prediksi.

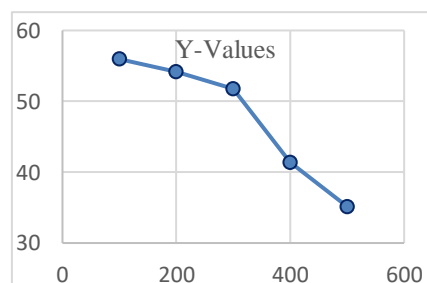
3.2. Tempering

Setelah proses *hardening* dilakukan pada baja S50C dan diperoleh nilai kekerasan optimun dilanjutkan proses *tempering*. Proses *tempering* yang dilakukan akan mengakibatkan perubahan nilai kekerasan dan ketangguhan baja S50C. Hasil *tempering* yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Kekerasan Hasil Proses Variasi Temperatur *Tempering*

Temperatur Tempering	Kekerasan Rata-rata (HRC)	Penurunan kekerasan (%)
100	55,9	0,9
200	54,18	4,1
300	51,75	8,4
400	41,37	26,7
500	33,15	37,8

Dari Tabel 8 terlihat bahwa jika semakin tinggi temperatur pemanasan yang digunakan maka akan menurunkan nilai kekerasan baja S50C. Penurunan nilai kekerasan terbesar pada temperatur 500°C dengan tingkat penurunan kekerasan sebesar 37,8 % atau dengan nilai kekerasan akhir 33,15 HRC. Penurunan tingkat kekerasan terendah pada temperatur 100°C dengan tingkat penurunan 0,9% atau dengan nilai kekerasan 55,9 HRC. Untuk memudahkan pengamatan data dibuat menjadi chart yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Hubungan Antara Temperatur *Tempering* Dan Nilai Kekerasan

Dari penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Septian dkk [14] diperoleh hasil penurunan kekerasan jika temperatur *tempering* dinaikan, Khalid [15] juga memperoleh hasil yang sama dengan rentang temperatur lebih lebar. Pengaruh penurunan nilai kekerasan dikarenakan terdapat sisa γ pada

proses *tempering*. semakin tinggi suhu *tempering* butiran sementitnya membulat, lebih halus dan besar dibandingkan yang tanpa perlakuan, hal tersebut menyebabkan kekerasan baja menurun dan keuletannya naik" [16].

4. SIMPULAN

Baja S50C yang digunakan merupakan baja *mild steel* yang mempunyai komposisi sebagai berikut C = 0.45 %, Si = 0.25 %, Mn = 0,75 %, P = 0.018 %, S = 0.004%, Cr = 0.01 %, Ni = 0.01 %, Cu = 0.007 %. Eksperimen taguchi dilaksanakan dengan Matrik ortogonal L9(3⁴) dengan derajat kebebasan eksperimen adalah 4 derajat kebebasan. Hasil optimasi yang diperoleh adalah pada temperatur 880°C dan media pendingin air garam. Hasil *tempering* terbesar pada temperatur 100°C dan terendah pada 500°C, semakin tinggi temperatur *tempering* maka kekerasan baja S50C semakin rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. George S, C. Henry R dan V. John A, "carbon steel," dalam *Materials Handbook*, p. 171.
- [2] D. D. Y. N. ,. A. R. a. A. S. Juliansyah, "Peningkatan Ketangguhan Impact Pisau Pemotong Rumput Dengan Perlakuan Panas Dengan Menggunakan Media Pendingin Radiator Dan Udara," *J. Renew. Energy Mech.*, pp. 17-26, 2019.
- [3] Meli, G. S. Lubis dan R. A. Wicaksono, "Analisa Pengaruh Heat Treatment Nilai Uji Kekerasan Pada Mata Pisau Mesin Pencacah Botol Limbah Plastik," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, vol. 3, pp. 27-31, 2022.
- [4] M. . A. Jaelani , M. F. Sidiq dan G. R. Wilis , "Analisa Penguatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Organik Dengan Proses Heat Treatment Bertingkat," *CRANKSHAFT*, vol. 4, pp. 93-102, 2021.
- [5] Sumpena, H. Hb. Sukarjo, W. dan S. S. Pramana, "Analisa Kekerasan dan Keausan Cylinder Sleeve dari Besi Cor Kelabu," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 5, pp. 97-103, 2021.
- [6] L. H. Vlack, *Elements of Materials Science and Engineering*, Jakarta: Erlangga, 1986.
- [7] H. Mustofa, H. Supriadi dan Z. , "Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045 Yang Diquenching Dalam Media Pendingin Tersirkulasi," *FEMA*, vol. 8, pp. 6-16, 2020.
- [8] L. Jiangyin Xingcheng Special Steel Works Co., "Quality Certificate," Jiangyin, 2020.
- [9] I. Soejanto, *Desain Eksperimen dengan Metoda Taguchi*, Yogyakarta: Garaha Ilmu, 2009.
- [10] N. Iriawan dan S. P. Astuti, *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Yogyakarta: ANDI, 2006.
- [11] M. Andreansyah, R. D. Anjani dan V. Naubnome, "Pengaruh Proses Heat Treatment (Quenching dan Tempering) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah," *Serambi Engineering*, vol. IX, pp. 64-72, 2024.
- [12] R. Naibaho, "Analisis Struktur Mikro Dan Kekerasan Terhadap Perbedaan Media Pendingin Pada Proses Pengerasan Baja," *ATDS SAINTECH*, vol. 2, pp. 12-20, 2021.
- [13] A. R. Fachrudin dan . F. A. Frida Astuti, "Analisis Proses Hardening terhadap Kekerasan Baja SKS 3 dengan Variasi Temperatur dan Media Pendingin," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*, vol. 3, pp. 109-115, 2023.
- [14] S. Pranata, A. T. Husni dan R. Afriany, "Pengaruh Variasi Suhu Tempering 200oC 400oC 600oC Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Baja JIS G4801 Sup 9," *TEKNIKA*, pp. 216-224, 2020.
- [15] Khalid, Khardiman dan N. Viktor, "Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Baja AISI 1045 Sebagai Bahan Pisau Mesin Pencacah PLastik," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 12, pp. 19-25, 2020.
- [16] S. Mahardika, "Analisa Rekayasa Sifat Mekanik Baja Aisi 4140 Dengan Variasi Suhu Tempering Untuk Meningkatkan Keuletan Dan Kekerasan Material," *Mekanova*, pp. 64-69, 2020.