

PENGARUH *HOLDING TIME* PROSES *HARDENING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN UJI TARIK PADA *ALLOY STEEL 4140*

Zainul Mutaqin¹, Priyagung Hartono², Artono Raharjo³

^{1,2,3}) Universitas Islam Malang

email: zainulmutaqin250220@gmail.com; priyagung@unisma.ac.id; artonor@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *holding time* dalam proses *hardening* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada material *Alloy Steel 4140*. Proses perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan spesimen pada suhu 800°C dan variasi waktu penahanan selama 15, 25, dan 35 menit, dilanjutkan proses *quenching* menggunakan oli SAE 10-40, serta proses *tempering* pada suhu 250°C, 350°C, dan 450°C. Pengujian dilakukan meliputi uji tarik dan pengamatan struktur mikro. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan waktu penahanan menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Proses tempering menyebabkan transformasi struktur martensit menjadi ferit dan perlit dengan ukuran butir yang lebih besar dan lebih homogen. Struktur mikro dengan komposisi perlit tertinggi dicapai pada suhu tempering 250°C dengan *holding time* 35 menit. Sementara itu, perlakuan terbaik diperoleh pada suhu tempering 450°C dan *holding time* 15 menit, dengan kombinasi kekuatan tarik tinggi serta keuletan dan ketangguhan yang meningkat.

Kata Kunci: *Alloy Steel 4140, holding time, hardening, tempering, struktur mikro, uji tarik.*

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of varying holding times during the hardening process on the mechanical properties and microstructure of Alloy Steel 4140. Heat treatment was carried out by heating the specimens at 800°C with holding times of 15, 25, and 35 minutes, followed by quenching using SAE 10-40 oil, and tempering at 250°C, 350°C, and 450°C. The tests conducted included tensile testing and microstructural observation. The results showed that increasing the holding time led to a decrease in tensile strength, strain, and elastic modulus. The tempering process transformed the martensitic structure into ferrite and pearlite with larger and more homogeneous grain structures. The highest pearlite composition was obtained at a tempering temperature of 250°C with a holding time of 35 minutes. Meanwhile, the optimal treatment was achieved at 450°C tempering temperature with a 15-minute holding time, resulting in high tensile strength along with improved ductility and toughness.

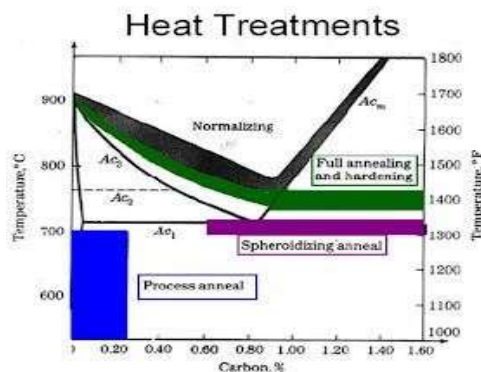
Keywords: *Alloy Steel 4140, holding time, hardening, tempering, microstructure, tensile test.*

PENDAHULUAN

Baja merupakan jenis material yang banyak digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan mesin-mesin industri maupun otomotif. Sifat pada baja tergantung dengan unsur yang ada di dalam baja itu sendiri dan beberapa jenis tertentu memiliki sifat yang dapat diubah melalui proses perlakuan panas [1].

Baja AISI 4140 atau biasa disebut *Alloy Steel 4140* merupakan baja yang menggunakan standar *American Iron and Steel Institute* (AISI). Baja AISI 4140 memiliki paduan menengah dengan komposisi C (0.38-0.43%), Mn (0.75-1.00%), Si (0.20-0.35%), Cr (0.80-1.10%), Mo (0.15-0.25%), P ($\leq 0.035\%$) serta S ($\leq 0.04\%$). Berdasarkan kandungan elemen tersebut, memungkinkan baja AISI 4140 untuk dapat diberi perlakuan panas (*heat treatment*) [2].

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan spesimen pada elektik *furnace* (tungku) pada temperatur dan periode waktu yang ditentukan [3]. Secara umum, proses perlakuan panas dapat merubah dari faktor kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan korosi [4]. Adapun grafik dari proses perlakuan panas sebagai berikut.



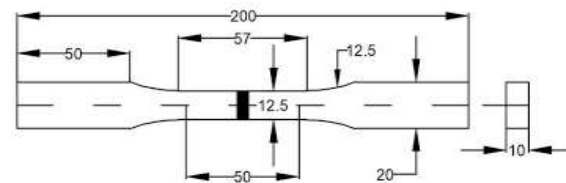
[5]

Beberapa proses dari perlakuan panas pada suatu baja adalah *hardening* dan *holding time*. *Hardening* merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan benda kerja yang keras. Tujuan utama dalam proses pengerasan adalah untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus

suatu benda kerja. Waktu penahanan (*holding time*) adalah tahap dalam perlakuan panas yang mempertahankan baja pada suhu pengerasan yang konsisten. Hal ini dilakukan untuk mencapai pemanasan yang merata, sehingga struktur austenitnya menjadi seragam dan karbida dapat terlarut dalam austenit [6].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental langsung dengan meneliti obyek secara langsung. Penelitian ini menggunakan spesimen baja karbon sedang yaitu *Alloy Steel 4140*. Perlakuan pertama pemtongan spesimen sesuai pada gambar berikut.



Gambar 1 Desain Spesimen

Proses *hardening* pada 27 spesimen *Alloy Steel 4140* pada temperatur 800°C. Variasi *tempering* yang digunakan pada temperatur 250°C, 350°C, 450°C, serta variasi *hardening* ditahan pada waktu 15 menit, 25 menit, 35 menit. Setelah selesai maka dilanjutkan pada tahap *quenching* dengan media pendingin oli SAE 10-40.

Setelah proses perlakuan panas, dilanjutkan ke tahap pengujian baja AISI 4140. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik dan uji pengamatan struktur mikro (metalorogi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian didapatkan data uji tarik dan uji pengamatan struktur mikro

1. Data Hasil Pengujian Tarik

Data yang ditampilkan meliputi tebal (mm), lebar (mm), luas (mm²), panjang awal (mm), panjang akhir (mm), serta beban (N) untuk setiap kondisi waktu penahanan dan temperatur yang diuji

Tabel 1 Data Hasil Uji Tarik

No.	Holding time	Suhu Tempering	Fraksi berat	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)	Beban (N)
1	15	250 ⁰		6	20	120	200	214.0	3889.80
				6	20	120	200	214.5	3818.20
				6	20	120	200	214.5	3909.60
		350 ⁰		6	20	120	200	214.5	3958.60
				6	20	120	200	218.5	3998.00
				6	20	120	200	219.9	3919.60
		450 ⁰		6	20	120	200	219.0	3958.20
				6	20	120	200	221.5	4019.20
				6	20	120	200	221.1	4178.20
2	25	250 ⁰		6	20	120	200	221.1	3487.80
				6	20	120	200	215.0	3343.20
				6	20	120	200	214.0	3200.20
		350 ⁰		6	20	120	200	216.5	3527.60
				6	20	120	200	215.5	3555.60
				6	20	120	200	220.0	3423.00
		450 ⁰		6	20	120	200	214.0	3785.80
				6	20	120	200	215.0	3695.40
				6	20	120	200	218.5	3719.40
3	35	250 ⁰		6	20	120	200	214.5	2792.60
				6	20	120	200	222.0	2949.60
				6	20	120	200	221.0	2799.60
		350 ⁰		6	20	120	200	215.0	2994.20
				6	20	120	200	216.6	2916.00
				6	20	120	200	215.0	3023.00
		450 ⁰		6	20	120	200	220.0	3201.20
				6	20	120	200	218.5	3098.60
				6	20	120	200	214.6	3502.00

Pada tabel 1 data hasil uji tarik dari penelitian, dapat dihitung besar nilai kekuatan tarik dari setiap spesimen dengan perhitungan rumus:

$$\text{Tegangan Tarik : } \sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

σ : tegangan (stress) N/mm²

F : gaya tarikan N

A : luas penampang mm²

$$\text{Regangan: } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Keterangan:

ε : regangan (strain)
 Δl : pertambahan panjang mm
 L : panjang awal mm

Modulus elastisitas: $E = \sigma / \varepsilon$

Keterangan:

E : modulus elastisitas
 σ : tegangan (stress)

ε : regangan (strain)

Dengan perhitungan di atas, maka didapat hasil perhitungan untuk data pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengolahan Data Uji Tarik

Holding Time	Temperatur	Tegangan tarik (N/mm ²)	Rata-rata	Regangan (%)	Rata-rata	Modulus elastisitas	Rata-rata
15	250	32.42	32.2711	0,07	0.0713	463.07	461.0159
		31.82		0,072		454.55	
		32.58		0,072		465.43	
	350	32.99	32.9894	0,072	0.0877	471.26	471.2778
		33.32		0,092		475.95	
		32.66		0,099		466.62	
	450	32.99	33.7656	0,095	0.1023	471.21	482.3651
		33.49		0,107		478.48	
		34.82		0,105		497.40	
25	250	29.07	27.8644	0,105	0.0833	415.21	398.0635
		27.86		0,075		398.00	
		26.67		0,07		380.98	
	350	29.40	29.1839	0,083	0.0870	419.95	416.9127
		29.63		0,077		423.29	
		28.53		0,101		407.50	
	450	31.55	31.1128	0,07	0.0880	450.69	444.4683
		30.80		0,077		439.93	
		31.00		0,093		442.79	
35	250	23.27	23.7272	0,072	0.0957	332.45	338.9603
		24.58		0,11		351.14	
		23.33		0,105		333.29	
	350	24.95	24.8144	0,075	0.0981	356.45	354.4921
		24.30		0,083		347.14	
		25.19		0,075		359.88	
	450	26.68	27.2272	0,1	0.0989	381.10	388.9603
		25.82		0,092		368.88	
		29.18		0,073		416.90	

a. Grafik Tegangan Hasil Uji Tarik



Gambar 2 Grafik Tegangan Holding Time 15 menit

Pada proses holding time 15 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 33,7656, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan menjadi 32,9894. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 32,2711 hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.



Gambar 3 Grafik Tegangan Holding Time 25 menit

Pada proses holding time 25 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 31,1128, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan menjadi 29,1839. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 27,8644 hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda

semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.



Gambar 4 Grafik Tegangan Holding Time 35 menit

Pada proses holding time 35 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 27,2272, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan menjadi 24,8144. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 23,7272. hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.

b. Grafik Regangan Hasil Uji Tarik



Gambar 5 Grafik Regangan Holding Time 15 menit

Pada proses holding time 15 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 0,1023, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan menjadi 0,0877. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 0,0713 hal ini juga

menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.



Gambar 6 Grafik Regangan Holding Time 25 menit

Pada proses holding time 25 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 0,088, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan menjadi 0,087. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 0,0833 hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.

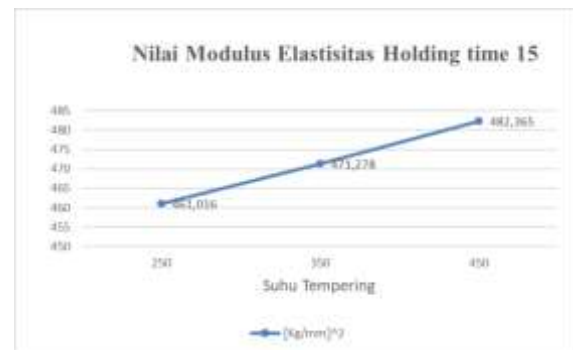


Gambar 7 Grafik Regangan Holding Time 35 menit

Pada proses holding time 35 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 0,0989, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan

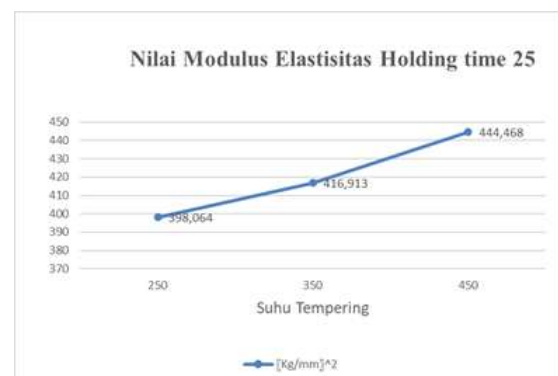
menjadi 0,0981. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 0,0957. hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.

c. Grafik Modulus Elastisitas Hasil Uji Tarik



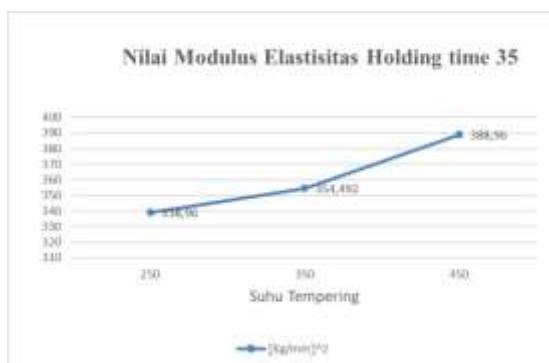
Gambar 8 Grafik Modulus Elastisitas Holding Time 15 menit

Pada proses holding time 15 menit nilai uji tarik yang paling tinggi, yaitu pada suhu tempering 450°C dengan tingkat uji tarik 482,365, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350°C mengalami penurunan menjadi 471,278. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250°C kembali mengalami penurunan 461,016 hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar, maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.



Gambar 9 Grafik Modulus Elastisitas Holding Time 25 menit

Pada proses holding time 25 menit nilai uji tarik yang paling tinggi , yaitu pada suhu tempering 450⁰C dengan tingkat uji tarik 444,468, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350⁰C mengalami penurunan menjadi 416,913. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250⁰C kembali mengalami penurunan 398,064 hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar,maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.



Gambar 10 Grafik Modulus Elastisitas Holding Time 35 menit

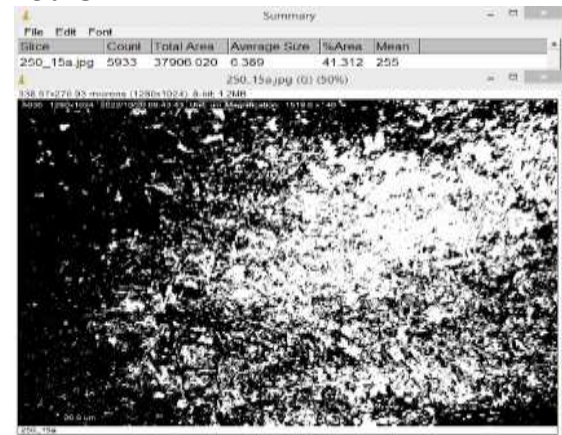
Pada proses holding time 35 menit nilai uji tarik yang paling tinggi , yaitu pada suhu tempering 450⁰C dengan tingkat uji tarik 388,96, sedangkan nilai uji tarik pada suhu tempering 350⁰C mengalami penurunan menjadi 354,492. Nilai uji tarik pada suhu tempering 250⁰C kembali mengalami penurunan 338,96 hal ini juga menjelaskan bahwa suhu tempering menjadi salah satu faktor perubahan nilai uji tarik, apabila nilai uji tarik suatu benda semakin besar,maka sifat yang dimiliki benda tersebut semakin keras/lunak.

2. Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Mikrostruktur atau struktur mikro merupakan fasa-fasa yang terdistribusi pada logam yang dapat diamati melalui mikro test atau metalografi. Dari struktur mikro, dapat juga dilihat bentuk dan ukuran

butir pada baja. Struktur mikro ini meliputi fasa yang setimbang dan tidak setimbang.

a. Analisa Struktur Mikro Tempering 250⁰C



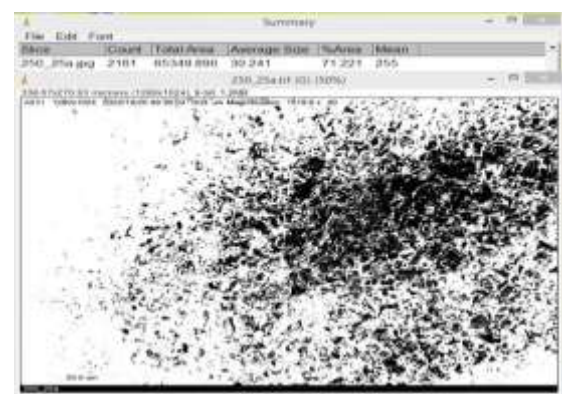
Gambar 11 Tempering 250⁰C, Holding Time 15 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 250⁰C, Holding Time 15 menit:

Tabel 3 Analisis Struktur Mikro Tempering 250⁰C, Holding Time 15 menit

Count	5933
Total area	37906.020
Average size	6,389
%area	41,312

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 250⁰C, *holding time* 15 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 41,312% dan presentase ferrit sebesar 58,688.



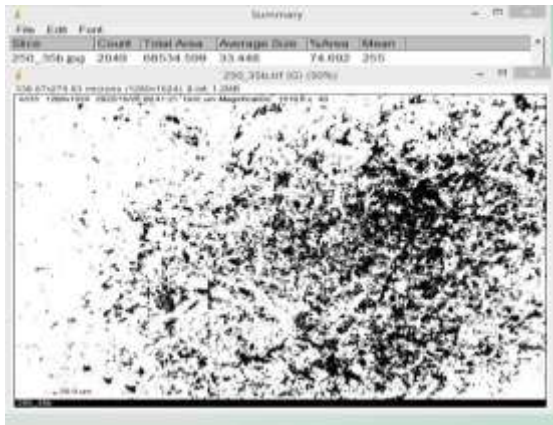
Gambar 12 Tempering 250⁰C, Holding Time 25 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 250°C, Holding Time 25 menit:

Tabel 4 Analisis Struktur Mikro Tempering 250°C, Holding Time 25 menit

Count	2161
Total area	65349,890
Average size	30,241
%area	71,221

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 250°C, *holding time* 25 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 71,221% dan presentase ferit sebesar 28,779%.



Gambar 13 Tempering 250°C, Holding Time 35 menit

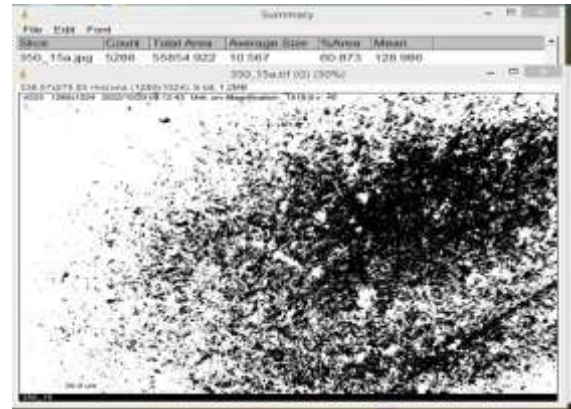
Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 250°C, Holding Time 35 menit:

Tabel 5 Analisis Struktur Mikro Tempering 250°C, Holding Time 35 menit

Count	2049
Total area	68534,599
Average size	33,448
%area	74,692

Tabel 5 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 250°C, *holding time* 35 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 74,692% dan presentase ferit sebesar 25,308%.

b. Analisa Struktur Mikro Tempering 350°C



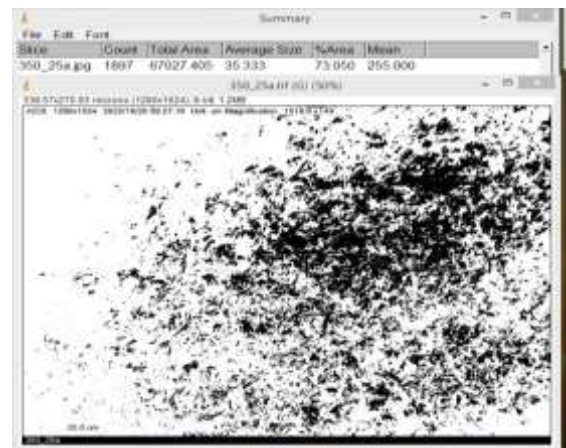
Gambar 14 Tempering 350°C, Holding Time 15 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 350°C, Holding Time 15 menit:

Tabel 6 Analisis Struktur Mikro Tempering 350°C, Holding Time 15 menit

Count	5286
Total area	55854,922
Average size	10,567
%area	60,873

Tabel 6 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 350°C, *holding time* 15 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 60,873% dan presentase ferit sebesar 39,127%.



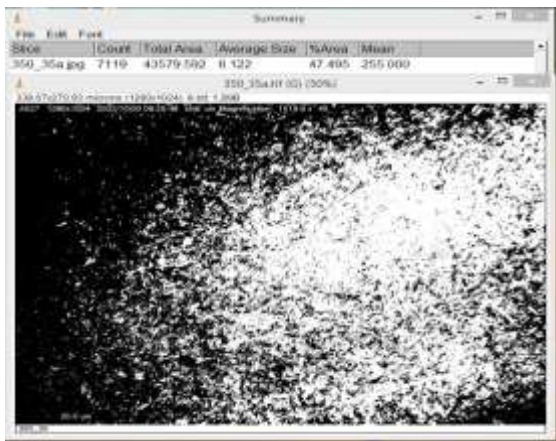
Gambar 15 Tempering 350°C, Holding Time 25 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 350°C, Holding Time 25 menit:

Tabel 7 Analisis Struktur Mikro Tempering 350°C, Holding Time 25 menit

Count	1897
Total area	67027,405
Average size	35,333
%area	73,050

Tabel 7 menunjukkan hasil analisis struktur mikro Tempering 350°C, *holding time* 25 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 73,050% dan presentase ferit sebesar 26,950%.



Gambar 16 Tempering 350°C, Holding Time 35 menit

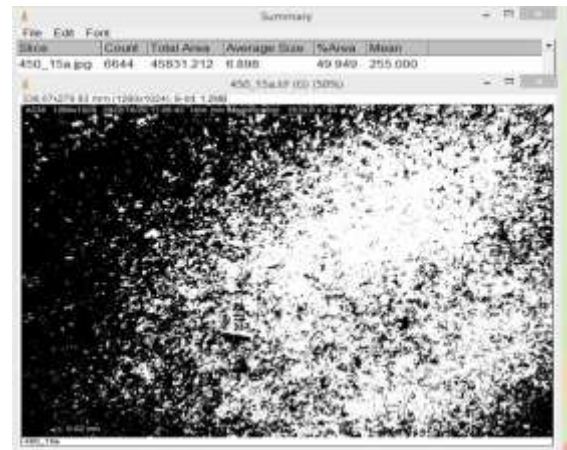
Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 350°C, Holding Time 35 menit:

Tabel 8 Analisis Struktur Mikro Tempering 350°C, Holding Time 35 menit

Count	7119
Total area	43579,592
Average size	6,122
%area	47,495

Tabel 8 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 350°C, *holding time* 35 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 47,495% dan presentase ferit sebesar 52,505%.

c. Analisa Struktur Mikro Tempering 450°C



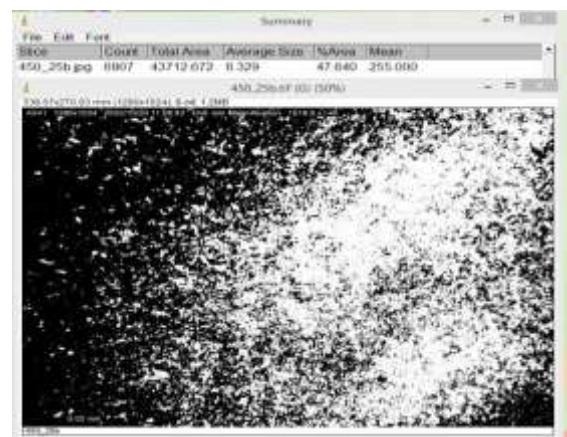
Gambar 17 Tempering 450°C, Holding Time 15 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 450°C, Holding Time 15 menit:

Tabel 9 Analisis Struktur Mikro Tempering 450°C, Holding Time 15 menit

Count	6644
Total area	45831,212
Average size	6,898
%area	49,949

Tabel 9 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 450°C, *holding time* 15 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 49,949% dan presentase ferit sebesar 50,051%.



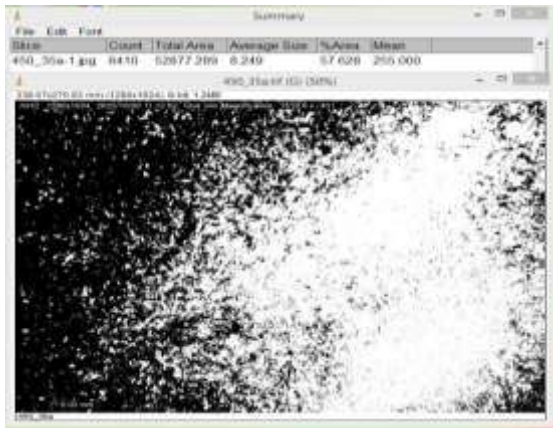
Gambar 18 Tempering 450°C, Holding Time 25 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 450°C, Holding Time 25 menit:

Tabel 10 Analisis Struktur Mikro Tempering 450°C, Holding Time 25 menit

Count	6907
Total area	43712,672
Average size	6,329
%area	47,640

Tabel 10 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 450°C, *holding time* 25 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 47,640% dan presentase ferit sebesar 52,360%.



Gambar 19 Tempering 450°C, Holding Time 35 menit

Nilai Presentase Struktur Mikro Tempering 450°C, Holding Time 35 menit:

Tabel 11 Analisis Struktur Mikro Tempering 450°C, Holding Time 35 menit

Count	6410
Total area	52877,289
Average size	8,249
%area	57,628

Tabel 11 menunjukkan hasil analisis struktur mikro pada Tempering 450°C, *holding time* 35 menit struktur mikro pada *alloy steel* 4140 menghasilkan nilai presentase perlit yaitu sebesar 57,628% dan presentase ferit sebesar 42,372%.

Tabel 12 Hasil Perhitungan Persentase Struktur Mikro

	250°C			350°C			450°C		
	15 mnt	25 mnt	35 mnt	15 mnt	25 mnt	35 mnt	15 mnt	25 mnt	35 mnt
Count	5933	2161	2049	5286	1897	7119	6644	6907	6410
Total area	37906.020	65349,890	68534,599	55854,922	67027,405	43579,592	45831,212	43712,672	52877,289
Avg size	6,389	30,241	33,448	10,567	35,333	6,122	6,898	6,329	8,249
%area	41,312	71,221	74,692	60,873	73,050	47,495	49,949	47,640	57,628

KESIMPULAN

1. Pengujian menunjukkan bahwa semakin lama holding time nilai kekuatan tariknya menurun. Terjadi perubahan struktur mikro, raw materials mempunyai struktur perlit dan ferit, struktur martensit didapat setelah dilakukan proses hardening, proses tempering akan mengurai struktur martensit menjadi ferit dan perlit kembali dengan susunan kristal yang lebih besar dan homogen yang mengakibatkan kekuatan meningkat dari spesimen raw materials.
2. Penampang patah spesimen menunjukan patah getas pada spesimen patah ulet ditunjukan pada spesimen hasil proses tempering. Uraian tersebut dapat disimpulkan semakin lama holding time temper kekuatan akan menurun. Proses tempering pada suhu 5250C dengan holding time 15 menit tempering 450 derajat yang terbaik karena kekuatan turun tidak begitu tinggi dan keuletan serta ketangguhannya meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam, atas dukungan dan bantuan materil maupun teori pada saat penelitian kepada Bapak Dr. Ir. Priyagung Hartono, M.T., Bapak Artono Raharjo, S.T., M.T., serta keluarga dan teman-teman penelitian yang selalu *support* dalam bentuk doa maupun tindakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Mizhar, D. Gerhana, and B. Tampubolon, "MEKANIK," 2015.
- [2] S. Mahardika, "2306-5071-1-SM," Apr. 2020.
- [3] A. Ilham, "5120-18146-1-PB," Jun. 2023.
- [4] A. H. Razak and A. Tangkemandi, *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*.
- [5] R. Kusnowo, "Analisa Uji Kekerasan dan Uji Tarik Material AISI P20 Mod. Hasil Perlakuan Hardening dan Tempering," *Jurnal Teknologi Terapan* |, vol. 1, no. 1, 2015.
- [6] M. H. Alfariji Munandar, K. Kardiman, and D. T. Santoso, "Pengaruh Variasi Holding Time Pada Proses Heat Treatment (Hardening) Untuk Baja S50c Sebagai Pisau Mesin Pencacah Kayu," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 6, no. 2, pp. 127–136, Dec. 2023, doi: 10.29407/jmn.v6i2.20304.