

## PENGARUH PERLAKUAN PANAS (*HEAT TREATMENT*) DENGAN VARIASI *QUENCHING* TERHADAP KELELAHAN DAN KEKERASAN BAJA ST 41

1,2,3) Program Studi Teknik  
Mesin, Fakultas Teknik  
Universitas Lambung  
Mangkurat, Jl. A. Yani  
Km. 36 Banjarbaru,  
Kalimantan Selatan  
70714

Corresponding email <sup>1\*</sup> :  
[zainal.razak@ulm.ac.id](mailto:zainal.razak@ulm.ac.id)  
[rizqi.fajar@ulm.ac.id](mailto:rizqi.fajar@ulm.ac.id)  
[dhanu.suryanata@ulm.ac.id](mailto:dhanu.suryanata@ulm.ac.id)

Received: 17.11.2024  
Accepted: 17.06.2025  
Published: 28.06.2025

©2025 Politala Press.  
All Rights Reserved.

Zainal Arman Razak<sup>1\*</sup>, M Rizqi Al Fajar<sup>2)</sup>, Dhanu Suryanta<sup>3)</sup>

**Abstrak.** Baja ST 41 adalah baja karbon rendah, memiliki kekerasan permukaan yang relatif rendah, sehingga memerlukan perlakuan panas tambahan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan beban siklik. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh variasi media pendinginan terhadap sifat mekanik baja ST 41, khususnya kekerasan dan ketahanan leleh. Variasi media pendinginan yang digunakan adalah air, oli SAE 20W-50, dan udara pada suhu 950°C dengan waktu penahanan 15 menit. Proses perlakuan panas meliputi pemanasan awal dan hardening, diikuti quenching menggunakan ketiga media tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan baja meningkat signifikan setelah perlakuan panas, dengan nilai tertinggi pada pendinginan air (171 HV). Pada pengujian kelelahan, baja ST 41 tanpa perlakuan menunjukkan 71.651 siklus, sedangkan perlakuan panas dengan oli, udara, dan air menurunkan jumlah siklus kelelahan menjadi 30.571,67, 19.461, dan 43.402,33 siklus.

**Kata Kunci:** Baja ST 41, Quenching, Kekerasan, Kelelahan

**Abstract.** ST 41 steel is a low carbon steel, has a relatively low surface hardness, so it requires additional heat treatment to improve resistance to wear and cyclic loads. This study aims to examine the effect of variations in cooling media on the mechanical properties of ST 41 steel, especially hardness and fatigue resistance. The variations in cooling media used were water, SAE 20W-50 oil, and air at a temperature of 950°C with a holding time of 15 minutes. The heat treatment process includes preheating and hardening, followed by quenching using the three media. The results showed that the hardness of the steel increased significantly after heat treatment, with the highest value in water cooling (171 HV). In fatigue testing, untreated ST 41 steel showed 71,651 cycles, while heat treatment with oil, air, and water reduced the number of fatigue cycles to 30,571.67, 19,461, and 43,402.33 cycles.

**Keywords:** St 41 Steel, Quenching, Hardness, Fatigue

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v12i1.318>

### 1. Pendahuluan

Baja ST 41, sebagai baja karbon rendah dengan kandungan karbon antara 0,08% hingga 0,20%, dikenal sebagai baja lunak yang memiliki keuletan dan ketangguhan yang cukup baik. Karakteristik ini menjadikannya bahan pilihan untuk berbagai komponen mesin industri, termasuk gear, rantai, skrup, dan poros, di mana diperlukan sifat mekanis yang dapat menahan gesekan dan beban kerja [1]. Akan tetapi, sifat kekerasan permukaan dari baja ST 41 yang rendah seringkali menjadi kelemahan, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap keausan dan beban siklik (berulang). Oleh karena itu, diperlukan perlakuan panas tambahan seperti proses *quenching* untuk meningkatkan kekerasan material agar lebih sesuai dengan kebutuhan aplikasi berat [2].

Perlakuan panas telah lama digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik baja, terutama dalam hal kekerasan dan ketahanan terhadap kelelahan material. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi dalam suhu perlakuan panas, waktu penahanan (*holding time*), dan jenis media pendingin berperan penting dalam menghasilkan sifat mekanis yang diinginkan [3]. Misalnya, studi oleh Edi Santoso dan Ismail menunjukkan

bahwa media pendingin berbeda, seperti air, air garam, dan oli, memberikan hasil kekerasan yang berbeda-beda pada baja karbon rendah [4]. Penelitian ini menyatakan bahwa penggunaan media air atau air garam, dengan laju pendinginan lebih tinggi, dapat meningkatkan kekerasan baja lebih signifikan dibandingkan media oli, yang memiliki laju pendinginan lebih lambat. Namun, penelitian ini masih terbatas pada variasi *holding time* yang singkat, yaitu 5, 10, dan 15 menit, serta tidak meninjau efek jangka panjang terhadap ketahanan lelah dari material baja ST 41.

Meskipun beberapa penelitian telah menginvestigasi pengaruh waktu penahanan dan jenis media *quenching* terhadap kekerasan, penelitian mengenai pengaruh langsung dari variasi media *quenching* terhadap ketahanan lelah baja ST 41 masih terbatas. Terutama, efek dari perlakuan panas dengan waktu penahanan lebih panjang atau pendinginan dengan media yang lebih beragam pada ketahanan kelelahan baja ST 41 belum banyak dikaji secara komprehensif. Selain itu, banyak penelitian sebelumnya yang berfokus pada peningkatan kekerasan material, namun jarang yang secara mendalam mengkaji interaksi antara kekerasan dan ketahanan lelah yang dihasilkan melalui variasi media pendingin dan suhu perlakuan.

Penelitian ini berusaha mengisi gap tersebut dengan menginvestigasi pengaruh variasi media *quenching*, yaitu air, oli SAE 20W-50, dan udara, pada suhu perlakuan panas 950 °C dengan *holding time* 15 menit. Melalui studi ini, akan ditinjau bagaimana variasi media pendingin memengaruhi sifat mekanik baja ST 41, khususnya dalam hal kekerasan dan ketahanan lelah. Metode ini diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih menyeluruh dan informatif bagi aplikasi industri, karena melibatkan variabel media pendingin yang lebih luas dan parameter perlakuan panas yang mendekati kondisi aktual dalam aplikasi lapangan. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi praktis bagi industri dalam memilih metode perlakuan panas yang optimal untuk meningkatkan performa baja ST 41 dalam aplikasi beban siklik dan kondisi gesekan tinggi.

## 2. Tinjauan Pustaka

Baja digunakan secara luas dalam berbagai industri, terutama dalam produksi otomotif, karena sifat-sifatnya yang diinginkan seperti kekerasan, keuletan, ketangguhan, kekuatan mekanis, dan struktur mikro yang unggul. Karakteristik ini menjadikan baja pilihan yang sangat baik untuk peralatan dan komponen otomotif. Komposisi baja karbon biasanya mencakup besi dan karbon, dengan jumlah unsur lain yang bervariasi, seperti mangan, belerang, dan fosfor [5]. Kehadiran karbon dalam baja berperan penting dalam mempengaruhi sifat mekaniknya, seperti kekerasan, ketahanan aus dan keuletan [6]. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dikelompokkan menjadi 5 macam:

**Tabel 1.** Klasifikasi baja karbon

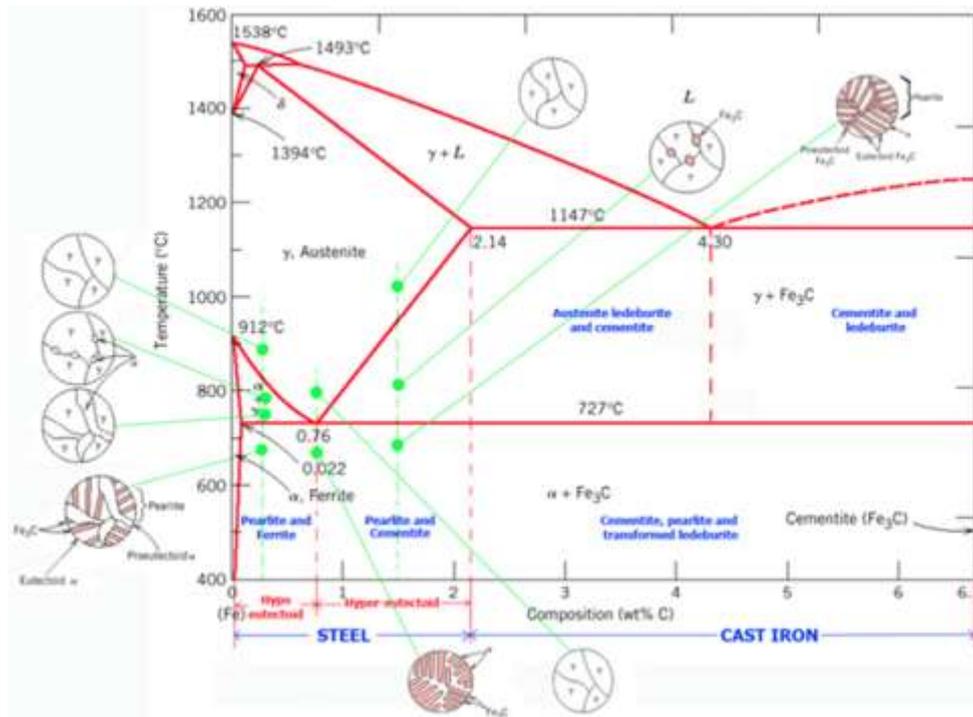
Nama	Carbon (%berat) [7]	Carbon (%berat)[8]
<i>Very low carbon steel</i>	0,008 - 0,15	0,005 - 0,15
<i>Low carbon steel</i>	0,15 - 0,30	0,16 - 0,30
<i>Medium carbon steel</i>	0,30 - 0,60	0,30 - 0,60
<i>High carbon steel</i>	0,60 - 1,25	0,60 - 1,2
<i>Ultra high carbon steel</i>	1,25 - 2,00	1,20 - 2,00

### Baja Karbon ST 41

Baja ST 41 adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon sekitar 0,14–0,22%, yang memiliki sifat seperti kekuatan tarik yang cukup baik dan keuletan yang tinggi. Karena sifatnya yang lunak, baja ini banyak digunakan dalam konstruksi dan aplikasi struktural, termasuk bagian mesin yang tidak mengalami beban berat atau keausan tinggi [9]. Baja ST 41 memiliki aplikasi dalam pembuatan komponen seperti baut, mur, rangka, dan bagian mesin lainnya. Keunggulan baja ST 41 adalah kemampuannya untuk dilas dengan baik dan tidak memerlukan perlakuan panas khusus. Namun, untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanannya terhadap keausan, baja ini dapat mengalami proses seperti pengerasan permukaan (*surface hardening*) [10].

### Diagram Fe3C

Diagram kesetimbangan fase ( $Fe_3C$ ) menggambarkan korelasi antara suhu dan persentase karbon (%C), yang memperlihatkan transformasi fase selama pemanasan dan pendinginan yang lambat [11]. Tidak seperti besi murni, baja paduan, dan paduan besi-karbon mengalami perubahan fase berdasarkan suhu dan kandungan karbon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram ini sangat penting untuk menentukan suhu pemanasan dan durasi pendinginan dalam proses perlakuan panas untuk mencapai fase dan struktur yang diinginkan dalam baja [12]. Diagram  $Fe_3C$  mengandung fasa-fasa utama seperti, ferrit ( $\alpha$ ) adalah struktur mikro besi yang lunak dan memiliki kelarutan karbon yang rendah. Austenit ( $\gamma$ ) adalah struktur mikro yang stabil pada suhu tinggi dan memiliki kelarutan karbon yang lebih tinggi dibandingkan ferrit. Perlit adalah campuran ferrit dan sementit yang terbentuk saat pendinginan austenit. Sementit ( $Fe_3C$ ) adalah senyawa keras dan rapuh dari besi-karbon yang terbentuk pada kadar karbon tinggi.



Gambar 1. Diagram Fe<sub>3</sub>C

### Quenching

Quenching adalah proses perlakuan panas pada baja di mana material dipanaskan hingga suhu austenit dan didinginkan cepat untuk meningkatkan kekerasan. Media pendinginan, seperti air, minyak, polimer, garam cair, dan udara, mempengaruhi laju pendinginan dan mikrostruktur yang terbentuk, mulai dari martensit yang keras hingga perlit atau bainit yang lebih tangguh. Diagram pendinginan, yaitu *time-temperature-transformation* (TTT) dan *continuous cooling transformation* (CCT), memandu pemilihan media pendinginan dan laju pendinginan untuk mengontrol mikrostruktur dan sifat akhir baja [12]. TTT diagram membantu memahami perubahan fasa pada suhu tetap, sementara CCT diagram menunjukkan transformasi selama pendinginan kontinu, lebih sesuai untuk kondisi industri. Pilihan media pendinginan didasarkan pada kebutuhan kekerasan atau ketangguhan dan kemampuan komponen untuk menahan distorsi. Diagram pendinginan membantu mengoptimalkan quenching agar sesuai dengan sifat yang diinginkan pada berbagai aplikasi baja.

### 3. Metodologi

#### Metode Penelitian

Metode ddalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Bahan penelitian yang digunakan adalah logam baja ST 41 dengan panduan E466 – AISI 1018 merupakan baja paduan rendah menurut ASTM (*American Standard Testing and Material*) dan menurut standar AISI (*American iron and Steel Institute*) dan DIN 17100. Media pendingin pada tahap penelitian ini berupa air, udara dan oli pada pemanfaatan media pendingin di penelitian ini cukup efisien dan mudah dicari dikarenakan digunakan hampir setiap hari. Limbah dari media pendingin setelah digunakan tidak akan menyebabkan bahaya untuk peneliti, sebagai contoh media air setelah difungsikan akan di buang ke tempat pembuangan hasil limbah.

#### Variabel Penelitian

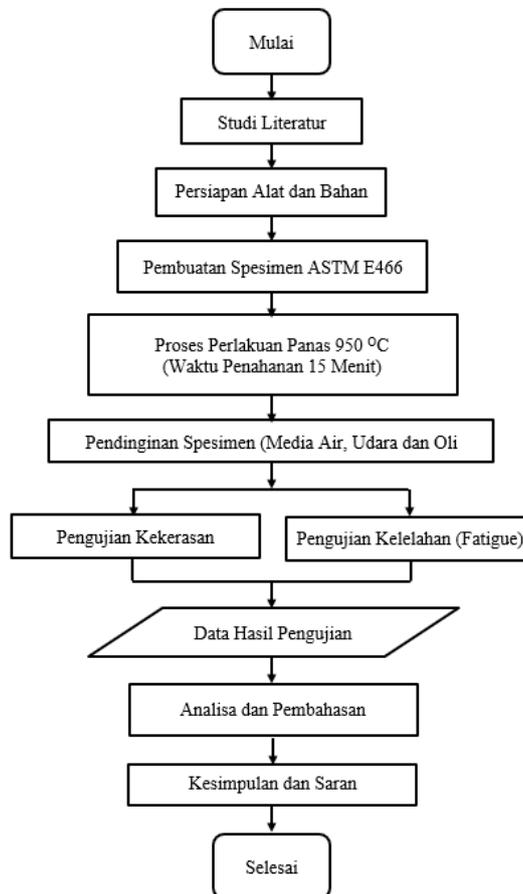
Variabel dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- a) Variabel Bebas  
Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya sudah ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Variabel ini dimanipulasi untuk memahami hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah jenis pendinginan, yaitu udara, air, dan oli.
- b) Variabel Terikat  
Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung pada variabel bebas dan baru dapat diketahui setelah penelitian selesai. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya meliputi nilai kekerasan dan kelelahan baja St 41.
- c) Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditetapkan oleh peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel terkontrol yang digunakan adalah waktu *penahanan (holding time)* selama 15 menit dan suhu 950°C.

### Prosedur Penelitian

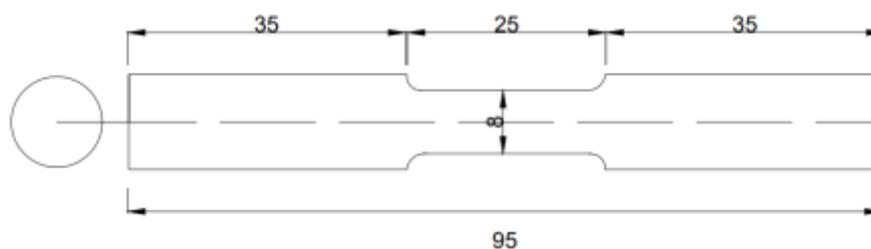
Pada pelaksanaan kegiatan penelitian agar mudah dipahami, maka tahap – tahap sangat diperlukan untuk mempermudah jalannya kegiatan. Adapun tahap prosedur penelitian yang dilakukan agar mencapai tujuan penelitian.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian

### Proses Pembuatan Spesimen

Langkah awal proses pembuatan spesimen mengikuti sesuai dengan standar [13] E466 untuk di uji kelelahan, sedangkan untuk uji kekerasan hanya permukaan benda kerja yang berdiameter 8 mm, terlihat pada Gambar 3 berikut ini:



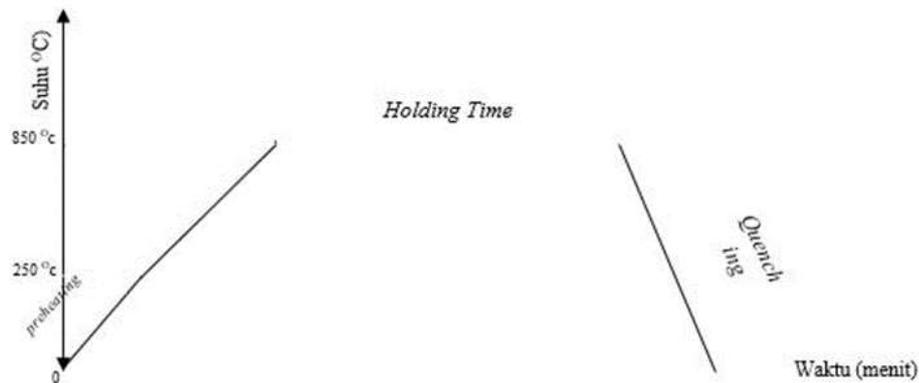
**Gambar 3.** Standar spesimen ASTM E466

Tahap Pembubutan, pada tahap ini memanfaatkan proses pengupasan dengan mesin bubut untuk proses pengujian. Untuk penekaman pada pengujian kelelahan diameter yang digunakan 10 mm dengan panjang masing – masing 95 mm tiap kiri dan kanan penekam, sedangkan bagian tengah untuk pengujian spesimen dengan diameter 8 mm panjang 25 mm dan radius 2. Untuk proses pengupasan mata bubut yang digunakan jenis carbide dan tahap pembuatan radius menggunakan mata bubut HSS dengan radius 2.

**Proses Perlakuan Panas**

Pada tahap perlakuan panas dilaksanakan spesimen sudah berbentuk sesuai dengan ASTM E466 dan perlengkapan untuk penelitian sudah tersedia sesuai dengan alat – alat yang digunakan. Proses perlakuan ini menggunakan mesin *furnace* atau dapur pemanas terlihat, adapun beberapa tahapan pemanasan, sebagai berikut:

1. *Preheating* pada proses perlakuan ini biasanya disebut pemanasan awal untuk menghindari retakan benda kerja diakibatkannya pemanasan secara seketika bisa juga disebut shock temperatur. Sebelum terjadinya pemanasan austensi, pada pemanasan *preheating* ditahan selama 5 menit dengan temperatur 250°C.
2. *Hardening* pada tahap pemanasan ini berkelanjutan dari *preheating* dengan meningkatkan temperatur suhu dari 250°C menjadi 950°C dengan variasi 3 (tiga) media pendingin air, udara dan oli dengan perlakuan panas (*holding time*) selama waktu 15 menit.
3. *Quenching* pada langkah ini merupakan laju pendinginan secara seketika pada benda kerja yang sudah diperlakukan panas. Pada proses pendingin air setelah diperlakukan panas (*holding time*) maka langsung dicelupkan media tersebut.



**Gambar 4.** Skema Perlakuan Panas

**Uji Kekerasan (*Hardness Test*)**

Pada penelitian ini pengujian kekerasan yang digunakan berupa jenis *vicker*, bisa juga disebut dengan penekanan permukaan pada material yang berbentuk poros atau pada titik yang akan di uji. Pengujian ini menggunakan alat *portable hardness tester* bertujuan untuk mengetahui daya kekerasan pada material setelah diperlakukan panas.

**Uji Kelelahan (*Fatigue*)**

Adapun pengujian Kelelahan setelah diperlakukan panas benda kerja dengan memanfaatkan alat pengujian rotary bending *fatigue* dengan perlakuan pembebanan 12 Kg dari bentuk spesimen benda kerja sesuai dengan ASTM E466 pada baja ST 41.

**Rancangan Penelitian**

Spesimen baja karbon St 41 yang telah dilakukan proses hardening pada temperatur 950°C dan waktu penahanan 15 menit dengan variasi media pendinginan udara, air dan oli. Kemudian hasil penelitian ditabelkan seperti Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Pengujian kekerasan dan kelelahan

Waktu Penahanan	Media Pendingin	Kode Spesimen	Uji kekerasan	Uji Kelelahan
Tanpa Perlakuan Panas	Oli	TPP-1		
		TPP-2		
		TPP-3		
		PPO-1		
		PPO-2		
		PPO-3		
		PPU-1		
		PPU-2		
		PPU-3		
15 Menit	Udara	PPA-1		
		PPA-2		
		PPA-3		
	Air	PPA-1		
		PPA-2		
		PPA-3		

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### Hasil Pengujian Kekerasan Baja St 41

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan menggunakan alat *Portable Hardness tester* dengan metode penekanan permukaan pada baja, maka didapatkan nya nilai kekerasan baja ST 41 tanpa perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut:

**Tabel 3.** Kekerasan baja ST 41 tanpa perlakuan

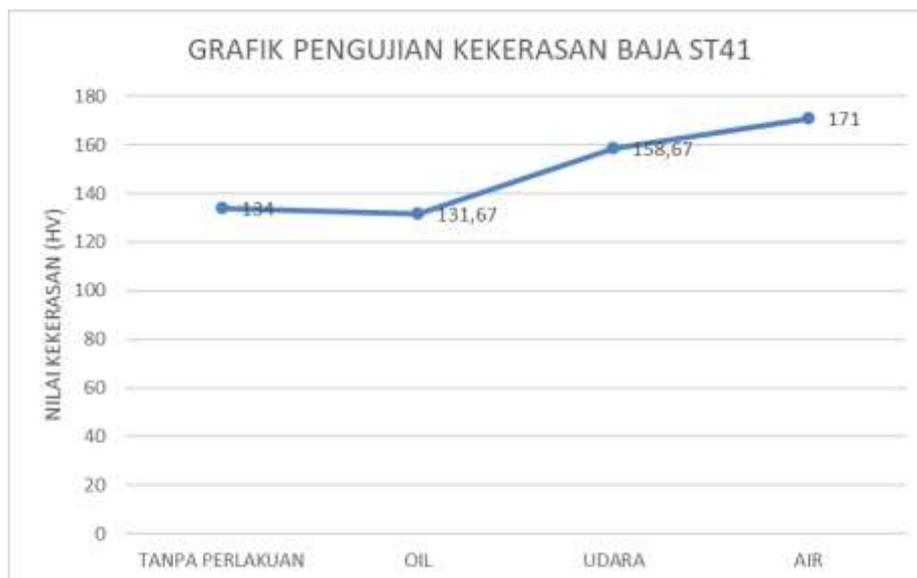
Kode Spesimen	Pengujian Kekerasan (HV)	Nilai Rata – Rata Kekerasan (HV)
TPP-1	133	134
TPP-2	134	
TPP-3	135	

Dapat dilihat pada tabel di atas nilai kekerasan baja ST 41 tanpa perlakuan menggunakan metode *vicker*, nilai tertinggi pada kode spesimen TPP-3 sebesar 135 HV sedangkan pada kode spesimen TPP-2 menurun sebesar 134 HV, dan di kode spesimen TPP-1 mendapatkan nilai sebesar 133 HV. Dengan demikian, Rata – rata nilai kekerasan tanpa perlakuan pada baja ST 41 sebesar 134 HV. Adapun nilai kekerasan baja ST 41 dengan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

**Tabel 4.** Kekerasan baja ST 41 dengan perlakuan

No	Media Pendingin	Suhu	Waktu Penahanan	Kode Spesimen	Uji Kekerasan (HV)	Nilai Rata - Rata Kekerasan (HV)
1				PPO-1	142	
2	Oli			PPO-2	125	131,67
3				PPO-3	128	
4				PPU-1	159	
5	Udara	950 <sup>o</sup> c	15 menit	PPU-2	173	158,67
6				PPU-3	144	
7				PPA-1	161	
8	Air			PPA-2	174	171
9				PPA-3	178	

Berdasarkan Tabel 4, rata – rata kekerasan baja st 41 dengan perlakuan panas di suhu 950°C dengan media pendingin oli 131,67 HV, sedangkan nilai kekerasan baja ST 41 pada media pendingin udara sebesar 158,67 HV, dan media pendingin air nilai kekerasan baja ST 41 sebesar 171 HV. Maka dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut:



**Gambar 5.** Hasil pengujian kekerasan baja St 41

Berdasarkan Gambar 5 nilai kekerasan baja ST 41 menunjukkan variasi yang signifikan berdasarkan perlakuan panas dan media pendinginan yang digunakan. Baja ST 41 memiliki nilai kekerasan awal sebesar 131

HV sebelum dilakukan perlakuan panas. Kekerasan ini mencerminkan struktur mikro asli baja tersebut tanpa adanya perubahan signifikan pada fasa atau butiran mikrostruktur [14]. Selama proses perlakuan panas, baja dipanaskan hingga 950°C, yang merupakan suhu di atas suhu kritis untuk baja karbon rendah. Pada suhu ini, struktur mikro baja mengalami transformasi menjadi austenit. Namun, setelah didinginkan dengan oli, nilai kekerasan hanya meningkat sedikit menjadi 131.67 HV. Hal ini disebabkan oleh pendinginan yang lebih lambat dibandingkan media lain, sehingga memungkinkan terbentuknya struktur mikro seperti perlit kasar atau bainit, yang memiliki kekerasan relatif lebih rendah [15]. Saat baja didinginkan di udara, nilai kekerasannya meningkat menjadi 158.67 HV. Pendinginan udara memberikan kecepatan pendinginan yang sedang, sehingga menghasilkan struktur mikro seperti perlit halus atau bahkan sebagian martensit. Struktur ini lebih keras dibandingkan perlit kasar yang terbentuk selama pendinginan oli. Ketika baja didinginkan dengan air, nilai kekerasan meningkat drastis menjadi 171 HV. Air adalah media pendinginan cepat (*quenching*) yang menghasilkan pembentukan martensit, struktur mikro yang sangat keras namun rapuh. Pendinginan cepat juga mengurangi waktu untuk difusi karbon, yang menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dibandingkan pendinginan udara atau oli.

### Hasil Pengujian Kelelahan Baja St 41

Kelelahan merupakan suatu sifat yang di akibatkannya beban berulang - ulang pada baja, oleh karena nya diperlukannya suatu perhitungan atau pun analisa perhitungan umur baja tersebut. Untuk mendapatkan nilai siklus pada baja ST 41 diperlukannya beban minimum 1/3 dari kekuatan tarik baja ST 41 sebesar 12 kg. Adapun tegangan lentur yang terjadi pada baja ST 41, dapat di perhitungan pada rumus sebagai berikut:

$$\sigma_E = \frac{32WL}{\pi.d^3} \quad (1)$$

Dengan :

- $\sigma_E$  = Tegangan Lentur (kgf/mm<sup>2</sup>)
- W = Beban Yang Digunakan (kg)
- L = Jarak Antar Beban Dan Titik Area Pengujian (cm)
- d = Diameter Spesimen (cm)
- $\pi$  = Phi (3,14)

Diketahui :

- W = 12 kg
- L = 66 cm
- d = 0,80 cm
- $\pi$  = 3,14

Maka, Tegangan lentur :

$$\begin{aligned} \sigma_E &= \frac{32WL}{\pi.d^3} \\ &= \frac{32.12kg.66cm}{3,14.(0,80cm)^3} \\ &= \frac{25.344kg.cm}{1,61cm} \\ &= 15.731,85 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1.542,76 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dengan beban 12 kg, maka nilai tegangan lentur pada baja ST 41 sebesar 1.542,76 Mpa. Maka dapat dilihat pengujian kelelahan pada Tabel 5 dan 6 sebagai berikut:

**Tabel 6.** Kelelahan baja ST 41 tanpa perlakuan

Kode Spesimen	Tegangan Lentur (Mpa)	Jumlah Siklus (N) Tanpa perlakuan	Nilai Rata-Rata Kelelahan (N)
TPP-1	1542,76	37.360	<b>71.651</b>
TPP-2		103.667	
TPP-3		73.962	

Dari Tabel 6, baja ST 41 tanpa perlakuan pada kode spesimen TPP-2 nilai siklus (N) cukup dominan sebesar 103.667 siklus (N), sedangkan dengan spesimen lain cukup jauh selisih nilainya. Pada spesimen TPP-1 nilai siklusnya sebesar 37.360 siklus (N) dan pada spesimen TPP-3 sebesar 73.962 siklus (N), maka nilai rata - rata nilai siklus pada baja ST 41 tanpa perlakuan sebesar 71.651 siklus (N). Adapun nilai siklus baja ST 41 dengan perlakuan waktu penahanan 15 menit di suhu 9500C, sebagai berikut:

**Tabel 7.** Kelelahan baja ST 41 dengan perlakuan

No	Waktu Penahanan	Media Pendingin	Kode Spesimen	Tegangan Lentur (Mpa)	Jumlah Siklus (N)	Rata-rata (N)
1			PPO-1		12.580	
2		Oli	PPO-2		30.142	30.571,67
3			PPO-3		48.993	
4			PPU-1		11.201	
5	15 Menit	Udara	PPU-2	1542,76	14.707	19.461
6			PPU-3		32.475	
7			PPA-1		58.918	
8		Air	PPA-2		24.350	43.402,33
9			PPA-3		46.939	

Dari Tabel 7, jumlah siklus baja ST 41 menunjukkan selisih yang cukup jauh dibandingkan dengan baja tanpa perlakuan. Perlakuan dengan media pendingin udara mengalami penurunan sebesar 19.467 siklus (N), sedangkan media pendingin air mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan air, yaitu sebesar 43.402,33 siklus (N). Disisi lain, nilai siklus pada media pendingin oli tidak terlalu jauh dari udara, yaitu sebesar 30.571,67 siklus (N). Adapun grafik siklus (N) yang di dapatkan pada baja ST 41 sebagai berikut :



**Gambar 6.** Hasil pengujian kelelahan (*fatigue*) baja St 41

Dari Gambar 6 grafik menunjukkan penurunan nilai siklus kelelahan baja ST 41 setelah diperlakukan panas. Sebelum perlakuan, pada suhu 950°C dan quenching, nilai siklus kelelahan baja ST 41 adalah 71.651 siklus (N). Setelah diperlakukan dengan pendinginan oli, nilai siklus menurun menjadi 30.571,67 siklus (N). Pendekatan pendinginan oli ini menyebabkan struktur mikro yang lebih stabil, tetapi tetap menurunkan ketahanan kelelahan karena ketegangan internal [16]. Dengan pendinginan udara, nilai siklus lebih rendah lagi, yaitu 19.461 siklus (N), karena pendinginan yang lebih lambat menghasilkan struktur yang lebih halus namun lebih rentan terhadap kelelahan. Sedangkan, pada pendinginan air, meskipun terjadi penurunan, nilai siklus kelelahan lebih tinggi, yakni 43.402,33 siklus (N). Hal ini disebabkan oleh struktur mikro yang lebih keras namun lebih homogen, yang tetap memberikan ketahanan kelelahan lebih baik dibandingkan metode lainnya. Penurunan siklus kelelahan ini terkait dengan perubahan struktur mikro yang terjadi selama proses perlakuan panas, termasuk pembentukan fasa martensit atau bainit yang dapat meningkatkan kekerasan, namun mengurangi ketahanan terhadap kelelahan [17], [18].

### 5. Kesimpulan

Kesimpulan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekerasan dan ketahanan kelelahan baja ST 41 dipengaruhi oleh perlakuan panas dan media pendingin yang digunakan. Baja ST 41 tanpa perlakuan memiliki kekerasan rata-rata 134 HV. Setelah dilakukan perlakuan panas pada suhu 950°C dengan media pendingin oli, udara, dan air, nilai kekerasan meningkat secara signifikan. Pendinginan dengan air menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 171 HV, diikuti oleh pendinginan udara (158,67 HV) dan oli (131,67 HV). Dalam pengujian kelelahan, baja ST 41 tanpa perlakuan menunjukkan nilai rata-rata siklus sebesar 71.651 siklus (N). Perlakuan panas dengan pendinginan oli menurunkan jumlah siklus kelelahan menjadi 30.571,67 siklus (N), sementara

pendinginan udara menghasilkan penurunan yang lebih besar menjadi 19.461 siklus (N). Pendinginan air, meskipun terjadi penurunan, memberikan siklus kelelahan tertinggi sebesar 43.402,33 siklus (N). Secara keseluruhan, perlakuan panas dengan media pendingin air memberikan kekerasan dan ketahanan kelelahan yang paling baik dibandingkan dengan metode lainnya.

#### Daftar Pustaka

- [1] G. Gumilar, I. Abdulah, R. Suratman, and A. R. Setiawan, "Analysis of Microstructure and Hardness of Welded Joints of Dissimilar Steel of Aisi 1018 - Aisi 304," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 20, no. 4, p. 149, 2019, doi: 10.17146/jsmi.2019.20.4.5280.
- [2] M. Pita and L. Lebea, "Investigating the Effect of Cooling Media on Hardness, Toughness, Coefficient of Friction, and Wear Rate of Mild Steel Heat Treated at Different Temperatures," *Mater. Des. Process. Commun.*, vol. 2022, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1155/2022/3564875.
- [3] M. Ramadan, "Interface Structure and Elements Diffusion of as-Cast and Annealed Ductile Iron/Stainless Steel Bimetal Castings," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 2709–2714, 2018, doi: 10.48084/etasr.1856.
- [4] E. Santoso and Ismail, "Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas Hardening Pada Baja ST-41 Terhadap Sifat Mekanik," *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 64–71, 2021.
- [5] M. Kadowaki *et al.*, "First-Principles Investigation on Work Function of Martensitic Carbon Steels: Effect of Interstitial Carbon on Anodic Dissolution Resistance," 2021. doi: 10.1149/1945-7111/ac3276.
- [6] A. Tridello and D. S. Paolino, "LCF-HCF Strain-life Model: Statistical Distribution and Design Curves Based on the Maximum Likelihood Principle," 2023. doi: 10.1111/ffe.13990.
- [7] W. Suprpto, *Baja dan Aplikasinya*. Universitas Brawijaya Press, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=njPuEAAAQBAJ>
- [8] Z. Wani and N. Kumar, "A Review on Carburizing temperature and the mechanical behaviour of mild steel," *Dogo Rangsang Res. J.*, vol. 10, no. 9, pp. 115–128, 2020.
- [9] S. Sumiati, P. Purwati, and I. Nugraha, "Implementation of Value Engineering in Heat Treatment Process to Cooling Media Steel ST 41 at PT. XY," *E3s Web Conf.*, vol. 328, p. 7013, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202132807013.
- [10] C. Vellanki, S. Choudhury, D. B. Jayagopi, G. Vimson, and G. Paul, "Influence of Lubrication on the Friction and Wear Characteristics of Low Carbon Steel Under Sliding Reciprocation Conditions," *Iop Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2022, doi: 10.1088/1757-899x/1248/1/012033.
- [11] L. A. Matlakhova, E. C. Pessanha, H. Alves, N. A. Palii, and S. N. Monteiro, "Temperature Effect on the Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, Internal Friction, and Dilatometric Changes in Quenched and Annealed AISI4130 Steel," 2023, doi: 10.20944/preprints202305.0861.v1.
- [12] A. Wojtacha and M. Opiela, "Numerical Simulation of the Phase Transformations in Steels: A Case Study on Newly-Developed Multi-Phase Steels for Drop Forgings," *Adv. Sci. Technol. – Res. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 126–133, 2021, doi: 10.12913/22998624/130863.
- [13] A. Standard, "E8. Standard test method for tension testing of metallic materials," *West Conshohocken ASTM*, 2004.
- [14] Y. Li *et al.*, "Effects of Austenite Deformation on Continuous Cooling Transformation of the Pearlite Heat-Resistant Steel," *Ironmak. Steelmak.*, vol. 48, no. 4, pp. 402–408, 2020, doi: 10.1080/03019233.2020.1799699.
- [15] A. R. Khan, Y. Shi, H. Wang, and Y.-G. Jiang, "Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties in the CGHAZ of Electroslag Welded Pearlitic Rail Steel," *Metals (Basel)*, vol. 9, no. 7, p. 742, 2019, doi: 10.3390/met9070742.
- [16] D. Ergashev and O. Khudayberdiev, "Development of Thermocyclic Processing Modes for Carbon Steels Used on Cold Forming Tools," *E3s Web Conf.*, vol. 383, p. 4066, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202338304066.
- [17] P. T. T. Hang, "Effects of Heat Treatment Process on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel," 2021. doi: 10.31817/vjas.2021.4.4.07.
- [18] G. Li *et al.*, "Study of the Catalytic Strengthening of a Vacuum Carburized Layer on Alloy Steel by Rare Earth Pre-Implantation," 2019. doi: 10.3390/ma12203420.