JME (Jurnal Mekanika dan Energi)
EISSN: 3048-2836 *E-Mail*: jme@sttrcepu.ac.id

Pengaruh Perubahan Waktu Penahanan pada Proses *Hardening* Menggunakan Pendingin Oli terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045

Yoga Sulistiyawan1, Mudjijanto2*Ali Achmadi3, Ratna Dwi Rahayu4

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

*Email : mudjijantoswd@gmail.com

Tentang naskah:

- diterima 18 Nov 2024
- direview 13 Des 2024
- diterbitkan 23 Des 2024

Kata kunci:
Baja AISI 1045, *holding time*, nilai kekerasan dan struktur mikro

Intisari

Baja AISI 1045 adalah jenis baja karbon medium atau menengah yang memiliki kandungan karbon 0,4 – 0,5%. Pada penelitian ini ingin mengetahui pengaruh *holding time* dari baja AISI 1045 pada heat treatment dengan proses hardening berpendingin oli terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro. Baja AISI 1045 dipanaskan pada suhu 850°C menggunakan 3 variasi *holding time* yaitu 20, 30 dan 40 menit, dengan media pendinginan oli SAE 40. Pengujian nilai kekerasan dilakukan dengan menggunakan Hardness Rockwell Tester. Dari hasil pengujian pada raw material diperoleh nilai kekerasan sebesar 30 HRc, untuk *holding time* 20 menit diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 46,6 HRc, sedangkan *holding time* 30 menit diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 48,6 HRc dan pada *holding time* 40 menit diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 50,1 HRc. Hasil dari pengujian nilai kekerasan dan struktur mikro menunjukkan bahwa semakin lama *holding time* maka nilai kekerasan akan semakin meningkat, untuk hasil struktur mikro pada baja AISI 1045 dengan diberi perlakuan *holding time* terlihat semakin banyak karbon yang terdistribusi, sedangkan *holding time* 40 menit dari hasil pengamatan menunjukkan fasa perubahan bentuk sehingga dapat menyebabkan potensi distorsi yang lebih tinggi, sedangkan *holding time* 30 menit struktur mikro menjadi lebih homogen dan teratur.

Keyword:
AISI 1045 steel, holding time, hardness value, microstructure

Abstract

AISI 1045 steel is a type of medium or medium carbon steel which has a carbon content of 0,4 – 0,5%. This study aims to determine the effect of holding time of AISI 1045 steel in heat treatment with oil-cooled hardening process on hardness value and microstructure. AISI 1045 steel is heated at 850°C using 3 holding time variations, namely 20, 30 and 40 minutes, with SAE 40 oil cooling media. Hardness value testing is carried out using a Hardness Rockwell Tester. From the test results on the raw material obtained a hardness value of 30 HRc, for a holding time of 20 minutes an average hardness value of 46,6 HRc was obtained, while a holding time of 30 minutes obtained an average hardness value of 48,6 HRc and at a holding time of 40 minutes obtained an average hardness value of 50,1 HRc. The results of testing the hardness value and microstructure show that the longer the holding time, the more the hardness value will increase, for the results of the microstructure of AISI 1045 steel treated with holding time, it can be seen that more carbon is distributed, while the 40-minute holding time from the observation results shows a phase change in shape so that it can cause higher distortion potential, while the 30-minute holding time microstructure becomes more homogeneous and regular.

1. Pendahuluan

Baja AISI 1045 merupakan jenis baja karbon medium dan sering dimanfaatkan dalam aplikasi teknik, terutama karena keseimbangan antara kekuatan dan keuletan yang dimilikinya. Baja ini banyak dipilih sebagai komponen yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap beban, seperti roda gigi, poros, *bearing* dan komponen mesin lainnya. Salah satu metode untuk menambah kekerasan dan ketahanan aus pada baja AISI 1045 adalah melalui proses *hardening*. Hal ini diproses dengan cara memanaskan baja tersebut sampai temperatur tertentu, kemudian mendinginkannya secara cepat untuk membentuk struktur martensit. Hasil dari proses ini adalah peningkatan kekerasan yang signifikan, namun untuk mencapai hasil optimal diperlukan penyesuaian parameter yang tepat.

Salah satu parameter krusial dalam proses *hardening* adalah *holding time*, yaitu waktu penahanan (*holding time*) pada suhu pemanasan sebelum tahap pendinginan. Variasi waktu penahanan ini akan mempengaruhi pembentukan fasa martensit dan struktur mikro material, yang pada akhirnya berdampak pada kekerasan serta sifat mekanik baja. Pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh waktu penahanan terhadap kekerasan dan struktur mikro menjadi hal krusial untuk mengoptimalkan proses pengerasan baja AISI 1045 agar memenuhi kebutuhan aplikasi tertentu.

(Thomas, 2020), Melakukan penelitian Proses perlakuan panas dilakukan pada suhu 850°C dengan variasi waktu penahanan, diikuti oleh proses *quenching* pada suhu rendah 8°C. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode indentasi pada lima titik permukaan baja, dengan indentor bola baja berdiameter 1/16 inci, beban 100 kg, dan waktu penahanan 10 detik di setiap titik. Pengujian dilakukan untuk setiap variasi waktu penahanan. Pada baja yang belum mengalami proses pengerasan, nilai kekerasan awal tercatat sebesar 83,7 HRB. Dengan waktu penahanan selama 30 menit, nilai kekerasan meningkat menjadi 91,1 HRB, sedangkan pada durasi 60 menit mencapai 92,1 HRB, dan dengan waktu penahanan 90 menit mencapai 93,4 HRB. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin lama waktu waktu penahanan selama proses perlakuan panas (*heat treatment*), nilai kekerasan baja cenderung meningkat. Selain itu, pengamatan terhadap struktur mikro menunjukkan terbentuknya struktur martensit dan bainit.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Anhar, 2020) hasil pengujian kekerasan paduan roda gigi *sprocket* baja 1020 dengan timah yang di *quenching* dengan oli menunjukkan bahwa pendinginan oli dapat meningkatkan kekerasan baja 1020. Hasil menunjukkan bahwa kekerasan baja 1020 yang di *quenching* dengan oli mencapai 54 HR, sedangkan yang diquenching dengan air mencapai 58.4 HR

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh (Wulandari dkk, 2021) Dimana penelitiannya bertujuan untuk menganalisis pengaruh durasi waktu penahanan dan juga jenis media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja 1045 yang telah melalui proses *hardening*. Variasi yang digunakan meliputi waktu penahanan selama 10 menit dengan media pendingin air, 20 menit dengan media pendingin oli, dan 30 menit dengan media pendingin udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen yang tidak mengalami proses *hardening* memiliki tingkat kekerasan sebesar 207,4799 HV. Setelah *hardening*, spesimen dengan waktu penahanan 10 menit menunjukkan peningkatan kekerasan tertinggi, mencapai 697,4134 HV. Spesimen dengan waktu penahanan 20 menit menghasilkan kekerasan sebesar 264,7898 HV, sedangkan spesimen dengan waktu penahanan 30 menit mencapai kekerasan 243,3497 HV. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa variasi durasi waktu penahanan dan jenis media pendingin selama proses *hardening* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan baja AISI 1045.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Fayai & Mufarida, 2021), Baja 1045 menjalani proses *hardening* pada suhu 800°C dengan waktu penahanan selama 40 menit, kemudian didinginkan secara cepat melalui proses *quenching*. Hasil uji kekerasan menunjukkan nilai tertinggi pada benda uji yang di-*quenching* dengan media pendingin air garam dengan konsentrasi 700 garam, menghasilkan rata-rata kekerasan sebesar 20,4 HR.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu penahanan pada proses *hardening* dengan pendinginan oli terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045. Dengan variasi waktu penahanan, diharapkan akan terlihat perbedaan tingkat kekerasan dan karakteristik struktur mikro yang terbentuk, sehingga parameter proses yang menghasilkan sifat material optimal dapat diidentifikasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi industri yang menggunakan baja AISI 1045 dalam pembuatan komponen yang memerlukan kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, sekaligus memberikan wawasan bagi Industri Kecil Menengah (IKM) dalam upaya meningkatkan kualitas produksi.

2. Kerangka Teori

2.1 Baja

Baja adalah paduan logam yang terutama terdiri dari besi (Fe) dengan kandungan karbon (C) sebagai elemen utama yang memengaruhi sifat mekaniknya. Kandungan karbon pada baja biasanya berkisar antara 0,02% hingga 2,11%, tergantung pada jenis dan tujuan penggunaannya. Selain karbon, baja juga dapat mengandung elemen paduan lain seperti mangan, krom, nikel, dan molibdenum untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, atau sifat khusus lainnya. Baja banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena sifatnya yang kuat, ulet, dan mudah dibentuk, menjadikannya material yang sangat serbaguna dalam konstruksi, manufaktur, dan rekayasa.

2.2. AISI 1045

American Iron and Steel Institue (AISI) 1045 adalah baja karbon yang kandungan karbonya sekitar 0,42% - 0,50% baja ini termasuk dalam golongan baja menengah (Glyn Meyrick, 2002) Pada baja AISI 1045, angka 45 menunjukkan kadar karbon dalam baja tersebut, yaitu 0,45%. Baja ini memiliki sifat mekanik yang sangat baik, termasuk kemampuan untuk dilakukan pengelasan dan pemesinan, serta tingkat kekerasan dan ketahanan terhadap aus yang unggul.

Suhu austenit pada baja AISI 1045 berada dalam kisaran 820-860˚C, menghasilkan sifat-sifat seperti kemampuan las yang baik, kemampuan mesin yang optimal, dan daya tahan terhadap beban impak yang cukup memadai.

Tabel 1. Komposisi Baja AISI 1045

Kandungan Unsur	**Berat %**
Karbon (C)	0.42 – 0.50
Mangan (Mn)	0.50 – 0.80
Sulfur (S) Maks.	0.04
Fosfor Maks.	0.035
Silicon	0.15 – 0.40

2.3 Perlakuan Panas

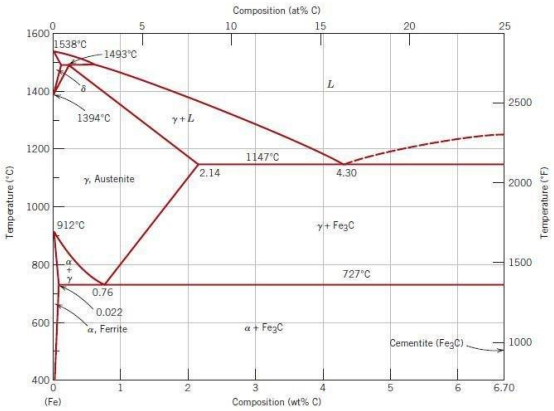
Perlakuan panas adalah metode yang digunakan untuk mengubah sifat logam dengan memanipulasi struktur mikronya melalui proses pemanasan, waktu penahanan tertentu, dan pengendalian laju pendinginan, tanpa mengubah komposisi kimianya. Tujuan dari proses ini adalah untuk menyesuaikan atau meningkatkan tingkat kekerasan baja sesuai dengan kebutuhan. Jenis baja yang sering menjalani perlakuan panas adalah baja perkakas, sedangkan baja karbon rendah tidak cocok untuk proses ini karena kadar karbonnya yang terlalu rendah.

2.4 Hardening

Hardening merupakan proses pemanasan baja hingga mencapai atau melampaui suhu kritis, diikuti dengan pendinginan cepat. Proses ini melibatkan pemberian panas dan transfer panas dalam waktu singkat. Tujuan *hardening* adalah mengubah struktur baja sehingga terbentuk struktur martensit yang keras. Prosesnya melibatkan pemanasan baja hingga suhu tertentu, biasanya antara 770-850°C (tergantung kadar karbon), kemudian mempertahankan suhu tersebut untuk beberapa waktu sebelum didinginkan secara tiba-tiba dengan mencelupkan baja ke dalam media pendingin. Pendinginan yang cepat ini mencegah transformasi austenit menjadi perlit dan ferit, atau perlit dan sementit, sehingga austenit langsung berubah menjadi martensit.

2.5 Diagram Fasa

Dalam bidang metalurgi, diagram Fe-C memiliki peran penting karena memberikan gambaran tentang perubahan fasa pada baja, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Diagram ini menunjukkan hubungan antara suhu dan kandungan karbon (%C) yang memengaruhi perubahan fasa selama proses pendinginan atau pemanasan lambat. Selain karbon, baja dan besi juga mengandung sekitar 0,25% silikon (Si), 0,3–1,5% mangan (Mn), serta unsur pengotor seperti fosfor (P) dan sulfur (S). Diagram fasa berfungsi sebagai alat untuk menyajikan data terkait perlakuan panas logam, dan diagram fasa besi-karbon secara khusus diterapkan pada baja. Diagram ini menghubungkan struktur mikro dengan sifat mekanis baja, yang keduanya sangat dipengaruhi oleh karakteristik diagram fasanya. Selain itu, diagram fasa memberikan informasi penting seperti titik leleh, titik kristalisasi, dan fenomena lainnya yang berkaitan dengan sifat material.



Gambar 1. Diagram *Fasa Fe-C ((*William D. Callister, Jr', 2009)

Berbagai fasa yang umum dijumpai pada baja karbon:

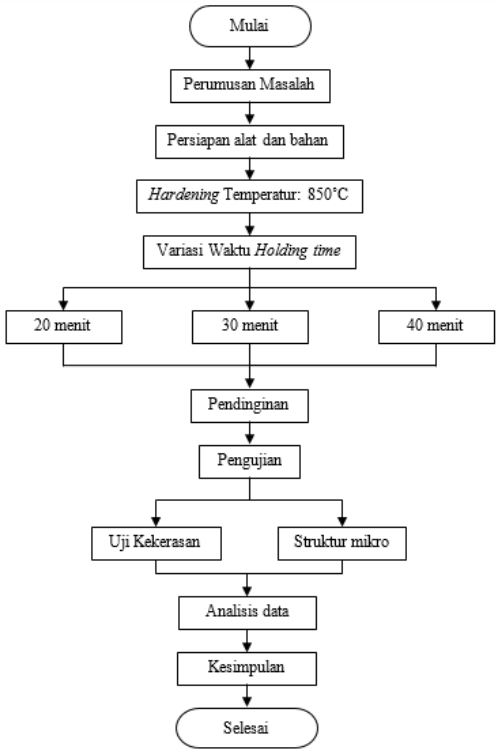
1. *Austenite*
2. *Ferrit*
3. *Perlit*
4. *Bainite*
5. *Martensite*
6. *Sementit*

2.6. Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Waktu penahanan merupakan salah satu faktor utama dalam proses perlakuan panas. Durasi ini berfungsi untuk meningkatkan tingkat kekerasan bahan atau baja dengan mempertahankan suhu pemanasan, yang dikenal sebagai suhu austenit, selama periode tertentu. Tujuan utama dari waktu penahanan adalah memastikan pemanasan yang merata sehingga fasa austenit yang dihasilkan memiliki struktur yang homogen. Waktu penahanan juga memainkan peran penting dalam transformasi fasa, karena durasi yang tidak tepat dapat mengakibatkan perubahan fasa yang tidak sempurna.

3. Metodologi

3.1 Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat Pengujian

Tempat pembuatan spesimen dilaksanakan di Workshop Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu. dan pengujian kekerasan dan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Perlakuan dan Pengujian Bahan Teknik, Politeknik Negeri Malang.



Gambar 3. Baja AISI 1045

3.3 Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dimana baja AISI 1045 diberi perlakuan panas dengan variasi *holding time* dan pendinginan oli untuk mendapatkan data kekerasan dan struktur mikro.

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi:

1. *Furnace* untuk pemanasan
2. *Holding time* untuk menahan temperatur
3. Pendinginan menggunakan oli
4. Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell

5. Mikroskop optik untuk pengujian struktur mikro

Variabel penelitian yang digunakan meliputi:

1. Variasi *holding time* adalah 20, 30, dan 40 menit
2. Media pendinginan oli
3. Temperatur pemanasan 850°C

Pengumpulan data dilakukan dengan cara:

1. Mengukur kekerasan menggunakan Rockwell
2. Mengamati struktur mikro menggunakan mikroskop optic

3.4 Uji Kekerasan

Pengujian ini dilakukan dengan metode Rockwell (HRc) Sesuai Standar ASTM E8, Dimana prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

a. Spesimen diletakkan diatas dudukan spesimen pada mesin uji
b. Pastikan permukaan benda uji sejajar terhadap dudukan.
c. Pengujian kekerasan dengan metode penekanan pada salah satu sisi.
d. Titik penekanan pada satu spesimen berjumlah 3 titik, dimulai dari tengah.
e. Kemudian dilanjutkan ke area dengan jarak yang berbeda.
f. Waktu penekanan 5 detik, hingga nilai kekerasan muncul dari layar monitor.
g. Lakukan pengujian pada spesimen berikutnya

3.5 Pengamatan Struktur Mikro

Proses pengamatan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Permukaan spesimen yang akan diamati mikronya diamplas hingga halus dengan menggunakan amplas yang terpasang pada mesin pemoles
b. Untuk mengindari adanya bercak amplas, permukaan spesimen dioleskan pasta alumina.
c. Permukaan yang sudah halus kemudian di etsa menggunakan campuran cairan kimia, yaitu: 95 ml Alkohol + 2 ml HNO_3 kemudian diaduk hingga tercampur homogen.
d. Bagian yang telah di etsa, dilakukan pengamatan mikroskop dengan pembesaran 363,5 X.
e. Kemudian foto hasil pengamatan mikro struktur.
f. Lakukan pengujian untuk spesimen berikutnya

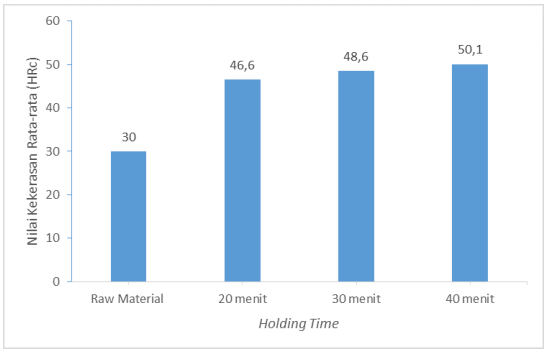
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045

No	Variasi	Nilai Kekerasan (HRc)			Nilai Kekerasan Rata-rata (HRc)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1	*Raw Material*	31,5	29	29,5	30
2	*Holding time* 20 menit	48,5	48	44	46,8
		48,5	44	42,5	45,0
		48,5	50	45	47,8
3	*Holding time* 30 menit	48,5	45,5	50	48,0
		46	44,5	48,5	46,3
		51,5	52	50,5	51,3
4	*Holding time* 40 menit	52,5	49,5	50	50,7
		48	45,5	49	47,5
		52,5	51	52,5	52,0

Hasil uji kekerasan sesuai Tabel 2. dengan variasi *holding time* dilakukan sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh hasil rata-rata seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Nilai Kekerasan Rata-rata Baja AISI 1045

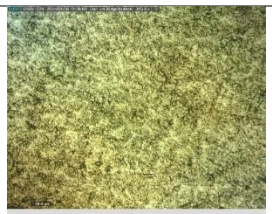
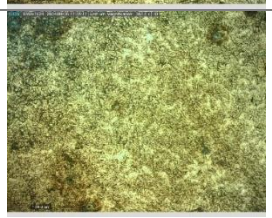
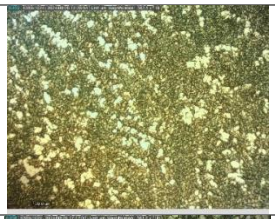
Dari Gambar 4. dapat dilihat bahwa nilai kekerasan baja AISI 1045 tanpa perlakuan adalah 30 HRc. Pada baja AISI 1045 yang dipanaskan pada temperatur 850°C kemudian didinginkan dengan media pendingin oli, diperoleh data pada *holding time* 20 menit menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 46,6 HRc, dengan *holding time* 30 menit menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 48,6 HRc dan pada *holding time* 30 menit nilai kekerasannya semakin meningkat yaitu sebesar rata-rata sebesar 50,1 HRc.

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *holding time* disertai peningkatan kekerasan baja AISI 1045, sedangkan spesimen tanpa *holding time* menghasilkan nilai kekerasan yang paling rendah.

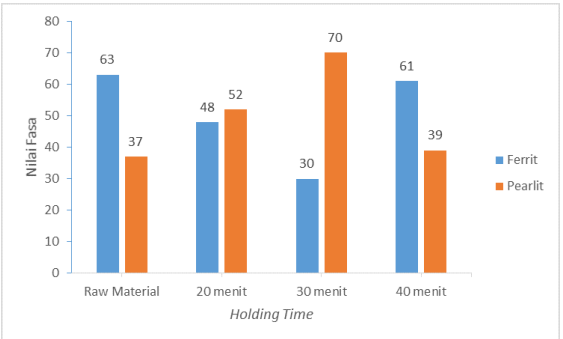
4.2 Struktur Mikro

Berdasarkan hasil uji metalografi terlihat bahwa struktur mikro pada baja AISI 1045 dengan perubahan *holding time* terlihat adanya perbedaan struktur mikro yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil photo struktur mikro

No	*Holding time*	Struktur Mikro
1	Raw material	
2	20	
3	30	
4	40	

Dari hasil perhitungan perlit dan ferrit seperti pada Tabel 3. dapat dilihat pada Gambar 5. Di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Nilai Struktur Mikro

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin lama *holding time*, semakin banyak karbon yang terdistribusi secara merata dalam struktur austenit. Pada baja AISI 1045 dengan *holding time* selama 30 menit, struktur mikro cenderung lebih homogen dan teratur, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik serta dominasi fasa perlit. Sementara itu, pada *holding time* 40 menit, struktur mikro didominasi oleh fasa perlit dengan distribusi karbon yang semakin merata, yang mengakibatkan penambahan nilai kekerasan. Namun, pengamatan juga menunjukkan adanya perubahan fasa yang dapat meningkatkan potensi terjadinya distorsi..

5. Simpulan

Kesimpulan dari penelitian ini mengenai pengaruh variasi *holding time* pada proses *hardening* dengan pendinginan oli terhadap baja AISI 1045 adalah sebagai berikut:

Pengaruh *Holding Time* terhadap Kekerasan: Penelitian menunjukkan bahwa semakin lama *holding time*, semakin tinggi nilai kekerasan baja AISI 1045. Holding time 40 menit menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 50,1 HRc, sedangkan material tanpa perlakuan *holding time* hanya memiliki kekerasan 30 HRc.

Struktur Mikro: Pada variasi *holding time* 30 menit, struktur mikro baja menjadi lebih homogen dan teratur, yang berkontribusi terhadap **peningkatan** sifat mekanik. *Holding time* 40 menit menunjukkan distribusi karbon yang lebih tinggi, namun mengakibatkan potensi distorsi karena adanya perubahan fasa.

Hasil ini mengindikasikan bahwa variasi *holding time* bisa mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro baja, di mana *holding time* optimal perlu diperhatikan untuk mencapai kekerasan yang diinginkan tanpa meningkatkan risiko distorsi pada baja AISI 1045.

Daftar Pustaka

Anhar, M. A. (2020). Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Gear Sprocket Aisi 1020 Dengan Timah Melalui Heat Treatment. *Jurnal Simetrik*, *10*(1), 279–284. https://doi.org/10.31959/js.v10i1.377

Dwi Herizen, R. S. (2020). *PENGARUH VARIASI HOLDING TIME DAN MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SUS 630 METODE HARDENING*. *2*(2), 149–160.

Fayai, M. Y., & Mufarida, N. A. (2021). *Pengaruh Perlakuan Hardening dan Quenching Pada Baja AISI 1045 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Untuk Roda Gigi Transmisi*. *1*(1), 100–102.

Glyn Meyrick. (2002). *Physical Metallurgy of*

Steel (Vol. 661).

Ichlasul, M., Setia, R., & Penelitian, A. J. (2021). *PENGARUH HOLDING TIME DAN MEDIA PENDINGIN PADA PROSES HARDENING TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KOROSI BAJA AISI 410*. *02*(1), 10–14.

Muh Anhar, B. S. E. P. (2020). *PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP NILAI KEKERASAN PADUAN GEAR SPROCKET AISI 1020 DENGAN TIMAH MELALUI HEAT TREATMENT*. *10* (1), 279–284.

Novel Sagitta, J., Ketut Gede Sugita, I., Istri Putri Kusuma Kencanawati, C., & Jimbaran Bali Abstrak, B. (2017). Variasi Ketebalan Panel Green Komposit Terhadap Koefisien Serap Bunyi Komposit Serabut Kelapa (Cocos Nuciferal) Dengan Perekat Getah Pinus (Pinus Merkusii). In *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA* (Vol. 6, Issue 4).

Pramono, A. (2011). Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *5*(1), 32–38.

Purwanto, D., & Haris, O. (2022). *ANALISIS SIFAT KEKERASAN DAN METALOGRAFI PADA BAJA AISI 1020 , AISI 1037 DAN AISI 1040 UNTUK POROS (SHAFT) DENGAN MENGGUNAKAN PROSES HEAT TREATMENT*. *13*(2), 13–20.

Thomas, T. A. (2020). *PENGARUH HOLDING TIME DAN QUENCHING TERHADAP ANGKA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI* (Vol. 4140).

William D. Callister, Jr', D. G. R. (2009). *Materials Science And Engineering an Introduction*.

Wulandari, T., Studi, P., & Teknik, P. (2021). *Pengaruh variasi holding time dan media pendingin pada proses hardening terhadap uji kekerasan baja aisi 1045 skripsi*.