

PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU TAHAN HEAT TREATMENT TERHADAP KEKERASAN DAN KEULETAN BAJA AISI 1045

Daffa Riko Putra

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: daffa.22031@mhs.unesa.ac.id

Nur Aini Susanti

Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: nursusanti@unesa.ac.id

ABSTRAK

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang yang banyak digunakan pada komponen industri karena memiliki sifat mekanik yang baik, namun masih berpotensi mengalami retak atau patah akibat beban kerja yang tinggi. Peningkatan sifat mekanik dapat dilakukan melalui proses *heat treatment* dengan memvariasikan suhu pemanasan dan waktu tahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kedua parameter tersebut terhadap kekerasan dan keuletan baja AISI 1045 serta menentukan kondisi perlakuan yang paling optimal. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi suhu 800°C dan 900°C serta waktu tahan 20, 30, dan 40 menit menggunakan media pendingin air mineral. Pengujian dilakukan menggunakan metode kekerasan Rockwell skala C dan uji tarik sesuai standar ASTM E8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu dan waktu tahan berpengaruh signifikan terhadap kekerasan dan keuletan baja AISI 1045. Nilai kekerasan meningkat dari 14,83 HRC menjadi 60,33 HRC, sedangkan kekuatan tarik maksimum naik dari 529,71 MPa menjadi 1.200,73 MPa pada perlakuan suhu 900°C dengan waktu tahan 40 menit. Sebaliknya, regangan tarik menurun dari 16,735% menjadi 5,175% akibat dominasi fasa martensit yang mengurangi keuletan material. Berdasarkan hasil tersebut, kombinasi suhu 900°C dan waktu tahan 40 menit menghasilkan sifat mekanik terbaik, sedangkan perlakuan pada suhu 900°C selama 30 menit memberikan hasil yang tidak berbeda nyata sehingga dapat menjadi alternatif yang lebih efisien.

Kata kunci: Baja AISI 1045, *heat treatment*, suhu, waktu tahan, kekerasan, keuletan.

ABSTRACT

AISI 1045 steel is a medium-carbon steel widely used in industrial components due to its favorable mechanical properties; however, it remains susceptible to cracking and fracture under high working loads. Mechanical properties can be improved through the heat treatment process by varying the heating temperature and holding time. This study aimed to analyze the effects of these parameters on the hardness and ductility of AISI 1045 steel and to determine the optimum heat treatment conditions. An experimental method was employed using heating temperatures of 800°C and 900°C with holding times of 20, 30, and 40 minutes, followed by water quenching using mineral water. Mechanical properties were evaluated through Rockwell hardness testing on the C scale and tensile testing in accordance with ASTM E8 standards. The results indicated that both heating temperature and holding time significantly affected the hardness and ductility of AISI 1045 steel. The hardness increased from 14.83 HRC to 60.33 HRC, while the maximum tensile strength improved from 529.71 MPa to 1,200.73 MPa at a heating temperature of 900°C with a holding time of 40 minutes. Conversely, the tensile elongation decreased from 16.735% to 5.175%, indicating reduced ductility due to the predominance of the martensite phase. Overall, the heat treatment condition of 900°C with a 40-minute holding time produced the optimum mechanical properties, whereas the treatment at 900°C for 30 minutes showed no statistically significant difference and may therefore serve as a more efficient alternative.

Keywords: AISI 1045 steel, *heat treatment*, temperature, holding time, hardness, ductility.

PENDAHULUAN

Baja merupakan paduan besi dan karbon yang banyak dimanfaatkan dalam industri karena memiliki sifat mekanik yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan (Nasution & Nasution, 2020). Salah satu jenis yang banyak digunakan adalah baja AISI 1045, yaitu baja karbon

menengah dengan kandungan karbon 0,43–0,50% yang memiliki kekuatan dan ketahanan aus yang baik sehingga sering diaplikasikan pada berbagai komponen mesin (Avner, 1974). Meskipun demikian, baja ini masih berpotensi mengalami keretakan, deformasi, maupun patah akibat beban kerja yang tinggi, sehingga diperlukan upaya

untuk meningkatkan kualitas sifat mekaniknya, terutama kekerasan dan keuletan (Nur & Mahjoeddin, 2022).

Salah satu metode yang banyak diterapkan adalah *heat treatment*, yaitu proses perlakuan panas yang meliputi pemanasan hingga temperatur tertentu, penahanan (*holding time*), dan pendinginan untuk menghasilkan perubahan struktur mikro yang mampu memperbaiki karakteristik material (Yusuf *et al.*, 2021). Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi media pendingin, temperatur pemanasan, maupun waktu tahan berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan, ketangguhan, dan kekuatan tarik baja AISI 1045. Namun, sebagian besar penelitian hanya mengkaji satu parameter perlakuan panas atau lebih berfokus pada peningkatan kekerasan, sehingga kajian mengenai pengaruh simultan variasi suhu dan waktu tahan terhadap keseimbangan antara kekerasan dan keuletan masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kombinasi suhu pemanasan 800°C dan 900°C serta waktu tahan 20, 30, dan 40 menit menggunakan media pendingin air mineral terhadap sifat mekanik baja AISI 1045. Karakterisasi material dilakukan melalui pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell skala C dan pengujian tarik untuk mengevaluasi keuletan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kombinasi parameter *heat treatment* yang paling efektif dalam menghasilkan keseimbangan optimal antara kekerasan dan keuletan sehingga dapat dijadikan acuan dalam penerapan baja AISI 1045 pada berbagai kebutuhan industri.

JENIS PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (*experimental research*) untuk menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu tahan pada proses *heat treatment* terhadap sifat mekanik baja AISI 1045. Variasi suhu pemanasan dan waktu tahan ditetapkan sebagai variabel bebas, sedangkan kekerasan dan keuletan sebagai variabel terikat yang diukur melalui pengujian setelah perlakuan diberikan. Penelitian ini termasuk *true experimental design* karena seluruh proses eksperimen dilakukan dalam kondisi yang terkontrol, dengan pengendalian terhadap faktor-faktor lain, seperti jenis material, media pendinginan, dan laju pemanasan, sehingga perubahan sifat mekanik yang diperoleh dapat dipastikan berasal dari perlakuan yang diberikan.

TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Tahan pada Proses Heat Treatment terhadap Kekerasan dan Keuletan Baja AISI 1045” dilaksanakan di Laboratorium Perlakuan dan Pengujian Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri

Malang. Kegiatan penelitian dimulai setelah proposal tugas akhir dinyatakan lulus dalam seminar proposal dan memperoleh persetujuan untuk dilaksanakan. Seluruh rangkaian penelitian berlangsung pada tanggal 18–20 Mei 2026 hingga data serta hasil analisis yang diperlukan berhasil diperoleh. Selama periode tersebut dilakukan proses *heat treatment*, dilanjutkan dengan pengujian kekerasan dan pengujian tarik terhadap spesimen baja AISI 1045 sebagai dasar dalam menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu tahan terhadap sifat mekanik material.

VARIABEL BEBAS

Dalam penelitian ini, variasi suhu dan waktu tahan ditetapkan sebagai variabel bebas. Variabel bebas merupakan faktor yang sengaja diubah atau dimanipulasi oleh peneliti untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkannya terhadap variabel terikat. Dengan kata lain, variabel ini berperan sebagai penyebab terjadinya perubahan pada variabel yang diamati.

VARIABEL TERIKAT

Pada penelitian ini, kekerasan dan keuletan baja AISI 1045 ditetapkan sebagai variabel terikat. Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh perubahan pada variabel bebas sehingga digunakan sebagai indikator untuk menilai dampak dari perlakuan yang diberikan. Pengamatan dan pengukuran terhadap variabel ini dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh variasi suhu dan waktu tahan yang diterapkan selama proses penelitian.

VARIABEL KONTROL

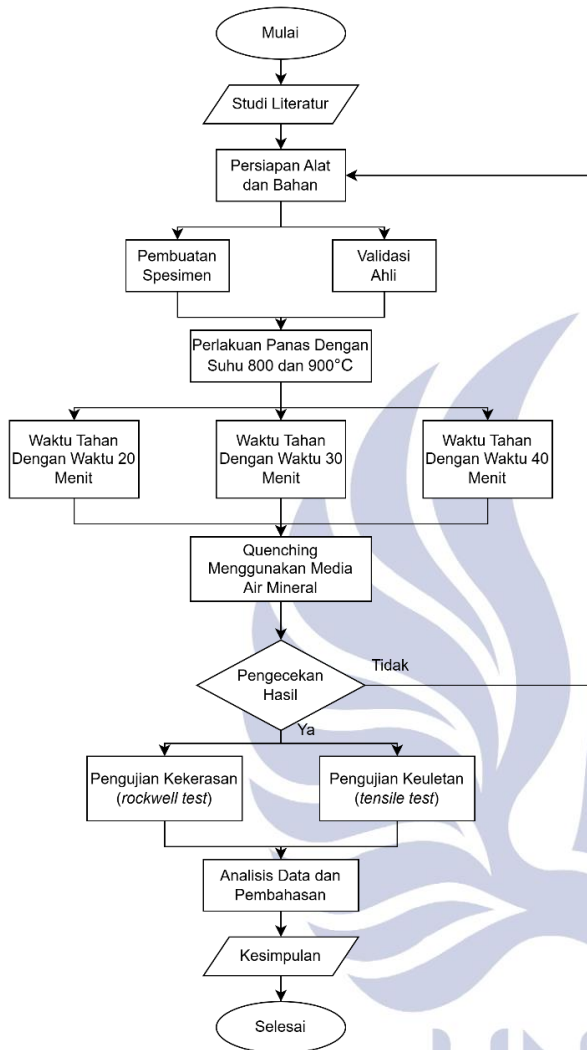
Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat tetap atau dikendalikan oleh peneliti agar pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor lain di luar penelitian. Variabel ini sangat penting terutama dalam penelitian eksperimen untuk menjaga validitas hasil penelitian. Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel kontrol yang digunakan :

- Penelitian ini hanya berfokus pada material baja AISI 1045.
- Waktu dari proses *heat treatment* menuju pengujian bahan di anggap konstan.
- Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah air mineral dalam jumlah 12 - 14 liter.
- Pada penelitian ini variasi suhu yang digunakan adalah 800°C dan 900°C.
- Waktu yang digunakan pada saat proses *quenching* adalah 45 menit.
- Pada penelitian ini variasi waktu tahan yang digunakan 20 menit, 30 menit, 40 menit.
- Penelitian ini tidak meneliti tentang struktur mikro baja AISI 1045.
- Pengujian yang digunakan untuk uji kekerasan

adalah *rockwell test*.

- i. Pengujian yang digunakan untuk uji keuletan adalah *tensile test*.

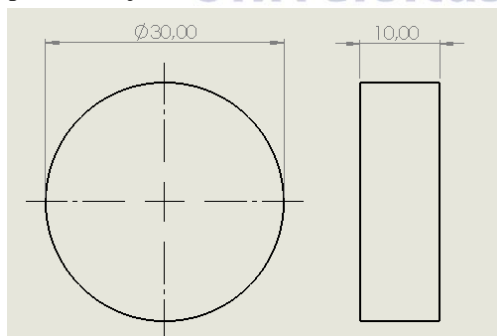
DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir

BENTUK SPESIMEN

- a) Spesimen Uji Kekerasan



Gambar 2. Spesimen Uji Kekerasan

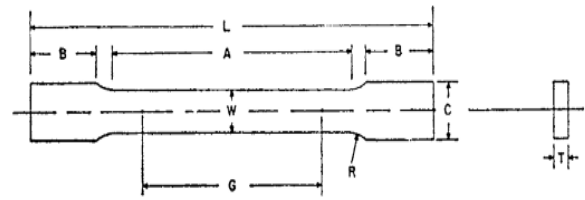
Keterangan :

Diameter = 30mm

Jari-jari = 15mm

Tinggi = 10mm

- b) Spesimen Uji Tarik



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik

Tabel 1. Ukuran Spesimen Uji Tarik

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)							
	G	W	C	R	L	A	B	T
Baja AISI 1045	50	12.5	20	12.5	200	57	50	5

TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini disusun sesuai dengan karakteristik metode eksperimen untuk memperoleh data yang valid mengenai pengaruh variasi suhu dan waktu tahan proses *heat treatment* terhadap kekerasan dan keuletan baja AISI 1045. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap seluruh tahapan perlakuan panas dan pengujian guna memastikan setiap prosedur, mulai dari pengaturan suhu, waktu tahan, hingga proses pendinginan, berlangsung sesuai rancangan penelitian. Selanjutnya, eksperimen dilaksanakan dengan memberikan perlakuan pada spesimen menggunakan variasi suhu 800 °C dan 900 °C serta waktu tahan 20, 30, dan 40 menit untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik material. Seluruh kegiatan penelitian didukung oleh dokumentasi berupa pencatatan hasil pengujian, foto proses dan kondisi spesimen sebelum maupun sesudah perlakuan, serta penyimpanan data dari instrumen pengujian sebagai bukti pelaksanaan penelitian sekaligus pendukung analisis dan penyusunan laporan.

TEKNIK ANALISIS DATA

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengolah hasil pengujian kekerasan dan keuletan baja AISI 1045 setelah proses *heat treatment*. Data yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan variasi suhu pemanasan (800 °C dan 900 °C) serta waktu tahan (20, 30, dan 40 menit), kemudian ditabulasi dan dihitung nilai rata-ratanya agar menghasilkan data yang representatif. Selanjutnya, data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menunjukkan kecenderungan perubahan sifat mekanik akibat setiap perlakuan serta mempermudah analisis hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Tahap akhir dilakukan dengan membandingkan hasil dari setiap variasi perlakuan, kemudian menginterpretasikan temuan berdasarkan konsep teoritis dan hasil penelitian yang relevan sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian.

HASIL

a) Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk menilai perubahan sifat mekanik baja AISI 1045 setelah diberi perlakuan *heat treatment* dengan variasi suhu dan waktu tahan. Nilai kekerasan yang diperoleh mencerminkan kemampuan material dalam menahan deformasi plastis sekaligus menunjukkan pengaruh transformasi struktur selama proses pemanasan dan pendinginan. Selanjutnya, hasil pengujian dianalisis untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan nilai kekerasan pada setiap variasi perlakuan sehingga dapat diketahui pengaruh suhu dan waktu tahan terhadap karakteristik mekanik material serta menentukan kondisi perlakuan panas yang paling efektif. Perbedaan nilai kekerasan untuk masing-masing variasi perlakuan disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan

NO.	Suhu	Waktu tahan	Titik uji			Rata-rata (HRC)
			Ke-1	Ke-2	Ke-3	
1.	800	Raw material	16	14	14,5	14,83
2.		20	26,5	31,5	32,5	30,17
3.		30	44,5	43	46,5	44,67
4.		40	55,5	58	56	56,50
5.	900	20	44	41	42,5	42,50
6.		30	50,5	49	47	48,83
7.		40	57,5	63	60,5	60,33

Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell skala C (HRC) dilakukan dengan menekan permukaan spesimen pada tiga titik menggunakan indenter berlian (*diamond indenter*) dengan beban sebesar 150 kgf.

Perhitungan *hardness rockwell C* (HRC) dengan data yang telah diperoleh dapat disajikan sebagai berikut :

$$HRC = N - \frac{h}{S}$$

$$HRC = 100 - \frac{0,168}{0,002}$$

$$HRC = 100 - 84$$

$$HRC = 16$$

Dengan :

HRC = Nilai Kekerasan *Rockwell* (skala C)

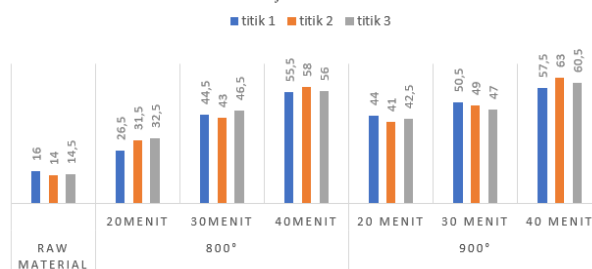
N = Konstanta skala (100)

h = Kedalaman penetrasi

S = Faktor skala (0.002 mm)

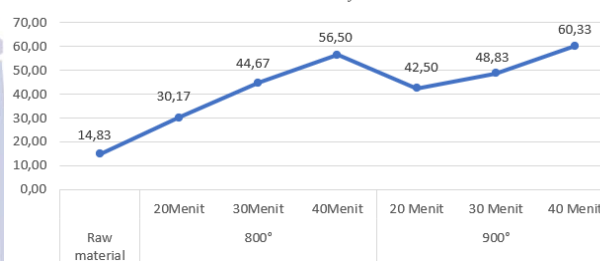
Selanjutnya, seluruh hasil perhitungan yang diperoleh dari setiap variasi perlakuan diolah dan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis perubahan nilai kekerasan.

HASIL UJI KEKERASAN



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kekerasan

RATA - RATA HASIL UJI KEKERASAN



Gambar 5. Grafik Rata - rata Pengujian Kekerasan

Berdasarkan grafik hasil pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell skala C (HRC), proses *heat treatment* terbukti meningkatkan kekerasan baja AISI 1045 pada seluruh variasi temperatur dan waktu penahanan. Material tanpa perlakuan (*raw material*) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 14,83 HRC, yang merupakan nilai terendah karena struktur mikronya masih berada pada kondisi awal dan belum mengalami transformasi fasa. Setelah diberikan perlakuan panas pada temperatur 800°C, nilai kekerasan meningkat dari 30,17 HRC pada waktu tahan 20 menit menjadi 44,67 HRC pada 30 menit dan mencapai 56,50 HRC pada 40 menit. Peningkatan ini menunjukkan bahwa bertambahnya waktu penahanan memberikan kesempatan lebih besar bagi proses difusi atom sehingga pembentukan struktur mikro yang lebih keras berlangsung lebih optimal.

Peningkatan kekerasan yang lebih tinggi diperoleh pada temperatur 900°C. Nilai rata-rata kekerasan berturut-turut mencapai 42,50 HRC pada waktu tahan 20 menit, 48,83 HRC pada 30 menit, dan 60,33 HRC pada 40 menit. Nilai 60,33 HRC merupakan kekerasan tertinggi yang dihasilkan selama penelitian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pemanasan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan kekerasan dibandingkan temperatur 800°C, terutama ketika dikombinasikan dengan waktu penahanan yang lebih lama.

Secara keseluruhan, peningkatan nilai kekerasan dipengaruhi oleh kombinasi temperatur pemanasan dan waktu penahanan selama proses *heat treatment*. Temperatur yang lebih tinggi menghasilkan energi panas yang lebih besar sehingga mempercepat difusi atom dan mendorong transformasi struktur mikro menjadi lebih sempurna. Sementara itu, waktu penahanan yang semakin lama memungkinkan perubahan fasa berlangsung lebih

merata sehingga terbentuk struktur mikro yang lebih homogen dan keras. Kondisi tersebut meningkatkan kemampuan baja AISI 1045 dalam menahan deformasi plastis, sehingga perlakuan pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 40 menit memberikan hasil kekerasan paling optimal dibandingkan variasi perlakuan lainnya.

b) Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengevaluasi sifat mekanik baja AISI 1045 setelah mengalami proses *heat treatment* dengan variasi suhu dan waktu tahan, meliputi tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas (*Young's modulus*). Pada penelitian ini digunakan sebanyak 19 spesimen, yang terdiri atas 1 spesimen *raw material* dan 18 spesimen yang mewakili setiap kombinasi variasi suhu dan waktu tahan, dengan masing-masing perlakuan menggunakan 3 spesimen. Seluruh spesimen dibuat sesuai standar ASTM E8 berbentuk pelat dengan ketebalan 5 mm. Data hasil pengujian tarik dari setiap spesimen selanjutnya disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Hasil Uji Tarik

NO	Suhu	Waktu tahan	Spesimen ke	Beban maks (N)	Displacement (mm)	Tegangan Tarik Maks (Mpa)	Regangan Tarik	Modulus Young (Mpa)	Rata-rata Tegangan Tarik Maks (Mpa)
1	Raw material		1	33106,79	33,47	529,71	0,16735	3.165,27	529,71
2	800	20	1	32771,29	29,63	524,34	0,14815	3.539,26	603,45
3			2	39424,43	29,32	630,79	0,1466	4.302,80	
4			3	40950,46	27,46	655,21	0,1373	4.772,09	
5		30	1	47005,6	23,38	752,09	0,1169	6.433,62	761,64
6			2	42018,19	23,01	672,29	0,11505	5.843,47	
7			3	53784,31	24,89	860,55	0,12445	6.914,82	
8		40	1	54988,97	16,15	879,82	0,08075	10.895,65	876,73
9			2	55224,41	17	883,59	0,085	10.395,18	
10			3	54172,78	16,51	866,76	0,08255	10.499,87	
11		20	1	53887,31	18,7	862,20	0,0935	9.221,36	864,07
12			2	54060,95	21,56	864,98	0,1078	8.023,89	
13			3	54064,87	21,89	865,04	0,10945	7.903,50	
14		30	1	76465,03	17,56	1223,44	0,0878	13.934,40	
15			2	69717,71	16,53	1115,48	0,08265	13.496,47	
16			3	72136,85	16,77	1154,19	0,08385	13.764,93	
17	900	40	1	78458,42	13,92	1255,33	0,0696	18.036,42	1200,73
18			2	71153,89	12,09	1138,46	0,06045	18.833,12	
19			3	75525,04	10,35	1208,40	0,05175	23.350,74	

Penentuan nilai tegangan tarik maksimum pada material diawali dengan menghitung luas penampang spesimen uji yang digunakan. Luas penampang tersebut menjadi parameter penting dalam proses perhitungan tegangan tarik. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mencari nilai A (luas penampang) :

$$A = \text{Lebar} \times \text{Tebal}$$

$$A = 12,5 \times 5$$

$$A = 62,5 \text{ mm}^2$$



Gambar 6. Luas Penampang Spesimen

Setelah nilai luas penampang spesimen diperoleh, tahap berikutnya adalah mengubah nilai massa yang digunakan saat pengujian menjadi gaya atau beban dalam satuan Newton (N). Proses konversi tersebut dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$p = m \times g$$

$$p = 3374,8 \times 9,81$$

$$p = 33106,79 \text{ N}$$

Setelah luas penampang spesimen dan beban maksimum yang mampu diterima material telah diketahui, nilai tersebut selanjutnya digunakan dalam persamaan perhitungan tegangan tarik maksimum. Perhitungan dilakukan menggunakan data pada kondisi *raw material* sebagai contoh, dengan parameter yang telah diperoleh sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{p}{A}$$

$$\sigma = \frac{33106,79}{62,5}$$

$$\sigma = 529,71 \text{ Mpa}$$

Analisis hasil pengujian tarik tidak hanya ditinjau berdasarkan nilai tegangan tarik maksimum, tetapi juga mempertimbangkan nilai regangan material. Parameter regangan digunakan untuk mengetahui kemampuan deformasi spesimen sebelum mengalami kegagalan atau patah. Perhitungan nilai regangan dilakukan menggunakan persamaan dengan mengambil data pada kondisi *raw material* sebagai contoh, dengan parameter yang diketahui sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{33,47}{200} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,16735 \times 100\%$$

$$\varepsilon = 16,735\%$$

Nilai regangan yang telah diperoleh kemudian dikombinasikan dengan nilai tegangan untuk menghitung modulus elastisitas material. Modulus elastisitas digunakan sebagai parameter untuk mengetahui tingkat kekakuan baja AISI 1045 dalam menerima pembebanan tarik pada daerah elastis. Perhitungan nilai modulus elastisitas pada spesimen dilakukan menggunakan persamaan berikut :

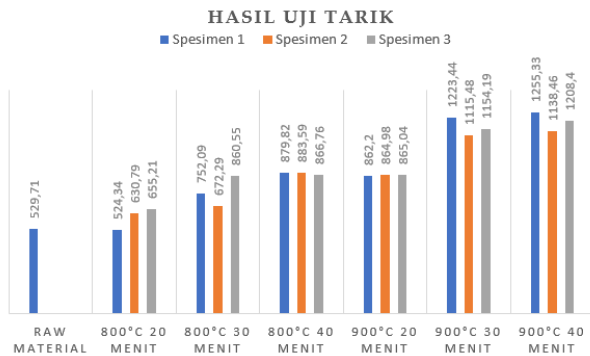
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{529,71}{0,16735}$$

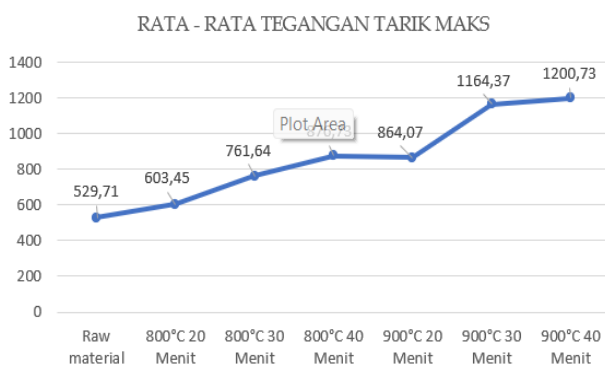
$$E = 3.165,27$$

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang telah dihitung dan disajikan pada tabel sebelumnya, tahap berikutnya adalah melakukan pengolahan data untuk menganalisis perubahan sifat mekanik material. Hasil

pengolahan tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik agar memudahkan proses interpretasi data, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 7. Grafik Hasil Uji Tarik



Gambar 8. Grafik Rata – rata Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada baja AISI 1045 setelah proses *heat treatment* dengan variasi temperatur 800°C dan 900°C serta waktu tahan 20, 30, dan 40 menit, dengan satu spesimen *raw material* sebagai pembanding. Setiap variasi perlakuan diuji menggunakan tiga spesimen untuk memperoleh data yang lebih representatif. Parameter yang dianalisis meliputi beban maksimum, perpindahan (*displacement*), tegangan tarik maksimum, regangan tarik, dan modulus elastisitas. Berdasarkan hasil pengujian, spesimen tanpa perlakuan panas memiliki rata-rata tegangan tarik sebesar 529,71 MPa, modulus Young 3.165,27 MPa, dan regangan 0,16735. Nilai tersebut menjadi acuan awal karena struktur mikro material masih berada pada kondisi awal dan belum mengalami perubahan fasa yang dapat meningkatkan kekuatan mekaniknya.

Pemberian perlakuan panas pada temperatur 800°C menunjukkan peningkatan nilai tegangan tarik seiring bertambahnya waktu tahan. Pada waktu tahan 20 menit, tegangan tarik meningkat menjadi 603,45 MPa, kemudian naik menjadi 761,64 MPa pada 30 menit, dan mencapai 876,73 MPa pada 40 menit. Peningkatan tersebut terjadi akibat proses difusi karbon dan perubahan struktur mikro yang semakin optimal dengan bertambahnya waktu pemanasan. Perlakuan pada temperatur 900°C menghasilkan peningkatan kekuatan tarik yang lebih besar

dibandingkan temperatur 800°C. Nilai tegangan tarik yang diperoleh berturut-turut sebesar 864,07 MPa pada waktu tahan 20 menit, 1.164,37 MPa pada 30 menit, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 1.200,73 MPa pada waktu tahan 40 menit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kombinasi temperatur tinggi dan waktu tahan yang lebih lama mampu menghasilkan perubahan struktur mikro yang lebih efektif sehingga meningkatkan kekuatan material.

Peningkatan tegangan tarik pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 40 menit berkaitan dengan proses austenisasi yang berlangsung lebih sempurna, di mana struktur baja berubah menjadi fasa austenit dan karbon dapat terdistribusi secara lebih merata. Setelah proses pendinginan cepat (*quenching*), fasa austenit tersebut berubah menjadi martensit yang memiliki kekerasan dan kekuatan tinggi. Secara keseluruhan, kenaikan temperatur dari 800°C menjadi 900°C serta peningkatan waktu tahan dari 20 hingga 40 menit memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan tegangan tarik dan modulus elastisitas material. Namun, peningkatan kekuatan tersebut diikuti oleh penurunan nilai regangan, yaitu dari 0,16735 pada *raw material* menjadi 0,05175 pada perlakuan 900°C selama 40 menit, yang menunjukkan bahwa material menjadi lebih keras tetapi cenderung lebih getas. Berdasarkan hasil tersebut, kondisi perlakuan panas paling optimal diperoleh pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 40 menit karena menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi.

PEMBAHASAN

a) Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa proses *heat treatment* meningkatkan nilai kekerasan baja AISI 1045 pada seluruh variasi temperatur dan waktu tahan. Kondisi *raw material* memiliki kekerasan terendah sebesar 14,83 HRC karena struktur mikronya masih berupa ferit dan perlit yang relatif lunak (Suherman, 2003). Pada temperatur 800°C, nilai kekerasan meningkat dari 30,17 HRC (20 menit) menjadi 56,50 HRC (40 menit), sedangkan pada temperatur 900°C meningkat dari 42,50 HRC menjadi 60,33 HRC pada waktu tahan yang sama. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dan waktu tahan mempercepat transformasi struktur ferit-perlit menjadi austenit yang selanjutnya berubah menjadi martensit setelah proses *quenching*, sesuai dengan teori Callister & Rethwisch (2010) yang menyatakan bahwa baja karbon sedang seperti AISI 1045 memiliki rentang suhu austenitisasi optimum antara 800°C–900°C, serta diperkuat oleh Avner (1974) yang menyatakan bahwa peningkatan suhu mempercepat difusi atom karbon ke dalam kisi besi gamma (γ -Fe).

Proses peningkatan kekerasan dipengaruhi oleh difusi karbon selama tahap austenisasi. Waktu tahan yang lebih lama memungkinkan penyebaran karbon berlangsung lebih merata sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen dan pembentukan martensit yang lebih optimal saat pendinginan cepat (Rajan *et al.*, 2011). Sebaliknya, waktu tahan yang singkat menyebabkan transformasi fasa belum berlangsung sempurna sehingga nilai kekerasan lebih rendah (Lanyo *et al.*, 2025).

Berdasarkan hasil pengujian, kondisi perlakuan terbaik diperoleh pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 40 menit yang menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 60,33 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi temperatur tinggi dan waktu tahan yang optimal mampu meningkatkan efektivitas proses *hardening* serta menghasilkan baja AISI 1045 dengan kemampuan lebih baik dalam menahan deformasi (Ponnusamy *et al.*, 2022). Temuan ini juga konsisten dengan penelitian Lanyo *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa proses *heat treatment* mampu meningkatkan kekerasan baja AISI 1045 secara signifikan, serta penelitian Ginting *et al.* (2020) yang melaporkan tren peningkatan kekerasan seiring bertambahnya waktu tahan austenisasi pada baja yang sama.

b) Uji Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan kecenderungan yang sama dengan pengujian kekerasan, yaitu peningkatan kekuatan material seiring kenaikan temperatur dan waktu tahan *heat treatment*. Pada kondisi *raw material*, diperoleh tegangan tarik maksimum sebesar 529,71 MPa, regangan 16,735%, dan modulus Young 3.165,27 MPa, yang menunjukkan material masih memiliki keuletan tinggi karena belum mengalami transformasi struktur mikro. Nilai regangan yang relatif tinggi ini mencerminkan bahwa material masih didominasi oleh fasa ferit-perlit yang bersifat ulet namun memiliki kekuatan terbatas (Callister & Rethwisch, 2010).

Perlakuan panas pada temperatur 800°C meningkatkan tegangan tarik dari 603,45 MPa (20 menit) menjadi 876,73 MPa (40 menit), sedangkan temperatur 900°C menghasilkan peningkatan lebih besar hingga 1.200,73 MPa pada waktu tahan 40 menit. Peningkatan ini terjadi karena temperatur austenisasi baja AISI 1045 telah tercapai, sehingga seluruh struktur ferit-perlit bertransformasi menjadi austenit secara sempurna dan selanjutnya berubah menjadi martensit setelah proses *quenching*. Martensit merupakan fasa terkeras dan terkuat dalam baja karbon sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi awal (Suherman, 2003; Mukhrim *et al.*, 2022).

Peningkatan kekuatan tarik juga diikuti kenaikan modulus Young hingga 18.036–23.350 MPa pada

perlakuan 900°C dengan waktu tahan 40 menit, yang mengindikasikan material semakin kaku akibat dominasi struktur martensit. Namun, kondisi tersebut diiringi penurunan regangan secara konsisten dari 16,735% pada *raw material* menjadi 5,175% pada perlakuan yang sama, yang menunjukkan berkurangnya kemampuan deformasi plastis material. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ponnusamy *et al.* (2022) bahwa proses *hardening* mampu meningkatkan kekuatan dan kekerasan material namun biasanya menyebabkan penurunan keuletan, sebagaimana juga dikonfirmasi oleh Ginting *et al.* (2020) yang melaporkan hubungan berbanding terbalik antara kekerasan dan keuletan pada baja AISI 1045 setelah proses *quenching*.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Variasi temperatur pemanasan dan waktu tahan pada proses *heat treatment* memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekerasan baja AISI 1045. Nilai kekerasan mengalami kenaikan secara bertahap dari 14,83 HRC pada kondisi *raw material* hingga mencapai 60,33 HRC pada perlakuan temperatur 900°C dengan waktu tahan 40 menit.
2. Variasi temperatur dan waktu tahan juga memengaruhi sifat tarik baja AISI 1045. Peningkatan tegangan tarik maksimum terjadi dari 529,71 MPa pada *raw material* menjadi 1.200,73 MPa pada perlakuan 900°C selama 40 menit, namun diikuti penurunan regangan dari 16,735% menjadi 5,175%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan material akibat pembentukan martensit menyebabkan penurunan kemampuan deformasi atau keuletan baja.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi suhu dan waktu tahan terhadap kekerasan serta keuletan baja AISI 1045, beberapa saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Perlu dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan metode seperti mikroskop optik atau SEM untuk memverifikasi perubahan fasa, khususnya pembentukan martensit akibat variasi perlakuan panas.
2. Disarankan menambahkan proses *tempering* setelah *hardening* guna mengevaluasi kemampuan peningkatan keuletan tanpa mengurangi kekerasan material secara signifikan.
3. Penelitian selanjutnya dapat memperluas variasi parameter, seperti rentang suhu, waktu tahan, dan media pendingin yang berbeda untuk memperoleh kombinasi perlakuan optimal pada baja AISI 1045.
4. Pengendalian proses *quenching* perlu dilakukan secara lebih konsisten agar laju pendinginan antar

spesimen seragam dan variasi data hasil pengujian dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Avner, S. H. (1974). *Introduction to physical metallurgy* (2nd ed.). McGraw Hill Book Company.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2010). *Materials science and engineering: An introduction*. John Wiley & Sons.
- Dinata, R., Mardin, & Habib, F. (2022). Pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja AISI 1045 dengan media pendingin air. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(3), 8–13.
- Faris, & Rasyid, A. H. (2023). Pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan dan ketangguhan baja AISI 1045 aplikasi poros motor. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*.
- Ginting, A., et al. (2020). Pengaruh variasi waktu tahan pada austenisasi dengan pendinginan cepat terhadap kekerasan dan ketangguhan baja AISI 1045. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Lanyo, et al. (2025). Analisis pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan nilai kekerasan baja karbon AISI 1045. *Jurnal Teknik Material*.
- Mukhrim, et al. (2022). Pengaruh proses *quenching* terhadap kekuatan tarik baja karbon sedang AISI 1045. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Nasution, A., & Nasution, R. (2020). Karakteristik mekanik baja karbon pada aplikasi industri. *Jurnal Material dan Manufaktur*.
- Nugroho, et al. (2019). Pengaruh parameter perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja karbon. *Jurnal Ilmu Material*.
- Nur, A., & Mahjoeddin, Y. (2022). Analisis kegagalan material baja AISI 1045 pada komponen industri. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Ponnusamy, et al. (2022). Hardening process and its effect on mechanical properties of steel. *Journal of Materials Engineering*.
- Rajan, T. V., Sharma, C. P., & Sharma, A. (2011). *Heat treatment: Principles and techniques*. PHI Learning Private Limited.
- Saparudin, et al. (2015). Tahapan proses *hardening* pada baja karbon. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Suherman, W. (2003). *Ilmu logam*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yusuf, et al. (2021). Pengaruh proses perlakuan panas terhadap transformasi fasa dan sifat mekanik baja. *Jurnal Teknik Material dan Manufaktur*