



Research Article

Pengaruh Variasi Media Quenching dan Tempering terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja AISI 1045

Hariningsih^{1,*}, Tri Daryanto¹, Lutiyatmi¹

¹Program Studi Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Ceper, Indonesia

Corresponding author: hariningsih@polmanceper.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 20 July 2022

Revised : 29 July 2022

Accepted : 3 August 2022

Available online : 9 August 2022

Keywords: Steel AISI 1045, Hardening, Tempering, Hardness, Microstructure

Kata Kunci: Baja AISI 1045, Hardening, Tempering, Kekerasan, Struktur mikro

ABSTRACT

AISI 1045 carbon steel is widely used in various industries because it is cheaper and has high hardenability by heat treatment. The material properties after heat treatment are strongly influenced by the cooling rate. Therefore, this research discusses the experimental study of hardness and microstructure of AISI 1045 carbon steel after hardening-quenching and tempering. Hardening was carried out at 850°C for 30 minutes, then followed by quenching using water, isorapid oil and SAE 20W50 oil. Tempering was carried out by reheating the quenched sample using water at a temperature of 350°C with a holding time of 30 minutes and 60 minutes, then followed by cooling in free air. The hardness of the specimens was measured using a Rockwell hardness tester and the microstructure was observed with an optical microscope. The results of the hardness test showed that quenching with water produced the highest hardness of 61.24 HRC, with martensite structure and after tempering it changed to tempered martensite structure. Longer tempering time results in lower hardness.

ABSTRAK

Baja AISI 1045 banyak digunakan di berbagai industri karena harganya yang lebih murah dan memiliki kemampuan yang tinggi untuk dikeraskan (*hardenability*) dengan perlakuan panas. Sifat material setelah perlakuan panas sangat dipengaruhi oleh laju pendingin. Oleh karena itu penelitian ini membahas studi eksperimental kekerasan dan struktur mikro baja karbon AISI 1045 setelah *hardening-quenching* dan *tempering*. *Hardening* dilakukan pada suhu 850°C selama 30 menit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan air, oli isorapid dan oli SAE20W50. *Tempering* dilakukan dengan memanaskan kembali sampel yang telah di-*quenching* menggunakan air pada suhu 350°C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan di udara bebas. Kekerasan



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

benda uji diukur menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell* dan struktur mikro diamati dengan mikroskop optik. Hasil uji kekerasan menunjukkan *quenching* dengan air menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 61,24 HRC, dengan struktur mikro martensit dan setelah *tempering* berubah menjadi struktur martensit temper. Waktu tahan *tempering* yang lebih lama menghasilkan kekerasan yang lebih rendah.

1. PENDAHULUAN

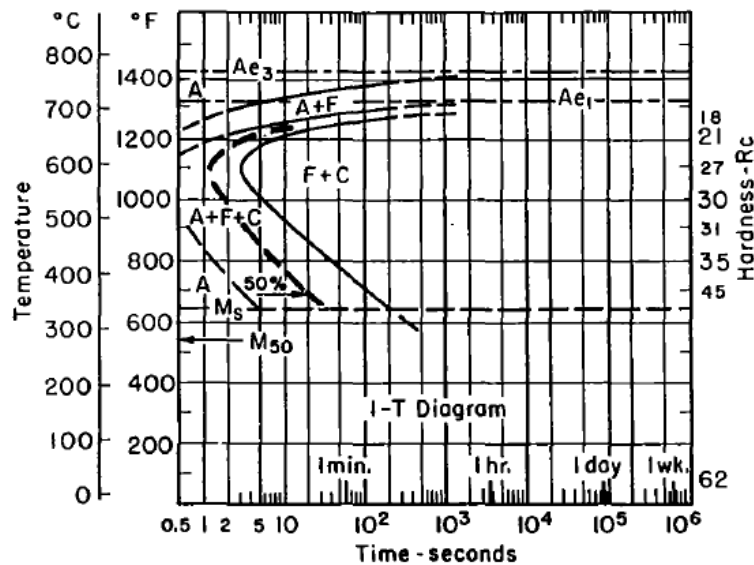
Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang dengan komposisi karbon 0,43%-0,50% [1]–[3]. Baja ini memiliki sifat mampu mesin yang baik, *wear resistance*-nya baik dan sifat mekaniknya menengah [3]. Baja AISI 1045 banyak digunakan dalam industri otomotif sebagai bahan baku struktur mesin melalui *hot forming*, *rolling* dan *forging*. Contoh produknya adalah roda gigi, batang penghubung, pin piston, poros, poros engkol, rel kereta api, *shafts* dan *bearings*. Dalam penggunaannya, komponen tersebut banyak mengalami tekanan dan gesekan sehingga diperlukan kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi [2][4]. Kekerasan dan ketahanan aus dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas *hardening-quenching* [5][6].

Baja AISI 1045 setara dengan baja JIS S45C, dapat di-*hardening* pada suhu 820-860°C kemudian didinginkan dengan cepat (*quenching*) dalam oli atau air [7][8]. *Quenching* menghasilkan struktur martensit [9][10] yang keras dan rapuh, serta rentan terjadi retak saat diaplikasikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *tempering* setelah proses *hardening* [11][12]. Konvensional *quenching* dan *tempering* pada baja akan menghasilkan kombinasi kekuatan dan ketangguhan struktur martensit yang baik [13][14]. *Tempering* yaitu pemanasan kembali baja yang telah di-*hardening* pada suhu di bawah A1 untuk menghindari pembentukan kembali austenit. *Tempering* mengurangi tekanan internal yang dihasilkan dari pendinginan cepat sehingga ketangguhan meningkat, namun kekuatan dan kekerasan menurun [15].

Diagram *Time Transformation Temperature* (TTT) adalah diagram yang menggambarkan hubungan antar fasa atau struktur yang terbentuk setelah transformasi fasa akibat perubahan suhu dan waktu [16]. Diagram TTT untuk baja AISI 1045 dapat dilihat pada Gambar 1. Jika ditinjau dari diagram TTT, struktur martensit pada baja AISI 1045 akan didapatkan dengan proses pendinginan yang sangat cepat karena martensit terbentuk dalam waktu kurang dari 10 detik. Area martensit pada baja AISI 1045 sangat sempit karena area martensit tergantung unsur paduan, sedangkan baja AISI 1045 merupakan baja karbon tanpa paduan. Jika dalam waktu kurang dari 10 detik baja yang di-*quenching* mencapai suhu martensit mulai terbentuk (*martensite start*/M_S), maka akan menghasilkan struktur martensit. Namun jika pendinginan lebih lambat dan tidak mencapai suhu M_S dalam waktu kurang dari 10 detik, maka struktur yang terbentuk adalah campuran dari ferit dan karbida sementit atau disebut bainit. Jika baja didinginkan dengan lebih lambat lagi, maka hanya akan menghasilkan struktur ferit dan perlit seperti baja cor biasa tanpa perlakuan panas.

Type: 1045/1050

Composition: Fe - 0.47% C - 0.57% Mn - 0.06% Cu Grain size:
50% 8, 50% 5 Austenitized at 843°C (1550°F)



Gambar 1. Diagram TTT baja AISI 1045 [17]

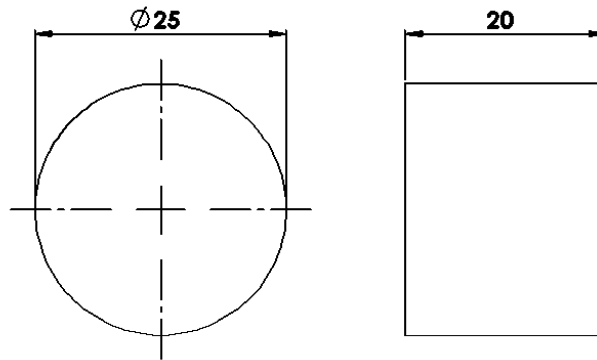
Baja AISI 1045 banyak digunakan di berbagai industri terutama industri otomotif, selain karena harganya yang lebih murah, baja ini memiliki kemampuan yang tinggi untuk dikeraskan (*hardenability*) dengan perlakuan panas. Proses pendinginan sangat mempengaruhi sifat akhir material hasil perlakuan panas. Pemilihan media *quenching* dan kontrol kecepatan pendinginan adalah hal yang paling penting untuk mencapai sifat yang diinginkan. Laju pendinginan harus dikontrol sedemikian rupa sehingga struktur martensit terbentuk pada kedalaman yang diinginkan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media *quenching* dan *tempering* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045.

2. METODE PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja komersial tipe AISI 1045 berbentuk silinder. Ukuran sampel disajikan pada Gambar 2. dan Gambar 3. dengan diameter 25 mm dan tinggi 20 mm. Baja komersial AISI 1045 diuji komposisi terlebih dahulu sebelum diperlakukan panas, hal ini bertujuan untuk memastikan komposisi sampel sudah memenuhi standar. Tabel 1. menunjukkan hasil uji komposisi kimia material yang digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi standar komposisi kimia AISI 1045. Hasil uji kekerasan baja AISI 1045 sebelum perlakuan panas yaitu 14,66 HRC. Gambar 4. menampilkan hasil pengamatan struktur mikro baja AISI 1045 sebelum perlakuan panas, struktur mikro terdiri dari ferit (F) yang berwarna putih dan perlit (P) yang berwarna hitam.



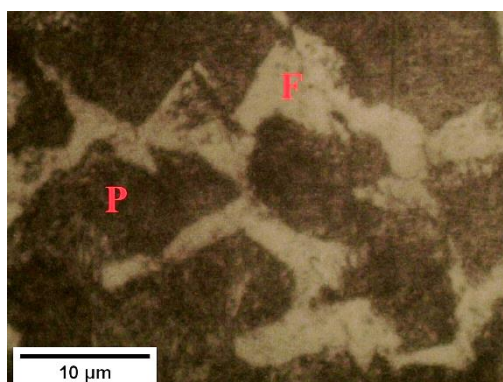
Gambar 2. Ukuran sampel



Gambar 3. Ukuran sampel

Tabel 1. Standar komposisi kimia baja AISI 1045 dan komposisi material yang digunakan dalam penelitian ini

Unsur	%	
	Standar [18]	Penggunaan
C	0,42-0,50	0,489
Si	0,17-0,37	0,241
Mn	0,50-0,80	0,769
P	< 0,040	0,032
S	< 0,040	0,059
Cr	< 0,50	0,148
Mo	< 0,10	0,020
Ni	< 0,30	0,067



Gambar 4. Struktur mikro baja AISI 1045 sebelum perlakuan panas

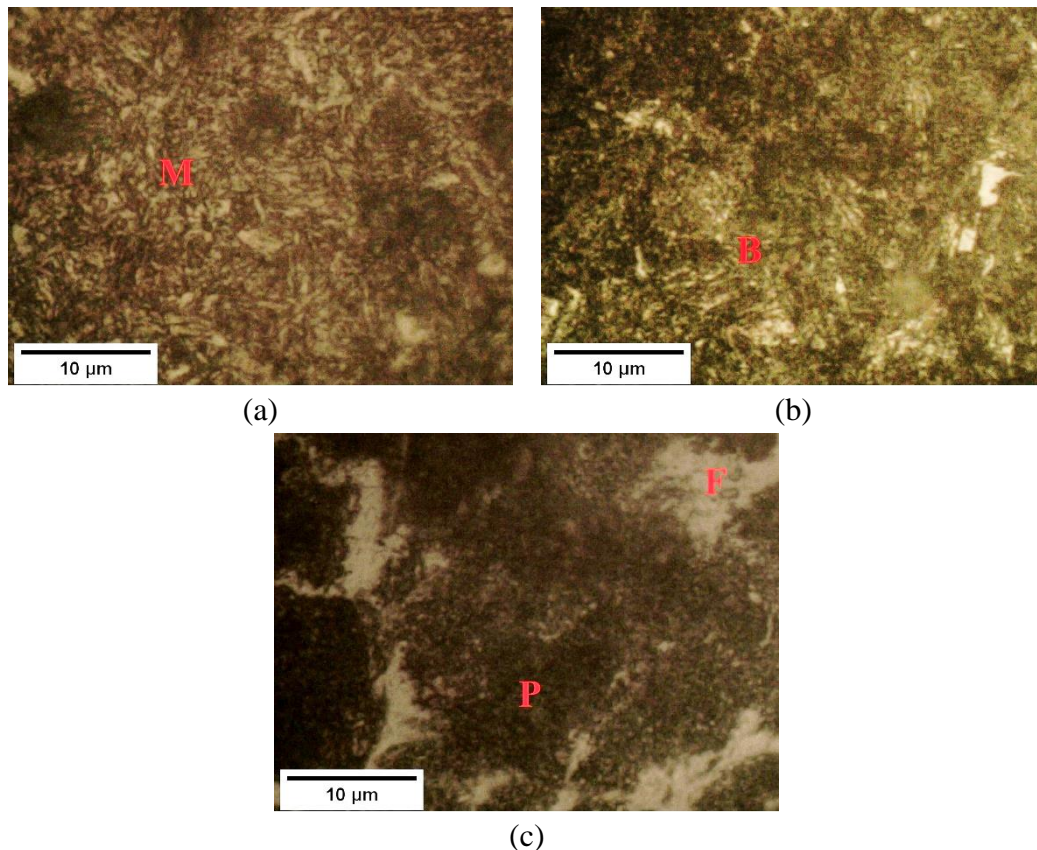
Sampel uji dipanaskan pada suhu *hardening* 850 °C dan ditahan 30 menit kemudian diikuti dengan pendinginan cepat. Media pendingin yang digunakan yaitu air, oli SAE 20W50 dan oli isorapid yang merupakan oli khusus untuk *quenching* atau pendinginan cepat. Sampel uji yang telah di-*hardening* dengan pendinginan air dipanaskan kembali pada suhu *tempering* 350 °C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit.

Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Komposisi kimia bahan diuji dengan mesin spektrometer emisi. Pengujian kekerasan baja dilakukan dengan metode *Rockwell* skala C atau HRC. Indentor menggunakan kerucut intan dengan sudut 120°, beban 150 Kgf/1471.5 N sesuai dengan standar kekerasan *Rockwell* ASTM E 18-97a [19]. Struktur mikro diamati dengan mesin mikroskop metalografi. Bahan etsa menggunakan nital dengan campuran 5ml HNO₃ dan 100ml ethanol/methanol (95%) sesuai dengan standar ASTM E 407-99 [20].

3. HASIL DAN DISKUSI

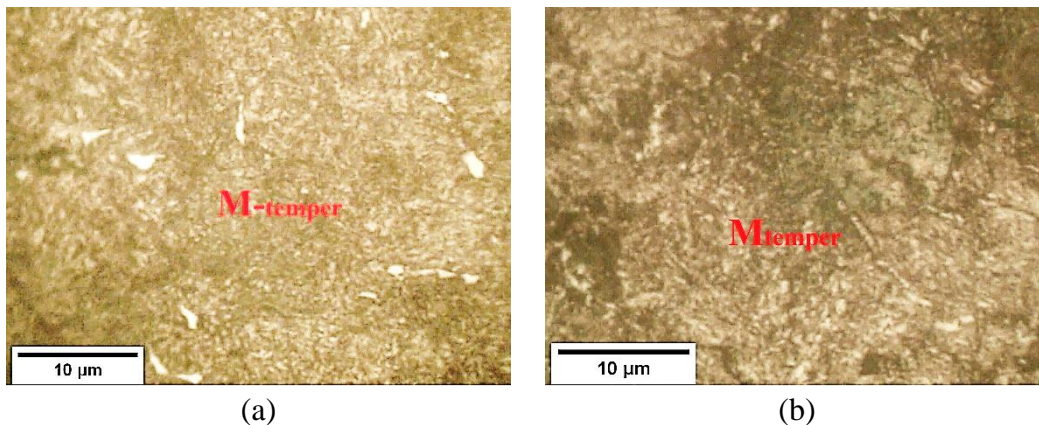
3.1 Struktur Mikro

Struktur mikro baja AISI 1045 setelah *hardening-quenching* ditampilkan pada Gambar 5. *Quenching* dengan air (Gambar 5a.) menghasilkan struktur mikro martensit. Gambar 5b. menunjukkan struktur mikro hasil *quenching* dengan oli isorapid, struktur mikro berupa bainit yang terdiri dari martensit, ferit dan perlit. *Quenching* dengan oli SAE 20W50 (Gambar 5c.) menunjukkan struktur ferit (F) yang berwarna putih dan perlit (P) yang berwarna hitam. Struktur mikro hasil *quenching* oli SAE 20W50 hampir sama dengan struktur mikro sebelum perlakuan panas (lihat Gambar 5.), namun perlit lebih dominan dibanding dengan ferit. Berdasarkan struktur mikro yang terbentuk maka dapat disimpulkan bahwa *quenching* dengan air menghasilkan tingkat pendinginan yang sangat cepat sehingga dapat membentuk martensit. Tingkat pendinginan oli isorapid tergolong medium karena menghasilkan struktur bainit dan tingkat pendinginan paling rendah pada oli SAE 20W50 yang hanya menghasilkan ferit dan perlit. Hal ini sesuai dengan diagram TTT baja AISI 1045 (lihat Gambar 1.), dimana pendinginan cepat akan menghasilkan martensit, pendinginan medium menghasilkan bainit dan pendinginan lambat akan membentuk ferit dan perlit [17]. Hal ini juga sesuai dengan peneliti sebelumnya yang mengungkapkan bahwa laju pendinginan yang sangat cepat akan menghasilkan struktur mikro martensit [3].



Gambar 5. Struktur mikro baja AISI 1045, (a) *quenching* air, (b) *quenching* oli isorapid dan (c) *quenching* oli SAE 20W50

Struktur mikro baja karbon setelah *quenching* adalah martensit dan akan berubah menjadi martensit temper setelah *tempering*. Dimana martensit fase tunggal BCT (*body centered cubic*) yang jenuh dengan karbon, berubah menjadi martensit temper yang terdiri dari fase ferit dan sementit yang stabil. Struktur mikro ini mirip dengan struktur mikro spheroidite tetapi martensit temper mengandung partikel sementit yang sangat kecil dan tersebar merata yang tertanam dalam matriks ferit [16]. Martensit temper akan terlihat jelas jika diamati dengan SEM (*scanning electron microscopy*). Struktur mikro baja AISI 1045 setelah *hardening-quenching* air yang diikuti *tempering* dengan variasi waktu tahan 30 menit dan 60 menit ditunjukkan pada Gambar 6. Waktu tahan 30 menit menghasilkan struktur martensit temper yang lebih seragam dibanding yang ditahan 60 menit.



Gambar 6. Struktur mikro baja AISI 1045 setelah temper, (a) waktu tahan 30 menit dan (b) waktu tahan 60 menit

3.2 Kekerasan

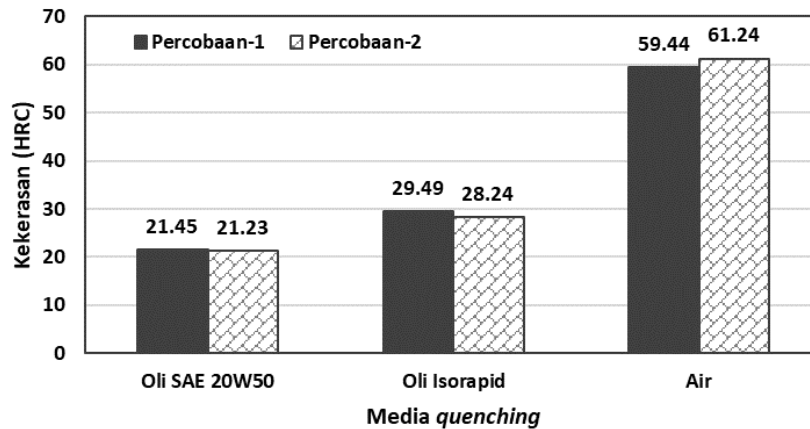
Tabel 2. dan Gambar 7. menunjukkan hasil uji kekerasan baja AISI 1045 setelah *hardening-quenching*, dimana setiap sampel diuji kekerasan pada 5 titik. Percobaan pertama menunjukkan kekerasan tertinggi diperoleh dengan media pendingin air sebesar 59,44 HRC. Sedangkan oli isorapid hanya menghasilkan kekerasan 29,49 HRC dan kekerasan terendah terjadi pada media pendingin oli SAE 20W50 sebesar 21,45 HRC. Nilai kekerasan setelah di-*quenching* dengan media pendingin oli memiliki kekerasan yang tergolong rendah. Hasil ini hampir sama dengan temuan peneliti sebelumnya, setelah *quenching* dengan oli kekerasan baja AISI 1045 naik menjadi 31,6-35,3 HRC [21]. Namun, hasil ini berbeda dengan peneliti lainnya yang menyampaikan bahwa setelah *quenching* dengan minyak pelumas/oli, kekerasan baja AISI 1045 naik menjadi 51,98 HRC [2]. Oleh karena itu dilakukan lagi proses *hardening* menggunakan potongan sampel yang baru dengan ketentuan suhu *hardening*, waktu tahan dan media pendingin yang sama. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil *hardening* akurat.

Percobaan ke-dua menunjukkan nilai kekerasan yang hampir sama dengan hasil percobaan pertama, hanya selisih 1-2 HRC saja. Kekerasan tertinggi diperoleh dengan media pendingin air sebesar 61,24 HRC, kemudian diikuti dengan oli isorapid sebesar 28,24 HRC dan kekerasan terendah pada media pendingin oli SAE 20W50 sebesar 21,23 HRC. Nilai kekerasan yang dihasilkan korelasi dengan struktur mikro yang terbentuk setelah *quenching*/pendinginan cepat (lihat Gambar 5.). Dimana *quenching* air menghasilkan kekerasan yang tinggi karena strukturnya berupa martensit, *quenching* oli isorapid menghasilkan kekerasan medium karena strukturnya bainit dan *quenching* oli SAE 10W50 menghasilkan struktur ferit dan perlit dengan kekerasan terendah. Bainit umumnya lebih kuat dan lebih keras daripada perlit, sedangkan martensit memiliki kekerasan paling tinggi dibanding struktur lainnya [16]. Struktur martensit merupakan fase metastabil dari karbon yang terlarut dalam besi [22], memiliki kekerasan yang lebih tinggi karena efektivitas karbon interstisial dalam menghambat gerakan dislokasi [23][24].

Tabel 2. Kekerasan baja AISI 1045 setelah *hardening-quenching*

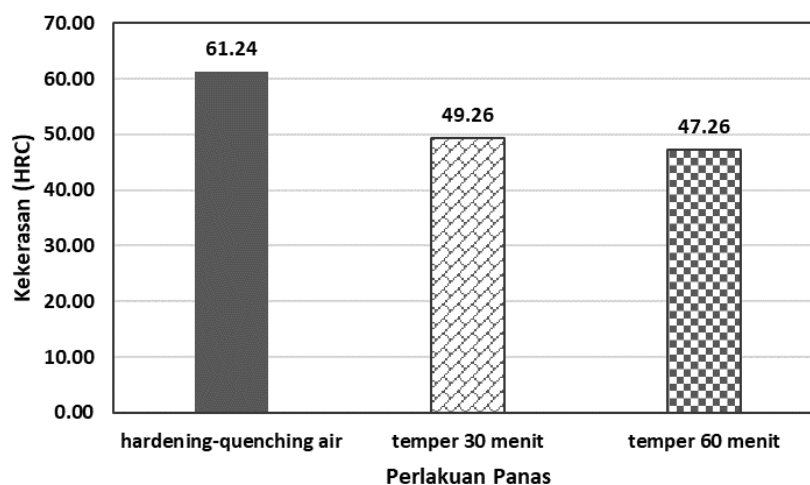
Media <i>quenching</i>	Kekerasan (HRC)	Deviasi	% Kenaikan
Material awal	14,66	0,39	-
Percobaan 1			
Oli SAE 20W50	21,45	0,29	46,32

Oli isorapid	29,49	0,12	101,16
Air	59,44	0,15	305,46
Percobaan 2			
Oli SAE 20W50	21,23	0,19	44,82
Oli isorapid	28,24	0,30	92,63
Air	61,24	0,07	317,74



Gambar 7. Kekerasan baja AISI 1045 setelah *hardening-tempering*

Kekerasan baja AISI 1045 setelah *tempering* disajikan pada Gambar 8. dan Tabel 3. Kekerasan baja yang di-*quenching* dengan air mengalami penurunan setelah proses *tempering*, karena *tempering* mengurangi tekanan internal yang dihasilkan dari pendinginan cepat sehingga ketangguhan meningkat, namun kekuatan dan kekerasan menurun [12]. Hal ini sesuai dengan perubahan struktur mikro yang terjadi, dimana struktur martensit berubah menjadi martensit temper. Kekerasan martensit temper lebih rendah daripada martensit setelah *quenching* [22]. Waktu tahan 30 menit kekerasan menurun 19,57 %, dari 61,24 HRC menjadi 49,57 HRC. Sedangkan waktu tahan 60 menit kekerasan menurun 22,83 % menjadi 47,26 HRC. Waktu tahan *tempering* yang lebih lama menghasilkan kekerasan yang lebih rendah. Hal ini sama seperti yang diungkapkan oleh peneliti sebelumnya bahwa kekerasan menurun dengan meningkatnya suhu *tempering* dan waktu penahanan [14][15][25], namun pengaruh suhu *tempering* lebih signifikan daripada waktu penahanan [26].



Gambar 8. Perbandingan kekerasan baja AISI 1045 setelah *hardening* dan *tempering*

Tabel 3. Kekerasan baja AISI 1045 setelah *tempering*

Perlakuan Panas	Kekerasan (HRC)	Deviasi	% Penurunan
<i>Hardening-quenching</i> air	61,24	0,07	-
<i>Tempering</i> 30 menit	49,26	0,22	19,57
<i>Tempering</i> 60 menit	47,26	0,24	22,83

4. KESIMPULAN

Baja AISI 1045 di-*hardening* pada suhu 850 °C dengan waktu tahan 30 menit, diikuti dengan *quenching* menggunakan air, oli isorapid dan oli SAE 20W50. Hasil *quenching* dengan air di-*tempering* pada suhu 350 °C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit. Berdasarkan dari hasil uji dapat disimpulkan:

1. *Quenching* dengan air menghasilkan laju pendinginan yang sangat cepat sehingga dapat membentuk martensit. Laju pendinginan oli isorapid tergolong sedang karena menghasilkan struktur bainit. Oli SAE 20W50 menghasilkan laju pendinginan yang paling rendah sehingga hanya menghasilkan ferit dan perlit, dimana perlit lebih dominan.
2. Struktur martensit setelah *quenching* air berubah menjadi martensit temper setelah *tempering*. Struktur mikro dengan waktu tahan 30 menit lebih seragam dibanding dengan yang ditahan 60 menit.
3. Kekerasan optimal baja AISI 1045 diperoleh dengan pendinginan air yaitu sebesar 59,44 HRC dan 61,24 HRC. Sedangkan pendinginan oli menyebabkan peningkatan kekerasan kurang optimal. Kekerasan dengan pendinginan oli isorapid sebesar 29,49 HRC dan 28,24 HRC, sedangkan kekerasan dengan pendinginan oli SAE 20W50 hanya 21,45 HRC dan 21,23 HRC.
4. Waktu tahan yang lebih lama pada proses *tempering* menghasilkan kekerasan yang lebih rendah. Waktu tahan 30 menit menurunkan kekerasan sebesar 19,57 % dari 61,24 HRC menjadi 49,57 HRC, sedangkan yang ditahan 60 menit menurun 22,83 % menjadi 47,26 HRC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Politeknik Manufaktur Ceper yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Akhyar dan M. Sayuti, "Effect of heat treatment on hardness and microstructures of AISI 1045," *Adv. Mater. Res.*, vol. 1119, hal. 575–579, 2015.
- [2] M. Mulyadi, D. Tafrant, H. Hendradinata, dan Z. Zainuddin, "The Effect of Quenching Media on the Hardness of AISI 1045 Steel," *Proc. 5th FIRST T1 T2 2021 Int. Conf. (FIRST-T1-T2 2021)*, vol. 9, hal. 66–71, 2022.
- [3] S. Nugroho dan G. D. Haryadi, "Pengaruh media quenching qir tersirkulasi (circulated water) terhadap struktur mikro dan kekerasan pada baja AISI 1045," *Rotasi*, vol. 7, no. 1, hal. 19–23, 2005.
- [4] B. Pratowo dan A. Fernando, "Analisa kekerasan baja karbon AISI 1045 setelah mengalami perlakuan quenching," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, hal. 1–30, 2008.
- [5] S. Singh, S. Samir, K. Kumar, dan S. Thapa, "Effect of heat treatment processes on the mechanical properties of AISI 1045 steel," *Mater. Today Proc.*, vol. 45, hal. 5097–5101, 2021.
- [6] A. Ebrahimi dan M. M. Moshksar, "Evaluation of machinability in turning of microalloyed and quenched-tempered steels: Tool wear, statistical analysis, chip morphology," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 209, no. 2, hal. 910–921, 2009.
- [7] L. N. N. Phi, N. D. Thien, C. Le Chi, dan P. N. Vinh, "Solution for Heat Treatment in Quenching Process of S45C Steel Small Diameter Machine Parts Having Strong Texture," *Proc. 2018 4th Int. Conf. Green Technol. Sustain. Dev. GTSD 2018*, hal. 241–245, 2018.
- [8] M. Çakir dan A. Özsoy, "Investigation of the correlation between thermal properties and hardenability of Jominy bars quenched with air-water mixture for AISI 1050 steel," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 5, hal. 3099–3105, 2011.
- [9] E. da R. Vieira, L. V. Biehl, J. L. B. Medeiros, V. M. Costa, dan R. J. Macedo, "Evaluation of the characteristics of an AISI 1045 steel quenched in different concentration of polymer solutions of polyvinylpyrrolidone," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, hal. 1–8, 2021.
- [10] P. Fernandes dan K. N. Prabhu, "Effect of section size and agitation on heat transfer during quenching of AISI 1040 steel," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 183, no. 1, hal. 1–5, 2007.
- [11] W. Anggono, "Analisa pengaruh manipulasi proses tempering terhadap peningkatan sifat mekanis poros pompa air AISI 1045," *Semin. Nas. Ilmu Teknol. Mater.*, no. SNITM 2006, 2006.
- [12] A. Kusmoko, D. Dunne, R. Dahar, dan H. Li, "Surface Treatment Evaluation of Induction Hardened and Tempered 1045 Steel," *Int. J. Curr. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 3, hal. 1236–1239, 2014.
- [13] H. Hariningsih, S. Sumpena, dan H. Sukarja, "The Effectivity of Used-Oil as Quenching Medium of 42-CrMo4 Steel for Automotive Materials," *Appl. Res. Smart Technol.*, vol. 1, hal. 28–34, 2020.
- [14] Hariningsih dan T. W. B. Riyadi, "Effect of Hardening and Tempering on the Microstructure and Mechanical Properties of the Tapered-Forged Leaf Spring Steel," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1029, hal. 25–32, 2021.
- [15] S. Taghizadeh, A. Safarian, S. Jalali, dan A. Salimiasl, "Developing a model for hardness prediction in water-quenched and tempered AISI 1045 steel through an artificial neural network," *Mater. Des.*, vol. 51, hal. 530–535, 2013.
- [16] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering*, 7 ed. USA: John Willey & Son INC, 2007.
- [17] G. F. Vander Voort, *Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels*. ASM Internatioanal, 1991.
- [18] A. S. M. Handbook, *ASM Handbook Heat Treating*, vol. 4. Ohio: ASM Internatioanal, 1991.
- [19] ASTM Standard, *ASTM E 18-97a Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*. West Conshohecken, 1998.
- [20] ASTM Standard, *ASTM E407-99 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. West Conshohecken: ASTM International, 1999.
- [21] Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, hal. 102–115, 2015.
- [22] G. E. Totten, *Steel Heat Treatment*, Second. Oregon: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.

- [23] Z. D. Kadhim, "Effect of Quenching Media on Mechanical Properties for Medium Carbon Steel," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 6, no. 8, hal. 26–34, 2016.
- [24] Margono, B. H. Priyambodo, dan K. C. Nugroho, "Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C," *J. Creat. Res. Eng.*, vol. 1, no. 2, hal. 60–66, 2021.
- [25] Y. W. Luo, H. J. Guo, X. L. Sun, J. Guo, dan F. Wang, "Influence of Tempering Time on the Microstructure and Mechanical Properties of AISI M42 High-Speed Steel," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 49, no. 12, hal. 5976–5986, 2018.
- [26] W. S. Lee dan T. T. Su, "Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 87, no. 1–3, hal. 198–206, 1999.