

Artikel Penelitian (Teknik Mesin)

## Pengaruh Proses *Hardening* pada Suhu 1020 °C dengan Media Pendingin Udara terhadap Peningkatan Nilai Kekerasan Baja KNL Extra

Royyan Fuadi, Mochamad Mas'ud \*

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Yudharta Pasuruan, Pasuruan, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 17 Juni 2025  
Revisi Akhir: 25 Juli 2025  
Diterbitkan *Online*: 27 Juli 2025

### KATA KUNCI

*Hardening*  
Pendinginan  
Kekerasan

### KORESPONDENSI

Phone: +62 81-2526-2877  
E-mail: [masud.teknik@yudharta.ac.id](mailto:masud.teknik@yudharta.ac.id)

### A B S T R A K

Baja perkakas K110 KNL Extra (BOHLER) merupakan baja dengan kandungan karbon dan kromium tinggi yang membutuhkan ketahanan aus tinggi namun memiliki ketangguhan sedang. Dalam proses pemesinan dan pembentukan logam, baja ini rentan mengalami keausan dan cacat, sehingga diperlukan perlakuan panas (*hardening*) untuk meningkatkan kekerasannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses *hardening* pada suhu 1020°C dengan variasi media pendingin udara dan oli terhadap nilai kekerasan baja KNL Extra. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell pada spesimen yang telah mengalami pendinginan udara selama 12, 24, dan 48 jam, serta pendinginan menggunakan oli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata setelah pendinginan udara adalah 61,4 HRC, sedangkan pada pendinginan oli meningkat menjadi 62,4 HRC. Kenaikan kekerasan sebesar 1 HRC secara teknis cukup berarti dalam konteks aplikasi industri yang membutuhkan ketahanan aus tinggi. Dengan demikian, *hardening* pada suhu 1020°C efektif meningkatkan kekerasan baja KNL Extra, dan pendinginan dengan oli direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan kekerasan maksimal.

### PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap material teknik yang memiliki sifat mekanik unggul di era modern seperti saat ini semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi manufaktur dan tuntutan efisiensi dalam dunia industri. Di antara berbagai jenis material, logam tetap menjadi pilihan utama, terutama baja karbon, karena sifat mekaniknya yang kuat, tangguh, serta mampu menerima perlakuan termal untuk peningkatan performa [1]. Salah satu jenis baja karbon menengah yang banyak digunakan dalam industri adalah baja perkakas K110 KNL Extra (BOHLER). Baja ini memiliki kandungan karbon dan kromium yang tinggi serta unsur paduan seperti molybdenum dan vanadium, menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus tinggi namun tetap memiliki ketangguhan yang cukup. Penggunaan baja ini banyak ditemukan dalam pembuatan alat potong, cetakan logam, dan berbagai komponen mesin presisi. Namun demikian, untuk mencapai sifat mekanik yang optimal, baja tersebut harus mengalami perlakuan panas seperti *hardening* dan *quenching*, guna memodifikasi struktur mikronya dan meningkatkan kekerasan material secara signifikan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa parameter dalam proses perlakuan panas, terutama jenis dan suhu media pendingin saat *quenching*, sangat berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan kekerasan material. Sebagai contoh, penelitian oleh Tama dan Rosidah (2024) memperlihatkan bahwa variasi media pendingin dan waktu tahan (*holding time*) pada baja AISI 1045 secara nyata mengubah nilai kekerasan serta struktur mikro yang terbentuk, dengan media pendingin yang lebih agresif memberikan kekerasan lebih tinggi pada pengujian Vickers. Dalam kajian lain oleh Wang dkk. (2021) pada baja karbon S45C, ditemukan bahwa media pendingin yang lebih cepat dalam *quenching* cenderung membentuk struktur martensit lebih besar sehingga meningkatkan kekerasan material secara

substansial. Sementara itu, Li dkk. (2022) melakukan penelitian pada high-chromium cast iron, dan hasilnya menunjukkan bahwa variasi jenis media *quenching* tidak hanya mempengaruhi ketahanan aus tetapi juga moderat terhadap kekerasan keseluruhan melalui perubahan fase mikrostruktur [2]. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin cepat media pendingin mampu menyerap panas seperti larutan garam atau air terdingin semakin tinggi nilai kekerasan yang dicapai. Namun, perlu diwaspadai pula risiko internal stress, retensi austenite, atau bahkan distorsi dan retak mikro apabila pendinginan terlalu agresif. Di sisi lain, media pendingin yang lebih lambat seperti oli cenderung menghasilkan peningkatan kekerasan yang lebih moderat, dengan kelebihan dalam mengurangi risiko retak dan distorsi. Melihat pentingnya pemilihan media pendingin dalam proses perlakuan panas, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh berbagai jenis media pendingin terhadap kekerasan baja karbon menengah setelah menjalani proses *hardening*. Beberapa media pendingin yang dikaji antara lain air, oli, dan larutan garam, yang masing-masing memiliki karakteristik *Severity of Quenching* (SOQ) yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan media pendingin yang paling efektif dalam meningkatkan kekerasan baja karbon menengah, memahami pengaruh media terhadap transformasi mikrostruktur, serta menyediakan dasar ilmiah dan empiris yang dapat digunakan dalam industri untuk memilih metode perlakuan panas yang optimal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi dan kualitas produksi di sektor manufaktur logam, khususnya dalam aplikasi komponen yang memerlukan kekerasan tinggi dan ketahanan aus yang baik.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Proses Perlakuan Panas (Heat Treatment)*

Perlakuan panas merupakan proses penting dalam rekayasa material yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik logam, seperti kekerasan, ketangguhan, dan keuletan. Proses ini dilakukan melalui pemanasan hingga suhu tertentu, penahanan pada suhu tersebut dalam waktu tertentu, dan pendinginan dengan laju yang terkontrol sesuai kebutuhan [3]. Pada baja, perlakuan panas sering kali dimaksudkan untuk mengubah struktur mikro menjadi bentuk yang lebih keras, seperti martensit. Salah satu jenis perlakuan panas yang paling umum adalah *hardening*, yang melibatkan pemanasan baja hingga suhu austenitisasi (sekitar 800–950°C, tergantung jenis baja), diikuti dengan pendinginan cepat menggunakan media seperti air, oli, atau udara [4]. Transformasi struktur mikro dari austenit ke martensit selama pendinginan menyebabkan peningkatan signifikan pada kekerasan baja. Struktur martensit yang terbentuk bersifat sangat keras namun getas, dan perlu proses tempering untuk meningkatkan ketangguhan tanpa mengorbankan kekerasan secara drastis [5]. Oleh karena itu, pemilihan media pendinginan menjadi krusial dalam proses *hardening*, karena mempengaruhi laju pendinginan dan struktur mikro akhir.

### *Pengaruh Media Pendinginan*

Media pendinginan berfungsi sebagai agen penghantar panas dari logam yang telah dipanaskan ke lingkungan sekitarnya. Kecepatan perpindahan panas sangat ditentukan oleh jenis media, viskositas, dan suhu awal media tersebut. Umumnya, pendinginan cepat seperti menggunakan air menghasilkan martensit penuh, sedangkan pendinginan lambat seperti udara cenderung menghasilkan perlit atau bainit [6].

Dalam penelitian terdahulu, oli dikenal sebagai media pendingin yang memberikan laju pendinginan menengah. Dibandingkan dengan air, oli memberikan pengaruh lebih lembut terhadap logam sehingga dapat mengurangi risiko retak akibat tegangan termal [7]. Sementara itu, pendinginan udara digunakan untuk menghindari distorsi dan memberikan hasil pendinginan yang lebih seragam pada bagian dalam dan luar benda kerja, meskipun laju pendinginannya relatif lebih lambat [8].

Menurut Yuwita P E., dkk [9], pendinginan dengan oli menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan pendinginan udara karena mampu mempertahankan laju transformasi martensitik yang lebih besar. Namun, media pendinginan dengan oli juga membawa tantangan tersendiri seperti residu karbon atau kontaminan permukaan benda kerja.

### ***Skala Kekerasan Rockwell***

Pengujian kekerasan Rockwell merupakan metode yang umum digunakan untuk mengukur kekerasan logam. Skala pengujian Rockwell terbagi menjadi beberapa jenis tergantung material dan kebutuhan. Untuk logam lunak, digunakan skala HRB (menggunakan bola baja dengan beban 100 kgf), sedangkan untuk logam yang lebih keras digunakan skala HRC (menggunakan indenter kerucut berlian dengan beban 150 kgf) [10].

Metode pengujian Rockwell banyak digunakan dalam industri karena kepraktisannya, cepat, dan tidak merusak struktur benda kerja secara signifikan. Kekerasan HRC yang lebih tinggi biasanya menunjukkan dominasi struktur martensit, dan berbanding lurus dengan kekuatan tarik material [11]. Namun demikian, nilai kekerasan tinggi juga sering dikaitkan dengan berkurangnya keuletan dan peningkatan risiko getas, terutama jika tidak dilakukan proses tempering lanjutan.

### ***Struktur Mikro Baja KNL Extra***

Baja KNL Extra merupakan jenis baja perkakas yang mengandung unsur paduan tinggi, seperti krom, molibdenum, dan vanadium, yang berfungsi meningkatkan kemampuan pengerasan dan stabilitas struktur mikro saat dipanaskan [12]. Komposisi ini membuat baja KNL Extra mampu membentuk martensit yang keras dan stabil setelah perlakuan *hardening*. Struktur mikro awal baja ini biasanya terdiri dari ferit dan perlit yang relatif lunak, namun dapat ditransformasi menjadi martensit jika dipanaskan di atas suhu austenitisasi dan didinginkan dengan cepat.

Penelitian oleh Soedarmadji dkk. [13] menunjukkan bahwa setelah dilakukan perlakuan panas pada baja KNL Extra dengan media pendingin oli, terjadi peningkatan kekerasan hingga 62 HRC. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa proses perlakuan panas pada baja perkakas dengan media pendingin oli memberikan hasil optimal dalam hal peningkatan kekerasan, selama tidak terjadi retak mikro akibat pendinginan cepat [14].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Purwanto dan Hartono menunjukkan bahwa media pendinginan sangat mempengaruhi hasil kekerasan logam. Pada baja karbon sedang, pendinginan dengan oli menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi (sekitar 60–62 HRC) dibanding udara (sekitar 55–58 HRC) [15]. Hasil tersebut mendukung hipotesis bahwa media oli memberikan laju pendinginan optimal yang memungkinkan transformasi martensitik secara menyeluruh.

Dalam studi lain oleh Hawa dkk. [16], penggunaan pendinginan udara memberikan keuntungan berupa minimnya retak dan distorsi, namun pengorbanan pada sisi kekerasan tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, pemilihan media pendinginan harus disesuaikan dengan tujuan akhir material: apakah lebih mengutamakan kekerasan permukaan atau kestabilan dimensi.

### ***Pentingnya Perlakuan Panas dalam Aplikasi Industri***

Dalam industri manufaktur, proses perlakuan panas digunakan secara luas untuk meningkatkan umur pakai, kekuatan tarik, ketahanan aus, dan performa komponen mekanik. Komponen seperti poros, roda gigi, dan alat potong sangat mengandalkan proses ini untuk mencapai spesifikasi teknis yang dibutuhkan [17]. Pemilihan metode dan media pendinginan yang tepat sangat menentukan kualitas akhir dari produk tersebut.

Untuk aplikasi berat, seperti alat potong presisi, pendinginan cepat dengan oli atau bahkan air garam mungkin diperlukan untuk mencapai kekerasan maksimum. Sebaliknya, untuk komponen struktural, pendinginan lambat dengan udara sering dipilih karena mengurangi risiko keretakan atau deformasi. Maka dari itu, studi eksperimental yang mengkaji pengaruh berbagai media pendinginan sangat penting untuk memberikan rekomendasi teknis bagi industri.

## **METODOLOGI**

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah metode eksperimen, yang bertujuan untuk mengamati pengaruh variasi media dan waktu pendinginan terhadap tingkat kekerasan baja KNL Extra setelah perlakuan panas. Dalam konteks penelitian ini, metode eksperimen digunakan untuk mengkaji secara terukur dan terkontrol.

### Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data pada penelitian ini, terdapat beberapa komponen penting yang menjadi fokus utama. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi media pendinginan yang digunakan untuk memengaruhi sifat material. Media pendinginan yang diuji terdiri dari udara dengan variasi waktu pendinginan selama 12 jam, 24 jam, dan 48 jam, serta pendinginan menggunakan oli. Seluruh proses pendinginan dilakukan setelah pemanasan material pada suhu tinggi, yaitu mencapai 1020°C. Variasi media dan durasi pendinginan ini diharapkan memberikan pengaruh berbeda terhadap sifat mekanik material yang diuji. Sementara itu, variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekerasan material baja KNL Extra, yang menjadi objek pengukuran sebagai akibat dari perlakuan panas dan variasi pendinginan tersebut. Tingkat kekerasan yang diharapkan dari baja ini berada pada rentang HRC 60 hingga 64, yang merupakan indikator kekuatan material setelah mengalami perlakuan termal.

Pada saat proses pelaksanaan penelitian, sejumlah peralatan digunakan untuk mendukung pengumpulan data secara akurat. Alat-alat tersebut meliputi jangka sorong untuk mengukur dimensi benda kerja, mesin CNC bubut untuk proses pembentukan awal, serta oven yang dipanaskan menggunakan tambahan arang guna mencapai suhu tinggi yang diperlukan. Selain itu, digunakan juga portable hardness tester sebagai alat ukur utama untuk menentukan nilai kekerasan material setelah perlakuan panas dan pendinginan dilakukan. Semua tahapan ini dirancang untuk memastikan data yang diperoleh relevan dengan tujuan penelitian.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja K110 KNL Extra

Unsur	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
%	1.55	0.30	0.30	11.80	0.75	0.75

Setelah dilakukan proses pembentukan menggunakan mesin bubut, selanjutnya dilakukan pengetesan kekerasan pada 4 titik yang berbeda kekerasan bahan mengalami sedikit perubahan. Alat ukur yang digunakan yaitu Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell. Setelah dilakukan proses pembubutan bahan tersebut akan dilakukan proses *heat treatment*. *Heat treatment* adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia yang bersangkutan. Material dipanaskan dalam oven menggunakan media arang sebagai bahan bakar tambahan untuk mencapai suhu 1020 °C. Setelah mencapai suhu yang diinginkan benda kerja akan di diamkan pada suhu ruangan sampai benda kerja dingin pada waktu yang berbeda 12 jam, 24 jam dan 48 jam, kemudian dilakukan uji kekerasan. Dalam pengujian ini, dibuat 4 spesimen uji untuk masing-masing perlakuan, dan setiap pengujian dilakukan dengan replikasi sebanyak 3 kali guna memastikan konsistensi dan keandalan data kekerasan yang diperoleh.



Gambar 1. Cara Menggunakan Alat Uji

### Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell dilakukan setelah masing-masing benda kerja melewati proses pendinginan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, yakni 12 jam, 24 jam, dan 48 jam untuk pendinginan udara, serta setelah pendinginan menggunakan oli. Proses pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat kekerasan permukaan baja KNL Extra yang telah mengalami perlakuan panas. Sebelum pengujian, dilakukan kalibrasi alat uji sesuai dengan standar ASTM E18 untuk memastikan keakuratan hasil pengukuran. Langkah pertama yang dilakukan adalah membersihkan permukaan benda kerja dari kerak atau sisa-sisa hasil proses *hardening* agar tidak mengganggu akurasi pengukuran. Setelah

permukaan bersih, alat uji kekerasan Rockwell diposisikan secara vertikal dan ditempatkan pada permukaan benda kerja. Selanjutnya, bagian hitam dari alat uji ditekan ke bawah hingga menempel kuat pada permukaan, sehingga pembacaan kekerasan dapat dilakukan secara tepat. Hasil pengujian ini akan menjadi dasar dalam mengevaluasi pengaruh variasi media dan waktu pendinginan terhadap kekerasan baja, serta dalam menentukan perlakuan yang paling optimal untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa kekerasan baja KNL Extra sebelum perlakuan panas berada pada rata-rata 92,4 HRB. Berdasarkan skala pengujian Rockwell, nilai ini termasuk dalam kategori material lunak, yang masih memungkinkan untuk mengalami peningkatan kekerasan melalui perlakuan termal.

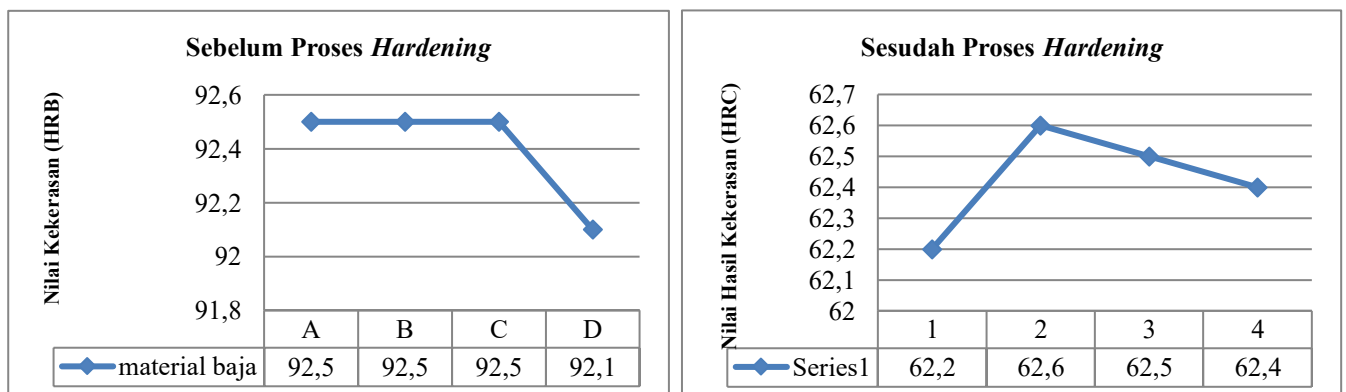
Setelah dilakukan proses *hardening*, spesimen didinginkan menggunakan udara pada berbagai rentang waktu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata kekerasan pada ketiga variasi waktu (12 jam, 24 jam, dan 48 jam) cenderung konstan, yaitu sekitar 61,4 HRC. Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan lama waktu pendinginan dengan media udara tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan akhir baja.

Sementara itu, hasil pengujian pada pendinginan menggunakan media oli menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 62,4 HRC, yang berarti terdapat peningkatan kekerasan dibandingkan dengan pendinginan udara. Kenaikan kekerasan ini menunjukkan bahwa oli sebagai media pendingin memiliki efektivitas lebih tinggi dalam proses *hardening*. Namun demikian, perlu dicatat bahwa sifat fisik dari oli yang lebih kental dibanding udara berpotensi menyebabkan material menjadi lebih getas, sehingga dalam praktiknya dapat mempengaruhi proses pembentukan atau pemesinan lebih lanjut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas (*hardening*) secara umum meningkatkan kekerasan baja KNL Extra secara signifikan, baik dengan pendinginan udara maupun oli. Namun, pemilihan media pendingin tetap perlu mempertimbangkan keseimbangan antara peningkatan kekerasan dan sifat mekanik lainnya, seperti ketangguhan dan kemampuan mesinabilitas.

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material, salah satunya adalah kekerasan. Dalam penelitian ini, baja KNL Extra dipanaskan hingga suhu 1020°C dan kemudian didinginkan dengan dua media berbeda, yaitu udara (*air cooling*) dan oli (*oil quenching*), dengan variasi waktu untuk media udara, yaitu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam. Proses pendinginan ini dilakukan untuk membandingkan efektivitas masing-masing media dalam menghasilkan nilai kekerasan optimal pada baja.

Tabel 2. Hasil Kekerasan pada proses sebelum proses *Hardening*

Spesimen	Data Kekerasan Rockwell pada Titik Uji				Jumlah	Rata-Rata (HRB)
	A	B	C	D		
I	92,5	92,5	92,5	92,1	369	92,4



Gambar 2. Grafik Data Kekerasan Sebelum dan Sesudah Proses *Hardening*

### ***Kekerasan Sebelum Perlakuan Panas***

Sebelum diberi perlakuan *hardening*, spesimen baja KNL Extra menunjukkan rata-rata kekerasan sebesar 92,4 HRB. Nilai ini termasuk dalam kategori kekerasan material lunak atau belum dikeraskan. HRB (*Rockwell B scale*) digunakan untuk mengukur kekerasan logam lunak seperti baja yang belum diberi perlakuan panas. Nilai kekerasan ini mencerminkan struktur mikro baja yang masih didominasi oleh fasa ferit dan perlit, yang memiliki kekerasan relatif rendah. Struktur ini cukup ulet, namun belum mampu menunjukkan performa mekanik yang optimal dalam aplikasi beban tinggi atau aus.

Nilai kekerasan awal ini menjadi acuan dasar dalam mengevaluasi efektivitas proses *hardening*. Setelah dilakukan perlakuan panas, nilai kekerasan diharapkan meningkat secara signifikan karena transformasi struktur mikro menjadi martensit, yaitu fasa yang jauh lebih keras namun lebih getas, tergantung media dan laju pendinginan.

### ***Pengaruh Pendinginan Udara terhadap Kekerasan***

Pendinginan dengan media udara dilakukan pada tiga variasi waktu, yakni 12 jam, 24 jam, dan 48 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa masing-masing waktu pendinginan menghasilkan nilai kekerasan yang sangat berdekatan, yaitu berkisar antara 61,2 hingga 61,8 HRC, dengan rata-rata sebesar 61,4 HRC. Perbedaan waktu pendinginan tidak memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan atau penurunan nilai kekerasan. Hal ini mengindikasikan bahwa setelah mencapai suhu kamar, proses transformasi struktur mikro akibat perlakuan panas telah selesai, dan waktu penyimpanan pasca pendinginan tidak lagi mempengaruhi kekerasan material.

Dalam konteks ini, proses transformasi dari struktur austenit ke martensit tidak optimal karena laju pendinginan udara relatif lambat. Pendinginan lambat cenderung menghasilkan struktur mikro berupa perlit halus atau bahkan bainit, yang lebih keras dibanding ferit dan perlit kasar, namun belum sekeras martensit penuh. Oleh karena itu, nilai kekerasan yang diperoleh cukup tinggi, namun masih berada di bawah pendinginan cepat seperti menggunakan oli. Ini menjelaskan mengapa nilai kekerasan mencapai 61,4 HRC sudah masih lebih rendah dibanding hasil pendinginan dengan oli.

Selain itu, kestabilan nilai kekerasan antar waktu pendinginan menunjukkan bahwa untuk aplikasi industri yang tidak memerlukan pengerasan ekstrem, pendinginan udara bisa menjadi alternatif yang lebih ekonomis dan minim risiko getas. Pendinginan udara juga mengurangi kemungkinan deformasi termal atau retak mikro yang biasa terjadi pada pendinginan cepat.

### ***Pengaruh Pendinginan Oli terhadap Kekerasan***

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen yang didinginkan menggunakan oli menunjukkan peningkatan nilai kekerasan rata-rata menjadi 62,4 HRC. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan pendinginan udara. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan oli yang lebih cepat dibanding udara, meskipun tidak secepat air. Pendinginan cepat dengan oli memungkinkan terbentuknya struktur martensit yang lebih dominan dalam baja KNL Extra, sehingga menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi.

Martensit adalah struktur mikro yang terbentuk ketika baja austenit mengalami pendinginan cepat, menyebabkan atom karbon terjebak dalam kisi-kisi besi, membentuk struktur tetragonal terdistorsi yang sangat keras namun getas. Dengan peningkatan kekerasan ini, baja akan memiliki ketahanan aus yang lebih tinggi dan cocok untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan permukaan tinggi, seperti alat potong atau komponen mesin.

Namun demikian, peningkatan kekerasan ini perlu dibarengi dengan pertimbangan terhadap kerapuhan (kegagalan getas). Material yang terlalu keras akibat dominasi martensit berpotensi menjadi rapuh jika tidak diberi perlakuan tambahan seperti tempering. Dalam aplikasi nyata, terutama yang melibatkan beban dinamis atau benturan, risiko retak atau patah menjadi lebih tinggi jika baja tidak cukup ulet. Ini juga yang menjadi alasan mengapa perlakuan panas dengan oli sering dikombinasikan dengan proses tempering untuk mengurangi kerapuhan.

Sifat oli yang lebih kental dibanding udara juga berpengaruh terhadap proses pendinginan. Kekentalan ini memungkinkan distribusi suhu yang lebih merata dan pendinginan yang lebih stabil, namun juga dapat meningkatkan kemungkinan terbentuknya tegangan termal jika tidak dikontrol dengan baik. Oleh karena itu, meskipun hasil

kekerasannya lebih tinggi, proses pendinginan dengan oli memerlukan pengendalian yang lebih teliti untuk mencegah cacat termal.

Tabel 3. Hasil Kekerasan pada Proses *Hardening* Pendinginan Udara

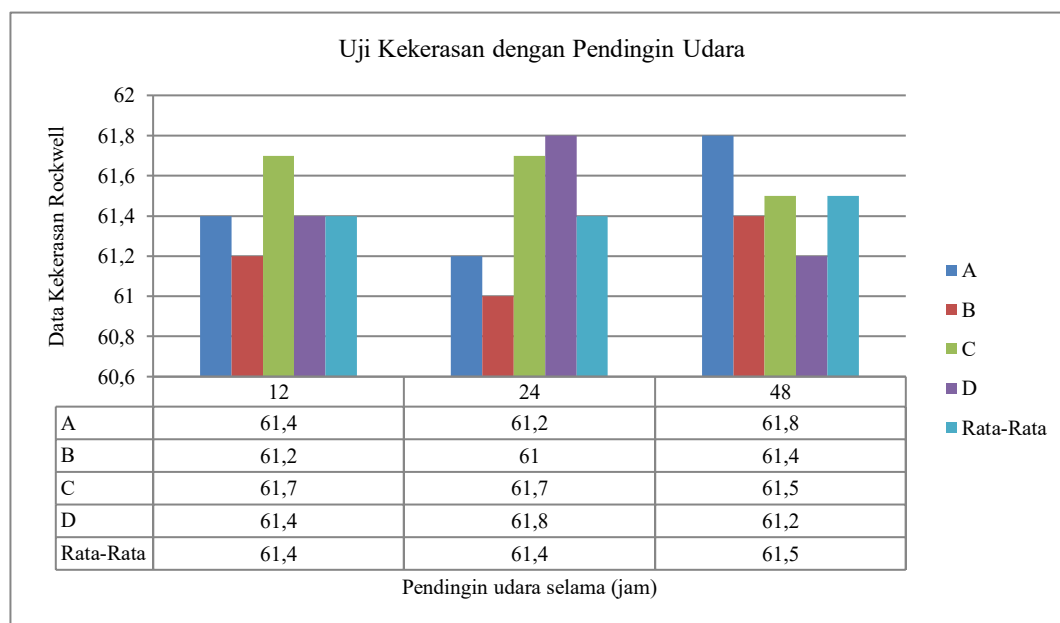
Pendinginan (udara) selama (jam)	Data Kekerasan Rockwell Pada Titik Uji				Jumlah	Rata-Rata (HRC)
	A	B	C	D		
12	61,4	61,2	61,7	61,4	245,7	61,4
24	61,2	61	61,7	61,8	245,7	61,4
48	61,8	61,4	61,5	61,2	245,9	61,5
<b>Rata -Rata</b>						61,4

### *Perbandingan dan Evaluasi*

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan *hardening* mampu meningkatkan kekerasan baja KNL Extra secara signifikan, dari nilai awal 92,4 HRB (lunak) menjadi rata-rata 61,4 HRC (pendinginan udara) dan 62,4 HRC (pendinginan oli). Kenaikan ini menunjukkan bahwa proses *hardening* berhasil mengubah struktur mikro baja dari ferit-perlit menjadi struktur yang lebih keras, terutama melalui pembentukan martensit.

Perbedaan nilai kekerasan antara pendinginan udara dan oli cukup jelas, meskipun selisihnya hanya sekitar 1 HRC. Namun dalam praktik teknik material, selisih kecil ini bisa berdampak besar terhadap performa komponen, terutama dalam aplikasi presisi atau yang menuntut ketahanan aus tinggi. Oleh karena itu, pemilihan media pendinginan sangat bergantung pada kebutuhan teknis: apakah lebih mengutamakan kekerasan maksimum atau keseimbangan antara kekerasan dan keuletan.

Dari sisi efisiensi proses, pendinginan udara lebih sederhana dan murah, namun menghasilkan kekerasan yang sedikit lebih rendah. Sementara itu, pendinginan oli membutuhkan pengelolaan material pendingin, pengendalian suhu, dan penanganan limbah, tetapi mampu memberikan hasil kekerasan yang lebih tinggi.



Gambar 3. Grafik Data Kekerasan Setelah *Hardening* dengan Pendinginan Udara

### *Implikasi dan Rekomendasi*

Penelitian ini memberikan gambaran nyata bahwa media pendinginan dalam proses *hardening* memiliki pengaruh langsung terhadap sifat mekanik baja. Untuk industri manufaktur atau bengkel kerja logam, pemahaman ini penting dalam menentukan spesifikasi proses heat treatment sesuai kebutuhan produk akhir. Jika produk membutuhkan kekerasan maksimal, pendinginan oli menjadi pilihan utama. Namun untuk aplikasi struktural yang memerlukan ketahanan benturan atau fatigue, pendinginan udara mungkin lebih aman dan cukup memadai.

Sebagai pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk menambahkan proses tempering setelah *hardening*, terutama untuk spesimen yang didinginkan dengan oli, guna mengurangi kerapuhan akibat struktur martensit penuh. Selain itu, analisis mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik atau SEM dapat dilakukan untuk memvalidasi transformasi fasa yang terjadi selama proses perlakuan panas dan pendinginan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi media pendinginan terhadap kekerasan baja KNL Extra setelah perlakuan panas, dapat disimpulkan bahwa proses *hardening* berhasil meningkatkan kekerasan material secara signifikan. Nilai kekerasan awal baja sebelum perlakuan panas berada pada kisaran 92,4 HRB, yang tergolong dalam kategori baja lunak. Setelah melalui proses *hardening* pada suhu 1020 °C, nilai kekerasan meningkat drastis ke kisaran skala HRC, menunjukkan terjadinya transformasi mikrostruktur yang efektif khususnya pembentukan fasa martensit yang berdampak langsung terhadap peningkatan kekerasan permukaan baja.

Dalam hal efektivitas media pendingin, pendinginan menggunakan udara dengan variasi waktu 12 jam, 24 jam, dan 48 jam menunjukkan rata-rata kekerasan sebesar 61,4 HRC, yang relatif stabil tanpa perbedaan signifikan antarwaktu. Hal ini mengindikasikan bahwa pendinginan udara bersifat lebih lambat dan konstan, namun tetap mampu membentuk martensit dalam jumlah cukup untuk menghasilkan kekerasan tinggi. Sebaliknya, media pendinginan oli memberikan hasil yang lebih tinggi, dengan rata-rata kekerasan mencapai 62,4 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa laju pendinginan yang lebih cepat pada oli lebih efektif dalam mempercepat pembentukan martensit, sehingga menghasilkan peningkatan kekerasan yang lebih optimal dibandingkan udara. Maka, dapat disimpulkan bahwa pemilihan media pendingin menjadi faktor krusial dalam mengontrol hasil akhir sifat mekanik baja pasca perlakuan panas.

Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa proses *hardening* dengan media oli sangat direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan kekerasan tinggi, seperti pada alat potong atau komponen yang mengalami gesekan berat. Di sisi lain, pendinginan udara dapat menjadi alternatif yang lebih aman, ekonomis, dan stabil untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi antara kekerasan dan keuletan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar perlakuan tempering ditambahkan setelah proses *hardening* guna mengurangi potensi kerapuhan akibat dominasi struktur martensit. Analisis lanjutan terhadap mikrostruktur menggunakan mikroskop optik atau *Scanning Electron Microscope* (SEM) juga penting dilakukan untuk memverifikasi transformasi fasa yang terjadi. Selain itu, studi ini dapat diperluas dengan melibatkan variasi jenis baja serta penggunaan media pendingin lain seperti air garam, air kelapa, atau cairan pendingin industri untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai hubungan antara parameter perlakuan panas dan sifat mekanik baja.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Muflikhun and M. I. Nuryanta, *Komposit Serat Alam Pengenalan: Sifat Mekanis-Proses Manufaktur dan Perkembangannya*. UGM PRESS, 2024.
- [2] D. I. Tsamroh, A. D. Putra, and J. Maulana, "Analisis Struktur Mikro pada Baja St 60 Hasil Perlakuan Hardening dengan Menggunakan Variasi Media Pendingin," *Ring Mech. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 83–89, 2024.
- [3] N. T. Atmoko, M. Chamim, S. Subiyati, and B. H. Priyambodo, "Efek Perlakuan Panas (Heat Treatment) pada Besi Cor Kelabu terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro," *Creat. Res. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 67–73, 2021.
- [4] A. Setiawan and B. Y. Pamungkas, "Pengaruh Temperatur dan Holding Time dalam Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanik Pipa Low Carbon Steel Low Alloy Grade X65Q," *J. Metall. Eng. Process. Technol.*, pp. 53–62, 2022.
- [5] Z. Anwar and R. Irawan, "Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Quench-Temper terhadap Nilai Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja JIS SUP 9," *J. Inov.*, vol. 4, no. 2, pp. 44–48, 2021.
- [6] B. Bandanadjaja and D. Idamayanti, "Pengaruh Proses Normalising dan Tempering Ganda Terhadap Peningkatan Nilai Modulus of Toughness Baja AISI 4340," *TEKNIK*, vol. 41, no. 2, pp. 134–141, 2020.
- [7] B. Ariani, *Pengantar Korosi Perkapalan*. Syiah Kuala University Press, 2022.
- [8] S. Silwanus, "Analisis Uji Kekerasan Pisau Tradisional dari Bearing Baja Karbon Tinggi dengan Variasi Media Pendingin." Universitas Fajar, 2023.
- [9] 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.
- [10] S. Sunyoto, H. Rudianto, and I. Setyawan, “Pengembangan Komposisi Material Pada Pembuatan Plain Bearing Internal Combustion Engine (Ice) Dengan Memodifikasi Komposisi Al-Si-Cu-Sn,” *Presisi*, vol. 26, no. 1, pp. 50–57, 2024.
- [11] M. J. Firmansyah and A. M. H. S. Lubis, “Pengaruh Proses Quenching dengan Media Pendingin Minyak dan Air kepada Kekerasan, Struktur Mikro, dan Sistem Kristal Bahan Titanium Komersial.” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2025.
- [12] I. I. Arif, *Nikel Indonesia menuju transisi energi*. Gramedia Pustaka Utama, 2023.
- [13] W. Soedarmadji and R. Fuadi, “Pengaruh Media Pendingin pada Baja Ekstra KNL melalui Proses Hardening pada Suhu 1020° C,” *J. Mech. Manuf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 52–59, 2023.
- [14] Z. Arif and S. B. Widodo, “Innovative Jominy Test Equipment for Evaluating The Hardening Of AISI 1045 Steel,” *JURUTERA-Jurnal Umum Tek. Terap.*, vol. 11, no. 02, pp. 100–107, 2024.
- [15] A. D. S. De Jesus and G. Soebiyakto, “Analisis Uji Tarik Dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat Treatment,” *Prot. J. Ilmu-Ilmu Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 524387, 2020.
- [16] L. C. Hawa and L. Maghfiroh, *Teknik Pendinginan: Teknik Dasar dan Aplikasinya*. Universitas Brawijaya Press, 2023.
- [17] I. Fauzan, R. Abu, V. S. YH, M. Mukhnizar, and A. Azman, “Perencanaan Mesin Pemipih Biji Melinjo Kapasitas 650 Kg/Jam,” *J. Tek. Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 150–162, 2022.