

Pengaruh Variasi Holding Time pada Proses Pemanasan Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja S45C

Heppy Satya Aditama^{a*}, Ali Achmadi^a

^a Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Jl. Kampus Ronggolawe No.1 Mentul, Indah, Komp. Pertamina, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315,

*E-mail: heppy.stya15@gmail.com

Tentang naskah:

-diterima, 21 Agt 2025
-direview, 30 Des 2025
-diterbitkan, 31 Des 2025

Kata kunci:

Waktu Penahanan, Baja S45C, Struktur Mikro, Perlakuan Panas.

Keywords:

Holding time, S45C steel, Microstructure, Heat treatment

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *holding time* pada proses pemanasan terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja S45C. Baja S45C merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,42-0,48%, yang banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk komponen mesin seperti poros dan roda gigi. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan pada suhu 900°C dengan variasi tanda *holding time* dan *holding time* 5, 10, 15, dan 20 menit, diikuti pendinginan cepat menggunakan air sebagai media pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *holding time* berpengaruh signifikan terhadap kekerasan dan struktur mikro baja. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada *holding time* 10 menit dengan rata-rata 565,3 HB, sedangkan struktur mikro didominasi oleh fase martensit 87,5% yang terbentuk akibat pendinginan cepat. Hasil ini menunjukkan bahwa optimasi *holding time* dapat meningkatkan sifat mekanik baja S45C, khususnya kekerasan, sehingga bermanfaat untuk aplikasi industri yang membutuhkan material dengan ketahanan aus tinggi.

Abstract

This study aims to analyze the effect of holding time variation in the heating process on the hardness value and microstructure of S45C steel. S45C steel is a medium carbon steel with a carbon content of 0.42-0.48%, which is widely used in the manufacturing industry for machine components such as shafts and gears. The heat treatment process was carried out at 900°C with variations without holding time and with holding times of 5, 10, 15, and 20 minutes, followed by rapid cooling using water as a cooling medium. The results showed that holding time had a significant effect on the hardness and microstructure of the steel. The highest hardness value was achieved at a holding time of 10 minutes with an average of 565.3 HB, while the microstructure was dominated by the martensite phase (87.5%) formed due to rapid cooling. These results show that holding time optimization can improve the mechanical properties of S45C steel, especially hardness, making it useful for industrial applications that require materials with high wear resistance.

1. Pendahuluan

Baja adalah paduan yang terdiri dari besi (Fe), karbon (C), dan elemen tambahan seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn), dengan kandungan karbon berkisar antara 0,1% hingga 1,7%. Baja S45C, yang termasuk dalam kategori baja karbon sedang dengan kandungan C antara 0,42% hingga 0,48%, banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk komponen mesin yang memerlukan kekuatan dan ketahanan aus tinggi, seperti poros dan roda gigi. Untuk meningkatkan sifat mekanisnya, perlakuan panas, termasuk *holding time*, dapat dilakukan untuk mengubah struktur kristal logam. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi *holding time* dapat mempengaruhi kekerasan dan struktur mikro baja; misalnya, Herizen & Siswanto (2020) menemukan bahwa penambahan *holding time* berdampak signifikan pada

kekerasan, sementara Fatoni (2021) mengungkapkan bahwa variasi *holding time* berpengaruh pada pembentukan struktur mikro. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih lanjut pengaruh variasi *holding time* pada kekerasan dan struktur mikro baja S45C, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi perlakuan panas dan aplikasi baja di industri, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

2. Kerangka Teori

2.1 Definisi Baja

Baja adalah paduan yang terdiri dari besi (Fe), karbon (C), dan unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn). Baja karbon, yang sering disebut baja gelap karena warnanya yang hitam, banyak digunakan sebagai bahan baku untuk

pembuatan poros dan komponen mesin lainnya (Atmaja dkk., 2021).

2.2 Jenis Baja Karbon

Menurut (Purnomo, 2017), baja karbon umumnya dibagi menjadi tiga kategori utama berdasarkan kandungan karbonnya:

a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Dengan kadar karbon antara 0,1% hingga 0,3%, baja ini memiliki sifat yang dapat ditempa dan liat. Material ini sering digunakan untuk memproduksi mur, sekrup, pipa, dan berbagai kebutuhan umum dalam konstruksi.

b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Kadar karbonnya berkisar antara 0,4% hingga 0,6%, memberikan sifat yang lebih kenyal dibandingkan baja karbon rendah. Material ini digunakan untuk memproduksi benda kerja tempa berat, poros, dan rel baja.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Dengan kadar karbon antara 0,7% hingga 1,5%, baja ini memiliki sifat yang dapat ditempa, disepuh keras, dan dimudahkan. Material ini digunakan untuk memproduksi kikir, pahat, gergaji, tap, stempel, dan alat-alat mesin bubut.

2.3 Baja S45C

Baja S45C yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baja karbon menengah sesuai standar JIS (*Japanese Industrial Standard*), yang umum digunakan dalam industri Jepang. Kode S45C menunjukkan kandungan karbon sekitar 0,45%, memungkinkan material ini untuk dikeraskan melalui perlakuan panas. Diproduksi oleh Böhler, baja ini sesuai dengan standar JIS G 4051 dan dirancang untuk aplikasi struktur mesin. Komposisinya terdiri dari 0,42–0,48% karbon (C), 0,6–0,9% mangan (Mn), 0,15–0,35% silikon (Si), serta kandungan rendah sulfur (S) 0,035%, fosfor (P) 0,03%, krom (Cr) 0,2%, nikel (Ni) 0,2%, dan tembaga (Cu) 0,3%.



Gambar 1. Baja S45C

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat

untuk mengubah sifat fisiknya, seperti meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, atau kemampuan pemotongan, maupun melunakkan material untuk memudahkan pemesinan. Proses ini juga dapat menghilangkan tegangan internal, memperbaiki ukuran butir, meningkatkan ketangguhan, atau menciptakan permukaan keras dengan inti yang ulet. Keberhasilan perlakuan panas bergantung pada pemahaman komposisi kimia baja, khususnya kandungan karbon, karena perbedaan komposisi memengaruhi sifat akhir material (Purnomo, 2017). Beberapa jenis heat treatment yang umum digunakan antara lain:

a. *Hardening*

Hardening merupakan proses pemanasan logam di atas suhu kritis hingga terbentuk austenit, kemudian didinginkan secara cepat untuk menghasilkan struktur martensit yang meningkatkan kekerasan baja secara signifikan (Handoyo, 2015).

b. *Normalizing*

Normalizing adalah teknik perlakuan panas dengan memanaskan logam hingga suhu austenit lalu mendinginkannya secara alami di udara. Proses ini bertujuan menormalkan kembali struktur mikro baja yang mungkin berubah akibat proses mekanis atau paparan suhu ekstrim (Jokosisworo, 2018).

c. *Annealing*

Annealing dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur tertentu lalu mendinginkannya secara bertahap dalam *furnace* melewati titik transformasi, bertujuan memperhalus butir struktur, meningkatkan kelunakan, serta mengoptimasi karakteristik magnetik dan elektrik material (Handoyo, 2015).

d. *Tempering*

Proses *tempering* melibatkan pemanasan logam yang telah dikeraskan (*quenching*) pada suhu di bawah titik kritis, kemudian didinginkan perlahan untuk mengurangi tegangan sisa, menurunkan kekerasan, dan meningkatkan ketangguhan guna memperoleh kombinasi optimal antara kekuatan dan keuletan (Handoyo, 2015).

2.5 Holding Time

Durasi *holding time* yang tidak optimal berdampak signifikan pada kekerasan material. Waktu yang terlalu pendek menyebabkan pelarutan karbida tidak sempurna sehingga kekerasan rendah, sementara *holding time* berlebihan memicu pertumbuhan butiran yang justru menurunkan kekerasan.

Proses ini dilaksanakan setelah material mencapai suhu target, dengan ketebalan sampel menjadi faktor krusial dalam menentukan lamanya austenisasi (Thomas, 2020). Menurut Handoyo (2015) untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja ada beberapa pedoman:

a. Baja Karbon & Paduan Rendah

Holding time 5-15 menit cukup karena karbidanya mudah larut.

b. Baja Paduan Menengah

Memerlukan *holding time* 15-25 menit tanpa dipengaruhi ukuran benda kerja (Handoyo, 2015).

c. *Low Alloy Tool Steel*

Dibutuhkan 0.5 menit/mm ketebalan atau 10-30 menit untuk mencapai kekerasan optimal (Handoyo, 2015).

d. *High Alloy Chrome Steel*

Membutuhkan *holding time* terpanjang disesuaikan dengan suhu pemanasan (Handoyo, 2015).

e. *Hot Work Tool Steel*

Holding time 15-30 menit pada 1000°C untuk mencegah pertumbuhan butir berlebihan (Handoyo, 2015).

f. *High Speed Steel*

Cukup beberapa menit pada 1200-1300°C untuk hindari pertumbuhan butir (Handoyo, 2015).

2.6 Media Pendingin

Untuk mendapatkan struktur martensit, austenit perlu didinginkan cepat menggunakan media pendingin tertentu seperti air, oli, atau larutan garam. Masing-masing media memiliki karakteristik pendinginan yang berbeda berdasarkan suhu, kekentalan, dan komposisi kimianya (Atmaja dkk., 2021).

a. Air

Air merupakan media pendingin paling efektif untuk quenching karena kemampuannya mendinginkan material secara cepat. Penambahan garam dapat meningkatkan kecepatan pendinginan. Air memiliki sifat unik pada rentang suhu 0-100°C yang penting baik untuk kehidupan sehari-hari maupun proses heat treatment.

b. Oli

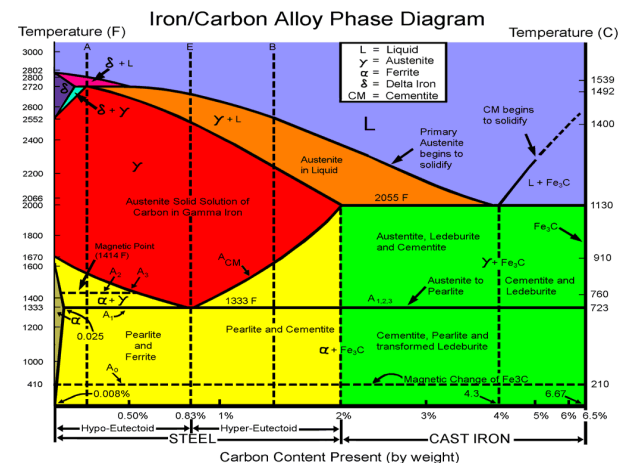
Selain sebagai pelumas, oli juga berfungsi sebagai media pendingin. Kecepatan pendinginannya tergantung pada viskositas - oli dengan kekentalan rendah (seperti SAE 10) mendinginkan lebih cepat dibanding oli kental.

c. Larutan Garam

Larutan garam memberikan pendinginan yang cepat dan konsisten. Keunggulannya adalah mampu meningkatkan kandungan karbon permukaan sehingga menghasilkan material yang lebih keras.

2.7 Diagram Fe-Fe₃C

Diagram Fe-Fe₃C merupakan representasi grafis yang menampilkan hubungan antara suhu dan kandungan karbon (%C) dalam baja selama proses pemanasan bertahap. Sebagai alat fundamental dalam metalurgi, diagram fasa ini berperan penting untuk menganalisis transformasi struktur baja, memprediksi pengaruh perlakuan panas, serta mengidentifikasi berbagai faktor yang memengaruhi karakteristik baja paduan (Syarif & Iman, 2024). Dengan memetakan kondisi keseimbangan termodinamika sistem besi-karbida, diagram ini menjadi acuan utama dalam memahami perilaku baja pada berbagai komposisi dan temperatur.



Gambar 2. Diagram Fasa Fe-Fe₃C

2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan sifat mekanik penting pada material yang menentukan ketahanannya terhadap deformasi plastis dan gesekan. Pengetahuan akan tingkat kekerasan material sangat esensial, terutama untuk aplikasi di mana material tersebut akan mengalami beban gesek atau tekanan mekanik yang dapat menyebabkan perubahan bentuk permanen. Parameter ini menjadi kriteria kunci dalam pemilihan material untuk berbagai aplikasi teknik. Ada beberapa metode uji kekerasan yang umum digunakan, antara lain:

a. *Rockwell*

Metode cepat menggunakan indenter kerucut intan (120°) atau bola baja dengan dua tahap beban (*minor* 10 kg + *major* variatif). Ideal untuk inspeksi rutin.

b. *Brinell*

Menggunakan bola baja/karbida tungsten (500-3000 kgf, 30 detik). Cocok untuk material kasar seperti besi cor, diukur dengan mikroskop.

c. *Vickers*

Memanfaatkan piramida intan (136°) dengan rentang beban mikro (10g-1kg) dan

makro (1-100kg). Presisi tinggi untuk material keras/lapisan tipis.

2.9 Struktur Mikro

Struktur- struktur yang ada pada baja meliputi :

a. Sementit (Fe_3C)

Senyawa keras (6,67%C) berwarna cerah dengan bentuk memanjang.

b. Austenit (γ)

Larutan padat karbon dalam $\gamma\text{-Fe}$ (hingga 2%C), berwarna abu-abu terang dan berbentuk plat.

c. Ferit (α)

Larutan padat karbon rendah dalam $\alpha\text{-Fe}$ (0,008-0,025%C), butiran terang dan polos.

d. Perlit

Campuran *eutektoid ferit-sementit* (0,8%C), struktur berlapis hitam.

e. Martensit

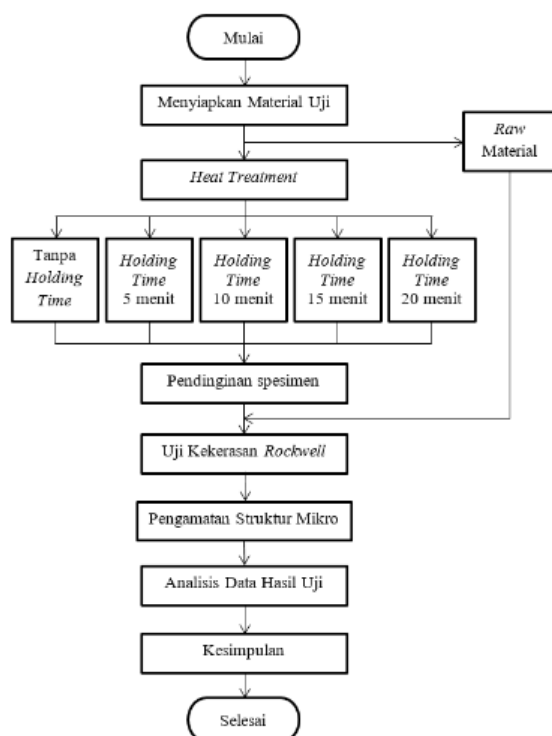
Struktur jarum hitam dari *quenching*, metastabil (>0,5%C).

f. Bainit

Struktur jarum abu-abu gelap (250-550°C, <0,5%C) yang tidak teratur.

3. Metodologi

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian dan pengambilan data akan dilaksanakan di Laboratorium Perlakuan dan Pengujian Bahan Teknik Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

65141.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

a. Bahan Penelitian

1. Baja S45C
2. Media Pendingin Air
3. Larutan *Etching*

b. Alat Penelitian

1. *Furnace*
2. Mikroskop optik
3. *Hardness tester*
4. Gergaji besi
5. Tang penjepit
6. Amplas
7. Sarung tangan anti panas

3.4 Langkah Penelitian

a. Persiapan Spesimen Baja S45C

Enam sampel dipotong dengan mesin gergaji besi berdimensi diameter 30 mm dan tinggi 20 mm, kemudian dibersihkan dari kontaminan (kotoran, minyak, oksida) yang dapat mengganggu hasil pengujian.

b. Proses *Heat Treatment* pada spesimen uji baja S45C

Dari enam sampel uji, satu sampel tidak diberi perlakuan panas karena digunakan sebagai bahan baku. Proses *heat treatment* yang dilakukan pada sampel atau material uji adalah sebagai berikut:

- 1) Pemanasan Awal: Atur temperatur pada kontrol tungku pemanasan dari suhu ruang hingga mencapai 900°C.
- 2) Pemasukan Spesimen: Masukkan kelima spesimen ke dalam tungku pemanasan.
- 3) Pendinginan Spesimen 1 (tanpa *holding time*): Begitu suhu mencapai 900°C, segera keluarkan Spesimen 1 dan dinginkan dengan cara dicelupkan ke dalam 5 liter air.
- 4) Pendinginan Spesimen 2 (*holding time* 5 Menit): Tahan Spesimen 2 selama 5 menit pada suhu 900°C, lalu keluarkan dan segera celupkan ke dalam air untuk pendinginan.
- 5) Pendinginan Spesimen 3 (*holding time* 10 Menit): Tahan Spesimen 3 selama 10 menit pada suhu 900°C, kemudian keluarkan dan dinginkan dalam air.
- 6) Pendinginan Spesimen 4 (*holding time* 15 Menit): Tahan Spesimen 4 selama 15 menit pada suhu 900°C, lalu keluarkan dan lakukan pendinginan cepat dalam air.
- 7) Pendinginan Spesimen 5 (*holding time* 20 Menit): Tahan Spesimen 5 selama 20 menit pada suhu 900°C, kemudian keluarkan dan celupkan ke dalam air untuk didinginkan.
- 8) Pengeluaran Spesimen Setelah Dingin: Setelah seluruh spesimen mencapai suhu dingin, angkat dari air.
- 9) Persiapan Pengujian: Setelah spesimen mengering, lakukan pengamplasan sebelum melanjutkan ke tahap pengujian berikutnya.

c. Pengujian Material

Berikut adalah prosedur pengujian untuk baja S45C yang mencakup analisis struktur mikro dan pengukuran kekerasan menggunakan metode *Rockwell*, beserta tahapan pelaksanaannya.

1) Pengamatan Struktur Mikro

a) Penghalusan (*Grinding*)

- Lakukan pengamplasan permukaan spesimen secara bertahap, dimulai dari kertas amplas kasar hingga yang lebih halus.
- Setelah permukaan cukup halus, bersihkan spesimen dengan air untuk menghilangkan sisa partikel abrasif.

b) Pemolesan (*Polishing*)

- Gunakan pasta *polishing* untuk menghilangkan bekas goresan dan memperoleh permukaan yang halus dan mengkilap.
- Cuci spesimen dengan air kemudian keringkan menggunakan kain lembut atau udara bertekanan.

c) *Etching*

- Rendam spesimen dalam larutan *etching* selama sekitar 1 menit untuk menampilkan struktur mikro.
- Bilas dengan air untuk menghentikan reaksi *etching*, lalu keringkan spesimen.

d) Pengamatan Menggunakan Mikroskop

- Atur fokus dan pencahayaan mikroskop untuk memperoleh gambar struktur mikro yang jelas.
- Ambil gambar pada area yang representatif untuk dianalisis lebih lanjut.

e) Analisis Struktur Mikro

- Identifikasi fase, ukuran butir, serta distribusi struktur mikro dari gambar yang diperoleh.
- Bandingkan hasil antar spesimen untuk menilai pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro.

2) Pengujian Kekerasan *Rockwell*

a) Pemilihan Skala *Rockwell*

- Gunakan skala HRB (dengan *indentor* bola) untuk spesimen tanpa perlakuan panas.
- Gunakan skala HRC (dengan *indentor* kerucut intan) untuk spesimen yang telah mengalami pemanasan.

b) Persiapan Alat Uji

- Pastikan mesin uji *Rockwell* telah dikalibrasi sesuai standar.
- Pasang *indentor* yang sesuai (bola untuk HRB, kerucut untuk HRC).

c) Proses Pengujian

- Letakkan spesimen di atas meja uji dengan permukaan yang rata.
- Terapkan beban awal (*minor load*) untuk memastikan kontak yang stabil.
- Tambahkan beban utama (*major load*)

dan pertahankan selama waktu yang ditentukan.

- Lepaskan beban utama, kembalikan ke beban awal, lalu baca nilai kekerasan.

d) Pengulangan Pengujian

- Lakukan pengujian pada 3 titik berbeda di setiap spesimen.
- Hitung rata-rata nilai kekerasan untuk akurasi yang lebih baik.

e) Analisis Hasil

- Catat semua hasil pengujian, termasuk lokasi indentasi dan kondisi spesimen.
- Bandingkan nilai kekerasan antar spesimen untuk mengevaluasi efek perlakuan panas pada baja S45C.

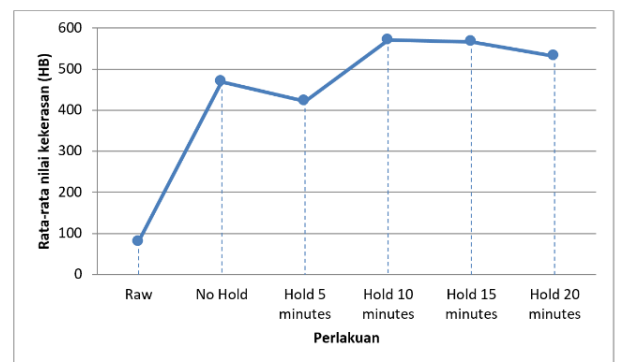
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Kekerasan *Rockwell*

Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan *Rockwell*

Material	Perlakuan	Media Pendingin	Titik Uji Kekerasan HB			Rata-rata
			1	2	3	
Baja S45C	Tanpa perlakuan	Air 5 liter	80	81	80	80,3
	Tanpa holding time		543	432	432	469
	Holding time 5 menit		371	421	475	422,3
	Holding time 10 menit		577	577	560	571,3
	Holding time 15 menit		560	615	525	566,6
	Holding time 20 menit		543	475	577	531,6

Karena ada perbedaan skala *Rockwell* (HRB untuk spesimen mentah, HRC untuk spesimen panas), nilai kekerasan tidak bisa langsung dibandingkan. Makanya, hasil uji *Rockwell* dikonversi ke satuan *Brinell* (HB) biar bisa diukur dengan patokan yang sama.

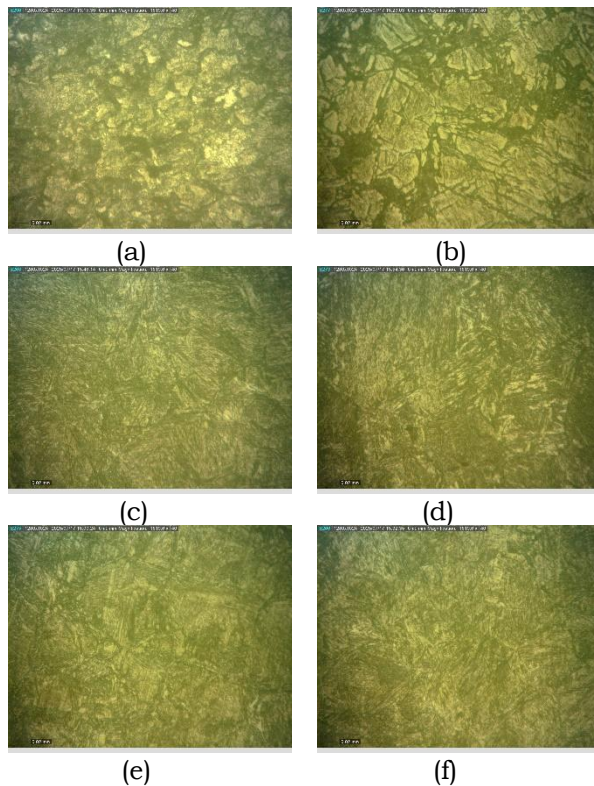


Gambar 4. Grafik rata-rata uji kekerasan *Rockwell*

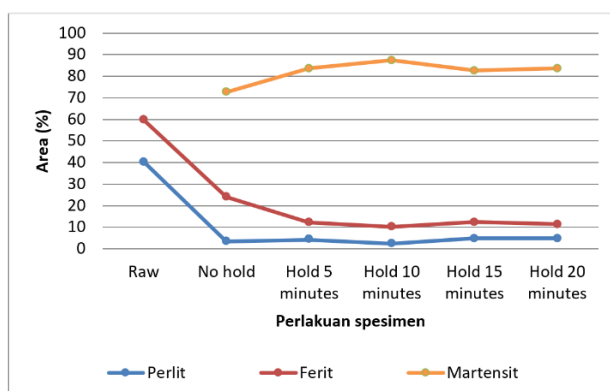
Berdasarkan grafik diatas menunjukkan perlakuan panas terbukti efektif meningkatkan kekerasan material, dengan durasi 10 menit menunjukkan hasil optimal berupa kekerasan tertinggi mencapai 55,6 HRC (setara 571,3 HB). Namun, diamati adanya penurunan kekerasan pada perlakuan 20 menit dibanding durasi yang lebih singkat, mengindikasikan bahwa waktu pemanasan berlebihan justru dapat

mengurangi efek penguatan atau memicu perubahan struktur mikro yang merugikan. Temuan ini menegaskan pentingnya optimasi waktu perlakuan panas untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan.

4.2 Pengamata Struktur Mikro



Gambar 5. (a) raw material, (b) tanpa holding time, (c) holding time 5 menit, (d) holding time 10 menit, (e) holding time 15 menit, (f) holding time 20 menit.



Gambar 6. Grafik presentase area struktur mikro

Berdasarkan grafik, hasil analisis struktur mikro baja S45C mengungkapkan perubahan signifikan dari struktur awal yang didominasi *perlit-ferit* menjadi struktur *martensitik* setelah perlakuan panas. Pemanasan pada 900°C dengan variasi waktu penahanan 0-20 menit menunjukkan bahwa semakin lama waktu

penahanan, semakin optimal transformasi menjadi *martensit*, mencapai presentase area maksimum 87,5%, meskipun masih terdapat sisa *perlit* (maksimal 12,5%) dan *ferit* (maksimal 4,8%). Temuan ini membuktikan bahwa kombinasi penahanan suhu dan *quenching* mampu meningkatkan kekerasan baja S45C secara signifikan melalui pembentukan struktur *martensit* yang dominan.

5. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas pada baja S45C secara signifikan meningkatkan kekerasan material, dimana durasi 10 menit pada suhu 900°C menghasilkan nilai kekerasan optimal sebesar 55,6 HRC (571,3 HB). Analisis struktur mikro mengungkapkan transformasi fase dari struktur awal *perlit-ferit* menjadi dominasi *martensit* (87,5%) dengan sisa *perlit* (12,5%) dan *ferit* (4,8%). Namun, durasi penahanan 20 menit justru menunjukkan penurunan kekerasan dibanding durasi lebih singkat, mengindikasikan adanya titik optimal dimana perlakuan panas yang berlebihan dapat mengurangi efektivitas transformasi *martensit* atau memicu perubahan struktur mikro yang kurang menguntungkan. Temuan ini membuktikan bahwa kontrol waktu pemanasan dan proses *quenching* merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kekerasan baja S45C melalui pembentukan struktur *martensit* yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja, W. P., Firmansyah, M., & Santoso, E. (2021). Analisa Pengaruh Variasi Holding Time Dan Media Pendingin Pada Perlakuan Panas Hardening Baja St.41 Terhadap Sifat Mekanik. 4(2), 1-10.
- Fatoni, M. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin dan Holding Time Terhadap Kekerasan Pada Proses Hardening. 11.
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching dan Tempering Pada Baja JIS GRADE S45C. 3(2), 102-115.
- Herizen, D., & Siswanto, R. (2020). Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja SUS 630 Metode Hardening. 2(2), 149-160.
- Jokosisworo, S. (2018). Pengaruh Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 46. Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan, 15(2), 68-73. <https://doi.org/10.14710/kpl.v15i2.19193>
- Khakim, A. L. (2020). Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Sifat Mekanis Baja Karbon Rendah Untuk As Roda Sepeda Motor. 1-94.
- Korawan, A. D. (2022). Hardening Baja Aisi-4120 Dengan Variasi Holding Time. 8(1), 19-23.
- Mardianzah, Y., & Mudjijanto. (2022). Uji Eksperimen Heat Treatment Baja Pegas Dengan Variasi Media Pendinginan Terhadap Sifat Mekanis. Jurnal Mekanika Energi, 2(1), 9-15.
- Pramono. (2011). Karakterisrik Mekanik Proses Hardening

- Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. 5(1), 32–38.
- Purnomo. (2017). Material Teknik. In Martensitic SS. [https://eprints.uad.ac.id/24681/1/Modul Kuliah Material Teknik. pdf](https://eprints.uad.ac.id/24681/1/Modul%20Kuliah%20Material%20Teknik.pdf).
- Syarief, A., & Iman, N. (2024). Pengaruh Variasi Pendinginan dan Holding Time terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Perlakuan Panas Baja ASSAB. 13(02), 290–299.
- Thomas, A. T. (2020). Pengaruh Holding Time Dan Quenching Terhadap Angka Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 4140. 4140, 57.
- Widodo, E., & Huda, M. (2016). Optimasi Holding Time untuk Mendapatkan Kekerasan Baja S 45 C. 1(1), 1–6.