

ANALISIS KOMPARATIF METODE PENGUJIAN KEKERASAN: ROCKWELL DAN VICKERS PADA HEAT-TREATED HIGH-SPEED STEEL (BAJA KECEPATAN TINGGI YANG DIOLAH PANAS)

Risyad Bagas Widiatoro^{1,a} dan Yusuf Rizal Fauzi¹

¹Politeknik Negeri Banjarmasin

^{a)} email korespondensi: risyard1120@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekerasan baja kecepatan tinggi yang telah mengalami perlakuan panas menggunakan metode pengujian Rockwell dan Vickers. Metode yang digunakan mencakup pengujian kekerasan pada beberapa sampel baja dengan variasi persentase karbon dan kondisi tempering. Dalam pengujian ini, pengujian non-destruktif (NDT) juga diterapkan untuk mendukung hasil tanpa merusak material. Dalam hasil penelitian ini, penulis sedikit terkejut dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu tempering secara konsisten menurunkan tingkat kekerasan material. Selain itu, terdapat fluktuasi kekerasan yang tidak terduga pada sampel dengan kadar karbon tertentu. Pembahasan berfokus pada analisis hubungan antara suhu tempering dan kekerasan material, serta evaluasi potensi kesalahan manusia dalam pengukuran. Kesimpulan dari penelitian ini menekankan bahwa pendekatan holistik yang menggabungkan pengujian kekerasan dan NDT sangat penting untuk evaluasi komprehensif terhadap kualitas material, yang dapat digunakan sebagai panduan dalam pemilihan material untuk aplikasi teknik.

Kata kunci: Pengujian kekerasan, kekerasan Rockwell, kekerasan Vickers

PENDAHULUAN

Sebagai mahasiswa Teknik Mesin, kadang-kadang ketika melihat material, Anda ingin tahu bagaimana mereka mendapatkan sampel material tanpa merusaknya. Di sinilah pengujian non-destruktif (NDT) berperan. Di antara berbagai metode yang digunakan untuk tujuan ini, pengujian kekerasan menonjol sebagai salah satu teknik yang paling mendasar. Pengujian kekerasan adalah metode utama untuk memeriksa seberapa kuat, tahan aus, dan cocoknya material berdasarkan kemampuannya untuk menahan indentasi atau goresan.

Dalam kasus lain, pengujian kekerasan memainkan peran unik, karena baik pengujian destruktif (DT) maupun non-destruktif (NDT) dapat diadopsi untuk beton dan baja tulangan. Pengujian non-destruktif (NDT) adalah alat penting lainnya untuk penilaian material. Meskipun pengujian destruktif (DT) cukup andal untuk menentukan sifat mekanis material, seringkali sulit untuk mengambil cukup banyak sampel beton dan baja tanpa sangat mempengaruhi struktur, yang membutuhkan waktu dan usaha ekonomi untuk mengembalikan kondisi awalnya (caprili et al., 2022).

Konsep kekerasan sangat menarik—yang paling umum adalah metode Brinell (Brinell, 1900), Rockwell (Rockwell, 1920), Knopp (Knopp et al. 1939), dan Vickers (Smith dan Sandland, 1925). Metode ini telah memberikan kita beberapa skala kekerasan yang terkenal yang sering kita rujuk. Pada dasarnya, semua teknik lab ini menerapkan gaya statis pada bentuk tertentu untuk sementara waktu. Gaya ini menyebabkan

sedikit deformasi pada material di sekitar tanda penekan, meninggalkan jejak yang mengungkapkan kekerasan material. Memberikan tekanan pada material adalah cara untuk melihat apakah mereka tahan dan bagaimana mereka meninggalkan jejak.

Penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam dunia penilaian material dengan membandingkan dua metode pengujian kekerasan yang umum, yaitu Rockwell dan Vickers, terutama pada material seperti baja kecepatan tinggi yang menjadi fokus penelitian ini. kedua metode ini digunakan untuk memeriksa ketahanan dan kekerasan material, terutama setelah proses perlakuan panas (heat treatment). Dalam penelitian ini, pengaruh suhu tempering pada kekerasan baja kecepatan tinggi menjadi salah satu parameter utama yang dianalisis. Variasi suhu dari 25°C hingga 400°C digunakan untuk mengevaluasi perubahan sifat kekerasan material.

Dengan membandingkan pengujian Rockwell dan Vickers, untuk mendapatkan perbandingan hasil yang komprehensif. Kedua metode ini akan digunakan untuk melihat bagaimana variasi suhu tempering mempengaruhi kekerasan material, serta keunggulan dan kekurangan masing-masing metode dalam mengukur kekerasan baja kecepatan tinggi.

Mengikuti perjalanan ini tidak hanya akan memperluas pengetahuan kita, tetapi juga membantu meningkatkan efektivitas material teknik dan komponen, baik dalam sektor industri maupun teknik. Ini juga membuka peluang baru untuk kemajuan dan

inovasi dalam bidang Teknik Mesin, dengan bekerja sama antara profesor dan mahasiswa.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengujian kekerasan secara luas digunakan untuk menguji sifat mekanis material dan komponen nyata dari material tersebut. Kekerasan sendiri adalah ukuran resistensi material terhadap deformasi plastis lokal melalui indentasi atau goresan. Selain itu, ini merupakan indikasi yang baik tentang resistensi material terhadap aus. Secara umum, semakin keras suatu material, semakin tahan aus material tersebut. Ada juga hubungan yang secara kasar proporsional antara kekerasan dan kekuatan tarik.

Pengujian Kekerasan Rockwell adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan dalam praktik Teknik Mesin untuk menentukan kekerasan relatif suatu material. Pengujian Kekerasan Rockwell memiliki berbagai opsi (Song et al., 1998), dengan skala yang berbeda, menggunakan indenter dan beban yang berbeda. Ada bola baja dalam berbagai ukuran untuk menguji material yang tidak terlalu keras, dan ada kerucut berlian untuk material yang sangat keras. Bebannya bisa berkisar antara 15 kg hingga 150 kg. Indenter berlian Rockwell berbentuk kerucut dengan sudut 120° dan ujung berbentuk bulat dengan diameter sekitar $200 \mu\text{m}$ (Tanaka et al., 2024). Kehebatan indenter berlian Rockwell dalam mengukur kekerasan berasal dari berbagai faktor. Bentuknya penting, bersama dengan dimensi ujungnya, deviasi dari kesempurnaan, sudut yang dipertahankan, keseragaman sisi-sisinya, dan penyelarasan kritis dengan penahannya yang semuanya berkontribusi pada efektivitasnya.

Pengujian kekerasan Vickers adalah metode yang diakui luas dalam teknik mesin untuk mengukur kekerasan material yang kuat. Pengujian Kekerasan Vickers menonjol karena fleksibilitasnya—metode ini mengukur semua jenis material, tidak peduli seberapa kerasnya (Yazdanshenas et al., 2020). Selain itu, metode ini memberikan nilai standar yang dapat digunakan untuk membandingkan semua material. Metode ini menggunakan indenter berbentuk piramida berlian dengan dasar persegi, yang ditekan ke dalam material dengan gaya tertentu (Wada et al., 2021). Setelah terbentuk indentasi, diagonal dari jejak persegi diukur secara akurat menggunakan mikroskop dan diubah menjadi angka kekerasan. Terkadang, perlu memastikan permukaan material sudah tepat (melalui penggilingan dan pemolesan) untuk mendapatkan indentasi yang sangat jelas yang dapat diukur secara akurat. Karena saat menggunakan beban kecil, jejak indentasi bisa sangat kecil. (Kuzu et al., 2021).



Gambar 1. Rockwell tester



Gambar 2. Vickers Tester

Baja kecepatan tinggi (HSS) seperti AISI M2 umumnya digunakan untuk alat pemotong dan pembentuk atau broach dengan tuntutan beban dan kekerasan panas yang tinggi. Sebagai bagian dari persyaratan untuk baja kecepatan tinggi, material harus memiliki kekerasan yang sangat tinggi, melebihi 800–900 HV, dan stabilitas termal hingga 500°C untuk mikrostrukturnya (Sun et al., 2023). Selain kekerasan dan ketahanan aus yang luar biasa, material ini mampu menahan suhu tinggi tanpa kehilangan kekerasannya. Sebaliknya, baja kecepatan tinggi yang telah diperlakukan panas mengalami proses pendinginan terkendali untuk meningkatkan sifat-sifatnya (Damon et al., 2023). Perlakuan ini penting untuk mengoptimalkan kekerasan, ketangguhan, dan kinerja keseluruhan baja. Namun, dalam eksperimen di laboratorium, pengujian menyiapkan baja berbentuk bulat yang aneh, yang merupakan baja kecepatan tinggi tetapi sudah disiapkan dengan berbagai suhu tempering dari as-hardened (25°C) hingga 400°C .



Gambar 3. bentuk bulat (HSS) untuk eksperimen

Langkah pertama dalam perlakuan panas (*Heat treatment*) adalah memanaskan baja di atas suhu kritis tertentu untuk mengubah struktur suhu kamar (biasanya disebut perlit) menjadi struktur suhu tinggi (disebut Austenite). Suhu pemanasan yang dibutuhkan tergantung pada komposisi kimia baja dan jenis perlakuan panas yang diperlukan. Setelah didiamkan pada suhu ini selama periode waktu tertentu untuk mencapai keseragaman, baja kemudian didinginkan ke suhu kamar dengan berbagai laju pendinginan.

Annealing Penuh

Ini adalah perlakuan panas untuk mencapai laju pendinginan yang sangat lambat (biasanya didinginkan di dalam tungku) dari austenit, sehingga struktur mikro yang mendekati kesetimbangan dapat diperoleh. Struktur semacam itu, yang biasanya disebut struktur perlit kasar, memiliki kekuatan rendah dan keuletan tinggi. Tujuan utama dari perlakuan ini adalah untuk melunakkan baja agar mudah diolah, seperti dalam pemesinan dan pembentukan dingin.

Normalising (Normalisasi)

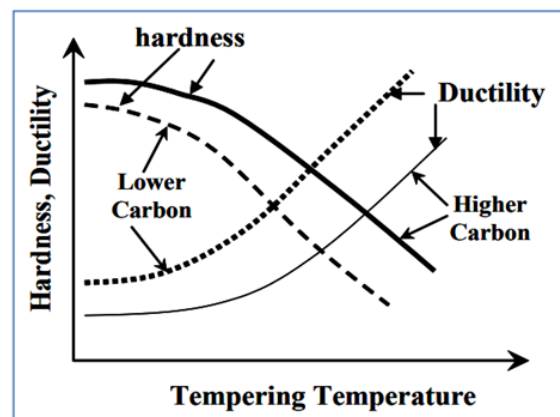
Proses ini melibatkan pemanasan austenit pada suhu yang dipilih dan kemudian pendinginan udara hingga suhu kamar. Struktur perlit halus dengan kekuatan yang meningkat diperoleh. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk memperbaiki struktur mikro untuk perlakuan panas selanjutnya, atau untuk menghasilkan struktur perlit halus dengan kekuatan yang memadai untuk pemesinan dan aplikasi akhir.

Quench Hardening (Pengerasan Cepat)

Proses ini melibatkan perlakuan panas untuk menghasilkan struktur keras yang disebut martensit. Pada sebagian besar baja, diperlukan pendinginan cepat selama transformasi untuk menghasilkan martensit dan oleh karena itu diperlukan pendinginan cepat dari suhu austenitisasi. Martensit dihasilkan ketika transformasi ke perlit ditekan oleh pendinginan cepat. Laju pendinginan minimum untuk transformasi martensit (sebagai ukuran hardenability) tergantung pada komposisi kimia baja dan suhu austenitisasi. Banyak baja teknik dirancang dengan penambahan elemen paduan lainnya seperti Cr, Ni, Mn, Mo, dll. untuk memfasilitasi pembentukan martensit pada laju pendinginan sedang. Pembentukan martensit pada laju pendinginan yang lebih rendah membantu mengurangi kecenderungan terjadinya distorsi komponen dan retak

Tempering

Pada baja, kekerasan maksimum berkaitan dengan struktur martensit penuh. Namun, martensit juga merupakan fase yang getas. Karakteristik martensit dan transformasi martensitik juga menentukan bahwa berbagai tingkat tegangan sisa dihasilkan dalam bagian-bagian yang dikeraskan. Tempering adalah perlakuan panas yang diberikan pada baja martensitik yang telah dikeraskan untuk meningkatkan keuletannya, mengurangi kekerasannya, dan menghilangkan tegangan sisa. Tempering selalu diperlukan setelah pengerasan cepat (quenching). Suhu tempering biasanya berada antara 160°C dan 600°C dan waktu tempering adalah 1 hingga 2 jam (Sun et al., 2023).



Gambar 4. Tempering

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dalam kelas praktikum antara seorang profesor dan para mahasiswa. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengenalkan peserta dengan teknik yang digunakan untuk mengukur kekerasan material teknik serta untuk menyelidiki pengaruh kandungan karbon terhadap kekerasan baja dan mengamati pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan tersebut. Dengan mendengarkan pemeriksa, dia menjelaskan cara menggunakan peralatan dengan benar dan dari teori hingga praktik, dia menjelaskan dengan sangat detail.

Setelah itu, pemeriksa menunjukkan Material yang akan diuji Material tersebut berupa pelat baja bulat yang terbuat dari baja kecepatan tinggi, dengan berbagai suhu tempering mulai dari As-hardened hingga 400°C. Kemudian pemeriksa menjelaskan tentang uji yang akan dilakukan, yaitu untuk mencari tahu kekerasan baja kecepatan tinggi yang telah diberi perlakuan panas menggunakan pengujian Rockwell dan pengujian Vickers. Dilanjutkan dengan pemeriksa mengenakan kacamata pengaman dan menunjukkan cara melakukannya.

Penelitian dimulai oleh tim pertama yaitu tim pengujian Vickers. Di tengah-tengah eksperimen, pengujian berganti ke pengujian Rockwell. Kedua tim akan menguji material yang sama dan suhu tempering yang sama. Pertama melihat pengujian Vickers. Dengan

beban 30 kg yang diatur pada penguji, kemudian dengan hati-hati memeriksa bekas yang ditinggalkan oleh intan dengan tampilan mikroskop. Setelah itu, pengukuran pembacaan okular untuk arah X dan Y kemudian menghitung rata-ratanya. Pengukuran yang dihitung, dikonversi menjadi angka kekerasan.



Gambar 4. Tampilan mikroskop

Setelah Pengujian Vickers selesai, pergantian tim dilaksanakan dan bergantian dengan Pengujian Rockwell, Pengujian Rockwell adalah mesin anah lainnya yang terlihat menakutkan, Untuk pengujian ini, intan berbentuk kerucut digunakan, dengan beban yang diterapkan berkisar antara 15 kg hingga 150 kg, tergantung pada skala uji.

Mesin akan menampilkan angka kekerasan dan simbol skala sehingga akan berbunyi, setelah memberikan beban utama yaitu 150 Kgf (kilogram-force), setelah beban utama diberikan, beban tersebut dilepaskan, sementara beban minor masih diterapkan. Hal ini menyebabkan penetrasi lebih lanjut pada material yang dapat diukur kedalaman bekasnya kemudian dan kemudian menghitung Pembacaan Kekerasan (HRC). Pengujian dilakukan selama dua kali dan nilai rata-ratanya dihitung



Gambar 5. Pengujian Rockwell

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketika kami melakukan eksperimen ini, kami memfokuskan pada baja kecepatan tinggi yang diberi tempering dengan berbagai suhu tempering dari As-hardened (25°C) hingga 400°C. Dengan ini, kami dapat mengubah baja kecepatan tinggi menjadi baja kecepatan tinggi yang telah diberi perlakuan panas.

Pada percobaan pertama kami menguji baja yang diberi tempering pada suhu kamar (25°C). Dengan menggunakan penguji Vickers, pembacaan okular untuk arah X dan Y adalah 0,22 mm, kemudian kami menghitung rata-rata dari bekas indentasi dan hasilnya juga 0,22 mm sehingga nilai Kekerasan (HV) adalah sekitar 1149. Pada saat yang sama untuk skala Rockwell C, pembacaan pertama dan kedua memiliki nilai 66,5 dan 64,0, ketika kami menghitung rata-rata kekerasannya adalah sekitar 65,3.

Ketika kami menaikkan suhu hingga 200°C, arah berubah menjadi X= 0,218 dan Y= 0,218 yang membuat rata-rata juga berubah menjadi 0,218 dan untuk Kekerasan HV adalah 1171. Untuk skala Rockwell C, pembacaan pertama dan kedua memiliki hasil unik yaitu 1= 64,5 dan 2= 64,9, jika kami menghitung rata-ratanya menjadi 64,7.

Dengan tempering lebih lanjut pada 400°C menghasilkan penurunan kekerasan yang lebih nyata, dengan rata-rata HRC turun menjadi 63,4. Suhu ini menunjukkan efek tempering yang signifikan, di mana material mengalami pelunakan yang cukup besar sambil mempertahankan beberapa tingkat kekerasan yang cocok untuk aplikasi tertentu. Pembacaan okular untuk ukuran indentasi meningkat sedikit menjadi 0,232 mm pada arah X dan 0,236 mm pada arah Y, menghasilkan ukuran indentasi rata-rata sebesar 0,234 mm. Nilai kekerasan yang sesuai dalam HV menurun menjadi 1016, menunjukkan respons material terhadap suhu tempering yang lebih tinggi dan dampaknya pada sifat mekanis seperti kekerasan dan ketahanan terhadap deformasi.

Tabel 1. Heat-treated High-speed steel table

Temp eratu re, °C	Rockwell Hardness			Vickers Hardness			HARD NESS HV
	Hardness Readings, HRC			Ocular Readings (mm)			
	1	2	Mean	X	Y	Mean	
As-hardened (Room temp. tempering, 25°C)	66.5	64	65.3	0.22	0.22	0.22	1149
200	64.5	64.9	64.7	0.218	0.218	0.218	1171
400	63.3	63.4	63.4	0.232	0.236	0.234	1016

Berdasarkan data yang diperoleh dari eksperimen, kami dapat memperoleh wawasan berharga tentang bagaimana baja kecepatan tinggi berperilaku di bawah berbagai kondisi tempering. Sebagai baja yang dikeraskan, baja ini menunjukkan kekuatan mekanis dan kekerasan yang luar biasa, menjadikannya ideal

untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan aus dan daya tahan tinggi. Material ini melunak secara bertahap seiring dengan meningkatnya suhu tempering, yang tercermin dalam penurunan pembacaan kekerasan seiring meningkatnya suhu tempering.

Dalam pembacaan pengujian kekerasan, pengukuran kekerasan dan pembacaan okular diperiksa berkali-kali dengan akurat dan konsisten, terutama dalam eksperimen ini. Dengan ini, kami dapat mengandalkan pembacaan okular dan pengukuran kekerasan. Nilai HRC dan HV memberikan pemahaman komprehensif tentang respons mekanis material terhadap tempering, membantu dalam preferensi material dan optimasi untuk penggunaan teknik tertentu.

Dengan penelitian ini, kami dapat menekankan pentingnya pengendalian suhu tempering pada proses perlakuan panas baja kecepatan tinggi. Dengan menyeimbangkan kekerasan dengan adaptabilitas dan kemampuan mesin, insinyur dapat mengoptimalkan proses perlakuan panas untuk mencapai kualitas mekanis yang sesuai.

KESIMPULAN

Dengan pemeriksaan yang cermat pada baja kecepatan tinggi, teknik kekerasan Rockwell dan Vickers digunakan sehingga kami dapat fokus pada kandungan karbon dan suhu tempering terhadap kekerasan material. Dengan informasi ini, kami dapat membandingkan data yang diperoleh dengan mengubah suhu tempering dalam eksperimen ini dan melihat pengaruhnya terhadap kekerasan material. Hasil menunjukkan bahwa suhu tempering optimal untuk meningkatkan kekerasan adalah pada 200°C, sementara peningkatan suhu hingga 400°C menyebabkan penurunan kekerasan yang signifikan.

Konsistensi dan presisi pengukuran terbukti melalui nilai rata-rata dan pembacaan okular yang akurat, yang menunjukkan keandalan metode pengujian ini. Namun kesalahan manusia dapat terjadi kapan saja dan bisa menjadi penyebab perbedaan dalam pembacaan kekerasan dan kedalaman indentasi, sebagai konsekuensi dari perubahan ini, hal ini mempengaruhi penerapan beban selama pengujian kekerasan. kontrol kualitas yang ketat serta kalibrasi peralatan rutin diperlukan untuk meminimalkan pengaruhnya.

Dengan menetapkan korelasi antara suhu tempering dan kekerasan material, penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk karakterisasi material dan aplikasinya dalam bidang teknik. Data yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan metode teknik mesin yang lebih baik di masa depan.

REFERENSI

Caprili, S., *et al.*, "Evaluation of mechanical characteristics of steel bars by nondestructive Vickers

micro-hardness tests," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 44, no. 2022, pp. 886–893, 2022, doi: 10.1016/j.prostr.2023.01.115.

Damon, J., Schüßler, P., Mühl, F., Dietrich, S., and Schulze, V., "Short-time induction heat treatment of high speed steel AISI M2: Laboratory proof of concept and application-related component tests," *Mater. Des.*, vol. 230, p. 111991, 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.111991.

Kuzu, C., Germak, A., Origlia, C., & Pelit, E. (2021). Result analysis of EURAMET Vickers comparison between INRiM and UME (EURAMET.M.H-K1.b.c). *Measurement. Sensors*, 18, 100268. doi: 10.1016/j.measen.2021.100268

Song, J.-F., et al., "Establishing a worldwide unified Rockwell hardness scale using standard diamond indenters," 1998. doi: 10.1016/S0263-2241(98)00052-9

Sun, Y., "Materials Engineering and Processing Lecture Notes and Tutorial Questions Lab & assignment schedule."

Tanaka, Y., Hattori, K., and Yoshioka, M., "Determining the sensitivity coefficients of factors contributing to Rockwell hardness for uncertainty evaluation," *Measurement*, vol. 227, p. 114310, 2024. doi: 10.1016/j.measurement.2024.114310

Wada, K., Yamabe, J., and Matsunaga, H., "Mechanism of hydrogen-induced hardening in pure nickel and in a copper–nickel alloy analyzed by micro Vickers hardness testing," *Materials Science and Engineering A: Structural Materials: Properties, Microstructures, and Processing*, vol. 805, p. 140580, 2021. doi: 10.1016/j.msea.2020.140580

Yazdanshenas, A., and Goh, C.-H., "Rockwell Hardness Testing on an Aluminum Specimen using Finite Element Analysis," *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 1–10, 2020, doi: 10.14445/23488360/ijme-v7i4p101.