

ANALISA PENGARUH MEDIA PENDINGIN AIR GARAM TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PERLAKUAN PANAS BAJA AISI 1045

Moch Fikri Fathul Yaqin

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: moch.19013@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kadar nominal NaCl dalam media pendingin *Brine* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045 setelah perlakuan panas. Spesimen berbentuk silinder berdiameter 30 mm dan tebal 10 mm dipanaskan pada temperatur 900°C dengan waktu penahanan 60 menit, kemudian didinginkan cepat selama 15 menit menggunakan media *Brine* berkadar nominal 30%, 35%, dan 40%. Kekerasan diuji dengan metode Rockwell skala C pada empat titik setiap spesimen, sedangkan struktur mikro diamati melalui metalografi optik dan dianalisis menggunakan metode hitung titik kisi 10 x 10. Data kekerasan dianalisis secara deskriptif, diuji asumsi normalitas dan homogenitas, kemudian dianalisis dengan *ANOVA one way* serta uji lanjut Tukey. Kekerasan bahan awal sebesar 46,50 HRC meningkat menjadi 61,58 HRC pada *Brine* 30%, 58,17 HRC pada *Brine* 35%, dan 55,42 HRC pada *Brine* 40%. Analisis varian menunjukkan perbedaan yang signifikan antarkelompok. Estimasi struktur mikro menunjukkan martensit sebesar 74%, 61%, dan 43% secara berurutan pada ketiga variasi. Kadar nominal 30% menjadi kondisi paling optimal dalam rentang penelitian karena menghasilkan kekerasan tertinggi dan struktur martensit paling dominan serta merata.

Kata Kunci: AISI 1045, *Brine*, kekerasan, *quenching*, struktur mikro

Abstract

This study analyzed the effect of nominal sodium chloride content in Brine quenching media on the hardness and microstructure of heat-treated AISI 1045 steel. Cylindrical specimens with a diameter of 30 mm and a thickness of 10 mm were heated at 900°C, held for 60 minutes, and rapidly cooled for 15 minutes using Brine media with nominal contents of 30%, 35%, and 40%. Hardness was measured by the Rockwell C method at four locations on each specimen. Microstructures were examined by optical metallography and evaluated using a 10 x 10 grid point-count method. Hardness data were analyzed descriptively, followed by normality and variance-homogeneity tests, one-way analysis of variance, and Tukey post hoc comparisons. The initial material hardness of 46.50 HRC increased to 61.58 HRC with 30% Brine, 58.17 HRC with 35% Brine, and 55.42 HRC with 40% Brine. The analysis of variance confirmed significant differences among all treatment groups. Estimated martensite fractions were 74%, 61%, and 43%, respectively. Within the investigated range, the nominal 30% Brine condition was the most effective because it produced the highest hardness and the most dominant and uniformly distributed martensitic structure.

Keywords: AISI 1045, *Brine*, hardness, microstructure, *quenching*

PENDAHULUAN

Baja karbon sedang merupakan material yang banyak digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki kombinasi kekuatan, ketangguhan, kemampuan pemesinan, dan biaya yang relatif ekonomis. Salah satu jenis yang umum digunakan adalah baja AISI 1045 dengan kandungan karbon sekitar 0,45%. Material ini diterapkan pada poros, roda gigi, sprocket, crankshaft, dan berbagai komponen yang menerima gesekan maupun beban berulang. Pada kondisi awal, struktur mikro AISI 1045 umumnya tersusun atas ferit dan perlit sehingga kekerasannya belum selalu memadai untuk komponen yang membutuhkan ketahanan aus tinggi. Peningkatan sifat permukaan dan kekerasan dapat dilakukan melalui

perlakuan panas hardening yang diikuti pendinginan cepat atau *quenching*.

Proses hardening dilakukan dengan memanaskan baja sampai daerah austenit, menahan temperatur agar distribusi panas dan karbon lebih homogen, kemudian mendinginkannya dengan laju yang cukup tinggi. Pendinginan cepat menekan transformasi difusional austenit menjadi ferit-perlit dan mendorong pembentukan martensit. Struktur martensit bersifat keras karena karbon terperangkap dalam kisi tetragonal berpusat badan. Haryadi, dkk. (2021) menunjukkan bahwa temperatur austenitisasi dan media pendingin memengaruhi kekerasan AISI 1045, sedangkan Hariningsih, dkk. (2022) memperlihatkan bahwa perubahan media *quenching* berkaitan dengan variasi struktur mikro dan kekerasan akhir.

Media pendingin menentukan bentuk kurva pendinginan, koefisien perpindahan panas, dan keseragaman temperatur pada permukaan spesimen. Ketika benda panas dicelupkan ke dalam media cair, perpindahan panas berlangsung melalui tahap film boiling atau vapor blanket, pendidihan inti, dan konveksi. Lapisan uap pada tahap awal bersifat isolatif. Keruntuhan lapisan tersebut memungkinkan cairan membasahi permukaan dan menghasilkan laju pelepasan panas tertinggi. *Brine* atau larutan garam dapat mempercepat ketidakstabilan vapor blanket sehingga pembasahan berlangsung lebih cepat dibandingkan air biasa pada kondisi tertentu (Barrena-Rodríguez, dkk., 2021; Pizetta Zordão, dkk., 2019).

Penelitian terdahulu umumnya melaporkan bahwa penambahan NaCl dapat meningkatkan keparahan pendinginan dan kekerasan baja. Yunaidi (2016) menemukan adanya pengaruh jumlah NaCl pada proses *quenching* baja S45C. Wijaya dan Rasyid (2023) melaporkan peningkatan kekerasan AISI 1045 ketika kadar *Brine* dinaikkan dari 15% sampai 25% pada temperatur austenitisasi 900°C. Mulyadi, dkk. (2022) juga menegaskan bahwa pemilihan media *quenching* mengubah kekerasan AISI 1045. Namun, hubungan kadar garam dan kekerasan tidak dapat diasumsikan selalu linier karena efektivitas media juga dipengaruhi temperatur bak, agitasi, ukuran spesimen, kondisi permukaan, waktu transfer, serta jumlah garam yang benar-benar terlarut.

Kadar nominal yang tinggi berpotensi menghasilkan media yang tidak homogen apabila sebagian garam tidak terlarut. Kondisi tersebut dapat mengubah aliran lokal, pembasahan, pembentukan titik nukleasi, dan perpindahan panas di permukaan. Kajian mengenai *Brine* pada kadar di atas 25% masih lebih terbatas dibandingkan rentang konsentrasi yang lebih rendah. Oleh karena itu, diperlukan pengujian untuk mengetahui apakah peningkatan kadar nominal sampai 30-40% tetap meningkatkan kekerasan atau justru menghasilkan kondisi optimum pada kadar tertentu.

Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh kadar nominal *Brine* 30%, 35%, dan 40% terhadap kekerasan Rockwell C dan struktur mikro baja AISI 1045 setelah austenitisasi pada 900°C selama 60 menit. Kontribusi penelitian terletak pada penyandingan data kekerasan, estimasi fraksi fasa melalui *point count*, dan pengujian statistik pada rentang kadar nominal tinggi. Hasilnya diharapkan memberi dasar pemilihan media *quenching* yang lebih tepat sekaligus menunjukkan keterbatasan asumsi bahwa penambahan garam selalu meningkatkan kemampuan pendinginan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (*experimental research*), dengan pendekatan analitis untuk menganalisis pengaruh media pendingin air garam terhadap sifat mekanik dan karakteristik struktur mikro baja AISI 1045 setelah mengalami perlakuan panas. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan serta struktur mikro baja AISI 1045 sebagai

akibat dari proses perlakuan panas dengan menggunakan media pendingin air garam.

Waktu dan Tempat

Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan setelah dilakukan seminar proposal dan dinyatakan lulus, hingga penelitian selesai.

Tempat Penelitian

- Pembuatan Spesimen dilakukan di Bengkel Sahabat Mandiri, Jenek Wetan RT. 15 RW. 03 Krembangan, Taman, Sidoarjo.
- Perlakuan Panas dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Metalurgi dan Material Politeknik Negeri Malang
- Pengujian kekerasan dan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Metalurgi dan Material Politeknik Negeri Malang

Variabel Penelitian

• Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan faktor yang dapat dikendalikan dalam penelitian dan nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan. (Fathur, R. 2025). Dalam penelitian kali ini variabel bebas yang digunakan peneliti adalah variasi kadar NaCl pada larutan media pendingin (30%, 35%, 40%).

• Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tidak dapat ditentukan sebelum dilakukan pengujian. Variabel bebas yang diberikan mempengaruhi nilai variabel terikat, dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan (Fathur, R. 2025).. Dalam penelitian ini variabel terikat adalah:

- Kekerasan,
- Struktur mikro.

• Variabel Kontrol

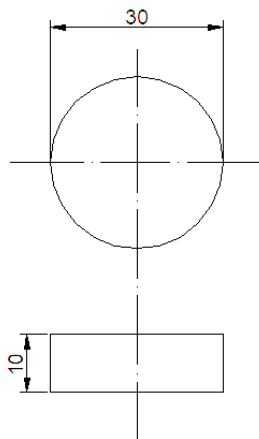
Variabel kontrol adalah variabel yang tetap tidak berubah selama proses penelitian (Fathur, R. 2025). Variabel kontrol yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah:

- Suhu pemanasan 900°C,
- Material baja AISI 1045,
- Lama waktu tahan (*holding time*) adalah 60 menit.
- Durasi pendinginan 15 menit

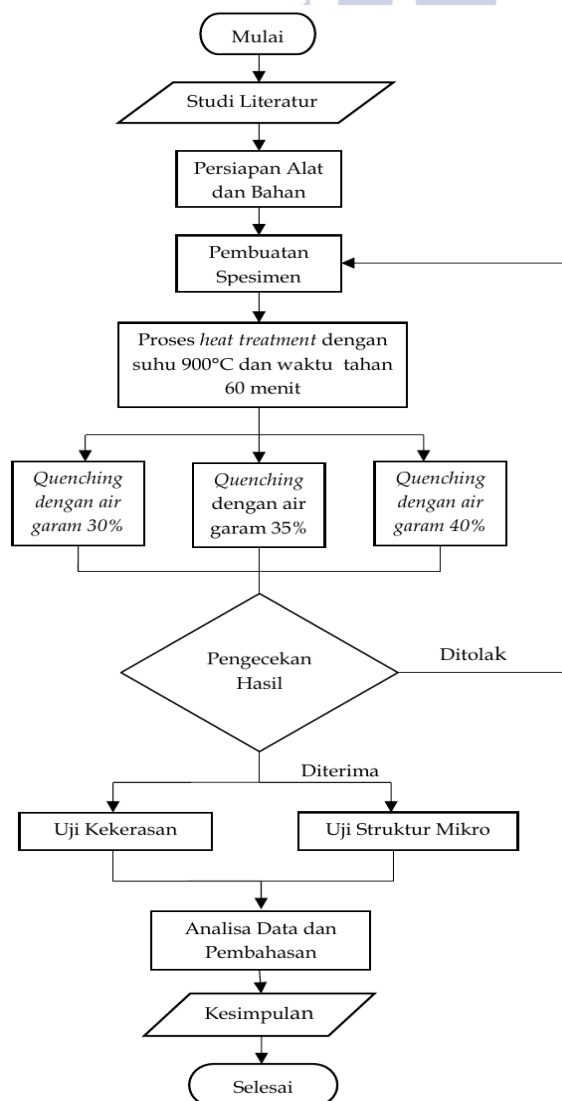
Spesimen Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1045. Spesifikasi bahan yang digunakan dalam penelitian adalah silinder pejal dengan :

- diameter : 30 mm
- tebal : 10 mm
- Jumlah spesimen : 10 buah.



Gambar 1. Dimensi Spesimen

Flowchart Penelitian

Gambar 2. Flow chart Penelitian

Alat dan Bahan**• Alat**

1. Furnace
2. Mesin bubut
3. Amplas
4. Alat uji kekerasan Rockwell
5. Mikroskop Metalografi
6. Stopwatch
7. Tang Penjepit
8. Sarung tangan
9. Wadah media pendingin

• Bahan

1. Baja AISI 1045
2. Air aquades
3. NaCl

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro pada spesimen baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas dan pendinginan menggunakan media air garam dengan variasi konsentrasi 30%, 35%, dan 40%. Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi air garam terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro material.

1. Pengujian Kekerasan Rockwell C

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell C (HRC) dengan indenter berbentuk kerucut intan dan beban pengujian sesuai standar yang berlaku. Sebelum pengujian, permukaan spesimen diratakan dan dibersihkan untuk memastikan indentasi dapat dilakukan secara optimal. Setiap spesimen diuji pada beberapa titik yang berbeda untuk memperoleh nilai kekerasan yang representatif. Hasil pengukuran kemudian dicatat dan dihitung nilai rata-ratanya.

Data hasil pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan baja AISI 1045 akibat variasi konsentrasi air garam sebagai media pendingin. Nilai kekerasan yang diperoleh kemudian dibandingkan antara spesimen dengan konsentrasi air garam 30%, 35%, dan 40%.

2. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan morfologi dan fase yang terbentuk pada baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas dan pendinginan. Sebelum dilakukan pengamatan, permukaan spesimen dipersiapkan melalui tahapan pemotongan, mounting, pengamplasan, polishing, dan etsa menggunakan larutan etsa yang sesuai.

Spesimen yang telah dipersiapkan kemudian diamati menggunakan mikroskop metalografi dengan perbesaran tertentu. Hasil pengamatan berupa citra struktur mikro dari masing-masing spesimen, yaitu spesimen dengan media pendingin air garam konsentrasi 30%, 35%, dan 40%. Pengamatan difokuskan pada perubahan bentuk, ukuran, dan distribusi fase yang terbentuk, seperti ferrit, perlit,

serta martensit apabila terbentuk akibat proses perlakuan panas dan pendinginan cepat.

Hasil pengamatan struktur mikro selanjutnya dianalisis dan dikorelasikan dengan nilai kekerasan Rockwell C. Dengan demikian, hubungan antara perubahan struktur mikro dan peningkatan atau penurunan kekerasan baja AISI 1045 akibat variasi konsentrasi air garam dapat diketahui.

Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian kekerasan Rockwell C (HRC) dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode One-Way Analysis of Variance (ANOVA). Analisis ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai kekerasan baja AISI 1045 akibat variasi konsentrasi larutan air garam sebagai media pendingin, yaitu 30%, 35%, dan 40%.

Dalam analisis One-Way ANOVA, konsentrasi larutan air garam digunakan sebagai variabel bebas yang terdiri atas tiga kelompok perlakuan, sedangkan nilai kekerasan Rockwell C digunakan sebagai variabel terikat. Pengujian dilakukan pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ dengan hipotesis sebagai berikut:

- H_0 : Tidak terdapat perbedaan rata-rata nilai kekerasan yang signifikan pada variasi konsentrasi larutan air garam 30%, 35%, dan 40%.
- H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata nilai kekerasan yang signifikan pada variasi konsentrasi larutan air garam 30%, 35%, dan 40%.

Kriteria pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan nilai signifikansi (Sig.) atau p-value. Apabila nilai p-value $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi larutan air garam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan baja AISI 1045. Sebaliknya, apabila nilai p-value $> 0,05$, maka H_0 diterima, sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan.

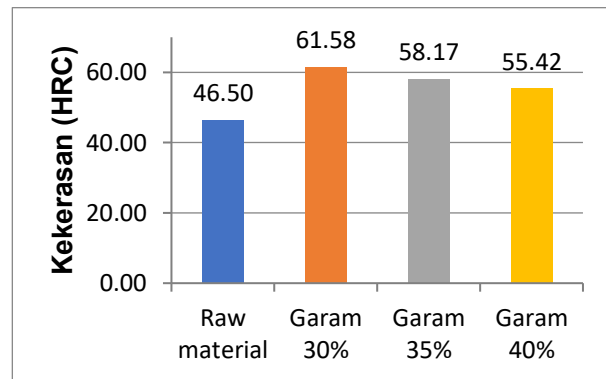
Apabila hasil uji One-Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, maka analisis dapat dilanjutkan dengan uji post hoc, seperti Tukey HSD, untuk mengetahui kelompok perlakuan mana yang memiliki perbedaan nilai kekerasan secara signifikan. Hasil analisis statistik kemudian dikaitkan dengan hasil pengamatan struktur mikro untuk menjelaskan hubungan antara variasi konsentrasi media pendingin, perubahan fase atau morfologi mikrostruktur, dan nilai kekerasan yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekerasan Baja AISI 1045

Tabel 1. Hasil kekerasan rata-rata tiap spesimen

Kadar	S1	S2	S3	Rata-rata
30%	62,00	62,00	60,75	61,58
35%	58,25	58,75	57,50	58,17
40%	55,50	55,75	55,00	55,42



Gambar 3. Kekerasan rata-rata baja AISI 1045 pada setiap variasi

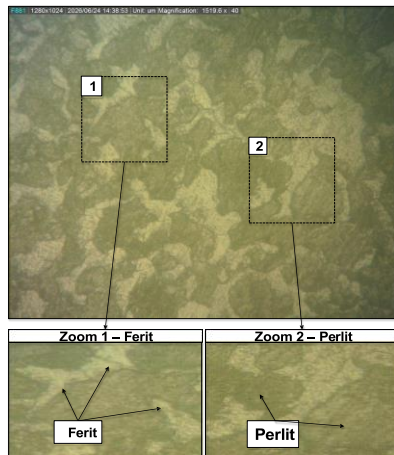
Bahan awal memiliki kekerasan rata-rata 46,50 HRC. Setelah austenitisasi dan *quenching*, seluruh kelompok menunjukkan peningkatan kekerasan. Kelompok *Brine* 30% menghasilkan rata-rata 61,58 HRC, *Brine* 35% sebesar 58,17 HRC, dan *Brine* 40% sebesar 55,42 HRC. Peningkatan terhadap bahan awal masing-masing mencapai 15,08 HRC, 11,67 HRC, dan 8,92 HRC. Hasil ini menegaskan bahwa pendinginan cepat setelah pembentukan austenit menghasilkan struktur yang lebih keras daripada kondisi awal ferit-perlit.

Nilai tertinggi pada kadar nominal 30% memperlihatkan bahwa tren kekerasan tidak meningkat secara linier terhadap penambahan garam dalam rentang yang diuji. Kekerasan turun 3,41 HRC ketika kadar dinaikkan dari 30% menjadi 35%, kemudian turun kembali 2,75 HRC pada kadar 40%. Simpangan baku setiap kelompok relatif kecil, yaitu 0,72 HRC, 0,63 HRC, dan 0,38 HRC, sehingga kecenderungan penurunan terlihat konsisten antarsampel. Temuan ini berbeda dari kecenderungan peningkatan pada rentang 15-25% yang dilaporkan Wijaya dan Rasyid (2023), tetapi tidak bertentangan secara mekanistik karena kondisi optimum media dipengaruhi rentang komposisi dan parameter proses.

Peningkatan kekerasan setelah *quenching* sejalan dengan penelitian Haryadi, dkk. (2021), Permana, dkk. (2020), dan Mulyadi, dkk. (2022), yang mengaitkan pendinginan cepat dengan peningkatan pembentukan martensit pada baja karbon sedang. Meskipun demikian, nilai kekerasan tidak hanya ditentukan oleh laju pendinginan maksimum. Keseragaman pembasahan, kestabilan vapor blanket, temperatur media, kondisi permukaan, dan riwayat pendinginan bagian dalam spesimen juga menentukan distribusi transformasi fasa.

Struktur Mikro dan Estimasi Fraksi Fasa

Struktur Mikro Raw Material

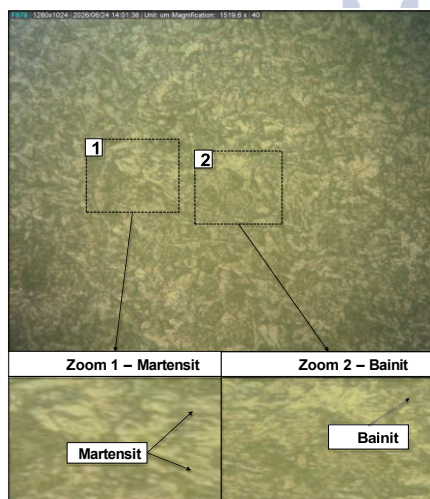


Gambar 4. Struktur mikro raw material

Foto raw material menunjukkan dua indikasi sebagai ferit dan perlit. Daerah terang berbentuk poligonal tersebar di antara koloni yang lebih gelap. Batas butir masih dapat diamati dan belum terdapat morfologi lath atau jarum yang dominan seperti pada struktur hasil *quenching*. Struktur ferit-perlit merupakan kondisi yang umum ditemukan pada baja karbon sedang sebelum pengerasan, sedangkan transformasi menjadi struktur yang lebih kaya martensit terjadi setelah austenitisasi dan pendinginan cepat (Hariningsih dkk., 2022; Permana dkk., 2020).

Distribusi ferit dan perlit tampak tidak sepenuhnya seragam. Perlit terlihat lebih banyak pada beberapa area, sedangkan ferit membentuk jaringan atau pulau terang. Kondisi ini sesuai dengan mikrostruktur awal baja karbon sedang sebelum perlakuan panas. *Point count* ImageJ pada 100 titik menunjukkan ferit sebesar 38% dan perlit sebesar 62%. Hasil ini memperkuat pengamatan morfologi bahwa raw material didominasi ferit-perlit dan belum menunjukkan martensit.

Struktur Mikro Brine 30%



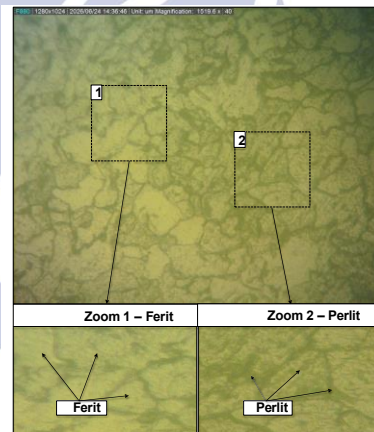
Gambar 5. Struktur mikro spesimen *Brine* 30%

Pada variasi *Brine* 30%, struktur awal ferit-perlit tidak lagi tampak dominan. Bidang pengamatan memperlihatkan morfologi rapat berupa lath atau jarum

yang terindikasi sebagai martensit, disertai bagian bertekstur berkas yang terindikasi sebagai bainit. Distribusi struktur keras relatif merata pada bidang pengamatan. Pola perubahan dari ferit-perlit menjadi struktur yang lebih kaya martensit setelah *quenching* juga dilaporkan pada penelitian baja S45C dan AISI 1045 (Hariningsih dkk., 2022; Permana dkk., 2020; Yunaidi, 2016).

Dominasi martensit terindikasi yang lebih tinggi mendukung nilai kekerasan tertinggi sebesar 61,58 HRC. Hubungan antara peningkatan proporsi martensit dan peningkatan kekerasan sejalan dengan hasil penelitian *quenching* baja karbon sedang menggunakan media *Brine* (Permana dkk., 2020; Yunaidi, 2016). Tidak tampak retak mikro besar pada foto. Perbedaan kontras lokal dan garis samar perlu dibedakan dari cacat sebenarnya karena dapat berasal dari proses preparasi, fokus mikroskop, atau etsa yang kurang seragam. *Point count* ImageJ menunjukkan martensit terindikasi sebesar 74%, bainit/fasa transisi 18%, dan ferit sisa 8%. Proporsi martensit tertinggi ini searah dengan kekerasan tertinggi, yaitu 61,58 HRC. Dengan demikian, pengamatan morfologi dan *point count* memberikan interpretasi yang konsisten pada variasi 30%.

Struktur Mikro *Brine* 35%



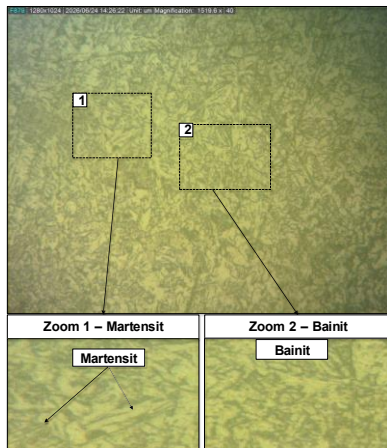
Gambar 6. Struktur mikro spesimen *Brine* 35%

Pada variasi *Brine* 35%, morfologi lath atau jarum masih terlihat dan terindikasi sebagai martensit. Akan tetapi, bidang pengamatan menunjukkan variasi kerapatan yang lebih besar dibandingkan spesimen 30%. Daerah bertekstur berkas atau transisi yang terindikasi sebagai bainit tampak lebih banyak. Campuran martensit dengan produk transformasi lain dapat terbentuk ketika riwayat pendinginan antarlokasi tidak sama, sehingga mikrostruktur akhir menjadi lebih heterogen (Fernandes & Prabhu, 2007; Hariningsih dkk., 2022).

Struktur campuran martensit-bainit yang terindikasi tersebut sejalan dengan kekerasan 58,17 HRC yang masih tinggi, tetapi lebih rendah daripada variasi 30%. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur keras tetap terbentuk, namun distribusinya atau proporsinya tidak sehomogen kondisi 30%. Interpretasi ini diperkuat oleh estimasi *point count*. *Point count* ImageJ menunjukkan martensit sebesar 61%, bainit/fasa transisi 22%, ferit sisa 12%, dan perlit sisa 5%. Penurunan martensit dibandingkan variasi 30% serta

peningkatan fasa transisi sejalan dengan penurunan kekerasan menjadi 58,17 HRC.

Struktur Mikro Brine 40%

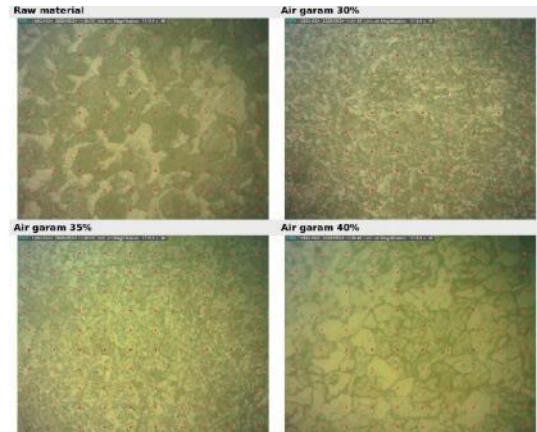


Gambar 7 Struktur mikro spesimen *Brine* 40%

Pada variasi *Brine* 40%, bidang pengamatan tampak lebih heterogen. Daerah terang berbentuk poligonal terlihat lebih jelas dan terindikasi sebagai ferit sisa, sedangkan daerah lebih gelap menunjukkan perlit sisa atau fasa transisi. Morfologi struktur keras tidak tersebar seuniform variasi 30% dan 35%. Ketidakteraturan perpindahan panas selama *quenching* dapat menghasilkan perbedaan transformasi dan tegangan termal antarlokasi pada spesimen (Fernandes & Prabhu, 2007; Samuel & Prabhu, 2022).

Keberadaan area yang terindikasi lebih lunak atau struktur transisi dalam jumlah lebih besar dapat menjelaskan penurunan kekerasan menjadi 55,42 HRC. Hubungan tersebut konsisten dengan laporan bahwa spesimen dengan martensit lebih dominan memiliki kekerasan lebih tinggi daripada spesimen yang masih mengandung lebih banyak ferit, perlit, atau bainit (Permana dkk., 2020; Yunaidi, 2016). *Point count* ImageJ menunjukkan martensit sebesar 43%, bainit/fasa transisi 24%, ferit sisa 22%, dan perlit sisa 11%. Proporsi martensit terendah serta fasa sisa yang lebih tinggi mendukung hasil kekerasan 55,42 HRC, yaitu nilai terendah di antara spesimen hasil *quenching*.

Estimasi fraksi fasa dengan kisi *point count*



Gambar 8. Struktur mikro dan kisi *point count* pada empat kondisi spesimen

Tabel 2. Estimasi fraksi titik struktur mikro

Kondisi	Ferit	Perlit	Martensit	Bainit
Bahan awal	38%	62%	0%	0%
<i>Brine</i> 30%	8%	0%	74%	18%
<i>Brine</i> 35%	12%	5%	61%	22%
<i>Brine</i> 40%	22%	11%	43%	24%

Foto mikro bahan awal memperlihatkan daerah terang berbentuk poligonal yang terindikasi sebagai ferit dan daerah lebih gelap sebagai koloni perlit. *Point count* menunjukkan 38% ferit dan 62% perlit. Morfologi lath atau jarum belum tampak dominan, sesuai dengan kekerasan bahan awal yang paling rendah. Struktur ferit-perlit merupakan kondisi umum baja AISI 1045 sebelum pengerasan dan menjadi pembanding bagi transformasi setelah *quenching*.

Pada *Brine* 30%, struktur awal ferit-perlit tidak lagi dominan. Bidang pengamatan memperlihatkan morfologi rapat menyerupai lath atau jarum yang terindikasi sebagai martensit, disertai area bertekstur berkas yang diklasifikasikan sebagai bainit atau fasa transisi. Estimasi fraksi titik terdiri atas 74% martensit, 18% bainit/fasa transisi, dan 8% ferit sisa. Distribusi struktur keras tampak paling rapat dan relatif merata, selaras dengan kekerasan tertinggi 61,58 HRC.

Spesimen *Brine* 35% masih menunjukkan martensit sebagai fasa dominan, tetapi kerapatan morfologi lath lebih bervariasi. Estimasi menunjukkan 61% martensit, 22% bainit/fasa transisi, 12% ferit sisa, dan 5% perlit sisa. Berkurangnya proporsi martensit serta meningkatnya produk transformasi lain berkaitan dengan penurunan kekerasan menjadi 58,17 HRC. Pada *Brine* 40%, bidang pengamatan lebih heterogen dan daerah terang poligonal terlihat lebih jelas. *Point count* menunjukkan 43% martensit, 24% bainit/fasa transisi, 22% ferit sisa, dan 11% perlit sisa. Komposisi tersebut mendukung nilai kekerasan terendah di antara kelompok hasil *quenching*.

Korelasi antara martensit dan kekerasan menunjukkan pola yang konsisten: semakin tinggi estimasi fraksi martensit, semakin tinggi nilai kekerasan. Hasil ini sejalan dengan Hariningsih, dkk. (2022) dan Permana, dkk. (2020), yang menjelaskan bahwa struktur martensit

memberikan kekerasan lebih tinggi daripada ferit, perlit, atau bainit. Namun, identifikasi optik memiliki keterbatasan karena bainit halus, martensit, dan fasa transisi dapat menampilkan kontras yang berdekatan. Oleh sebab itu, persentase fasa pada penelitian ini harus dipahami sebagai estimasi pendukung hasil kekerasan.

Analisis Statistik

Tabel 3. Ringkasan pengujian statistik kekerasan

Pengujian	Hasil	Keputusan
Shapiro-Wilk	$p = 0,193$	Residual normal
Levene	$p = 0,442$	Varians homogen
One-way ANOVA	$F = 80,843$; $p = 0,000046$	Berbeda signifikan
Tukey HSD	Semua pasangan $p < 0,05$	Semua pasangan berbeda

Uji Shapiro-Wilk terhadap residual menghasilkan nilai signifikansi 0,193, sedangkan uji Levene menghasilkan 0,442. Kedua nilai lebih besar dari 0,05 sehingga residual dapat dianggap mendekati distribusi normal dan varians antarkelompok homogen. Analisis varians menghasilkan F hitung 80,843 dengan nilai p 0,000046. Nilai tersebut lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05 sehingga hipotesis kesamaan rata-rata ditolak. Dengan demikian, kadar nominal *Brine* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan AISI 1045 pada kondisi penelitian.

Uji Tukey menunjukkan bahwa pasangan 30%-35%, 30%-40%, dan 35%-40% seluruhnya berbeda nyata. Selisih rata-rata antara kelompok 30% dan 35% sebesar 3,42 HRC, antara 30% dan 40% sebesar 6,17 HRC, serta antara 35% dan 40% sebesar 2,75 HRC. Kesimpulan statistik mendukung hasil deskriptif bahwa 30% tidak hanya memiliki nilai rata-rata tertinggi, tetapi juga benar-benar terpisah dari kedua variasi lainnya pada tingkat unit eksperimen.

Pembahasan

Data kekerasan, hasil *point count*, dan analisis statistik menunjukkan pola yang konsisten. *Quenching* meningkatkan kekerasan dibandingkan raw material, dan variasi nominal 30% menghasilkan kekerasan serta martensit terindikasi paling tinggi. Pada kadar nominal 35% dan 40%, nilai kekerasan dan proporsi martensit terindikasi menurun, sedangkan ferit/perlit sisa meningkat. Hubungan ini sejalan dengan teori transformasi austenit pada diagram CCT dan sifat martensit yang lebih keras daripada ferit-perlit (Callister & Rethwisch, 2007; Mulyadi dkk., 2022).

ANOVA dan Tukey menunjukkan bahwa perbedaan ketiga kelompok perlakuan signifikan. Namun, berdasarkan kajian vapor blanket dan kelarutan NaCl. Proses *quenching* dipengaruhi oleh keruntuhan lapisan uap, pembasahan, temperatur media, agitasi, kondisi permukaan, dan bagian NaCl yang benar-benar terlarut (Barrena-Rodríguez dkk., 2021; Pinho & Macedo, 2005; Pizetta Zordão dkk., 2019).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan kadar garam 30% memiliki nilai kekerasan tertinggi, yaitu 61,58 HRC. Nilai ini sesuai dengan hasil pengamatan

struktur mikro yang menunjukkan bahwa struktur martensit terbentuk lebih dominan dan tersebar lebih merata. Martensit memiliki struktur yang keras sehingga semakin banyak martensit yang terbentuk, semakin tinggi pula kekerasan material.

Berdasarkan diagram Fe-Fe₃C, baja AISI 1045 yang dipanaskan sampai 900°C akan berubah menjadi austenit. Setelah itu, diagram TTT dan CCT menjelaskan bahwa pendinginan cepat akan membentuk martensit, sedangkan pendinginan yang lebih lambat akan membentuk bainit, perlit, dan ferrit (Callister & Rethwisch, 2007).

Dengan demikian, larutan garam 30% diduga menghasilkan pendinginan paling efektif sehingga martensit terbentuk lebih banyak dan kekerasannya paling tinggi.

Pada kadar garam 35%, nilai kekerasan menurun menjadi 58,17 HRC. Penurunan ini berkaitan dengan struktur mikro yang mulai menunjukkan berkurangnya dominasi martensit dan bertambahnya fase lain, seperti bainit, perlit, atau ferrit sisa. Fase-fase tersebut memiliki kekerasan lebih rendah dibandingkan martensit sehingga menyebabkan nilai kekerasan rata-rata menurun.

Penurunan yang lebih besar terjadi pada kadar garam 40%, yaitu menjadi 55,42 HRC. Struktur mikro pada spesimen ini terlihat lebih tidak seragam dengan jumlah martensit yang lebih sedikit serta keberadaan bainit, perlit, dan ferrit sisa yang lebih banyak. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pendinginan pada larutan garam 40% diduga tidak berlangsung secara merata.

Menurut Sutiyo (2014), penambahan kadar garam tidak selalu menghasilkan peningkatan kekerasan secara terus-menerus karena terdapat konsentrasi pendinginan yang optimum. Zordão dkk. (2019) juga menjelaskan bahwa larutan yang terlalu pekat dapat menyebabkan perpindahan panas dan keruntuhan lapisan uap menjadi tidak seragam. Romadhon (2026) menyatakan bahwa kadar garam yang terlalu tinggi dapat membuat media terlalu pekat dan sebagian garam tidak larut sempurna.

Dengan demikian, kadar garam 30% diduga menghasilkan laju pendinginan paling efektif sehingga membentuk martensit lebih banyak dan menghasilkan kekerasan tertinggi. Pada kadar 35% dan 40%, media yang semakin pekat menyebabkan pendinginan kurang merata, pembentukan martensit berkurang, dan fase yang lebih lunak semakin banyak. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut mendukung penurunan nilai kekerasan pada kedua variasi tersebut.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh media pendingin *Brine* terhadap kekerasan dan struktur mikro perlakuan panas baja AISI 1045, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Proses perlakuan panas pada temperatur 900°C dengan holding time selama 60 menit dan dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media *Brine* mampu meningkatkan kekerasan baja AISI 1045 dibandingkan raw material. Nilai kekerasan raw material sebesar 46,50 HRC. Setelah dilakukan *quenching*, nilai kekerasan meningkat menjadi 61,58 HRC pada variasi

Brine 30%, 58,17 HRC pada variasi Brine 35%, dan 55,42 HRC pada variasi Brine 40%.

- Struktur mikro raw material didominasi oleh ferrit dan perlit, sedangkan spesimen hasil quenching cenderung membentuk martensit. Semakin dominan dan merata martensit yang terbentuk, semakin tinggi nilai kekerasan baja AISI 1045. Estimasi awal *point count* pada satu bidang pengamatan menunjukkan martensit terindikasi sekitar 74% pada kadar 30%, 61% pada kadar 35%, dan 43% pada kadar 40%.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan kualitas penelitian selanjutnya, yaitu:

- Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variasi kadar NaCl di bawah 30% atau di antara 30% sampai 40%, misalnya 25%, 30%, 32,5%, 35%, 37,5%, dan 40%, agar kadar NaCl optimum dapat diketahui secara lebih rinci.
- Penelitian berikutnya dapat menambahkan pengujian lain, untuk mengetahui pengaruh media pendingin Brine tidak hanya terhadap kekerasan, tetapi juga terhadap sifat mekanik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barrena-Rodríguez, M. del J., Acosta-González, F. A., & Téllez-Rosas, M. M. (2021). A review of the boiling curve with reference to steel quenching. *Metals*, 11(6), 974. <https://doi.org/10.3390/met11060974>
- Callister Jr., W. D., & Rethwisch, D. G. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Fathur, R. (2025). *Analisis pengaruh kekerasan baja karbon S55C setelah dilakukan proses heat treatment*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Fernandes, P., & Prabhu, K. N. (2007). Effect of section size and agitation on heat transfer during quenching of AISI 1040 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 183(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.08.028>
- Hariningsih, H., Daryanto, T., & Lutiaytm, L. (2022). Pengaruh variasi media quenching dan tempering terhadap struktur mikro dan kekerasan baja AISI 1045. *Creative Research in Engineering*, 2(2), 52–62. <https://doi.org/10.30595/serie.v2i2.14317>
- Haryadi, G. D., Utomo, A. F., & Ekaputra, I. M. W. (2021). Pengaruh variasi temperatur quenching dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja AISI 1045. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 255–264. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2633>
- Lanyo, P., Lubis, G. S., & Ivanto, M. (2025). Analisis pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan nilai kekerasan baja karbon AISI 1045. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 6(2), 63–70.
- Lee, S.-J., Pavlina, E. J., & van Tyne, C. J. (2010). Kinetics modeling of austenite decomposition for an end-quenched 1045 steel. *Materials Science and Engineering: A*, 527(13–14), 3186–3194. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.01.081>
- Li, L., Khraishi, T., & Shen, Y.-L. (2023). Investigation of the effect of indentation spacing, edge distance and specimen thickness on the measurement of hardness. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37(2), 687–696. <https://doi.org/10.1007/s12206-023-0112-7>
- Mulyadi, M., Tafrant, D., Hendradinata, H., & Zainuddin, Z. (2022). The effect of quenching media on the hardness of AISI 1045 steel. *Proceedings of the 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference*, 66–71. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.220205.012>
- Permana, A. W., Anjani, R. D., & Gusniar, I. N. (2020). Analisa pengaruh variasi media pendingin pada proses heat treatment metode hardening-tempering material baja S45C terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(3), 199–206. <https://doi.org/10.32497/jrm.v15i3.1989>
- Pinho, S. P., & Macedo, E. A. (2005). Solubility of NaCl, NaBr, and KCl in water, methanol, ethanol, and their mixed solvents. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 50(1), 29–32. <https://doi.org/10.1021/jc049922y>
- Pizetta Zordão, L. H., Oliveira, V. A., Totten, G. E., & Canale, L. C. F. (2019). Quenching power of aqueous salt solution. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 140, 807–818. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.036>
- Samuel, A., & Prabhu, K. N. (2022). Residual stress and distortion during quench hardening of steels: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(7), 5161–5188. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-06667-x>
- Wijaya, A., & Rasyid, A. H. A. (2023). Analisa kekerasan dan ketahanan aus baja AISI 1045 akibat heat treatment dengan variasi temperatur dan media quenching air garam untuk aplikasi sprocket gear. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), 75–80.
- Yunaidi. (2016). Pengaruh jumlah konsentrasi larutan garam pada proses quenching baja karbon sedang S45C. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1(3), 70–76.