

Pengujian Kekerasan Hardness Tester Terhadap Baja Konstruksi (S40C dan S45C) Hasil Hardening Variasi Suhu

Muhamad Rifki¹ Tatang Suryana²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan,
Provinsi Banten, Indonesia^{1,2}

Email: muhamadrifki69541@gmail.com¹ dosen00@gmail.com²

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh temperatur *hardening* terhadap kekerasan baja karbon sedang JIS S40C dan S45C. Spesimen dipanaskan pada temperatur 800°C, 900°C, dan 1000°C, kemudian didinginkan menggunakan oli bekas. Spesimen tanpa perlakuan panas digunakan sebagai pembanding. Pengujian kekerasan dilakukan dengan *Leeb Hardness Tester* UNI-T UT347A pada lima titik berbeda untuk setiap kondisi, kemudian nilai pengukuran dirata-ratakan. Hasil menunjukkan bahwa kekerasan rata-rata S40C meningkat dari 391 HL pada kondisi awal menjadi 506 HL pada 800°C dan mencapai 598 HL pada 900°C, kemudian turun menjadi 552 HL pada 1000°C. Pada S45C, kekerasan meningkat dari 414 HL menjadi 575 HL pada 800°C dan mencapai 667 HL pada 900°C, lalu turun menjadi 621 HL pada 1000°C. Dengan demikian, temperatur 900°C menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada kedua material pada kondisi pengujian ini. Hasil ini terbatas pada penggunaan oli bekas sebagai media pendingin dan belum disertai pengamatan struktur mikro, sehingga penelitian lanjutan perlu membandingkan media pendingin serta menguji struktur mikro dan sifat mekanik lainnya.

Kata Kunci: Baja S40C, Baja S45C, *Hardening*, Kekerasan *Leeb*, Oli Bekas.

Abstract

This study evaluates the effect of hardening temperature on the hardness of JIS S40C and S45C medium-carbon steels. The specimens were heated to 800°C, 900°C, and 1000°C and then quenched in used oil. Untreated specimens were used as the baseline. Hardness was measured at five different points for each condition using a UNI-T UT347A Leeb hardness tester, and the readings were averaged. The mean hardness of S40C increased from 391 HL in the untreated condition to 506 HL at 800°C and peaked at 598 HL at 900°C, before decreasing to 552 HL at 1000°C. For S45C, hardness increased from 414 HL to 575 HL at 800°C and peaked at 667 HL at 900°C, then decreased to 621 HL at 1000°C. Therefore, 900°C produced the highest measured hardness for both steels under the tested conditions. These findings are limited to used-oil quenching and were not supported by microstructural examination. Further work should compare quenching media and include microstructure and other mechanical-property tests.

Keywords: S40C Steel, S45C Steel, *Hardening*, Leeb Hardness, Used Oil



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Baja karbon sedang digunakan pada berbagai komponen teknik karena memiliki kombinasi kekuatan, kekerasan, dan keuletan. Salah satu cara mengubah sifat mekanik baja adalah perlakuan panas, khususnya *hardening*, yang melibatkan pemanasan pada temperatur tertentu dan pendinginan cepat. Hasil proses ini dipengaruhi oleh temperatur pemanasan, komposisi karbon, serta kondisi pendinginan. Baja JIS S40C dan S45C memiliki komposisi karbon yang berbeda, S45C secara umum memiliki kandungan karbon lebih tinggi daripada S40C sehingga respons kekerasannya setelah perlakuan panas dapat berbeda. Literatur perlakuan panas dan ilmu material menjelaskan bahwa transformasi fasa selama pemanasan dan pendinginan berperan pada perubahan kekerasan baja (Callister & Rethwisch, 2020; ASM International, 2021). Evaluasi kekerasan juga perlu mengikuti prosedur pengujian yang sesuai agar data antarspesimen dapat dibandingkan. ASTM E956-20 membahas pengujian kekerasan

Leeb pada produk baja, sedangkan ASM International (2024) mengulas metode pengujian mekanik. Sumber-sumber tersebut menjadi landasan teknis untuk memahami proses dan pengukuran, tetapi bukan pengganti data eksperimental pada material yang diuji. Kesenjangan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah perlunya perbandingan eksperimental langsung antara S40C dan S45C pada tiga temperatur hardening dengan media pendingin yang sama. Penelitian ini membandingkan kekerasan rata-rata kedua baja pada kondisi tanpa perlakuan panas serta setelah hardening 800°C, 900°C, dan 1000°C. Tujuan penelitian adalah menentukan perubahan kekerasan pada setiap temperatur dan mengidentifikasi kondisi yang menghasilkan nilai kekerasan tertinggi berdasarkan pengukuran.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Callister & Rethwisch (2020)	<i>Materials Science and Engineering: An Introduction</i>	Menjelaskan hubungan komposisi, struktur, dan sifat material	Kajian literatur	Membahas dasar perubahan sifat mekanik material	Landasan untuk menginterpretasikan pengaruh karbon dan perlakuan panas
2	ASM International (2021)	<i>ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating</i>	Menjelaskan proses perlakuan panas baja	Handbook teknis	Memuat prinsip dan praktik heat treating	Relevan untuk tahapan hardening dan quenching
3	ASTM E956-20 (2020)	<i>Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products</i>	Memberi acuan pengujian kekerasan Leeb	Standar pengujian	Menjelaskan prosedur pengukuran Leeb pada baja	Relevan dengan penggunaan alat uji Leeb
4	ASM International (2024)	<i>ASM Handbook, Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation</i>	Merangkum metode evaluasi sifat mekanik	Handbook teknis	Menguraikan pendekatan pengujian mekanik	Mendukung pemilihan dan interpretasi pengujian kekerasan
5	Dieter (2019)	<i>Mechanical Metallurgy</i>	Menjelaskan hubungan beban dan respons mekanik material	Buku referensi	Menyediakan dasar teori mekanika material	Mendukung pembahasan sifat mekanik dan deformasi

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan membandingkan dua material, yaitu baja JIS S40C dan JIS S45C. Proses hardening dan pengujian kekerasan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pamulang. Variabel bebas adalah jenis baja dan temperatur hardening, sedangkan respons yang diamati adalah nilai kekerasan Leeb (HL) serta kedalaman penekanan yang dicantumkan pada hasil pengolahan skripsi. Spesimen disiapkan dengan pemotongan dan perapian tepi, kemudian dipanaskan menggunakan *furnace* pada temperatur 800°C, 900°C, atau 1000°C. Setelah mencapai temperatur perlakuan, spesimen dikeluarkan dan didinginkan menggunakan oli bekas. Spesimen tanpa perlakuan panas menjadi kondisi pembanding. Pengujian dilakukan menggunakan *Leeb Hardness Tester* UNI-T UT347A dengan *impact device* tipe D. Pada setiap kondisi, dilakukan lima pengukuran pada titik yang berbeda. Nilai kekerasan rata-rata dihitung menggunakan persamaan $\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5)/5$, dengan X_i merupakan pembacaan pada setiap titik. Hasil rata-rata digunakan untuk membandingkan respons S40C dan S45C pada setiap kondisi temperatur. Analisis bersifat deskriptif-komparatif; penelitian ini tidak mencakup pengujian struktur mikro atau analisis statistik inferensial.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja S40C dan S45C

No	Kondisi	Material	Uji 1 (HL)	Uji 2 (HL)	Uji 3 (HL)	Uji 4 (HL)	Uji 5 (HL)	Rata-rata (HL)
1	Tanpa perlakuan panas	S40C	390	396	385	392	392	391
2	Tanpa perlakuan panas	S45C	411	416	413	415	415	414
3	800°C	S40C	502	508	505	507	508	506
4	800°C	S45C	571	577	574	576	577	575
5	900°C	S40C	594	600	597	599	600	598
6	900°C	S45C	663	669	666	668	669	667
7	1000°C	S40C	548	554	551	553	554	552
8	1000°C	S45C	617	623	620	622	623	621

Berdasarkan Tabel 1, setiap spesimen diuji sebanyak lima kali untuk memperoleh nilai kekerasan dalam satuan Hardness Leeb (HL). Pada kondisi tanpa perlakuan panas, nilai rata-rata kekerasan baja S40C adalah 391 HL, sedangkan baja S45C sebesar 414 HL. Setelah hardening pada 800°C, rata-rata kekerasan meningkat menjadi 506 HL pada S40C dan 575 HL pada S45C. Nilai tertinggi diperoleh pada temperatur 900°C, yaitu 598 HL untuk S40C dan 667 HL untuk S45C. Pada temperatur 1000°C, nilai rata-rata menurun menjadi 552 HL pada S40C dan 621 HL pada S45C. Data ini menunjukkan bahwa S45C memiliki nilai kekerasan lebih tinggi daripada S40C pada seluruh kondisi pengujian, sementara temperatur 900°C menghasilkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi untuk kedua material.



Gambar 1. Hardness Tester Untuk Pengukuran Kekerasan Spesimen

Pengukuran kekerasan dilakukan sebanyak lima kali pada setiap spesimen. Nilai rata-rata dihitung dengan persamaan $\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5)/n$, dengan X_i merupakan hasil pembacaan ke- i dan $n = 5$. Sebagai contoh, perhitungan baja S40C tanpa perlakuan panas menggunakan data 390, 396, 385, 392, dan 392 HL. Dengan demikian, $\bar{X} = (390 + 396 + 385 + 392 + 392)/5 = 1.955/5 = 391$ HL. Perhitungan yang sama diterapkan pada setiap spesimen baja S40C dan S45C untuk kondisi tanpa perlakuan panas serta temperatur *hardening* 800°C, 900°C, dan 1000°C. Nilai rata-rata tersebut kemudian digunakan dalam perbandingan hasil pengujian. Kedalaman penekanan dihitung berdasarkan hubungan yang digunakan dalam skripsi, yaitu $HR = E - e$ dan $e = h/0,002$, sehingga $h = (100 - HR) \times 0,002$ mm, dengan $E = 100$. Sebagai contoh, untuk nilai 18,6 HRc, $h = (100 - 18,6) \times 0,002 = 0,1628$ mm atau sekitar 0,162 mm sesuai pembulatan yang dilaporkan.

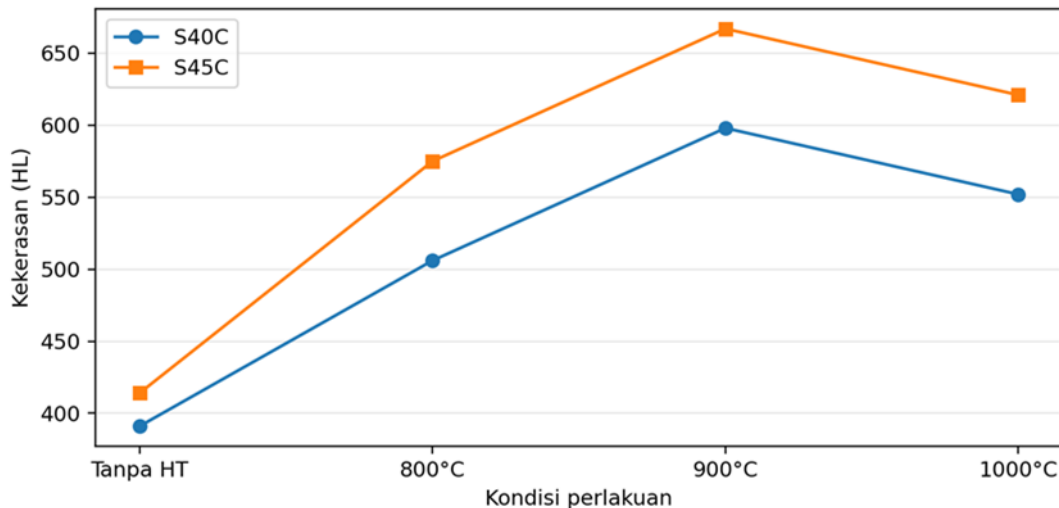
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 2 menyajikan rata-rata lima pengukuran kekerasan yang dilaporkan pada skripsi. Kedua material menunjukkan peningkatan kekerasan setelah hardening hingga 900°C. Pada temperatur 1000°C, nilai rata-rata menurun dibandingkan kondisi 900°C.

Tabel 2. Rata-rata Kekerasan dan Kedalaman Penekanan Spesimen

No	Kondisi	S40C (HL)	S45C (HL)	Kedalaman S40C (mm)	Kedalaman S45C (mm)
1	Tanpa perlakuan panas	391	414	0,162	0,160
2	800°C	506	575	0,152	0,145
3	900°C	598	667	0,146	0,136
4	1000°C	552	621	0,147	0,141



Gambar 2. Perbandingan Kekerasan Rata-rata Baja S40C dan S45C

Gambar 2 memperlihatkan bahwa S45C memiliki nilai kekerasan rata-rata lebih tinggi daripada S40C pada seluruh kondisi yang dibandingkan. Nilai tertinggi kedua material terjadi pada temperatur 900°C, yaitu 598 HL untuk S40C dan 667 HL untuk S45C.

Pembahasan

Pada S40C, nilai kekerasan meningkat dari 391 HL pada kondisi awal menjadi 506 HL pada 800°C dan 598 HL pada 900°C. Kenaikan dari kondisi awal ke 900°C sebesar 207 HL atau sekitar 52,9%. Pada 1000°C, kekerasan turun menjadi 552 HL, sekitar 7,7% lebih rendah dibandingkan nilai pada 900°C. Pola serupa terlihat pada S45C: kekerasan meningkat dari 414 HL menjadi 575 HL pada 800°C dan mencapai 667 HL pada 900°C, lalu menurun menjadi 621 HL pada 1000°C. Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa dalam rentang dan kondisi pengujian ini, peningkatan temperatur sampai 900°C berkaitan dengan peningkatan kekerasan, sedangkan temperatur 1000°C tidak menghasilkan nilai lebih tinggi. Secara metalurgi, proses hardening dapat mengubah struktur mikro baja melalui pemanasan dan pendinginan cepat. Namun, penyebab spesifik penurunan kekerasan pada 1000°C, misalnya pertumbuhan butir, belum dapat dipastikan hanya dari data kekerasan; konfirmasi memerlukan pengamatan metalografi atau pengujian tambahan. Nilai S45C lebih tinggi daripada S40C pada seluruh kondisi: selisihnya 23 HL pada kondisi awal, 69 HL pada 800°C, 69 HL pada 900°C, dan 69 HL pada 1000°C. Hal ini konsisten dengan kecenderungan baja berkadar karbon lebih tinggi untuk memperoleh kekerasan lebih tinggi setelah perlakuan panas, tetapi penelitian ini tidak mengukur komposisi kimia aktual atau struktur mikro. Oleh karena itu, hubungan tersebut dibahas sebagai interpretasi yang sejalan dengan teori, bukan bukti langsung mengenai fasa yang terbentuk.

Kedalaman penekanan yang dilaporkan cenderung berkurang ketika kekerasan meningkat. Pada S40C, kedalaman turun dari 0,162 mm pada kondisi awal menjadi 0,146 mm pada 900°C, kemudian sedikit meningkat menjadi 0,147 mm pada 1000°C. Pada S45C,

kedalaman turun dari 0,160 mm menjadi 0,136 mm pada 900°C, lalu meningkat menjadi 0,141 mm pada 1000°C. Arah perubahan ini sejalan dengan pola kekerasan rata-rata. Perlu dicatat bahwa pengukuran Leeb menghasilkan nilai kekerasan dinamis; karena itu, kedalaman penekanan yang tercantum diperlakukan sebagai data pendamping dari skripsi dan bukan sebagai ukuran utama metode Leeb.

KESIMPULAN

Temperatur hardening memengaruhi nilai kekerasan baja S40C dan S45C yang didinginkan menggunakan oli bekas. Berdasarkan rata-rata lima pengukuran, kekerasan S40C meningkat dari 391 HL pada kondisi tanpa perlakuan panas menjadi 506 HL pada 800°C dan mencapai 598 HL pada 900°C, kemudian turun menjadi 552 HL pada 1000°C. Kekerasan S45C meningkat dari 414 HL menjadi 575 HL pada 800°C dan mencapai 667 HL pada 900°C, lalu turun menjadi 621 HL pada 1000°C. Dengan demikian, 900°C merupakan temperatur yang menghasilkan kekerasan tertinggi di antara kondisi yang diuji. S45C menunjukkan kekerasan lebih tinggi daripada S40C pada semua kondisi. Keterbatasan penelitian adalah belum adanya verifikasi struktur mikro, komposisi kimia aktual, dan perbandingan media pendingin lain. Penelitian berikutnya disarankan menguji media pendingin berbeda serta menambahkan pengamatan metalografi, uji tarik, dan uji impak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada pembimbing dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pamulang atas dukungan selama pelaksanaan penelitian.

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi eksperimental komparatif terhadap respons kekerasan baja karbon menengah JIS S40C dan S45C yang diberi perlakuan pengerasan (hardening) pada temperatur berbeda, yaitu 800°C, 900°C, dan 1000°C, dengan menggunakan oli bekas sebagai media pendingin (quenching) dan Leeb Hardness Tester untuk pengukuran secara kuantitatif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya mengkaji satu jenis baja atau berfokus pada metode pengujian kekerasan konvensional, penelitian ini secara langsung membandingkan karakteristik kekerasan yang dipengaruhi oleh temperatur pada dua jenis baja konstruksi yang umum digunakan, dengan menerapkan kondisi perlakuan panas dan pendinginan yang identik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua material mencapai nilai kekerasan terukur maksimum pada temperatur 900°C, dengan nilai rata-rata sebesar 598 HL untuk baja S40C dan 667 HL untuk baja S45C. Selanjutnya, nilai kekerasan kedua material mengalami penurunan pada temperatur 1000°C. Temuan ini menunjukkan adanya hubungan nonlinier antara temperatur pengerasan dan nilai kekerasan yang terukur. Hasil perbandingan tersebut memberikan bukti eksperimental mengenai perbedaan respons kekerasan antara kedua jenis baja serta mengidentifikasi temperatur 900°C sebagai temperatur yang menghasilkan nilai kekerasan terukur tertinggi dalam kondisi eksperimen yang diterapkan. Penelitian ini berkontribusi terhadap pemahaman praktis mengenai optimasi temperatur pengerasan pada baja karbon menengah yang didinginkan menggunakan oli bekas. Selain itu, penelitian ini menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang melibatkan karakterisasi struktur mikro, penggunaan media pendingin alternatif, serta pengujian mekanis tambahan untuk memperjelas mekanisme yang memengaruhi variasi kekerasan material.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM International. (2021). *ASM handbook: Volume 4, Heat treating*. ASM International.
- ASM International. (2024). *ASM handbook: Volume 8, Mechanical testing and evaluation*. ASM International.
- ASTM International. (2020). *ASTM E956-20: Standard test method for Leeb hardness testing of steel products*. ASTM International.



- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Davis, J. R. (2025). *Surface hardening of steels: Understanding the basics*. ASM International.
- Dieter, G. E. (2019). *Mechanical metallurgy* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Haryadi. (2005). [Referensi mengenai metode pengujian kekerasan lekukan Rockwell; informasi judul dan penerbit belum tersedia].
- Heat Treatment Chart. (2021). *Diagram proses perlakuan panas pada baja* (Gambar 2.3).
- Hosford, W. F. (2022). *Mechanical behavior of materials* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Japanese Standards Association. (2020). *JIS G4051: Carbon steels for machine structural use*. Japanese Standards Association.
- Karmin, & Ginting. (2021). *Hubungan kekerasan dengan meningkatnya kandungan karbon* (Gambar 2.1).
- Koswara, E. (2024). [Referensi mengenai skala kekerasan Rockwell dan superficial Rockwell; informasi judul dan penerbit belum tersedia].
- Kumar, A., Singh, R., & Bansal, P. (2021). Effect of heat treatment on the mechanical properties of medium carbon steel (S45C). *Materials Today: Proceedings*, 45, 1257–1263. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.345>
- Landtek Instruments. (2021). *T347A portable Leeb hardness tester user manual*. Landtek Instruments Co., Ltd.
- Lee, S. H., & Kim, Y. S. (2021). Mechanical behavior and heat treatment response of medium carbon steels for machine components. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35(3), 1125–1133. <https://doi.org/10.1007/s12206-021-0215-4>
- Rakhimov, R. K., Ismailov, M. R., & Akhmedov, B. A. (2020). Influence of heat treatment parameters on microstructure and mechanical properties of carbon steels. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 7895–7903. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.067>
- Smallman, R. E., & Ngan, A. H. W. (2020). *Physical metallurgy and advanced materials* (7th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Surdia, T., & Saito, S. (2021). *Pengetahuan bahan teknik*. Pradnya Paramita.
- Totten, G. E. (2020). *Steel heat treatment: Metallurgy and technologies* (2nd ed.). CRC Press.