

# Pengaruh Proses Heat Treatment (*Quenching* dan *Tempering*) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah

Meyzan Andreansyah<sup>1\*</sup>, Ratna Dewi Anjani<sup>2</sup>, Viktor Naubnome<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

\*Koresponden email: meyzanandreansyah66@gmail.com

Diterima: 12 Desember 2023

Disetujui: 23 Desember 2023

## Abstract

Technological advances mean that steel production continues to be developed with better raw materials. Carbon steel is the one of the metals that is widely used in producing machining equipment, but it requires adjustment to the hardness and ductility properties of the steel must be heat treated to obtain properties according to its use from soft to hard. This research aims to determine the effect of cooling media in the quenching process and tempering process on hardness, tensile strength and microstructure. The variations used are variations in temperature and variations in water and oil quenching cooling media. The research method used was the experimental method, using descriptive statistical data analysis techniques, then hardness testing was carried out using the microvickers method, tensile testing, and microstructure observation. The research result showed that the highest hardness value was at a temperature variation of 900°C for the water-cooling medium with a hardness value of 490,1 VHN. The highest average tensile strength was produced by specimens with a heating temperature of 900°C with water cooling media, namely 1051,2 N/mm<sup>2</sup>. And the result of the microstructure test shows structural changes, namely the formation of a martensite structure due to the process of heating the austenite and the cooling it quickly.

**Keywords:** *heat treatment, quenching, tempering, AISI steel 1045*

## Abstrak

Kemajuan teknologi membuat produksi baja terus dikembangkan dengan bahan baku yang lebih baik. Baja karbon sebagai salah satu logam yang banyak digunakan dalam memproduksi peralatan permesinan, akan tetapi dibutuhkan penyesuaian sifat kekerasan dan keuletan baja, maka baja harus diberi perlakuan panas (*heat treatment*) untuk memperoleh sifat-sifat sesuai penggunaannya dari sifat lunak hingga sifat keras. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media pendingin pada proses *quenching* dan proses tempering terhadap kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro. Variasi yang digunakan variasi suhu dan variasi media pendingin *quenching air*, dan oli. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen, dengan menggunakan teknik analisis data statistik deskriptif, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan metode microvickers, pengujian tarik, dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu pada variasi suhu 900°C media pendingin air dengan nilai kekerasan 490,1 VHN. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan suhu pemanasan 900°C media pendingin air yaitu sebesar 1051,2 N/mm<sup>2</sup>. Dari hasil uji struktur mikro terdapat perubahan struktur yakni terbentuknya struktur martensit karena proses pemanasan austenit kemudian didinginkan secara cepat.

**Kata Kunci:** *heat treatment, quenching, tempering, baja AISI 1045*

## 1. Pendahuluan

Baja karbon sedang digunakan dalam pembuatan peralatan permesinan seperti *cutter* dan *shear* karena kemudahan pengolahan dan penyesuaian bentuk sesuai kebutuhan, berkat kandungan karbonnya yang berkisar antara 0,3%-0,6% [1]. Meskipun memiliki potensi besar sebagai bahan baku, baja tersebut tidak cukup keras dengan kandungan karbon di bawah 0,6%, sehingga perlu menjalani perlakuan panas (*heat treatment*) agar memperoleh sifat-sifat yang sesuai, mulai dari keadaan lunak hingga keras [2]. Faktor-faktor kunci seperti temperatur, waktu penahanan, dan media pendingin memiliki pengaruh signifikan [3]. *Quenching*, sebagai bagian dari perlakuan panas, menentukan kekerasan baja tergantung pada media pendingin yang digunakan, yang juga memengaruhi sifat mekaniknya [4]. Variasi suhu pada proses *quenching* juga mempengaruhi hasil kekerasan baja, di mana pemilihan suhu yang tepat penting untuk mencapai kekerasan maksimal [5].

Martensit, hasil transformasi *austenite*, menjadi penentu utama peningkatan sifat mekanis. Namun, dalam pembentukan fasa martensit, tegangan sisa dan getasnya baja perlu ditangani melalui proses

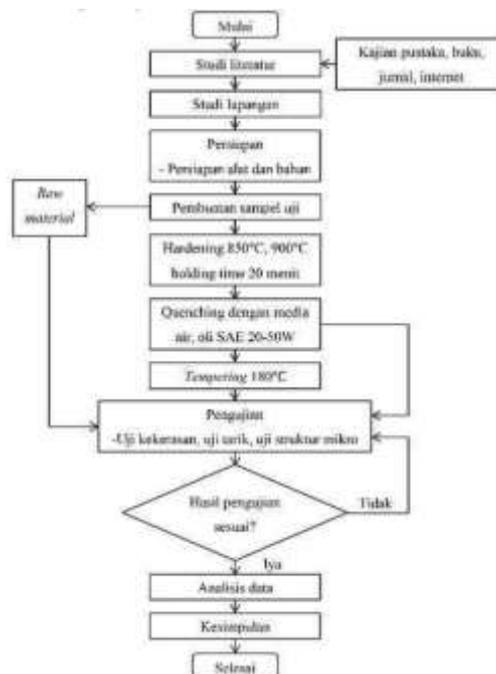
tempering [6]. Selama *tempering*, kekerasan dan kekuatan baja berkurang, namun keuletan meningkat dengan penurunan kerapuhan [7]. Pemilihan media *quenching* yang tepat ditentukan oleh kemampuan pengerasan material, ketebalan, geometri bagian, dan laju pendinginan yang diperlukan untuk mencapai struktur mikro yang diinginkan [8]. Kondisi pendinginan yang konsisten sangat penting untuk mengurangi risiko retak, deformasi, dan kekerasan yang tidak merata [9]. Tempering adalah suatu langkah dimana baja yang telah mengalami proses pengerasan dipanaskan kembali sampai suhu tertentu dan dipertahankan pada suhu tersebut untuk waktu tertentu [10]. Tujuan dari proses tempering adalah untuk mengurangi atau menghilangkan tekanan internal yang mungkin ada dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhan baja [11]. Martensit stabil yang terbentuk setelah *quenching* bertahan lama pada suhu kamar, namun pembentukan martensit hanya terjadi setelah austenit mengalami proses *quenching* [12]. Proses tempering melibatkan pemanasan ulang baja yang telah dikeraskan hingga suhu di bawah suhu kritisnya dan kemudian mendinginkannya secara bertahap [13].

Diagram transformasi isothermal (IT) atau transformasi waktu-suhu (TTT) adalah representasi grafis yang menghubungkan waktu dan suhu dengan transformasi austenit menjadi baja [14]. Diagram TTT digunakan untuk mengamati perilaku baja pada setiap tahap perlakuan panas dan memperkirakan struktur mikro dan sifat mekanik baja selama *quenching* [15]. Proses pembuatan diagram TTT melibatkan pemanasan baja karbon hingga suhu austenitik dan kemudian mendinginkannya dengan laju kontinu di wilayah fase austenitik [16]. Diagram kesetimbangan besi karbon adalah representasi grafis yang menunjukkan korelasi antara suhu di mana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon [17]. Diagram kesetimbangan besi karbon berfungsi untuk memudahkan pemilihan suhu pemanasan yang tepat untuk berbagai proses perlakuan panas, termasuk *annealing*, *normalizing*, dan pengerasan [18]. Penelitian ini difokuskan pada proses *hardening*, khususnya *quenching* dan tempering. Rincian melibatkan proses-proses tersebut dan hasil penelitian berupa data nilai kekerasan. Harapannya, data penelitian ini dapat mencerminkan hasil laporan yang diinginkan.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Diagram Alir

Pengumpulan data untuk penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2023 di lokasi PT. Techno Metal Industry, yang terletak di Jl. Jababeka VI B, Blok J Kavling 7D, Kawasan Industri Jababeka Cikarang – Bekasi, 17530, Harja Mekar, Kecamatan Cikarang Utara, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530. Berikut diagram alir penelitian ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Sumber: Pengolahan data (2023)

### 2.2 Metode Pengambilan Data

Berikut adalah metode-metode yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini:

1. Metode Studi Pustaka

Data referensi diperoleh melalui pengumpulan studi literatur yang terkait dengan proses perlakuan panas, quenching, dan tempering. Informasi dan referensi ini diperoleh melalui sumber-sumber seperti internet, jurnal, dan buku sebagai sumber pendukung untuk penelitian ini. Sumber-sumber ini menjadi dasar bagi pemahaman mendalam tentang topik penelitian. Dengan merinci aspek-aspek perlakuan panas tersebut, penelitian ini dapat memanfaatkan landasan teoritis yang kuat. Keberagaman sumber-sumber ini juga menambah validitas dan reliabilitas data yang diakumulasi. Melalui pendekatan ini, penelitian dapat lebih kokoh dan terinformasikan.

2. Metode Eksperimen

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen (pengujian laboratorium) untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Setiap spesimen dipanaskan pada suhu yang telah divariasikan (850°C dan 900°C) dan ditahan selama 40 menit, kemudian spesimen diambil untuk didinginkan dengan cepat menggunakan air dan oli. Selanjutnya, spesimen akan dipanaskan kembali pada suhu tempering yang telah ditentukan untuk dilakukan pengujian kekerasan, pengujian tarik, dan analisis struktur mikro guna memahami dampak dari eksperimen ini.

**3. Hasil Dan Pembahasan**

**3.1 Raw Material**

Dalam pengujian ini, data uji diambil dari material sampel awal untuk dibandingkan dengan hasil sampel yang mengalami proses quenching dan tempering. Pengujian pada sampel awal melibatkan uji kekerasan, uji tarik, dan uji struktur mikro. Berikut ini adalah hasil dari pengujian pada sampel awal:

**3.1.1 Hasil Uji Kekerasan Raw Material**

Pengukuran kekerasan dilakukan menggunakan metode pengujian Vickers, yang juga dikenal sebagai Diamond Pyramid Hardness test (DPH). Pengujian dilaksanakan pada tiga lokasi yang berbeda dengan pembebanan sebesar 30 kg. Berikut adalah hasil pengukuran kekerasan pada sampel awal.

**Tabel 1.** Hasil pengujian kekerasan raw material

No.	Sample	Area	Hardness	Average
1.	RAW	A	177,9	187,49
		B	195,8	
		C	188,8	

Sumber: Pengolahan data (2023)

**Tabel 1** mencantumkan hasil nilai dari spesimen baja sebelum menjalani proses quenching. Pada titik B (tengah), ditemukan nilai kekerasan tertinggi mencapai 195,8 HV, sementara nilai kekerasan rata-rata yang diperoleh adalah 187,49 HV.

**3.1.2 Hasil Uji Tarik Raw Material**

Pengujian tarik merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk mengidentifikasi parameter-parameter penting dalam sifat mekanis suatu material, seperti *tensile strength* dan *yield strength* dengan melakukan observasi terhadap pertambahan panjang spesimen selama proses uji. Dalam pengujian ini, beban yang diterima oleh spesimen diukur dengan menggunakan satuan newton. Beban yang diterima oleh spesimen diukur dalam satuan newton. Berikut adalah hasil pengujian tarik pada bahan mentah:

**Tabel 2.** Hasil pengujian tarik raw material

No.	Sampel	Kekuatan Luluh	Kekuatan Tarik	Elongation
1.	RAW	345,9	472,1	24,94%

Sumber: Pengolahan data (2023)

**Tabel 2** menunjukkan nilai dari spesimen baja sebelum mengalami proses *quenching*. Kekuatan tarik yang diperoleh adalah sebesar 472,1 N/mm<sup>2</sup>, sementara nilai kekuatan luluhnya adalah 345,9 N/mm<sup>2</sup>. Adapun pertambahan panjangnya mencapai 24,94%.

**3.1.3 Hasil Uji Struktur Mikro**

Dalam melihat struktur mikro, dilakukan pembesaran sebanyak 500 kali pada permukaan sampel bahan mentah. Berikut ini adalah hasil dari pengujian metalografi pada sampel awal.

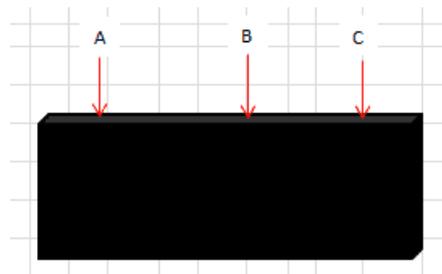


**Gambar 2.** Struktur mikro sampel awal  
Sumber: Pengolahan data (2023)

Pada struktur mikro spesimen awal sebelum proses pemanasan, terdapat warna hitam dan dominan warna putih. Struktur yang terlihat mencakup pearlite (hitam) dan ferrite (putih). Spesimen awal mengalami laju pendinginan lambat dari temperatur austenite ke temperatur kamar, sehingga terbentuk struktur pearlite. Pearlite sendiri merupakan kombinasi dari ferrite dan sementite. Transformasi austenite pada laju pendinginan lambat menghasilkan struktur pearlite dan ferrite. Dengan demikian, struktur mikro pada sampel awal terdiri dari ferrite yang berwarna putih dan pearlite yang berwarna hitam.

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilaksanakan dengan menggunakan metode uji Vickers, di mana indenter berbentuk piramida intan dengan sudut antar permukaan piramida sebesar  $136^\circ$  digunakan. Dalam penelitian kekerasan ini, dilakukan pengujian pada tiga posisi berbeda, yaitu titik A, titik B, dan titik C, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Titik pengujian kekerasan  
Sumber: Pengolahan data (2023)

Pengujian Vickers dilakukan dengan menerapkan pengujian makro, dalam penelitian kekerasan ini, beban yang digunakan adalah sebesar 30 kg. Keputusan untuk menggunakan beban 30 kg diambil dengan pertimbangan potensi deformasi, mengingat ketebalan spesimen uji hanya 5 mm dan merujuk pada penelitian sebelumnya. Berikut ini adalah tabel yang memuat hasil dari pengujian kekerasan tersebut:

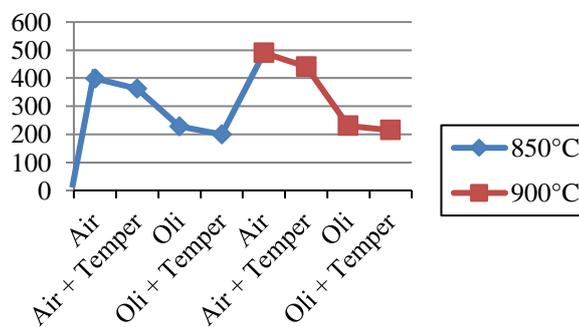
**Tabel 3.** Hasil pengujian kekerasan vickers

No.	Sampel	Area	Hardness	Average
1.	850°C + Air	A	429,5	399,68
		B	402,1	
		C	367,4	
2.	850°C + Air + temper 180°C	A	329,5	363,67
		B	352,5	
		C	346,1	
3.	850°C + Oli	A	224,2	227,70
		B	236,4	
		C	222,5	
4.	850°C + Oli + temper 180°C	A	204,4	199,58
		B	208,2	
		C	186,2	
5.	900°C + Air	A	483,0	490,08
		B	501,6	

No.	Sampel	Area	Hardness	Average
		C	485,7	
6.	900°C + Air + temper 180°C	A	444,3	440,65
		B	448,9	
		C	428,8	
7.	900°C + Oli	A	228,0	230,79
		B	238,2	
		C	226,2	
8.	900°C + Oli + temper 180°C	A	209,8	214,43
		B	218,5	
		C	215,0	

Sumber: Pengolahan data (2023)

**Tabel 3** tersebut mencantumkan nilai kekerasan vickers dan rata-rata kekerasan dari seluruh spesimen. Setiap spesimen diuji pada tiga titik yang menghasilkan nilai kekerasan yang bervariasi pada tiap titik, meskipun perbedaannya tidak begitu mencolok. Nilai-nilai kekerasan ini dapat dilihat dalam bentuk grafik pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Grafik nilai rata-rata kekerasan  
Sumber: Pengolahan data (2023)

Dari data grafik **Gambar 4** dan **Tabel 3**, terlihat bahwa spesimen yang mengalami proses quenching menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen bahan mentah, meskipun terdapat variasi nilai antara berbagai jenis media pendingin. Rata-rata nilai kekerasan tertinggi tercatat pada spesimen yang mengalami pemanasan pada suhu 900°C dan menggunakan media pendingin air, dengan nilai kekerasan mencapai 490,08 HV. Disusul oleh spesimen dengan pemanasan pada suhu 900°C + tempering 180°C, pemanasan pada suhu 850°C, dan pemanasan pada suhu 850°C + tempering 180°C, semuanya menggunakan media pendingin air. Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa kenaikan nilai kekerasan pada spesimen dengan media pendingin air lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan media pendingin oli dan bahan mentahnya (RAW).



**Gambar 5.** Hasil spesimen pengujian kekerasan  
Sumber: Pengolahan data (2023)

### 3.3 Hasil Pengujian Uji Tarik

Pengujian tarik dilaksanakan untuk memahami sifat-sifat mekanis dari material yang menjadi fokus penelitian ini. Hasil pengujian tarik mencakup parameter kekuatan tarik (tensile strength), kekuatan luluh (yield strength), ketangguhan yang tercermin dalam proses perpanjangan (elongation), beban luluh (yield

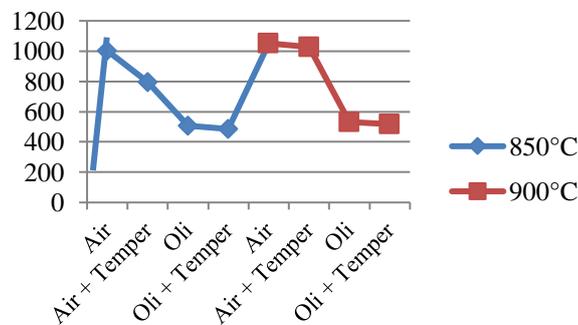
load) yang diterima spesimen dalam satuan newton, dan beban maksimal (max load) yang diukur pula dalam satuan newton. Presentasi hasil pengujian tarik disajikan dalam tabel dan grafik di bawah ini:

**Tabel 4.** Hasil pengujian tarik

No.	Sample Test	Kekuatan Luluh ( $\sigma_y$ ) N/mm <sup>2</sup>	Kekuatan Tarik ( $\sigma_u$ ) N/mm <sup>2</sup>	Elongation (%)
1.	850°C + Air	910,8	1002,4	7,96%
2.	850°C + Air + T.180°C	707,4	796,0	8,14%
3.	850°C + Oli	432,7	508,0	11,78%
4.	850°C + Oli + T.180°C	397,0	485,4	12,80%
5.	900°C + Air	1026,0	1051,2	6,28%
6.	900°C + Air + T.180°C	934,1	1026,9	7,74%
7.	900°C + Oli	441,2	532,5	8,42%
8.	900°C + Oli + T.180°C	430,9	517,4	10,74%

Sumber: Pengolahan data (2023)

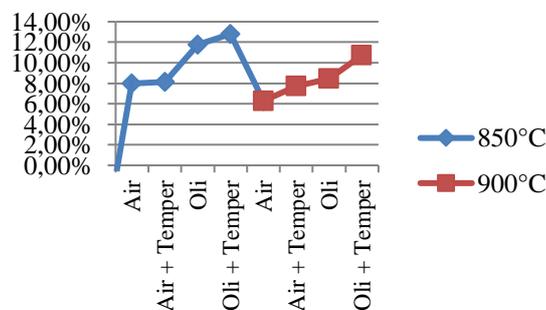
Tabel tersebut mencakup nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan elongation dari seluruh spesimen. Setiap spesimen dijepit pada setiap sisinya, ditarik hingga mencapai titik luluh, dan akhirnya patah. Grafik nilai kekerasan ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 6.** Grafik nilai kekuatan tarik

Sumber: Pengolahan data (2023)

Grafik **Gambar 6** dan **Tabel 4** di atas memberikan penjelasan bahwa nilai kekuatan tarik pada spesimen hasil proses quenching menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan bahan mentah. Spesimen yang mengalami pemanasan pada suhu 900°C dengan media pendingin air menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi, mencapai 1051,2 N/mm<sup>2</sup>, diikuti oleh spesimen yang mengalami pemanasan pada suhu 900°C dengan media pendingin air dan proses tempering, yang memiliki nilai 1026,9 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu, nilai kekuatan tarik rendah terdapat pada spesimen yang mengalami pemanasan pada suhu 850°C dengan media pendingin oli, mencapai 508 N/mm<sup>2</sup>, dan spesimen yang mengalami pemanasan pada suhu 850°C dengan media pendingin oli dan proses tempering, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 485,4 N/mm<sup>2</sup>.



**Gambar 7.** Grafik nilai regangan

Sumber: Pengolahan data (2023)

Dari data yang tercantum dalam tabel dan grafik, dapat disimpulkan bahwa bahan mentah menunjukkan tingkat regangan tertinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang telah mengalami proses

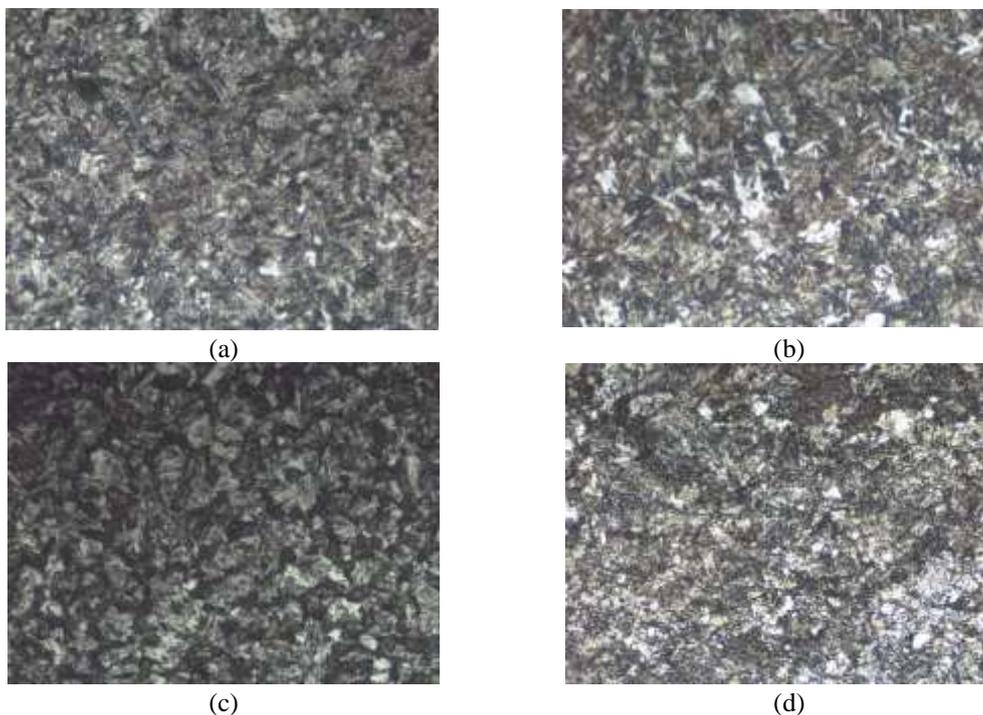
quenching maupun tempering. Di antara spesimen yang mengalami proses quenching, ditemukan bahwa regangan paling tinggi terdapat pada spesimen yang mengalami pemanasan pada suhu 850°C dengan proses quenching menggunakan oli dan tempering, dengan nilai regangan mencapai 12,80%. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa proses pendinginan pada oli berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan air, yang mengakibatkan spesimen menjadi lebih lentur dan memiliki sifat elastisitas yang lebih tinggi daripada yang mengalami quenching dengan menggunakan air.



**Gambar 8.** Hasil spesimen pengujian tarik  
 Sumber: Pengolahan data (2023)

### 3.4 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dalam proses pengamatan struktur mikro (metalografi), dilakukan pembesaran sebanyak 500 kali pada permukaan sampel yang telah dimounting. Hasil dari pengujian struktur mikro dapat terlihat pada **Gambar 9**.

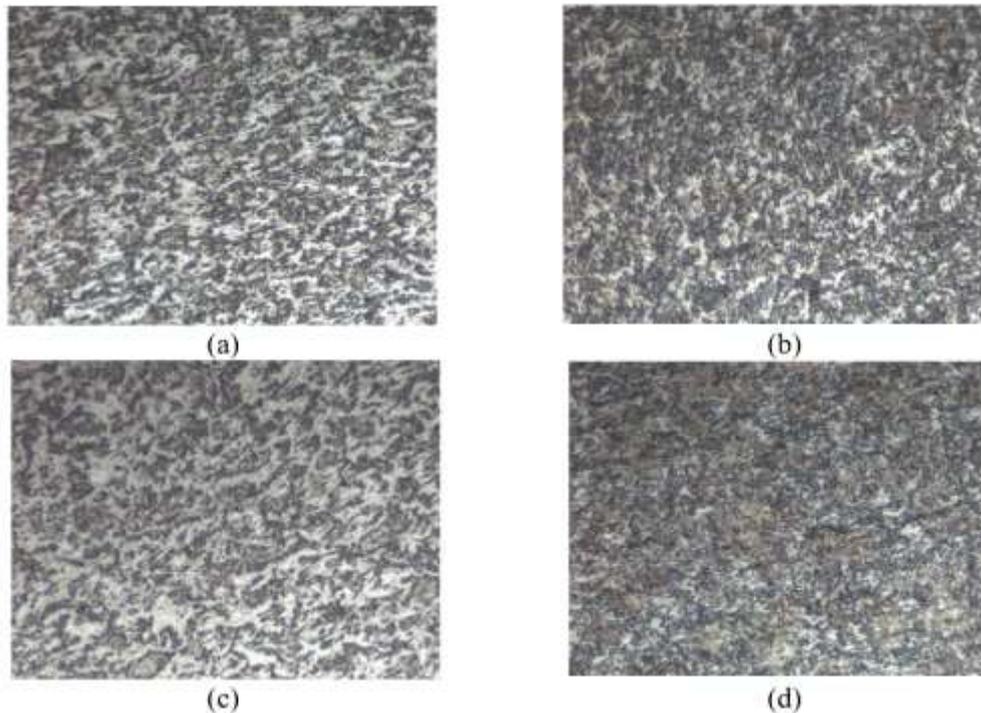


**Gambar 9.** Struktur mikro quenching air (a) Struktur mikro 850°C quench air; (b) Struktur mikro 850°C quench air + temper; (c) Struktur mikro 900°C quench air, (d) Struktur mikro 900°C quench air + temper  
 Sumber: Pengolahan data (2023)

Pada **Gambar 9** terlihat struktur mikro yang dihasilkan dari pemanasan pada suhu 850°C dan 900°C, diikuti dengan penahanan selama 20 menit, dan kemudian dilakukan quenching menggunakan media pendingin air. Dari hasil pengamatan struktur mikro tersebut, tampak adanya garis-garis tajam berwarna hitam dan beberapa bagian dengan warna putih yang mencolok. Struktur mikro pada sampel yang mengalami proses quenching dengan air mencakup martensit, bainit, dan austenit sisa. Garis-garis tajam

berwarna hitam mewakili struktur martensit yang terbentuk akibat pendinginan cepat menggunakan air setelah pemanasan material. Penting untuk dicatat bahwa tidak semua fasa austenit hasil proses austenisasi berubah menjadi martensit, dan selalu terdapat austenit sisa.

Setelah melalui tahap tempering, terlihat bahwa jumlah struktur martensit berkurang karena efek dari proses tempering. Selama tahap tempering, martensit berubah menjadi struktur bainit, mengindikasikan perubahan signifikan dalam sifat mikrostruktur material.



**Gambar 10.** Struktur mikro quenching oli (a) Struktur mikro 850°C quench oli; (b) Struktur mikro 850°C quench oli + temper; (c) Struktur mikro 900°C quench oli, (d) Struktur mikro 900°C quench oli + temper  
 Sumber: Pengolahan data (2023)

Pada **Gambar 10** terlihat struktur mikro yang dihasilkan dari pemanasan pada suhu 850°C dan 900°C, diikuti dengan penahanan selama 20 menit, dan kemudian dilakukan quenching menggunakan media pendingin oli. Dari hasil pengamatan struktur mikro tersebut, tampak adanya pola warna hitam yang berbentuk bulat seperti marmer dan sejumlah bagian berwarna putih. Dalam gambar, distribusi warna hitam dan putih seimbang, tanpa dominasi satu sama lain. Struktur mikro pada sampel yang mengalami proses quenching dengan oli melibatkan bainit, sedikit martensit, dan terdapat juga austenit sisa.

Pembentukan struktur bainit terjadi karena pendinginan cepat dengan oli, yang menyebabkan penurunan temperatur lebih cepat dibandingkan dengan pendinginan pada suhu kamar selama proses pembentukan logam. Transformasi fasa austenit menjadi bainit terjadi pada rentang temperatur 350°C - 550°C. Setelah menjalani tahap pemanasan kembali pada temperatur 180°C selama 20 menit, terlihat bahwa warna hitam lebih mendominasi, sementara warna putih menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan spesimen sebelumnya.

#### 4. Kesimpulan

Kekuatan tarik rata-rata tertinggi dicapai pada sampel dengan suhu pemanasan 900 °C dan media pendingin air, mencapai 1051,2 N/mm<sup>2</sup>. Sebaliknya, kekuatan tarik rata-rata sampel yang mengalami perlakuan suhu pemanasan 850°C, quenching oli dan temper adalah yang paling rendah, sebesar 485,4 N/mm<sup>2</sup>. Kekuatan tarik materialnya sendiri adalah 472,1N/mm<sup>2</sup>. Perpanjangan tertinggi terjadi pada sampel pada suhu pemanasan 850°C dan penambahan media pendingin oli pada proses tempering yaitu mencapai 12,80%. Sebaliknya, elongasi terendah terjadi pada sampel pada suhu pemanasan 900°C dan media pendingin air, dengan nilai elongasi sebesar 6,28%. Beban bahan baku sebesar 24,94%.

Kekerasan tertinggi tercatat pada spesimen dengan suhu pemanasan 900°C dan media pendingin air, dengan nilai 490,08 VHN. Sementara itu, kekerasan terendah setelah proses heat treatment terjadi pada

spesimen dengan suhu pemanasan 850°C dan media pendingin oli ditambah proses temper, dengan nilai 199,58 VHN, sedangkan raw material memiliki kekerasan sebesar 187,49 VHN.

Dari pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan media quenching air, terbentuk fasa martensit dan austenite sisa karena proses pendinginan yang sangat cepat. Sementara itu, pada spesimen dengan media quenching oli, terbentuk fasa martensit, bainit, dan austenite sisa dalam proporsi yang lebih sedikit, disebabkan oleh waktu pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan media quenching air.

## 5. Referensi

- [1] Achmad Kusairi Samlawi Anton Tri Wibowo, "Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Pendingin Air dan Oli Terhadap Kekerasan Baja dan Struktur Mikro Baja S45C", Jurnal Rotary Universitas Lambung Mangkurat, 2020.
- [2] Hartono Yudo, Sardjito Jokosisworo Muhammad Jordi, "Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW", Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro, 2017.
- [3] Haryadi, Abdurrofi Zahrawani, Bintang Adjiantoro Iman Saefuloh, "Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit", Jurnal Teknik Mesin Untirta, 2018.
- [4] Islami, Ratu Cludia Suwandi, et al. "Aplikasi Material Teknik Jenis Non Logam Diberbagai Industri Manufaktur Indonesia Secara Sistematis: Kajian Literatur." *Prosiding Sains dan Teknologi 2.1* (2023): 343-351.
- [5] Agus Pramono, "Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai", Jurnal Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2011.
- [6] Yopi Handoyo, "Pengaruh Quenching dan Tempering Pada Baja JIS Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft", Universitas Islam 45 Bekasi, 2015.
- [7] Tjahjanti, P. H. (2019). Buku Ajar Pengetahuan Bahan Teknik. *Umsida Press*, 1-119.
- [8] Ali Achmadi, "Pengaruh Perlakuan Quenching Dengan Variasi Pendingin Konsentrasi Air Garam Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Pada Baja ST 37", *Jurnal Teknik Mesin STTR Cepu*, 2017.
- [9] Sunyoto, Aryo Aji Prabowo, "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Kekuatan Bending Baja AISI 1010", Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, 2020.
- [10] Gunawan Dwi Haryadi, "Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460", Jurnal Universitas Diponegoro, 2005.
- [11] Jufriadi, Ariefin, Edi Saputra, Mohd. Ghiffari, Hamdani, "Pengaruh Pengelasan dan Media Quenching Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Material ASTM A36", Jurnal Politeknik Negeri Lhokseunawe, 2021.
- [12] Nugroho, Sri dan Gunawan, D H., "Pengaruh Media quenching Air tersirkulasi (Circilated Water) terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan pada Baja AISI 1045". Surakarta: jurnal FKIP UNS, 2005.
- [13] Pramono, Agus, "Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai", Banten: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra, 2011.
- [14] Sarjono, K., "Pengaruh Hardening Pada Baja Jis G 4051 Grade S45c Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro", Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, 2012.
- [15] Septianto, B.A. and Setiyorini, Y., "Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340". Jurnal Teknik ITS, 2013.
- [16] Setiawan, Hera, "Pengaruh Proses Heat Treatment pada Kekerasan Material Special K (K100)", Kudus : Jurnal Teknik Mesin UMK, 2012.
- [17] Wattimena, dan Louhenapessy, j, "Pengaruh Holding Time dan Quenching terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37 pada Proses Pack Carburizing menggunakan Arang Batok Pala", Jurnal Teknik Universitas Yogyakarta, 2014.
- [18] Trhutomo, prihanto, "Analisis Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin yang Berbeda", Jurnal Teknik Mesin ITS, 2015.