

PENGARUH PROSES *HEAT TREATMENT* DENGAN MEDIA *QUENCHING* OLI TERHADAP KEKERASAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON MENENGAH AISI 1045

Sudis Alfarisyi¹, Syamsuar^{2*}, Jufriadi²

¹Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Medan-Banda Aceh Km. 280 Buketrata

*Penulis Koresponden: syamsuar@pnl.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses *heat treatment* dengan media *quenching* oli terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon menengah AISI 1045. Baja AISI 1045 dipilih karena sifat mekaniknya yang baik dan kemampuannya mengalami transformasi mikrostruktur melalui proses perlakuan panas. Proses *heat treatment* dilakukan dengan metode *hardening*, yaitu pemanasan hingga suhu austenisasi 870°C dengan waktu penahanan selama 20 menit, kemudian dilanjutkan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan tiga jenis oli berbeda, yaitu SAE 10 (Oil AW 68 HF ISO VG 68), SAE 40, dan SAE 20W-50. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Rockwell* (HRC) sesuai standar ASTM E18, sedangkan struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik setelah melalui proses preparasi dan etsa menggunakan larutan nital. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan yang signifikan setelah proses *hardening*, dengan variasi nilai tergantung pada jenis oli yang digunakan sebagai media pendingin. Selain itu, analisis struktur mikro mengindikasikan terbentuknya fasa martensit dalam jumlah yang bervariasi, yang secara langsung memengaruhi nilai kekerasan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa media pendingin oli berpengaruh nyata terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045, di mana oli dengan viskositas lebih rendah cenderung menghasilkan kekerasan lebih tinggi karena laju pendinginan yang lebih cepat. Hasil ini memberikan kontribusi terhadap pemilihan media *quenching* yang tepat dalam proses *heat treatment*, khususnya untuk aplikasi komponen mesin yang membutuhkan kekerasan dan ketahanan aus tinggi.

Keywords : *Heat treatment*, *Quenching*, Baja AISI 1045, Kekerasan, *Hardness Rockwell*, Struktur Mikro, Oli SAE 10W, Oli 40W, Oli 20W-50.

1. Pendahuluan

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam yang bertujuan mengubah sifat mekanik, seperti kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan, sehingga sesuai dengan kebutuhan aplikatif tertentu. Proses ini melibatkan pemanasan hingga temperatur austenisasi, penahanan pada suhu tertentu, serta pendinginan dengan media tertentu yang memengaruhi laju transformasi fasa dan struktur mikro material[1]. Baja karbon menengah, khususnya AISI 1045 dengan kandungan karbon sekitar 0,43-0,50%, banyak digunakan untuk komponen mesin seperti poros, roda gigi, dan crankshaft karena keseimbangan sifat mekaniknya. Namun, dalam aplikasi yang menuntut ketahanan aus dan beban tinggi, sifat dasar baja ini masih perlu ditingkatkan melalui proses perlakuan panas, terutama *hardening* dan *quenching*[2].

Media pendingin pada proses *quenching* berperan penting terhadap laju pendinginan. Pendinginan cepat, misalnya dengan air atau larutan garam, cenderung menghasilkan martensit dalam jumlah besar namun berisiko menyebabkan distorsi atau retak[3]. Sebaliknya, oli sebagai media pendingin memberikan laju pendinginan lebih lambat, sehingga dapat

menyeimbangkan antara pembentukan martensit dan bainit serta meminimalkan cacat termal. Variasi viskositas oli juga menentukan efektivitas pendinginan, yang pada gilirannya memengaruhi kekerasan dan struktur mikro[4]. Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan media *quenching* memengaruhi kekerasan baja AISI 1045, tetapi kajian spesifik mengenai pengaruh perbedaan viskositas oli masih terbatas. Celah ini penting untuk diteliti guna memahami hubungan antara karakteristik oli dengan pembentukan martensit, bainit, maupun perlit[5]. Viskositas oli memiliki hubungan erat dengan karakteristik pendinginan. Oli dengan viskositas rendah (misalnya oli 10W) memungkinkan pendinginan lebih cepat, sehingga martensit yang terbentuk lebih banyak dan nilai kekerasan cenderung lebih tinggi[6]. Sebaliknya, oli dengan viskositas tinggi (misalnya oli 20W-50) menurunkan laju pendinginan, sehingga transformasi austenit menjadi martensit tidak sepenuhnya terjadi, melainkan menghasilkan campuran bainit, perlit, dan martensit. Kondisi ini memberikan sifat mekanik yang lebih moderat, di mana kekerasan menurun tetapi ketangguhan relatif meningkat[7]. Oleh karena itu, pemilihan jenis oli sebagai media pendinginan sangat menentukan kualitas akhir dari material yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi media *quenching* oli dengan tingkat viskositas berbeda (oli 10W, 40W, 20W-50) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045. Analisis dilakukan melalui pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell* (HRC) sesuai standar ASTM E18 serta pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik setelah proses metalografi[8]. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu material, sekaligus memberikan rekomendasi praktis bagi industri terkait pemilihan media pendingin yang optimal untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan komponen berbahan baja karbon menengah[9].

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe. Material uji yang digunakan adalah baja karbon menengah AISI 1045 dengan kandungan karbon 0,43-0,50%. Baja ini dipilih karena banyak diaplikasikan pada komponen mesin seperti poros, roda gigi, dan crankshaft, serta memiliki kemampuan pengerasan yang baik melalui perlakuan panas. Specimen dipersiapkan berbentuk silinder dengan diameter 25mm dan tebal 10mm sesuai kebutuhan pengujian.

2.2. Proses Preparasi

Sebelum perlakuan panas, specimen dipotong menggunakan *cutting machine* tipe abrasive precision cutter. Permukaan kemudian diratakan melalui proses grinding untuk menghilangkan cacat permukaan awal.

2.3. Heat Treatment

Proses pemanasan dilakukan dalam *furnace* listrik dengan kontrol digital PID, mampu menjaga suhu konstan $\pm 5^\circ\text{C}$. Specimen dipanaskan hingga 870°C , yang merupakan temperatur austenitasi optimum untuk baja karbon menengah AISI 1045. Suhu dipertahankan selama 20 menit agar transformasi austenit berlangsung merata. Setelah itu, specimen segera didinginkan dengan metode *quenching* menggunakan tiga variasi media pendingin oli, yaitu oli 10W, 40W, dan 20W-50.

2.4. Pengujian Kekerasan Metode Rockwell Hardness (HRC)

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *rockwell* (HRC) sesuai standar ASTM E18 dengan beban 150 kgf dan indentor kerucut intan. Mesin yang digunakan *Hardness Tester* tipe HR-150A. Setiap specimen diuji pada tiga titik berbeda, kemudian nilai rata-rata dicatat sebagai hasil akhir.

2.5. Pengujian Struktur Mikro

Analisis dilakukan dengan metode metalografi untuk melihat fasa yang terbentuk setelah *quenching*. Untuk analisis struktur mikro, specimen dipotong melintang kemudian dilakukan mounting dengan resin. Selanjutnya dilakukan pengamplasan bertahap

menggunakan kertas abrasif grit 180 hingga 2000, diikuti dengan pemolesan dengan kain poles menggunakan cariran abrasif hingga benar-benar mengkilap (*mirror lake*). Proses etsa dilakukan menggunakan larutan nital 2% selama 5-10 detik untuk memperjelas batas fasa. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik pada pembesaran 500x, serta didokumentasikan dengan kamera digital terintegrasi. Analisis difokuskan pada identifikasi martensit, bainit, dan perlit yang terbentuk akibat perbedaan media pendingin oli.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Uji Hardness (Rockwell)

Pada pengujian hardness dilakukan untuk memperoleh nilai kekerasan pada proses hardening dengan pengaruh variasi media pendingin oli untuk mengetahui sifat mekanik baja AISI 1045. Pengujian hardness dilakukan pada satu buah specimen tiap variasi pendinginnya dan ditekan sebanyak 3 kali per specimennya bertujuan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

Pengujian awal pada material AISI 1045 tanpa perlakuan panas (*raw material*) menghasilkan nilai rata-rata **45,83** HRC. Hasil data dari pengujian kekerasan dari *raw material* di uji pada satu specimen dengan 3 kali tekan. Dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil uji *hardness rockwell* pada *raw material*

Bahan Uji	SAMPSEL	METODE UJI	BEBAN UJI	WAKTU TEKAN	Nilai Kekerasan/Hardness Value			Rerata					
					Materials	Specimen Region	Test Methode		Test Load kgf	Load Time Detik	Titik Pengujian/Test Point		
											1	2	3
Baja AISI 1045 (Raw Material)		HRC	150	15	42.50	46.00	49.00	45.83					

Adapun dari tabel 1 berikut hasil data *pengujian hardness rockwell* dari specimen setelah dilakukan hardening dengan suhu 870°C dan *holding time* 20 menit dengan variasi media pendingin oli menggunakan oli 10W (Oil AW 68 HF ISO VG 68), 40W, dan 20W-50 dapat dilihat dari table 3.2 berikut

Tabel 2. Hasil uji *hardness rockwell* setelah dilakukan hardening

Bahan Uji	SAMPSEL	METODE UJI	BEBAN UJI	WAKTU TEKAN	Nilai Kekerasan/Hardness Value			Rerata					
					Materials	Specimen Region	Test Methode		Test Load kgf	Load Time Detik	Titik Pengujian/Test Point		
											1	2	3
Baja AISI 1045 870°C, Oli (10 W)	I	HRC	150	15	67.00	52.00	48.00	55.67					
Baja AISI 1045 870°C, Oli (20 W-50)	II	HRC	150	15	53.00	48.00	46.00	49.00					
Baja AISI 1045 870°C, Oli (40 W)	III	HRC	150	15	59.00	48.00	59.50	55.50					

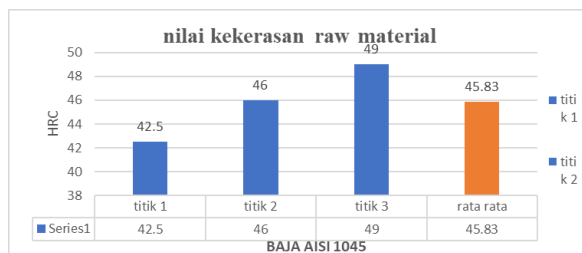
Pada tabel 2 dapat dilihat setelah dilakukan proses *hardening* pada suhu 870 °C dan *holding time* 20 menit, kemudian di *quenching* menggunakan 3 variasi media oli, diperoleh hasil berbeda. Media pendingin oli 10W menunjukkan hasil kekerasan rata-rata tertinggi yaitu **55,67 HRC**, disusul oleh oli 40 W dengan **55,50 HRC**, sedangkan oli 20W-50 memberikan nilai rata-rata terendah yaitu **49,00 HRC**.

Peningkatan nilai kekerasan dibanding kondisi awal menandakan bahwa pendinginan cepat mampu memicu transformasi austenite menjadi martensit. Perbedaan antar media pendingin terutama dipengaruhi oleh viskositas oli, yang berhubungan langsung dengan laju perpindahan panas saat proses *quenching* berlangsung. Oli dengan viskositas rendah (10W) memberikan pendinginan lebih cepat dibandingkan dengan oli multigrade 20W-50, sehingga lebih efektif membentuk martensit.

3.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, tahap awal pengujian dilakukan untuk menentukan nilai kekerasan awal baja AISI 1045 dalam kondisi raw material. Pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell* sesuai standar pengujian yang berlaku. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh data kekerasan awal specimen sebelum dilakukan proses *hardening*. Material uji yang digunakan telah dipersiapkan khusus untuk pengujian kekerasan sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan pada tahap pengujian berikutnya.

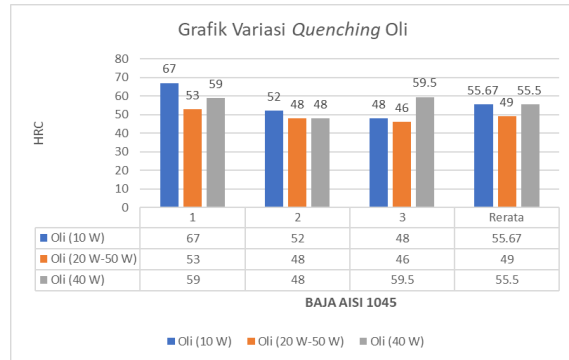
Berikut merupakan data dari hasil pengujian *hardness* dari specimen *raw material* yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik nilai kekerasan *raw material*

Dari gambar 1 diatas nilai kekerasan tanpa perlakuan panas pada raw material dengan 3 kali titik tekan memperoleh nilai rata-rata **45,83 HRC**.

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell* pada specimen hasil proses *hardening* dengan variasi media pendingin oli 10W (Oil AW 68 HF ISO VG 68), 40W, dan 20W-50, diperoleh nilai kekerasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 dari data tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara media pendingin dengan nilai kekerasan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.

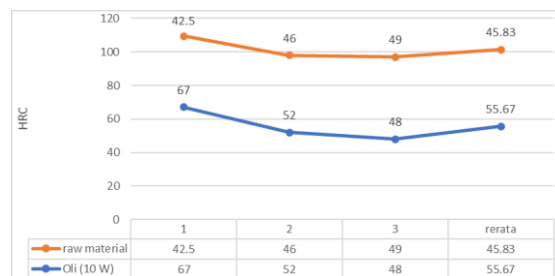


Gambar 2. Grafik nilai kekerasan *hardening*

Berdasarkan pada gambar 2 pengujian kekerasan menunjukkan bahwa media pendingin oli 10W menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu **55,67 HRC**, karena viskositas rendah memungkinkan pendinginan cepat sehingga struktur mikro didominasi martensit. Oli 40W menghasilkan **55,50 HRC** hanya sedikit lebih rendah, dengan struktur hampir serupa. Sementara itu, oli 20W-50 memberikan nilai terendah, yaitu **49,00 HRC**, akibat pendinginan lambat yang menghasilkan bainit dan perlit. Secara keseluruhan, viskositas oli berpengaruh langsung terhadap laju pendinginan dan pembentukan martensit, di mana oli dengan viskositas rendah menghasilkan kekerasan lebih tinggi.

3.3 Pengaruh media pendingin

Pengaruh media pendingin oli 10W dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

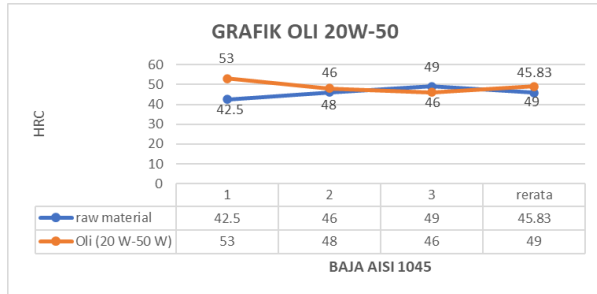


Gambar 3. Pengaruh media pendingin oli 10W

Berdasarkan grafik pada gambar 3, *quenching* dengan oli 10W pada baja AISI 1045 dengan suhu 870°C dengan waktu *holding* 20 menit meningkatkan kekerasan rata-rata dari kondisi awal **45,83 HRC** menjadi **55,67 HRC**. Peningkatan ini disebabkan terbentuknya martensit akibat pendinginan cepat, meskipun laju pendinginan oli lebih rendah dibandingkan air. Oli 10W mampu memberikan pendinginan yang cepat cukup efektif untuk menghambat difusi karbon sekaligus mengurangi resiko distorsi atau retak. Dengan demikian, oli 10W dapat dianggap media pendingin yang efektif untuk meningkatkan kekerasan baja AISI 1045, meskipun

proses tempering tetap diperlukan untuk menyeimbangkan kekerasan dan ketangguhan.

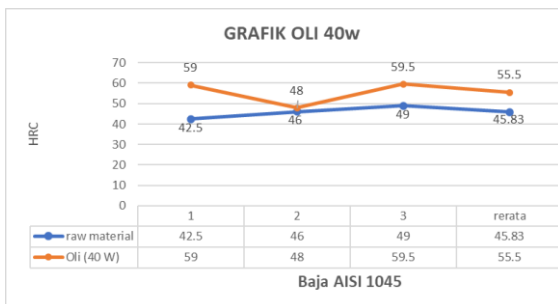
Pengaruh media pendingin oli 20W-50 dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Pengaruh media pendingin oli 20W-50

Berdasarkan grafik pada gambar 4 *quenching* dengan oli 20W-50 pada baja AISI 1045 meningkatkan nilai kekerasan rata-rata dari **45,83 HRC** (*raw material*) menjadi **49,00 HRC**, dengan rentang **46,00-53,00 HRC**. Peningkatan ini disebabkan terbentuknya martensit akibat pendinginan cepat, meskipun laju pendinginannya lebih lambat dibandingkan oli viskositas rendah maupun media berbasis air. Akibatnya, struktur mikro masi didominasi campuran martensit, bainit, dan sebagian perlit, sehingga nilai kekerasan rendah. Meski demikian, oli 20W-50 tetap cukup efektif meningkatkan kekerasan sekaligus menekan resiko distorsi dan retak pada material.

Pengaruh media pendingin oli 40W dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pengaruh media pendingin oli 40W

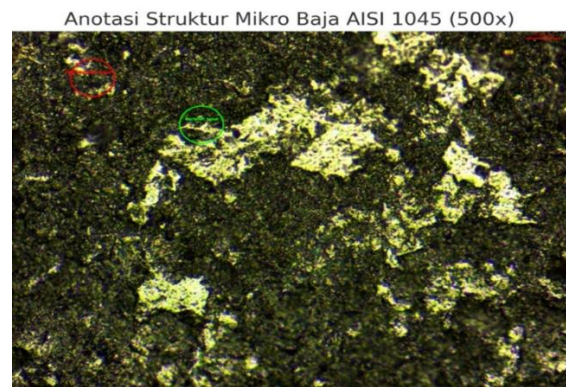
Berdasarkan grafik pada gambar 5 *quenching* dengan oli 40W pada baja AISI 1045 meningkatkan kekerasan rata-rata **45,83** (*raw material*) menjadi **55,50 HRC** dengan rentang **48,00-59,50 HRC**. Peningkatan ini menunjukkan pendinginan cukup efektif untuk menghasilkan martensit dominan, meskipun pada beberapa sampel perbedaan nilai dipengaruhi oleh variasi transfer panas. Oli 40W dengan viskositas menengah mampu memberikan pendinginan terkendali, sehingga pembentukan martensit berlangsung merata tanpa resiko retak

berlebih.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *quenching* dengan oli 10W menghasilkan kekerasan tertinggi (**55,67 HRC**) karena pendinginan cepat membentuk martensit dominan. Oli 40W memberikan hasil hampir sama (**55,50 HRC**) dengan struktur martensit sedikit bainit. Sebaliknya, 20W-50 menghasilkan nilai terendah (**49,00 HRC**) akibat pendinginan lambat sehingga sebagian struktur berupa bainit dan perlit. Dengan demikian, viskositas oli berpengaruh langsung terhadap laju pendinginan dan proporsi martensit, di mana oli rendah viskositas lebih efektif meningkatkan kekerasan.

3.4 Hasil Pengujian Struktur Mikro

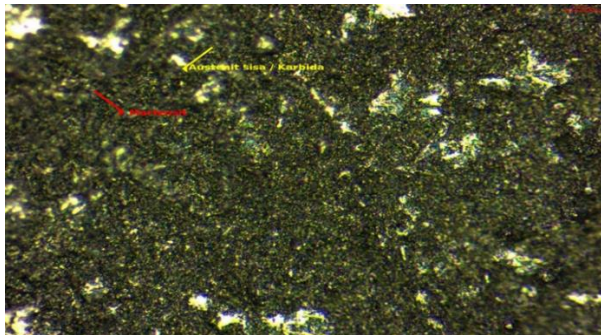
Hasil observasi struktur mikro baja AISI 1045 yang diberi perlakuan *quenching* menggunakan oli 10W dapat diamati pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Material uji struktur mikro dengan oli 10W 500x zoom

Berdasarkan pada gambar 6 pengamatan mikrostruktur menunjukkan adanya perbedaan fasa akibat variasi pendinginan. Area dengan butiran kasar dan jarum kurang rapat (lingkaran merah) mengindikasikan ferit atau martensit kasar yang lebih lunak, terbentuk akibat pendinginan lambat. Sebaliknya, area dengan jarum halus dan rapat (lingkaran hijau) menunjukkan martensit acicular yang terbentuk dari pendinginan cepat sehingga meningkatkan kekerasan. Pada citra metalografi, area terang cenderung meperentasikan ferit atau martensit temper, sedangkan area gelap menunjukkan perlit atau martensit halus hasil transformasi austenit.

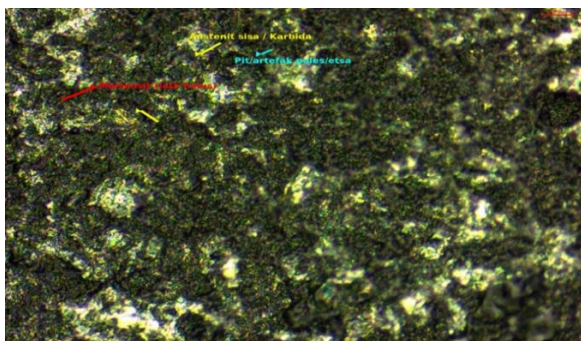
Hasil observasi struktur mikro pada baja AISI 1045 yang diberi perlakuan *quenching* menggunakan oli 20W-50 dapat diamati pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Material uji mikrostruktur dengan oli 20W-50
500x zoom

Berdasarkan pada pada gambar 7 pengamatan mikrostruktur baja AISI 1045 setelah *hardening* pada 870°C dengan waktu *holding* 20 menit dan *quenching* menggunakan oli 20W-50 (pembesaran 500x zoom) menunjukkan dominasi martensit berbentuk jarum halus yang rapat dan merata. Kehadiran martensit ini berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan material. Selain itu, terlihat fasa putih terang yang diduga merupakan austenit sisa atau sementit (Fe_3C), menandakan transformasi austenit belum sempurna sepenuhnya. Secara keseluruhan, hasil ini mengonfirmasi keberhasilan pembentukan martensit dominan.

Hasil karakterisasi mikrostruktur baja AISI 1045 dengan media pendingin oli 40W dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Material uji struktur mikro dengan oli 40W
500x zoom

Berdasarkan pada gambar 8 pengamatan mikrostruktur menunjukkan dominasi martensit berbentuk jarum halus berwarna gelap yang tersebar merata. Kehadiran martensit ini menjadi indikator utama peningkatan kekerasan material. Selain itu, terlihat pulau-pulau yang terang diduga sebagai austenit sisa atau karbida (Fe_3C) akibat pendinginan lebih lambat dibandingkan dengan oli 10W. Fasa ini menyebabkan kekerasan sedikit lebih rendah, namun memberikan keseimbangan sifat dengan peningkatan

ketangguhan. Beberapa area juga menunjukkan cekungan kecil akibat preparasi, yang tidak memengaruhi sifat mekanik baja. Secara keseluruhan, struktur hasil *quenching* dengan oli 40W didominasi martensit dengan sebagian kecil austenit sisa.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi media pendingin oli berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon menengah AISI 1045. *Quenching* pada suhu 870°C dengan waktu *holding* 20 menit menghasilkan peningkatan kekerasan dibandingkan kondisi awal (*raw material*). Oli 10W memberikan nilai kekerasan tertinggi yaitu 55,67 HRC dengan struktur mikro dominan martensit. Oli 40W menghasilkan kekerasan hampir sama 55,50 HRC dengan struktur martensit disertai sedikit bainit. Sementara itu, oli 20W-50 menghasilkan kekerasan terendah 49,00 HRC karena pendinginan lebih lambat yang memunculkan campuran martensit, bainit, dan perlit halus.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah viskositas oli, semakin tinggi laju pendinginan dan semakin besar proporsi martensit yang terbentuk, sehingga nilai kekerasan meningkat. Oli 10W dinilai paling efektif untuk meningkatkan kekerasan baja AISI 1045, sedangkan oli 20W-50 lebih sesuai apabila dibutuhkan kombinasi sifat yang lebih moderat antara kekerasan dan ketangguhan.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. R. Hakim, Q. Nurlaila, and Z. Lase, "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Proses Permesinan Baja Karbon Rendah," *Sigma Tek.*, vol. 6, no. 2, pp. 436–447, 2023, doi: 10.33373/sigmateknika.v6i2.5631.
- [2] A. Pramono, "Karakteristik Mekanik Proses *Hardening* Baja Aisi 1045 Media *Quenching* Untuk Aplikasi Sprochet Rantai," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 2011, [Online]. Available: www.uddeholm.com,
- [3] P. E. Yuwita, A. Habib, and R. N. Faila, "Studi Pengaruh Variasi Media Pendingin *Quenching* dan Waktu Penahanan pada Proses Heat Treatment terhadap Kekerasan Baja AISI 1045," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 1, pp. 77–84, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- [4] G. D. Haryadi, A. F. Utomo, and I. M. W. Ekaputra, "Pengaruh Variasi Temperatur *Quenching* Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, p. 255, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2633.

- [5] P. Journal and O. F. Science, “pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro,” vol. 5, no. 1, pp. 140–144, 2025.
- [6] D. E. Setiawan, “ANALISIS VARIASI MEDIA PENDINGIN PADA PROSES HARDENING BAJA AISI 1045 TERHADAP NILAI UJI TARIK,” vol. 1, no. 83, pp. 1–7.
- [7] S. Singh, S. Samir, K. Kumar, and S. Thapa, “Effect of heat treatment processes on the mechanical properties of AISI 1045 steel,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 5097–5101, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.590.
- [8] J. M. E. Jurnal, Y. Sulistiyawan, M. A. Achmadi, and R. D. Rahayu, “Pengaruh Perubahan Waktu Penahanan pada Proses Hardening Menggunakan Pendingin Oli terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045,” vol. 3, no. 02, pp. 24–30, 2024.
- [9] R. Rahmadani *et al.*, “Pengaruh Hardening Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Baja AISI 1045,” *J. JMMME*, vol. 1, no. 2, p. 14, 2020.