

Pengaruh Proses Tempering Terhadap Kekerasan Baja SKH55

Arahva Achmad Artama ¹⁾, Dody Prayitno ^{2)*}

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

*Corresponding Author: dodyprayitno@trisakti.ac.id

Diterima: 20 Juli 2026	Revisi: 28 Juli 2026	Disetujui: 28 Juli 2026	Terbit: Agustus 2026
------------------------	----------------------	-------------------------	----------------------

ABSTRAK

Baja *High Speed Steel* (HSS) tipe SKH55 merupakan material perkakas yang membutuhkan kekerasan dan ketahanan aus tinggi, salah satunya untuk aplikasi *pin dies*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan panas *tempering* terhadap perubahan nilai kekerasan baja SKH55. Metode penelitian bersifat eksperimental dengan menggunakan 8 spesimen uji berdiameter 20 mm dan panjang 50 mm. Parameter *variabel* yang digunakan meliputi temperatur austenisasi yaitu 1180°C dan 1200°C dengan waktu tahan (*holding time*) 2 jam. Media *quenching* adalah air dan oli. Proses *tempering* pada suhu 560°C selama 2 jam. Karakterisasi sifat mekanik dilakukan melalui pengujian kekerasan Rockwell (HRC) dan pengamatan mikrostruktur dengan metalografi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh spesimen *as-quenched* membentuk matriks martensit. Proses *tempering* menyebabkan martensit bertransformasi menjadi martensit temper yang disertai dengan presipitasi karbida sekunder. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan adanya fenomena *secondary hardening*, di mana proses *tempering* meningkatkan nilai kekerasan dibandingkan kondisi *as quenching* (tanpa *tempering*). Nilai kekerasan tertinggi dicapai oleh spesimen dengan kombinasi perlakuan suhu austenisasi 1180°C, media *quenching* air, dan dilanjutkan *tempering* 560°C, yaitu sebesar 65,86 HRC (meningkat 2,64 HRC atau 4,2%). Sebaliknya, kekerasan terendah terdapat pada spesimen austenisasi 1200°C dengan *quenching* oli dan tanpa *tempering* sebesar 62,28 HRC. Temperatur austenisasi 1180°C menghasilkan kekerasan yang lebih optimal dibandingkan 1200°C karena pelarutan karbida yang homogen serta meminimalkan pembentukan *retained austenite* dan pertumbuhan butir. Media pendingin air juga menghasilkan kekerasan yang relatif lebih tinggi dibanding oli akibat laju pendinginan yang lebih cepat.

Kata Kunci: *Baja SKH55, Austenisasi, Quenching, Tempering, Kekerasan Rockwell,*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan salah satu metode penting untuk memperoleh sifat mekanik dan karakteristik mikrostruktur yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi baja. Salah satu material yang banyak memanfaatkan proses perlakuan panas adalah baja kecepatan tinggi (*High Speed Steel*), termasuk SKH55. Baja SKH55 digunakan pada komponen perkakas yang membutuhkan kekerasan tinggi, ketahanan aus, kekuatan, serta kemampuan mempertahankan sifat mekaniknya pada kondisi kerja tertentu. Salah satu aplikasinya adalah sebagai material *pin dies*, sehingga pencapaian kekerasan dan ketahanan aus yang sesuai menjadi faktor penting dalam menentukan kinerja dan umur pakai komponen.

Untuk memperoleh sifat tersebut, baja SKH55 perlu melalui rangkaian perlakuan panas yang terdiri atas pemanasan hingga temperatur austenisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan tempering. Proses austenisasi bertujuan membentuk austenit serta melarutkan sebagian unsur paduan dan karbida ke dalam matriks. Selanjutnya, proses *quenching* dengan laju pendinginan yang cukup cepat menghasilkan struktur keras, terutama martensit. Namun, kondisi setelah *quenching* dapat menyebabkan material memiliki tegangan sisa dan kerapuhan yang tinggi. Oleh karena itu, proses tempering diperlukan untuk menghasilkan kondisi mikrostruktur dan sifat mekanik yang lebih sesuai dengan kebutuhan penggunaan.

Tempering merupakan proses pemanasan kembali baja yang telah mengalami *quenching* pada temperatur di bawah temperatur kritis, kemudian didinginkan kembali. Temperatur tempering merupakan salah satu parameter penting karena peningkatan temperatur temper dapat menyebabkan perubahan pada struktur martensit, pengendapan atau perubahan morfologi karbida, serta perubahan jumlah dan stabilitas *retained austenite*. Perubahan mikrostruktur tersebut pada akhirnya dapat memengaruhi nilai kekerasan baja SKH55. Dengan demikian, pemilihan temperatur tempering yang tepat menjadi penting karena temperatur yang terlalu rendah dapat menyebabkan tegangan sisa dan kerapuhan masih relatif tinggi, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kekerasan yang tidak sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Dalam penerapannya, ketidaksesuaian nilai kekerasan setelah proses perlakuan panas dapat menyebabkan material tidak memenuhi persyaratan penggunaan dan berpotensi memerlukan proses perlakuan panas ulang. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya pengendalian parameter tempering, khususnya temperatur temper, untuk memperoleh tingkat kekerasan yang sesuai. Oleh karena itu, diperlukan kajian eksperimental mengenai pengaruh variasi temperatur temper terhadap kekerasan baja SKH55 setelah melalui proses austenisasi dan *quenching* pada kondisi yang ditetapkan.

Pengujian kekerasan digunakan untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik yang terjadi akibat variasi temperatur temper, sedangkan pengamatan metalografi dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik mikrostruktur yang menyertai perubahan tersebut. Analisis hubungan antara temperatur temper, perubahan mikrostruktur, dan nilai kekerasan diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai respons baja SKH55 terhadap proses tempering serta menjadi dasar dalam menentukan temperatur temper yang sesuai untuk memperoleh tingkat kekerasan yang dibutuhkan pada aplikasi *pin dies*.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tempering terhadap nilai kekerasan baja SKH55.

II. STUDI PUSTAKA

2.1 Baja SKH55

Baja SKH55 merupakan jenis *high-speed tool steel* yang memiliki kandungan unsur paduan utama berupa karbon (C) sebesar 0,87–0,95%, kromium (Cr) 3,8–4,5%, molibdenum (Mo) 4,7–5,2%, vanadium (V) 1,7–2,1%, tungsten (W) 5,9–6,7%, serta kobalt (Co) sekitar 4,5–5,0% (Tool-Die-Steels.com, 2023). Komposisi kimia tersebut berperan dalam menghasilkan kekerasan tinggi, ketahanan aus, kestabilan ketajaman tepi, serta kemampuan mempertahankan sifat mekanik pada temperatur tinggi. Setelah melalui proses perlakuan panas yang sesuai, baja SKH55 dapat mencapai tingkat kekerasan sekitar HRC 64–66 (Aobosteel, 2023; GMTTC, 2023).

2.2 Austenisasi, Quenching, dan Tempering

Heat treatment pada dasarnya adalah proses pemanasan dan pendinginan baja dengan pola tertentu untuk mengubah sifat material agar lebih sesuai dengan kebutuhan pemakaiannya (Totten, 2014). Proses ini terdiri dari tahap heating hingga suhu tertentu, holding time agar perubahan struktur terjadi merata, cooling yang dapat dilakukan cepat atau lambat, dan tempering sebagai penstabil akhir struktur mikro. Austenisasi adalah pemanasan baja hingga masuk ke zona austenit sehingga unsur paduan dan sebagian karbida dapat larut ke dalam matriks; untuk SKH55 rentang austenisasi berada di sekitar 1180–1240°C (Da Silva & Lucio de Faria, 2020).

Quenching adalah proses pendinginan cepat setelah austenisasi untuk mengunci fasa austenit menjadi fasa keras seperti martensit sehingga kekerasan dan kekuatan baja meningkat signifikan (Nota et al., 2025). Media air memberikan laju pendinginan yang jauh lebih cepat dibandingkan oli sehingga struktur mikro akhir lebih didominasi martensit dengan kekerasan yang lebih tinggi, sedangkan oli yang lebih kental menghasilkan pendinginan lebih lambat dan kekerasan yang relatif lebih rendah namun struktur yang lebih stabil (Nota et al., 2025). Tempering adalah proses pemanasan ulang baja hasil quenching pada suhu di bawah suhu austenisasi untuk mengurangi kerapuhan martensit dan menurunkan tegangan sisa (Krauss, 2015). Pada baja SKH55, tempering dapat memicu secondary hardening akibat perubahan retained austenite menjadi martensit serta presipitasi karbida halus dari unsur V, Mo, dan W yang menghambat pergerakan dislokasi (ASM International, 2016). Suhu tempering SKH55 umumnya berada pada kisaran 540–580°C, dengan 560°C sebagai acuan umum (Totten & Funatani, 2004).

2.3 Struktur Mikro dan Uji Kekerasan Rockwell

Struktur mikro SKH55 setelah heat treatment umumnya terdiri dari martensit temper, austenit sisa, serta karbida kompleks seperti MC, M₂C, dan M₆C. Karbida MC yang kaya vanadium berkontribusi pada ketahanan aus, sedangkan karbida M₂C dan M₆C yang mengandung molibdenum dan tungsten membantu menjaga kekerasan pada suhu tinggi (Krauss, 2015). Diagram Continuous Cooling Transformation (CCT) digunakan untuk memprediksi jenis struktur mikro yang terbentuk selama pendinginan kontinu seperti quenching, sehingga penting dalam perancangan parameter heat treatment (Bhadeshia, 2001; Vander Voort, 2004).

Uji kekerasan Rockwell skala HRC menggunakan indenter diamond cone dan cocok untuk material dengan kekerasan tinggi seperti HSS (ASTM E18, 2019; ISO 6508-1, 2016). Uji metalografi dilakukan melalui tahapan mounting, grinding, polishing, dan

etching untuk menampilkan fasa mikro yang kemudian diamati menggunakan mikroskop metalurgi (ASM International, 1999). Semakin dominan fasa keras yang terbentuk, semakin tinggi nilai HRC yang dihasilkan, sehingga struktur mikro dan kekerasan memiliki hubungan yang saling menjelaskan (Callister & Rethwisch, 2018).

III. METODE

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan material uji berupa baja SKH55 berdiameter 20 mm dan panjang 50 mm sebanyak delapan spesimen, yang umum digunakan sebagai material pin dies. Variabel bebas yang digunakan adalah suhu austenisasi (1180°C dan 1200°C), media pendingin (air dan oli). Proses tempering pada suhu 560°C selama 2 jam.

Tahapan penelitian diawali dengan mempersiapkan delapan spesimen uji, kemudian memasukkan spesimen ke dalam dapur pemanas hingga mencapai suhu austenisasi (1180°C dan 1200°C) dengan waktu tahan (holding time) selama 2 jam. Sampel kemudian dikuens (*quenching*) dalam media pendingin (air atau oli) Sebagian sampel dipisahkan untuk proses tempering. Tempering dilakukan pada suhu 560°C selama 2 jam. Terakhir sampel didinginkan pada udara terbuka hingga mencapai suhu ruang. (Tabel 1)

Tabel 1. Parameter Penelitian

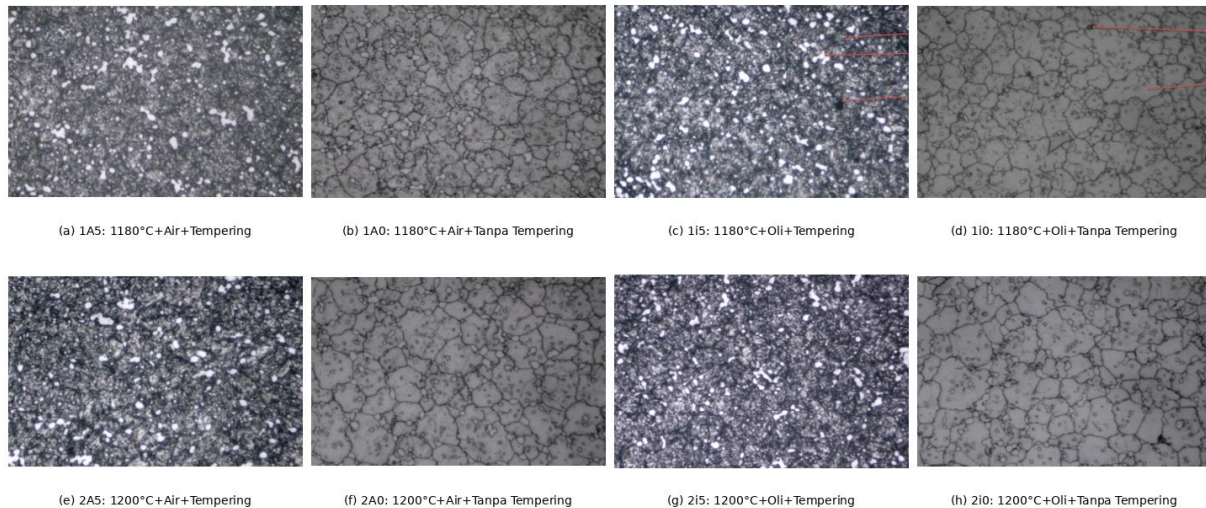
Suhu Austenisasi	Media Pendingin	Suhu & waktu tahan <i>Tempering</i>	Kode Sampel
1180°C	Air	560°C (2 jam)	1A5
		Tanpa Tempering	1A0
	Oli	560°C (2 jam)	1i5
		Tanpa Tempering	1i0
1200°C	Air	560°C (2 jam)	2A5
		Tanpa Tempering	2A0
	Oli	560°C (2 jam)	2i5
		Tanpa Tempering	2i0

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell skala HRC menggunakan indenter diamond cone, beban minor 10 kgf, dan beban mayor 150 kgf, dengan pengujian dilakukan 3-5 kali pada titik berbeda untuk setiap spesimen dan hasilnya dirata-ratakan. Pengujian metalografi dilakukan melalui tahapan mounting, grinding, polishing, dan etching menggunakan larutan kimia untuk menampilkan fasa mikro, dilanjutkan dengan pengamatan menggunakan mikroskop metalurgi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan metalografi dilakukan terhadap delapan spesimen dengan kombinasi suhu austenisasi, media pendingin, dan proses tempering sebagaimana pada Tabel 1. Hasil pengamatan mikrostruktur untuk seluruh kombinasi parameter ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Mikrostruktur Sampel Baja SKH55 pada Berbagai Kombinasi Suhu Austenisasi, Media Pendingin, dan Proses Tempering

Berdasarkan hasil pengamatan, seluruh spesimen yang dipanaskan pada suhu 1180°C atau 1200°C yang kemudian di kuens dalam media pendingin air maupun oli menunjukkan pola fasa yang serupa yaitu martensit. Hal ini menunjukkan tidak ada efek dari tingginya suhu pemanasan dan media pendingin.

Spesimen yang mengalami tempering (pada suhu 560 °C, selama 2 jam) baik yang telah dikuens dalam media air atau oli memiliki martensit temper disertai presipitasi karbida. Proses tempering ini membuktikan tidak ada pengaruh media pendingin saat dilakukan kuens. Proses menyebabkan martensit bertransformasi menjadi martensit temper disertai terbentuknya struktur karbida.

4.3 Tempering terhadap Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Rockwell (HRC) untuk seluruh kombinasi parameter ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel 3 adalah hasil peneliti terdahulu yang dapat digunakan sebagai pembandingan.

Perlakuan dengan kekerasan tertinggi adalah sampel yang mengalami pemanasan pada suhu 1180°C, yang kemudian di kuens di dalam air dan dilanjut dengan tempering pada suhu 560 °C selama 2 jam tempering, yaitu 65,86 HRC, sedangkan yang terendah adalah sampel yang dipanaskan pada suhu 1200°C yang kemudian di kuens didalam oli dan tidak mengalami tempering, yaitu 62,28 HRC. Rentang keseluruhannya hanya: $65,86 - 62,28 = 3,58$ HRC Artinya, pengaruh perlakuan panas tempering terhadap kekerasan memang ada, tetapi perbedaannya relatif tidak terlalu besar.

Tabel 2. Kekerasan Rata-Rata Hasil Heat Treatment

Kode Sampel	Keterangan	Rata-Rata HRC	Standar Deviasi
1A5	1180°C+Air+Tempering	65,86	0,28
1A0	1180°C+Air+Tanpa Tempering	63,22	1,79
1i5	1180°C+Oli+Tempering	64,78	0,18
1i0	1180°C+Oli+Tanpa Tempering	63,26	2,27
2A5	1200°C+Air+Tempering	63,82	0,73
2A0	1200°C+Air+Tanpa Tempering	63,76	1,89
2i5	1200°C+Oli+Tempering	62,48	0,73
2i0	1200°C+Oli+Tanpa Tempering	62,28	0,46

Tabel 3. Hasil Peneliti Terdahulu. (赵继全, 2021)

Tahapan Heat Treatment	Nilai Kekerasan Tipikal
Kondisi Annealed (Sebelum <i>Heat Treatment</i>)	20 – 25 HRC
Setelah Quenching (<i>As-Quenched</i>)	62 – 64 HRC
Setelah Tempering 560 °C (Siklus ke-2/3)	65 – 67 HRC (Puncak Kekerasan)

Perlakuan dengan kekerasan tertinggi adalah 1180°C + air + tempering, yaitu 65,86 HRC, sedangkan yang terendah adalah 1200°C + oli + tanpa tempering, yaitu 62,28 HRC. Rentang keseluruhannya hanya: 65,86 – 62,28 = 3,58 HRC. Artinya, pengaruh perlakuan panas tempering terhadap kekerasan memang ada.

Pengaruh suhu austenisasi pada proses tempering. Peningkatan temperatur austenisasi dari 1180°C menjadi 1200°C cenderung menurunkan kekerasan. Pada pendingin dengan media air terjadi penurunan sebesar 2,04 hrc (3,1%) sementara pada media oli penurunannya sebesar 2,30 hrc (3,55%). Secara metalurgi, hal ini dapat dikaitkan dengan temperatur austenitisasi yang lebih tinggi. Pada baja SKH55, peningkatan temperatur dapat meningkatkan pelarutan unsur paduan ke dalam austenit, tetapi jika terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan butir austenit, perubahan jumlah/jenis karbida yang tidak menguntungkan, serta peningkatan retained austenite setelah quenching.

Pengaruh media pendinginan saat quenching terhadap kekerasan setelah tempering. Secara umum, air memberikan kekerasan lebih tinggi dibandingkan oli, terutama pada kondisi 1180°C masing-masing adalah air 65,86 HRC (air) dan 64,78 HRC (oli).

Pengaruh tempering terlihat pada sampel yang mengalami pemanasan pada 1180°C yang dilanjutkan dengan pendinginan media baik air maupun oli. Pada suhu austenisasi tersebut proses tempering mampu meningkatkan kekerasan. Pada media air, terjadi peningkatan dari 63,22 HRC menjadi 65,86 HRC atau naik 2,64 HRC (4,2%), namun dengan media oli, peningkatan yang terjadi hanya 1,52 HRC (2,4%). Tempering pada baja SKH55 menyebabkan kenaikan kekerasan bukan penurunan. Ini penting karena secara umum orang sering beranggapan bahwa proses *quenching* akan menghasilkan martensit keras yang jika dilanjutkan dengan proses tempering akan menyebabkan penurunan kekerasan.

Untuk SKH55, asumsi tersebut tidak selalu berlaku. High-speed steel mengalami fenomena yang dikenal sebagai secondary hardening. Peningkatan kekerasan dari

63,22 HRC menjadi 65,86 HRC, pada sampel yang dipanaskan pada suhu austenisasi 1180°C yang di *Quenching* dengan media air dapat menjadi indikasi adanya secondary hardening akibat tempering, sebagaimana terlihat pada gambar mikrostruktur.

Dari tabel 2 terlihat bahwa efek tempering pada spesimen yang diaustenisasi pada 1200°C jauh lebih kecil dibandingkan pada 1180°C. Ini menunjukkan bahwa efek tempering pada spesimen yang diaustenisasi pada 1200°C jauh lebih kecil dibandingkan pada 1180°C.

Pada penelitian yong Qing Ma dkk dijelaskan bahwa baja kecepatan tinggi (*High-Speed Steel / HSS*) seperti SKH55 (AISI M35), proses *tempering* pada suhu sekitar 550 °C – 560 °C justru meningkatkan kekerasan dibandingkan nilai kekerasannya saat baru selesai di-*quench*. Fenomena khas ini disebut sebagai Penyepuhan Sekunder (*Secondary Hardening*). (Yong Qing Ma, dkk 2011).

Pada baja SKH55, mekanisme peningkatan kekerasan akibat temper (560 oC) ada dua mekanisme unik yaitu (Yong Qing Ma, dkk 2011) :

a. Presipitasi Karbida Paduan Halus (*Alloy Carbide Precipitation*)

Pada suhu 560 °C, unsur-unsur paduan berat seperti Tungsten (W), Molybdenum (Mo), dan Vanadium (V) yang terlarut saat *quenching* akan keluar dan membentuk karbida-karbida mikroskopis yang sangat keras dan tersebar merata. Presipitasi inilah yang mendongkrak kekerasan.

b. Transformasi Austenit Sisa (*Retained Austenite*)

Setelah *quenching*, struktur baja SKH55 mengandung cukup banyak *retained austenite* (fasa lunak yang "terjebak" dan belum sempat berubah jadi martensit). Saat baja dipanaskan ke 560 °C lalu didinginkan kembali ke suhu ruang, *retained austenite* tersebut bertransformasi menjadi martensit baru yang keras. (aobosteel.com)

V. KESIMPULAN

Berdasarkan nilai rata-rata HRC, perlakuan sampel dengan pemanasan pada suhu 1180°C dan quenching dengan media air dan kemudian dilanjut dengan tempering pada suhu 560 oC selama 2 jama akan menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 65,86 HRC. Peningkatan temperatur austenitisasi dari 1180°C menjadi 1200°C cenderung menurunkan kekerasan, khususnya pada spesimen yang mengalami tempering. Menariknya, pada temperatur 1180°C, proses tempering meningkatkan kekerasan sebesar 2,64 HRC (4,2%) untuk pendinginan air dan 1,52 HRC (2,4%) untuk pendinginan oli. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan *secondary hardening* akibat presipitasi karbida paduan pada baja high-speed steel, meskipun konfirmasi lebih lanjut melalui karakterisasi mikrostruktur diperlukan

DAFTAR PUSTAKA

- Aobosteel (2023) M35 Tool Steel. Tersedia di: <https://aobosteel.com/m35-tool-steel/> (Diakses: 6 Agustus 2026).
- ASM International (1999) ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures. Materials Park, OH: ASM International.

- ASM International (2016) One Minute Mentor: Tempering Tool Steels. Tersedia di: <https://www.asminternational.org/one-minute-mentor-tempering-tool-steels/> (Diakses: 6 Agustus 2026).
- ASTM E18 (2019) Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. West Conshohocken: ASTM International.
- Bhadeshia, H.K.D.H. (2001) Bainite in Steels: Theory and Practice. 2nd edn. London: Institute of Materials.
- Callister, W.D. & Rethwisch, D.G. (2018) Materials Science and Engineering: An Introduction. 10th edn. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Da Silva, S. & Lucio de Faria, G. (2020) 'Austenitizing temperature and cooling rate effects on the martensitic transformation in a microalloyed-steel', CC BY 4.0.
- GMTC (2023) High Speed Steel M35. Tersedia di: <https://www.gmtc.com.tw/en/product/High-Speed-Steel/M35> (Diakses: 6 Agustus 2026).
- ISO 6508-1 (2016) Metallic Materials — Rockwell Hardness Test — Part 1: Test Method. Geneva: ISO.
- Krauss, G. (2015) Steels: Processing, Structure, and Performance. 2nd edn. Materials Park: ASM International.
- Nota, A.S., Abdul, A., Siska, I.B. & Carolus, B.K.S. (2025) 'Pengaruh proses quenching dengan variasi media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045', PERWIRA Journal of Science & Engineering. Tersedia di: <https://ejournal.unperba.ac.id/index.php/pjse/article/view/493>
- Soffritti, C., Fortini, A., Sola, R., et al. (2020) 'Influence of heat treatment on microstructure and mechanical properties of M35 high-speed steel', Metals, 10(6).
- Totten, G.E. (2014) Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. Boca Raton: CRC Press.
- Totten, G.E. & Funatani, K. (2004) Quenching Theory and Technology. Materials Park: ASM International.
- tool-die-steels.com (2023) SKH55 Steel. Tersedia di: <https://www.tool-die-steels.com/grades/Special-Alloy/45/830/SKH55-steel.html> (Diakses: 6 Agustus 2026).
- Vander Voort, G.F. (2004) Metallography: Principles and Practice. Materials Park: ASM International.
- Yong Qing Ma, Hong Tao Gao, Yu Fen Liang, Xiao Jing Zhang. 2011, Secondary Hardening during Tempering of Cr-W-Mo-V High Alloy Medium-Upper Carbon Steel and its Hardness Forecast , 'Advanced Materials Research 415-417:813-818, DOI: , 10.4028/www.scientific.net/AMR.415-417.813 diunduh 14 agustus 2026 jam 11 wib <https://aobosteel.com> , “ AISI M35 Tool Steel | 1.3243 | SKH55 Cobalt High Speed Steel (HSS-Co)”, url : <https://aobosteel.com/m35-tool-steel/#:~:text=Tempering%20is%20a%20crucial%20of%20final%20step.%20The,fresh%20martensite%2C%20which%20then%20requires%20additional%20tempering.>
- 赵继全, 曲周德, 禹兴胜, 石如星), 2021, “ Effect of Quenching and Tempering Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of 55NiCrMoV7 Die Steel, March 2021, Teshugang/Special Steel 42, url : https://www.researchgate.net/publication/402118463_Effect_of_Quenching_and_Tempering_Heat_Treatment_on_Microstructure_and_Mechanical_Properties_

of_55NiCrMoV7_Die_Steel#:~:text=The%20results%20show%20that%2C%20wit
h%20the%20increase,26%20o%20after%20quenching%20at%20850%20%C%20Bo
C. diunduh 14 agustus 2026 jam 11 .00 wib.