JURNAL INOVATOR
Jurnal Program Studi Teknik Mesin
POLITEKNIK JAMBI

Jurnal Inovator, Vol. 9, No.2 (2026) 91–100
homepage: www.ojs.politeknikjambi.ac.id/index/inovator

Uji Tarik Dan Uji Kekerasan Egrek Yang Dipanaskan Pada Suhu 900 ^{0}c Dan Di *Quenching* Dengan Oli Sae 10 Dan Air Garam

Ekber [1,*], Erizal [2], Een Tonadi [2]

[1,2,3] *Teknik Mesin, Universitas Prof. Dr. Hazairin S.H, Jl. Jendral Ahmad Yani No1 Bengkulu, 38115, indonesia*

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Diterima: 13 September 2026
Diterima setelah direvisi: 9 Oktober 2026
Disetujui: 11 Oktober 2026

Abstract- *Egrek is a palm oil harvesting tool that requires adequate mechanical properties, particularly tensile stress and hardness, to withstand operational loads and wear. This study aims to investigate the effect of quenching using SAE 10 oil and salt water on the mechanical properties of egrek heated at 900°C. An experimental method was employed, involving heat treatment, quenching, tensile testing, and Rockwell hardness testing on specimens in three conditions: untreated, quenched in SAE 10 oil, and quenched in salt water. The results showed that the average tensile stress was 15.87 N/mm² for untreated specimens, 13.32 N/mm² for SAE 10 oil quenching, and 10.38 N/mm² for salt water quenching. The average hardness increased from 30.80 HRC in the untreated condition to 51.73 HRC after SAE 10 oil quenching, while salt water quenching produced an average hardness of 48.06 HRC. These results indicate that both quenching media increased hardness compared with the untreated condition, although tensile stress decreased. SAE 10 oil quenching produced higher average tensile stress and hardness than salt water quenching under the conditions investigated. Therefore, SAE 10 oil showed a more favorable combination of these two measured mechanical properties for the egrek specimens in this study.*

Kata kunci:

Egrek
Quenching
Uji Tarik
Uji Kekerasan
Oli SAE 10

Intisari- Egrek adalah alat panen kelapa sawit yang memerlukan sifat mekanis memadai-khususnya kekuatan tarik dan kekerasan-untuk menahan beban operasional dan keausan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh proses quenching menggunakan oli SAE 10 dan air garam terhadap sifat mekanis egrek yang dipanaskan pada suhu 900°C. Metode eksperimental digunakan, yang mencakup perlakuan panas, quenching, uji tarik, dan uji kekerasan Rockwell pada spesimen dalam tiga kondisi: tanpa perlakuan, quenching dengan oli SAE 10, dan quenching dengan air garam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kekuatan tarik adalah 15,87 N/mm² untuk spesimen tanpa perlakuan, 13,32 N/mm² untuk spesimen dengan quenching oli SAE 10, dan 10,38 N/mm² untuk spesimen dengan quenching air garam. Rata-rata kekerasan meningkat dari 30,80 HRC pada kondisi tanpa perlakuan menjadi 51,73 HRC setelah quenchingoli SAE 10, sedangkan quenching air garam menghasilkan rata-rata kekerasan sebesar 48,06 HRC. Hasil ini mengindikasikan bahwa kedua media quenching tersebut meningkatkan kekerasan dibandingkan dengan kondisi tanpa perlakuan, meskipun kekuatan tarik mengalami penurunan. Quenching menggunakan oli SAE 10 menghasilkan rata-rata kekuatan tarik dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan quenching menggunakan air garam pada kondisi yang diteliti. Oleh karena itu, oli SAE 10 menunjukkan kombinasi sifat mekanis yang lebih baik dari kedua parameter yang diukur tersebut bagi spesimen egrek dalam penelitian ini.

1. Pendahuluan

Baja banyak digunakan dalam berbagai komponen dan peralatan industri karena memiliki sifat mekanik yang dapat dimodifikasi melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*). Salah satu proses yang umum digunakan adalah *quenching*, yaitu pendinginan cepat setelah material dipanaskan hingga mencapai temperatur austenisasi yang sesuai. Proses ini dapat mengubah struktur mikro dan sifat mekanik baja, terutama kekerasan dan kekuatan material, bergantung pada komposisi material serta laju pendinginan yang terjadi [1].

Media pendingin merupakan salah satu faktor penting dalam proses *quenching* karena memengaruhi laju pelepasan panas dari material. Oli umumnya menghasilkan pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air garam, sedangkan larutan air garam dapat meningkatkan intensitas pendinginan. Perbedaan laju pendinginan tersebut dapat menghasilkan perubahan kekerasan dan karakteristik mekanik material. Pada baja SUP 9 menunjukkan bahwa variasi media pendingin memengaruhi nilai kekerasan dan struktur mikro setelah perlakuan panas [2]. Namun, hasil penelitian pada baja tersebut belum dapat langsung dijadikan acuan untuk material egrek karena karakteristik material dan kondisi perlakuannya dapat berbeda. Media pendingin dalam proses *quenching* memiliki peranan penting karena menentukan kecepatan perpindahan panas dari logam ke lingkungan. Media pendingin seperti air garam (*brine*) memiliki laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan oli karena mampu mengurangi terbentuknya lapisan uap pada permukaan logam, sehingga pendinginan berlangsung lebih efektif [3]. Sebaliknya, oli memiliki laju pendinginan yang lebih lambat sehingga dapat mengurangi risiko retak namun menghasilkan tingkat kekerasan yang berbeda dibandingkan air atau air garam. Perbedaan karakteristik media pendingin dapat memengaruhi perubahan sifat mekanis material setelah perlakuan panas [4].

Beberapa studi eksperimen juga memperlihatkan bahwa variasi media pendingin sangat mempengaruhi sifat mekanik material selain uji Tarik dan uji kekerasan, misalnya beda nilai uji Tarik dan uji kekerasan spesimen yang didinginkan dengan oli SAE 10 dibanding air garam pada

.

* *Corresponding Author:*
E-mail: ekberekber175@gmail.com (Ekber)

perlakuan panas baja AISI 1045, yang mencerminkan peran media *Quenching* dalam menentukan struktur martensit relatif dominan setelah pendinginan cepat [5].

Penelitian lain juga merekam perbedaan uji Tarik dan uji kekerasan akibat variasi media pendingin dalam material logam berbeda, menunjukkan adanya hubungan kuat antara jenis media pendingin *Quenching* dan hasil akhir sifat mekanik material (*Quenching* media directly influences mechanical property outcomes such as hardness).

Egrek merupakan salah satu alat penting dalam kegiatan pemanenan kelapa sawit, khususnya pada tanaman yang telah memiliki ketinggian tertentu [6]. Penggunaan egrek sangat menunjang proses pemanenan sehingga kualitas material dan sifat mekanis alat menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan agar alat dapat digunakan secara efektif dan memiliki ketahanan yang baik [7]. Apabila kekerasan material tidak mencukupi maka komponen akan lebih cepat mengalami deformasi atau kerusakan. Oleh karena itu diperlukan upaya peningkatan sifat mekanik melalui proses perlakuan panas yang tepat, khususnya dengan menentukan suhu pemanasan dan jenis media pendingin yang optimal

Penelitian ini menggunakan oli SAE 10 dan larutan NaCl 10% sebagai media pendingin untuk membandingkan respons mekanik material terhadap dua media dengan karakteristik pendinginan berbeda. Oli SAE 10 digunakan sebagai media pendingin berbasis minyak, sedangkan larutan NaCl 10% dipilih sebagai media pendingin berbasis air yang memiliki kemampuan pendinginan relatif lebih tinggi. Konsentrasi NaCl 10% diterapkan sebagai kondisi perlakuan dalam penelitian ini, yaitu menggunakan 100 gram garam dalam 1 liter air. Perbandingan kedua media tersebut diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perbedaan hasil uji tarik dan uji kekerasan egrek setelah pemanasan pada suhu 900°C.

Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan eksperimental kekuatan tarik dan kekerasan material egrek dalam kondisi tanpa perlakuan dan setelah *quenching* menggunakan oli SAE 10 serta larutan NaCl 10% pada suhu pemanasan yang sama. Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa media dengan laju pendinginan lebih tinggi cenderung menghasilkan kekerasan lebih tinggi, tetapi peningkatan kekerasan tidak selalu diikuti peningkatan kekuatan tarik. Perubahan kekuatan tarik dapat dipengaruhi oleh transformasi struktur mikro, komposisi material, dan karakteristik pendinginan. Pembentukan martensit merupakan salah satu kemungkinan transformasi pada baja yang mengalami pendinginan cepat, tetapi keberadaannya pada spesimen egrek dalam penelitian ini tidak dapat dipastikan tanpa pengujian struktur mikro [8].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *quenching* menggunakan oli SAE 10 dan larutan NaCl 10% terhadap kekuatan tarik dan kekerasan egrek yang dipanaskan pada suhu 900°C. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan data perbandingan sifat mekanik material egrek setelah perlakuan panas serta menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan media pendingin.

Berdasarkan fenomena tersebut, maka penelitian ini berjudul ”Uji Tarik dan Uji Kekerasan Egrek yang dipanaskan pada Suhu 900^0C dan di *Quenching* dengan Oli SAE 10 dan Air Garam”.

2. Metodologi

2.1. Material Dan Persiapan Spesimen

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik material egrek setelah perlakuan panas dan proses *quenching* menggunakan dua variasi media pendingin, yaitu oli SAE 10 dan larutan natrium klorida (NaCl) 10%. Penelitian dilaksanakan pada Mei 2026 di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu. Material yang digunakan berupa egrek komersial yang dipotong dan dibentuk menjadi spesimen untuk pengujian tarik dan kekerasan. Grade baja dan komposisi kimia material tidak dicantumkan karena data sertifikat material atau hasil analisis komposisi kimia belum tersedia. Oleh karena itu, hasil penelitian diinterpretasikan berdasarkan material egrek yang diuji, tanpa mengasumsikan grade baja tertentu.

Sebanyak 12 spesimen disiapkan, terdiri atas sembilan spesimen uji tarik dan tiga spesimen uji kekerasan. Spesimen uji tarik dibagi menjadi tiga kondisi, yaitu tanpa perlakuan panas sebagai kontrol, perlakuan panas pada suhu 900 °C yang dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan oli SAE 10, dan perlakuan panas pada suhu 900 °C yang dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan larutan NaCl 10%. Setiap kondisi pengujian tarik menggunakan tiga spesimen. Spesimen uji tarik dibentuk mengacu pada ASTM E8/E8M [9]. Berdasarkan dimensi yang dicantumkan dalam dokumen penelitian, spesimen memiliki lebar bagian sempit 6 mm, panjang ukur 50 mm, panjang bagian sempit 57 mm, lebar keseluruhan minimum 20 mm, panjang keseluruhan minimum 160 mm, jarak antara bagian pegangan 57 mm, jari-jari transisi 12,5 mm, dan ketebalan nominal 3 mm. Dimensi aktual spesimen perlu diverifikasi terhadap hasil pengukuran dan gambar teknik sebelum dinyatakan sepenuhnya sesuai dengan ASTM E8/E8M.

Spesimen uji kekerasan dibuat dalam bentuk pelat berukuran 50 mm × 40 mm × 4 mm. Tiga spesimen kekerasan dialokasikan masing-masing satu untuk kondisi tanpa perlakuan, *quenching* oli SAE 10, dan *quenching* larutan NaCl 10%. Pada setiap spesimen dilakukan pengukuran kekerasan di tiga titik. Dengan demikian, tiga titik tersebut merupakan pengulangan pengukuran pada spesimen yang sama dan bukan tiga spesimen eksperimen independen. Permukaan spesimen disiapkan dengan pengamplasan untuk memperoleh permukaan yang sesuai bagi pengujian kekerasan.

2.2. Perlakuan Panas Dan Quenching

Perlakuan panas dilakukan menggunakan *furnace* pada suhu 900 °C dengan waktu penahanan (*holding time*) sekitar 30 menit. Suhu pemanasan dipantau menggunakan termokopel atau pengendali temperatur yang tersedia pada peralatan. Setelah waktu penahanan selesai, spesimen dikeluarkan dari *furnace* menggunakan tang penjepit logam dan dicelupkan ke dalam media pendingin sesuai kelompok perlakuannya.

Media pendingin yang digunakan adalah oli SAE 10 dan larutan NaCl 10%. Larutan NaCl disiapkan dengan melarutkan 100 g garam ke dalam 1 L air, sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam dokumen penelitian. Spesimen pada kelompok oli dicelupkan selama kurang lebih dua menit, sedangkan spesimen pada kelompok larutan garam dicelupkan selama kurang lebih satu menit. Setelah proses pencelupan, spesimen dibiarkan hingga mencapai suhu ruang sebelum dibersihkan dan menjalani pengujian mekanik. Volume aktual media pendingin, temperatur awal masing-masing media, waktu antara pengeluaran spesimen dari *furnace* dan pencelupan, serta orientasi dan kedalaman pencelupan tidak tercantum secara kuantitatif dalam catatan yang tersedia. Oleh sebab itu, parameter tersebut tidak dinyatakan sebagai nilai terukur dalam penelitian ini. Keterbatasan pencatatan parameter proses tersebut perlu dipertimbangkan ketika membandingkan hasil penelitian dengan penelitian lain, karena kondisi media dan perpindahan panas selama *quenching* dapat memengaruhi sifat mekanik material.

2.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk memperoleh data beban tarik dan parameter mekanik yang dapat dihitung dari hasil pengujian [10]. Pengujian dilakukan terhadap tiga spesimen untuk setiap kondisi, yaitu kontrol tanpa perlakuan, *quenching* oli SAE 10, dan *quenching* larutan NaCl 10%. Merek, model, kapasitas mesin, kecepatan pengujian, dan status kalibrasi UTM perlu dicantumkan berdasarkan label peralatan serta catatan laboratorium.

Tegangan tarik nominal dihitung berdasarkan perbandingan beban terhadap luas penampang awal spesimen menggunakan persamaan:

$$\left[\sigma = \frac{F}{A_0}\right] \quad (1)$$

dengan (σ)merupakan tegangan tarik $(MPa\ atau\ N/mm^2)$,(F) adalah beban tarik (N), dan (A_0)adalah luas penampang awal spesimen (mm^2).

Regangan teknik dihitung menggunakan persamaan:

$$\left[\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0}\right] \quad (2)$$

dengan (\varepsilon) adalah regangan, (L_0) adalah panjang ukur awal, dan (L) adalah panjang ukur setelah pertambahan panjang. Regangan dapat dinyatakan dalam bentuk desimal atau persentase. Apabila modulus elastisitas akan dilaporkan, nilainya harus ditentukan dari kemiringan bagian linier awal kurva tegangan–regangan berdasarkan data pengukuran yang sesuai. Modulus elastisitas tidak dihitung hanya dari nilai beban maksimum atau tegangan tarik maksimum.

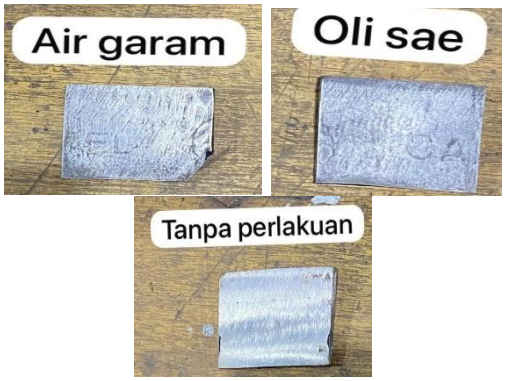


Gambar 1. Spesimen Uji Tarik

2.4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell pada spesimen berbentuk pelat berukuran 50 mm × 40 mm × 4 mm. Skala Rockwell, jenis indentor, beban pengujian, merek dan model alat, serta status kalibrasi atau verifikasinya perlu disesuaikan dengan informasi aktual dari peralatan laboratorium. Nilai kekerasan diukur pada tiga titik terpisah pada setiap spesimen. Posisi pengukuran diatur dengan memperhatikan jarak antartitik dan jarak dari tepi sesuai prosedur pengujian yang berlaku.

Nilai dari ketiga titik pada setiap spesimen digunakan untuk menghitung rata-rata kekerasan spesimen. Namun, karena hanya satu spesimen kekerasan digunakan pada setiap kondisi, hasil tersebut tidak mewakili variasi antarspesimen. Oleh karena itu, data kekerasan disajikan sebagai hasil pengukuran deskriptif pada spesimen yang diuji, bukan sebagai rata-rata dari tiga replikasi eksperimen independen.



Gambar 2. Spesimen Uji Tekan

2.5. Analisis data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan tegangan tarik, regangan, dan kekerasan pada kondisi kontrol, *quenching* oli SAE 10, dan *quenching* larutan NaCl 10%. Data uji tarik diringkas menggunakan nilai rata-rata dari tiga spesimen untuk setiap kondisi dan, apabila data individual tersedia, disertai simpangan baku. Data kekerasan diringkas menggunakan rata-rata tiga titik pengukuran pada satu spesimen untuk setiap kondisi.

Perbandingan dilakukan untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan sifat mekanik setelah pemanasan pada suhu 900 °C dengan waktu penahanan sekitar 30 menit dan pendinginan menggunakan media yang berbeda. Analisis dibatasi pada data yang diperoleh dari pengujian mekanik. Karena grade baja, komposisi kimia, dan struktur mikro tidak dikonfirmasi melalui pengujian khusus, perubahan sifat mekanik tidak digunakan sebagai bukti langsung terbentuknya fase atau struktur mikro tertentu. Selain itu, keterbatasan jumlah spesimen pada pengujian kekerasan diperhitungkan dalam penarikan kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil pengujian uji tarik

1. Hasil pengujian Uji Tarik Non Perlakuan

Pengujian tarik dilakukan terhadap tiga spesimen egrek tanpa perlakuan panas sebagai kondisi pembanding. Parameter yang dicatat meliputi panjang ukur awal, panjang setelah pengujian, ketebalan awal, beban tarik, tegangan tarik, dan regangan.

Tabel 1. Uji Tarik Non Perlakuan

Parameter	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Rata – Rata
Panjang Awal (L_0)(mm)	160	160	160	160
Ketebalan awal (t_0)(mm)	3,0	3,0	3,0	3,0
Panjang Akhir (L_f)(mm)	166	167	165	166
Ketebal Akhir (mm)	2,4	2,5	2,6	2,5
Lebar Patahan (mm)	5,6	4,3	4,3	4,73
Beban Tarik (N)	929,54	971,85	956,32	952,57
Tegangan (N/mm^2)	15,49	16,19	15,94	15,87
Luas penampang (mm^2)	18	18	18	18
Regangan	0,0375	0,04375	0,3125	0,0375
Regangan (%)	3,75	4,375	3,125	3,75

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa beban tarik maksimum yang tercatat berkisar antara 929,54 N hingga 971,85 N, dengan rata-rata

952,57 N. Sementara itu, regangan rata-rata sebesar 3,75% menunjukkan pertambahan panjang relatif terhadap panjang ukur awal sebelum spesimen mengalami kegagalan dan luas penampang 18 mm². Interpretasi lebih lanjut mengenai kekuatan tarik harus didasarkan pada perhitungan ulang menggunakan luas penampang awal yang benar.

Data spesimen tanpa perlakuan digunakan sebagai kondisi pembanding untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik setelah perlakuan panas dan *quenching* menggunakan oli SAE 10 maupun larutan NaCl 10%. Kesimpulan mengenai media pendingin yang menghasilkan kekuatan tarik lebih tinggi atau keuletan yang lebih baik ditetapkan setelah seluruh data tegangan dan regangan pada ketiga kondisi dihitung dengan metode yang sama dan diverifikasi konsistensinya.



Gambar 3. Spesimen Non Perlakuan

2. Hasil Pengujian Tarik pada Spesimen dengan Perlakuan Quenching Oli SAE 10

Pengujian tarik dilakukan terhadap tiga spesimen egrek yang telah mengalami perlakuan panas pada suhu 900 °C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 30 menit, kemudian didinginkan menggunakan media oli SAE 10. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik spesimen berdasarkan beban, tegangan tarik, dan regangan setelah perlakuan panas dan pendinginan.

Tabel 2. Uji Tarik Quenching Oli Sae 10

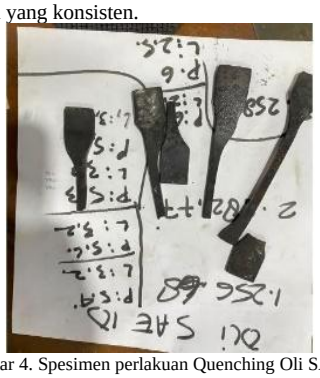
Parameter	Spesimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Rata – Rata
Panjang awal (mm)	160	160	160	**160,00**
Tebal awal (mm)	3,0	3,0	3,0	**3,00**
Panjang akhir (mm)	163	166	162	**163,67**
Tebal akhir (mm)	2,8	2,6	2,4	**2,60**
Lebar patahan (mm)	5,8	5,3	6,0	**5,70**
Beban (N)	1.256,68	882,77	258,55	**799,33**
Tegangan tarik (N/mm²)	20,94	14,71	4,31	**13,32**
Regangan (mm/mm)	0,01875	0,03750	0,01250	**0,02292**
Regangan (%)	1,875	3,750	1,250	**2,292**

Berdasarkan Tabel 2, tegangan tarik rata-rata ketiga spesimen yang didinginkan menggunakan oli SAE 10 adalah 13,32 N/mm², dengan nilai tertinggi sebesar 20,94 N/mm² pada spesimen pertama dan nilai terendah sebesar 4,31 N/mm² pada spesimen ketiga. Beban rata-rata yang tercatat adalah 799,33 N. Perbedaan nilai antarspesimen menunjukkan adanya variasi hasil pengujian pada kelompok perlakuan oli SAE 10.

Regangan rata-rata berdasarkan data pada Tabel 2 adalah 0,02292 mm/mm atau sekitar 2,29%. Nilai ini diperoleh dari rata-rata regangan ketiga spesimen, yaitu 0,01875; 0,03750; dan 0,01250 mm/mm. Dengan demikian, angka 3,75% merupakan regangan spesimen kedua, bukan regangan rata-rata kelompok. Koreksi ini diperlukan agar narasi hasil konsisten dengan data tabel.

Variasi tegangan tarik dan regangan tersebut menunjukkan bahwa ketiga spesimen memberikan respons mekanik yang berbeda setelah perlakuan panas dan pendinginan menggunakan oli SAE 10. Namun, penyebab perbedaan tersebut belum dapat dipastikan hanya berdasarkan hasil uji tarik. Faktor seperti variasi material awal, geometri spesimen, kondisi permukaan, dan pelaksanaan pengujian dapat menjadi hal yang perlu diperiksa lebih lanjut. Karena struktur mikro dan komposisi kimia material tidak dikonfirmasi melalui pengujian tersendiri, perbedaan hasil ini tidak dapat langsung diatribusikan pada terbentuknya fase atau distribusi struktur mikro tertentu.

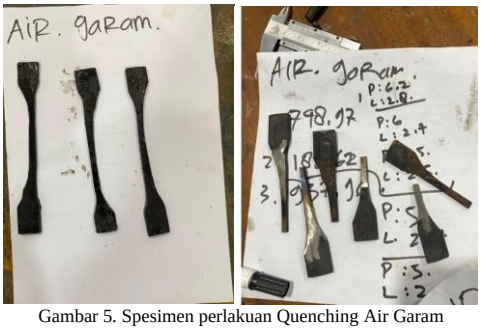
Secara keseluruhan, kelompok perlakuan oli SAE 10 menghasilkan tegangan tarik rata-rata sebesar 13,32 N/mm² dan regangan rata-rata sebesar 2,29% berdasarkan data yang tersedia. Penilaian apakah oli SAE 10 meningkatkan atau menurunkan sifat mekanik harus didasarkan pada perbandingan nilai antarperlakuan dengan metode perhitungan dan kondisi pengujian yang konsisten.



Gambar 4. Spesimen perlakuan Quenching Oli SAE 10

3. Data Uji Tarik Perlakuan Air Garam

Gambar perlakuan spesimen perlakuan Air Garam sebelum dan setelah diuji adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Spesimen perlakuan Quenching Air Garam

Hasil pengujian tarik pada spesimen yang didinginkan menggunakan media air garam dapat digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat keberhasilan proses perlakuan panas dalam meningkatkan kekuatan material, sekaligus mengidentifikasi kemungkinan terjadinya penurunan keuletan atau munculnya cacat internal akibat laju pendinginan yang tinggi. Berikut disajikan rekapitulasi hasil pengujian tarik pada spesimen dengan perlakuan panas dan media pendingin air garam.

Tabel 3. Uji Tarik Quenching Air Garam

Panjang Awal(mm)	Tebal Awal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Tebal Akhir(mm)	Lebar Patahan(mm)	Beban (N)	Tegangan (N/mm²)	Regangan
160	3	163	2,7	5,8	748,97	12,48	0,01875
160	3	161	2,5	5,5	182,62	3,04	0,00625
160	3	164	2,6	5	937,96	15,63	0,025
Rata-Rata		162,67	2,6	5,43	623,18	10,38	0,016667

Dari tabel di atas menunjukkan data hasil pengujian tarik pada spesimen egrek yang telah mengalami proses *quenching* menggunakan media air garam, diperoleh nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 10,38 N/mm^2 dengan nilai regangan rata-rata sebesar 0,016667 atau 1,67%. Nilai tegangan tarik tertinggi dicapai oleh spesimen ketiga sebesar 15,63 N/mm^2, sedangkan nilai terendah diperoleh pada spesimen kedua sebesar 3,04 N/mm^2.

Perbedaan nilai tegangan tarik yang cukup besar antarspesimen mengindikasikan bahwa proses *quenching* dengan air garam menghasilkan distribusi struktur mikro yang kurang seragam. Faktor seperti perbedaan temperatur saat pencelupan, ketidakseragaman komposisi material, dan variasi laju pendinginan dapat memengaruhi hasil pengujian. Terutama pada spesimen kedua yang hanya memiliki tegangan tarik sebesar 3,04 N/mm^2, kemungkinan terjadi cacat internal atau konsentrasi tegangan yang menyebabkan spesimen mengalami kegagalan lebih awal.

Nilai regangan rata-rata sebesar 1,67% menunjukkan bahwa material memiliki kemampuan deformasi plastis yang relatif rendah. Hal ini menandakan bahwa setelah proses *quenching* menggunakan air garam, egrek menjadi lebih keras tetapi juga lebih getas. Dibandingkan dengan spesimen yang didinginkan menggunakan oli SAE 10, material yang didinginkan dengan air garam cenderung memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga lebih mudah mengalami patah ketika menerima beban tarik.

3.2. Analisi Hasil Uji Tarik

1. Uji Tarik Non Perlakuan

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen non perlakuan, diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 15,49 N/mm^2, 16,19 N/mm^2, dan 15,94 N/mm^2 dengan rata-rata 15,87 N/mm^2 Sementara itu, nilai regangan yang dihasilkan berturut-turut adalah 0,03750 mm, 0,04375 mm, dan 0,03125 mm dengan rata-rata 0,0375 mm.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tegangan Uji Tarik Non Perlakuan

Non Perlakuan	Tegangan (N/mm2)
Perlakuan 1	15,49
Perlakuan 2	16,19
Perlakuan 3	15,94
Rata-Rata	15,87

Data hasil pengujian non perlakuan ini menjadi acuan dasar untuk mengevaluasi pengaruh proses *quenching* terhadap sifat mekanik egrek. Dengan membandingkan nilai tegangan dan regangan sebelum dan sesudah perlakuan panas, dapat diketahui sejauh mana media pendingin yang digunakan mampu meningkatkan kekuatan tarik maupun memengaruhi tingkat keuletan material.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Regangan Uji Tarik Non Perlakuan

Non Perlakuan	Regangan (mm)
Perlakuan 1	0,0375
Perlakuan 2	0,04375
Perlakuan 3	0,03125
Rata-Rata	0,0375

2. Uji Tarik Dengan Oli SAE 10

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen yang diberi perlakuan panas dengan media pendingin Oli SAE 10, diperoleh nilai tegangan rata-rata sebesar 13,32 N/mm^2 dan nilai regangan rata-rata sebesar 0,022917 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa setelah proses *quenching* menggunakan oli SAE 10, material masih memiliki kemampuan menahan beban tarik, meskipun terdapat variasi yang cukup besar antarspesimen.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Tegangan Uji Tarik Quenching Oli SAE 10

Oli SAE 10	Tegangan (N/mm^2)
Perlakuan 1	20,94
Perlakuan 2	14,71
Perlakuan 3	4,31
Rata-Rata	13,32

Nilai tegangan tertinggi diperoleh pada perlakuan pertama sebesar 20,94 N/mm^2, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan ketiga sebesar 4,31 N/mm^2. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh ketidakseragaman proses pemanasan, laju pendinginan, maupun kondisi spesimen saat pengujian. Selain itu, media pendingin oli memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air atau air garam, sehingga transformasi struktur mikro yang terjadi cenderung menghasilkan kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih moderat.

Tabel 7. Uji Tarik Quenching Oli SAE 10

Oli SAE 10	Regangan (mm)
Perlakuan 1	0,01875
Perlakuan 2	0,0375
Perlakuan 3	0,0125
Rata-Rata	0,022917

Nilai regangan rata-rata yang relatif rendah, yaitu 0,022917 mm, menunjukkan bahwa material mengalami deformasi plastis yang lebih kecil sebelum patah. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *quenching* dengan media oli SAE 10 memberikan perubahan pada sifat mekanik material, terutama dalam menyeimbangkan antara kekuatan dan keuletan. Data ini dapat digunakan sebagai pembanding dengan spesimen non perlakuan maupun spesimen yang didinginkan menggunakan media air garam untuk mengetahui media pendingin yang paling efektif dalam meningkatkan sifat mekanik egrek.

3. Uji Tarik Dengan Air Garam

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen yang mengalami perlakuan panas dengan media pendingin air garam, diperoleh nilai tegangan maksimum masing-masing sebesar 12,48 N/mm^2, 3,04 N/mm^2, dan 15,63 N/mm^2, dengan nilai rata-rata sebesar 10,38 N/mm^2. Sementara itu, nilai regangan yang diperoleh berturut-turut adalah 0,01875 mm, 0,00625 mm, dan 0,02500 mm, dengan rata-rata 0,016667 mm.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Tegangan Uji Tarik Quenching Air Garam

Air Garam	Tegangan (N/mm^2)
Perlakuan 1	12,48
Perlakuan 2	3,04
Perlakuan 3	15,63
Rata-Rata	10,38

Hasil tersebut menunjukkan bahwa spesimen yang didinginkan menggunakan air garam memiliki nilai regangan yang lebih rendah dibandingkan spesimen non perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *quenching* dengan media air garam menyebabkan material menjadi lebih keras namun cenderung lebih getas, sehingga kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis sebelum patah menjadi berkurang [11].

Tabel 9. Hasil Perhitungan Regangan Uji Tarik Quenching Air Garam

Air Garam	Regangan (mm)
Perlakuan 1	0,01875
Perlakuan 2	0,00625
Perlakuan 3	0,025
Rata-Rata	0,016667

3.3. Uji Kekerasan

1. Data Uji Kekerasan Non Perlakuan

Selain pengujian tarik, karakterisasi sifat mekanik bilah egrek juga dilakukan melalui pengujian kekerasan untuk mengevaluasi ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal yang terjadi akibat pembebanan terpusat pada permukaan. Pengujian kekerasan merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan material dalam menahan penetrasi serta memberikan gambaran mengenai perubahan mikrostruktur yang terjadi akibat proses perlakuan panas. Melakukan pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell dan melakukan pengukuran pada beberapa titik spesimen kemudian menghitung nilai rata-ratanya. Dengan indenter berbentuk kerucut intan

(*diamond cone indenter*) dan pembebanan sesuai standar pengujian Rockwell C.

Sebagaimana pada pengujian tarik, pengujian kekerasan pada spesimen tanpa perlakuan panas (*as-received*) bertujuan untuk memperoleh data awal (*baseline data*) yang merepresentasikan kondisi mekanik material sebelum mengalami perlakuan panas dan proses pendinginan. Data dasar ini digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi perubahan nilai kekerasan yang terjadi setelah material diberikan perlakuan panas dengan variasi media pendingin yang berbeda. Dengan demikian, pengaruh perlakuan panas terhadap peningkatan atau penurunan kekerasan material dapat dianalisis secara lebih objektif dan terukur.

Untuk meningkatkan tingkat keandalan hasil pengujian, pengukuran kekerasan dilakukan pada tiga titik berbeda yang tersebar pada permukaan spesimen. Pengambilan data pada beberapa titik bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat homogenitas distribusi kekerasan serta meminimalkan pengaruh variasi lokal yang mungkin timbul akibat ketidaksempurnaan permukaan, perbedaan mikrostruktur, maupun variasi proses manufaktur. Nilai kekerasan yang diperoleh dari ketiga titik pengujian kemudian digunakan untuk menentukan nilai rata- rata kekerasan spesimen sehingga dapat menggambarkan karakteristik kekerasan material secara lebih representatif. Gambar perlakuan spesimen non perlakuan sebelum dan setelah diuji adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Spesimen Non Perlakuan Diuji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan untuk spesimen non-perlakuan (*as-received*) disajikan sebagai berikut:

Tabel 10. Uji Kekerasan Non Perlakuan

Spesimen	Media *Quenching*	Titik Uji 1 (HRC)	Titik Uji 2 (HRC)	Titik Uji 3 (HRC)	Rata-rata (HR)
Egrek	Non Perlakuan	30,2	33	29,2	30,8

Berdasarkan data pada Tabel 10 Uji Kekerasan Non Perlakuan, berikut adalah narasi penjelasan hasil pengujian tersebut:Analisis Hasil Uji Kekerasan Spesimen Egrek (Non Perlakuan)Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen Egrek dalam kondisi as-received atau tanpa perlakuan (non-perlakuan). Pengujian ini menggunakan skala Rockwell C (HRC) dengan mengambil tiga titik uji yang berbeda untuk mendapatkan nilai yang representatif.1. Data Hasil PengujianTitik Uji 1: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 30,2 HRC.Titik Uji 2: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 33 HRC.Titik Uji 3: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 29,2 HRC.2. Nilai Rata-Rata KekerasanDari ketiga titik pengukuran tersebut, diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 30,8 HRC.3. Kesimpulan NaratifNilai rata-rata 30,8 HRC ini merupakan standar kekerasan awal (baseline) dari material egrek sebelum diberikan perlakuan panas (heat treatment) atau metode pengerasan lainnya. Perbedaan nilai di setiap titik uji (berkisar antara 29,2 hingga 33 HRC) menunjukkan adanya sedikit variasi mikrostruktur atau tingkat kehomogenan alami pada permukaan material asli tersebut. Data ini nantinya digunakan sebagai pembanding untuk melihat efektivitas media pengerasan (*quenching*) pada pengujian spesimen berikutnya.

2. Data Uji Kekerasan Oli SAE 10

Tahap pengujian kekerasan berikutnya dilakukan pada spesimen bilah egrek yang telah mengalami perlakuan panas dan proses pendinginan menggunakan media Oli SAE 10. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju pendinginan oli terhadap perubahan sifat mekanik material, khususnya tingkat kekerasan permukaan yang berkaitan erat dengan transformasi mikrostruktur akibat perlakuan panas. Melalui pengujian ini, dapat diketahui sejauh mana media pendingin Oli SAE 10 mampu menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dibandingkan kondisi awal material tanpa perlakuan.

Pendinginan menggunakan oli umumnya menghasilkan laju perpindahan panas yang lebih rendah dibandingkan media air atau air garam, sehingga proses transformasi fasa berlangsung lebih terkendali. Kondisi tersebut berpotensi menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang lebih seimbang antara kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan material. Oleh karena itu, pengujian kekerasan pada spesimen yang didinginkan menggunakan Oli SAE 10 menjadi penting untuk mengkaji efektivitas media pendingin tersebut dalam meningkatkan karakteristik permukaan bilah egrek.

Metode pengujian yang digunakan pada tahap ini tetap mengacu pada prosedur yang sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu menggunakan metode Rockwell skala C (HRC) dengan indenter kerucut intan (*diamond cone indenter*) dan pembebanan sesuai standar pengujian. Untuk memperoleh data yang representatif serta mengevaluasi keseragaman distribusi kekerasan pada material, pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda di permukaan spesimen. Nilai kekerasan yang diperoleh dari setiap titik pengujian kemudian dianalisis dan digunakan untuk menentukan nilai rata-rata kekerasan spesimen sebagai parameter utama dalam mengevaluasi pengaruh perlakuan panas dan media pendingin terhadap sifat mekanik material. Gambar perlakuan spesimen perlakuan Oli SAE 10 sebelum dan setelah diuji kekerasan adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Spesimen Oli SAE 10 Diuji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen yang mengalami perlakuan panas dengan media pendingin Oli SAE 10 disajikan pada berikut.

Tabel 11. Uji Kekerasan Quenching Oli SAE 10

Spesimen	Media *Quenching*	Titik Uji 1 (HRC)	Titik Uji 2 (HRC)	Titik Uji 3 (HRC)	Rata-rata (HR)
Egrek	Oli Sae 10	52	52,1	51,1	51,73

Berdasarkan data pada Tabel 11 Uji Kekerasan Oli SAE 10, berikut adalah narasi penjelasan hasil pengujian beserta analisis perbandingannya dengan kondisi tanpa perlakuan sebelumnya:Analisis Hasil Uji Kekerasan Spesimen Egrek (Media *Quenching* Oli SAE 10)Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen Egrek setelah melalui proses perlakuan panas (heat treatment) dengan menggunakan media pendingin cepat berupa Oli SAE 10. Pengujian diukur pada tiga titik berbeda menggunakan skala Rockwell C (HRC) untuk melihat konsistensi nilai kekerasan material.1. Data Hasil Pengujian Setelah *Quenching*Titik Uji 1: Menunjukkan nilai

kekerasan sebesar 52 HRC.Titik Uji 2: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 52,1 HRC.Titik Uji 3: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 51,1 HRC.2. Nilai Rata-Rata KekerasanDari ketiga titik pengukuran tersebut, diperoleh nilai kekerasan rata-rata yang sangat tinggi, yaitu sebesar 51,73 HRC. Jarak antar titik uji yang sangat dekat (berkisar antara 51,1 hingga 52,1 HRC) mengindikasikan bahwa struktur mikro yang terbentuk setelah pendinginan dengan Oli SAE 10 terdistribusi secara homogen dan merata di permukaan material.

Pembahasan Perbandingan (Sintesis dengan Data Awal)Jika dibandingkan dengan spesimen non-perlakuan (Tabel 10) yang hanya memiliki nilai rata-rata 30,8 HRC, proses pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan Oli SAE 10 berhasil meningkatkan kekerasan material secara signifikan sebesar 20,93 HRC (dari 30,8 HRC naik menjadi 51,73 HRC).Peningkatan drastis ini membuktikan bahwa laju pendinginan menggunakan Oli SAE 10 efektif memicu transformasi fasa pada baja egrek menjadi fasa martensit yang bersifat keras dan getas. Karakteristik kekerasan di atas 50 HRC ini sangat ideal untuk aplikasi alat potong seperti egrek agar memiliki ketahanan aus yang lebih baik saat digunakan.

3. Data Uji Kekerasan Air Garam

Tahap akhir pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen bilah egrek yang telah mengalami perlakuan panas dan proses pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media air garam. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju pendinginan yang tinggi terhadap perubahan sifat mekanik material, khususnya tingkat kekerasan permukaan yang dihasilkan setelah perlakuan panas. Penggunaan air garam sebagai media pendingin diketahui memiliki kemampuan ekstraksi panas yang lebih cepat dibandingkan media oli maupun air biasa, sehingga berpotensi menghasilkan transformasi mikrostruktur yang berbeda pada material.

Laju pendinginan yang tinggi selama proses *quenching* dapat mendorong terbentuknya fase martensit dalam jumlah yang lebih besar pada baja, yang umumnya berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan material. Namun demikian, pendinginan yang terlalu cepat juga dapat menimbulkan tegangan sisa (*residual stress*) yang tinggi serta meningkatkan risiko terbentuknya retak akibat *quenching*. Oleh karena itu, pengujian kekerasan pada spesimen yang didinginkan menggunakan air garam dilakukan untuk mengkaji efektivitas media pendingin tersebut dalam meningkatkan kekerasan permukaan sekaligus memahami pengaruhnya terhadap karakteristik material setelah perlakuan panas.

Prosedur pengujian yang digunakan pada tahap ini tetap mengacu pada metode yang sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu menggunakan metode Rockwell skala C (HRC) dengan indenter kerucut intan (*diamond cone indenter*) dan pembebanan sesuai standar pengujian. Untuk memperoleh hasil yang representatif dan mengevaluasi keseragaman distribusi kekerasan pada material, pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda pada permukaan spesimen. Data yang diperoleh dari ketiga titik pengujian kemudian digunakan untuk menentukan nilai rata-rata kekerasan spesimen sebagai dasar dalam menganalisis pengaruh perlakuan panas dengan media pendingin air garam terhadap sifat mekanik material. Gambar perlakuan spesimen perlakuan Air Garam sebelum dan setelah diuji kekerasan adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Spesimen Air Garam Yang Di Uji Kekerasan

Berdasarkan data pada Tabel 12 Uji Kekerasan Air Garam, berikut adalah narasi penjelasan hasil pengujian beserta analisis perbandingannya dengan data-data sebelumnya:Analisis Hasil Uji Kekerasan Spesimen Egrek (Media *Quenching* Air Garam)Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen Egrek setelah melalui proses perlakuan panas (heat treatment) dengan menggunakan media pendingin cepat berupa Air Garam. Pengujian diambil pada tiga titik uji yang berbeda menggunakan skala Rockwell C (HRC).1. Data Hasil Pengujian Setelah *Quenching*Titik Uji 1: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 43 HRC.Titik Uji 2: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 45,1 HRC.Titik Uji 3: Menunjukkan nilai kekerasan sebesar 56,1 HRC.2. Nilai Rata-Rata

Tabel 12. Uji Kekerasan Quenching Air Garam

Spesimen	Media *Quenching*	Titik Uji 1 (HRC)	Titik Uji 2 (HRC)	Titik Uji 3 (HRC)	Rata-rata (HR)
Egrek	Air Garam	43	45,1	56,1	48,06

Kekerasan Dari ketiga titik pengukuran tersebut, diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 48,06 HRC. Menariknya, terdapat lonjakan nilai yang sangat signifikan pada Titik Uji 3 (56,1 HRC) dibandingkan Titik Uji 1 dan 2. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakseragaman mikrostruktur (inhomogenitas) pada permukaan material, yang bisa dipicu oleh laju pendinginan yang terlalu ekstrem atau terbentuknya kantung uap (vapor blanket) yang tidak merata saat proses pencelupan ke dalam air garam.3. Pembahasan Perbandingan Kompleks (Sintesis Seluruh Data)Jika seluruh hasil pengujian dikomparasikan, dapat ditarik benang merah mengenai pengaruh media pendingin terhadap kekerasan baja egrek:Peningkatan dari Baseline: Media air garam berhasil meningkatkan kekerasan rata- rata material secara signifikan sebesar 17,26 HRC jika dibandingkan dengan spesimen non-perlakuan (Tabel 10) yang hanya bernilai 30,8 HRC.Perbandingan Air Garam vs Oli SAE 10: Secara rata-rata, *quenching* menggunakan Oli SAE 10 (51,73 HRC) menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dan jauh lebih stabil/homogen dibandingkan dengan Air Garam (48,06 HRC).Efek Karakteristik Media: Meskipun air garam secara teori memiliki laju pendinginan yang sangat cepat, sifat pendinginannya yang agresif sering kali memicu tegangan dalam (internal stress) dan ketidakmerataan struktur mikro pada permukaan sampel. Sebaliknya, Oli SAE 10 memberikan laju pendinginan yang lebih stabil, sehingga menghasilkan kombinasi kekerasan yang tinggi sekaligus struktur yang lebih seragam pada material egrek.

3.4. Pembahasan

Penggunaan serta mengurangi umur pakai alat. Kombinasi antara nilai tegangan tarik rata-rata yang relatif tinggi dan regangan yang masih cukup besar menunjukkan bahwa material non- perlakuan memiliki keseimbangan antara kekuatan (strength) dan keuletan (ductility). menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik dapat digunakan untuk mengetahui hubungan antara kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan regangan material [9]. Kondisi ini merupakan karakteristik yang baik untuk material kerja karena mampu menahan beban mekanis sekaligus menyerap energi akibat pembebanan tanpa langsung mengalami kerusakan. Secara metalurgi, keseimbangan tersebut menunjukkan bahwa struktur mikro awal material masih didominasi oleh fasa yang memberikan sifat ulet, seperti ferit dan perlit, sehingga material tidak terlalu keras namun tetap memiliki kemampuan deformasi yang baik.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Kekerasan Non Perlakuan

Media Quenching	Titik 1 Nilai H (mm)	Titik 2 Nilai H (mm)	Titik 3 Nilai H (mm)	Rata-Rata
Non Perlakuan	0,1396	0,134	0,1416	0,1384

Hasil ini juga dapat dijadikan sebagai data acuan (baseline) untuk membandingkan perubahan sifat mekanik setelah dilakukan perlakuan panas *quenching* menggunakan media pendingin oli SAE 10 dan air garam. Umumnya, proses *quenching* akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik akibat terbentuknya struktur martensit, tetapi peningkatan tersebut sering kali diikuti dengan penurunan nilai regangan atau keuletan material. Oleh karena itu, data pengujian spesimen non-perlakuan ini sangat penting untuk mengevaluasi sejauh mana proses *quenching* mampu meningkatkan performa mekanik egrek tanpa menyebabkan material menjadi terlalu getas. Dengan demikian, hasil pengujian tarik pada kondisi awal menunjukkan bahwa material egrek memiliki sifat mekanik yang cukup seimbang dan layak dijadikan dasar dalam analisis pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan kekuatan dan keuletannya.

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen egrek yang telah mengalami proses *quenching* menggunakan media pendingin oli SAE 10, diperoleh nilai tegangan tarik berturut-turut sebesar 20,94 N/mm^2, 14,71 N/mm^2, dan 4,31 N/mm^2 dengan nilai rata-rata sebesar 13,32 N/mm^2. Sementara itu, nilai regangan rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 0,0229 mm atau sekitar 2,29%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan *quenching* menggunakan oli SAE 10 memberikan perubahan terhadap sifat mekanik material, khususnya pada kekuatan tarik dan tingkat keuletannya. Dibandingkan dengan material tanpa perlakuan, nilai regangan yang lebih kecil menunjukkan bahwa material mengalami penurunan kemampuan deformasi plastis sebelum patah.

Tabel 14. Hasil Perhitungan Kekerasan Quenching Oli SAE10

Media Quenching	**Titik 1 Nilai H (mm)**	**Titik 2 Nilai H (mm)**	**Titik 3 Nilai H (mm)**	**Rata-Rata**
Oli SAE 10	0,096	0,0998	0,0978	0,097867

Nilai tegangan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen pertama, yaitu sebesar 20,94 N/mm^2. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa proses *quenching* berhasil meningkatkan kekuatan material akibat terbentuknya struktur mikro yang lebih keras, seperti martensit. Media pendingin oli SAE 10 memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air garam, sehingga proses transformasi fasa berlangsung lebih terkendali dan dapat menghasilkan kombinasi sifat kekuatan serta ketangguhan yang relatif baik. Pembentukan struktur martensit tersebut menyebabkan material memiliki kemampuan yang lebih besar dalam menahan beban tarik sebelum mengalami kegagalan.

Hasil pengujian juga menunjukkan adanya variasi yang cukup besar antarspesimen. Spesimen kedua mengalami penurunan nilai tegangan tarik menjadi 14,71 N/mm^2, sedangkan spesimen ketiga menunjukkan penurunan yang sangat signifikan hingga hanya mencapai 4,31 N/mm^2. Variasi yang cukup lebar ini menyebabkan nilai rata-rata keseluruhan menjadi lebih rendah dibandingkan nilai maksimum yang dicapai pada spesimen pertama. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ketidakhomogenan distribusi temperatur selama proses pemanasan, perbedaan laju pendinginan pada setiap bagian spesimen, ketidakkonsistenan waktu pencelupan ke dalam media pendingin, maupun adanya cacat awal pada material seperti porositas, retak mikro, atau inklusi yang dapat menjadi titik awal terjadinya kegagalan saat pengujian tarik.

Tabel 15. Hasil Perhitugan Kekerasan Quenching Air Garam

Media Quenching	**Titik 1 Nilai H (mm)**	**Titik 2 Nilai H (mm)**	**Titik 3 Nilai H (mm)**	**Rata-Rata**
Air Garam	0,114	0,1098	0,0878	0,103867

Selain faktor proses perlakuan panas, kondisi permukaan dan dimensi spesimen juga dapat memengaruhi hasil pengujian. Kesalahan kecil dalam proses pemesinan spesimen atau ketidaktepatan penjepitan pada mesin uji tarik dapat menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata sehingga mengakibatkan nilai kekuatan tarik yang berbeda pada setiap pengujian. Oleh karena itu, variasi data yang diperoleh menunjukkan bahwa konsistensi proses perlakuan panas dan prosedur pengujian sangat berpengaruh terhadap karakteristik mekanik material.

Nilai regangan rata-rata sebesar 0,0229 mm menunjukkan bahwa setelah dilakukan *quenching* menggunakan oli SAE 10, material mengalami penurunan keuletan dibandingkan spesimen tanpa perlakuan yang memiliki regangan rata-rata sebesar 0,0375. Penurunan regangan ini mengindikasikan bahwa material menjadi lebih keras dan lebih kuat, tetapi kemampuan untuk mengalami deformasi plastis sebelum patah berkurang. Kondisi tersebut merupakan karakteristik umum dari proses *quenching*, di mana peningkatan kekerasan biasanya diikuti oleh penurunan sifat keuletan akibat terbentuknya struktur martensit yang bersifat lebih keras dan relatif getas.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan *quenching* menggunakan media oli SAE 10 mampu meningkatkan kekuatan tarik pada spesimen tertentu, sebagaimana terlihat pada spesimen pertama yang mencapai nilai tertinggi sebesar 20,94 N/mm^2. Akan tetapi, adanya penurunan yang cukup besar pada spesimen lainnya menyebabkan nilai rata- rata keseluruhan menjadi 13,32 N/mm^2. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas proses *quenching* sangat dipengaruhi oleh keseragaman perlakuan panas dan proses pendinginan. Dengan demikian, pengendalian parameter perlakuan panas, seperti suhu austenitisasi, waktu penahanan (holding time), serta konsistensi media pendingin, sangat diperlukan untuk memperoleh sifat mekanik egrek yang lebih seragam dan optimal.

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen egrek yang telah mengalami perlakuan *quenching* menggunakan media pendingin air garam, diperoleh nilai tegangan tarik berturut-turut sebesar 12,48 N/mm^2, 3,04 N/mm^2, dan 15,63 N/mm^2 dengan nilai rata-rata sebesar 10,38 N/mm^2. Sementara itu, nilai regangan rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 0,0167 mm atau sekitar 1,67%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses *quenching* menggunakan air garam memberikan perubahan yang cukup signifikan terhadap sifat mekanik material, terutama pada penurunan kemampuan deformasi plastis dan penurunan kekuatan tarik rata-rata dibandingkan spesimen tanpa perlakuan maupun spesimen yang didinginkan menggunakan oli SAE 10.

Media pendingin air garam (brine) dikenal memiliki kemampuan menyerap panas lebih cepat dibandingkan air biasa maupun oli karena adanya kandungan garam yang dapat mengurangi terbentuknya lapisan uap (vapor blanket) di permukaan benda kerja. Akibatnya, laju pendinginan menjadi sangat tinggi sehingga transformasi struktur austenit menjadi martensit berlangsung lebih sempurna [12]. Pembentukan martensit ini menyebabkan peningkatan kekerasan material, tetapi pada saat yang sama juga mengurangi sifat keuletannya. Hal ini terlihat dari nilai regangan rata- rata sebesar 0,0167 mm yang merupakan nilai paling rendah di antara seluruh variasi perlakuan. Rendahnya nilai regangan tersebut menunjukkan bahwa material hanya mengalami sedikit deformasi plastis sebelum akhirnya patah, sehingga dapat dikatakan bahwa material menjadi lebih getas *(brittle*).

Variasi nilai tegangan tarik antarspesimen juga terlihat cukup besar. Spesimen pertama memiliki tegangan tarik sebesar 12,48 N/mm^2, spesimen kedua hanya mencapai 3,04 N/mm^2, sedangkan spesimen ketiga memperoleh nilai tertinggi sebesar 15,63 N/mm^2. Perbedaan yang cukup signifikan ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas dan pendinginan belum menghasilkan kondisi yang benar-benar homogen pada seluruh spesimen. Nilai yang sangat rendah pada spesimen kedua diduga disebabkan oleh adanya cacat mikro, distribusi temperatur yang tidak merata selama pemanasan, atau perbedaan laju pendinginan pada saat pencelupan ke dalam media air garam. Selain itu, kemungkinan adanya ketidaksempurnaan struktur mikro atau retak awal pada material juga dapat menjadi penyebab rendahnya kemampuan spesimen dalam menahan beban tarik.

Penurunan nilai tegangan tarik rata-rata menjadi 10,38 N/mm^2 menunjukkan bahwa pendinginan yang terlalu cepat tidak selalu memberikan peningkatan sifat mekanik secara menyeluruh. Meskipun *quenching* air garam mampu menghasilkan struktur yang lebih keras, laju

pendinginan yang sangat tinggi dapat menimbulkan tegangan sisa (residual stress) di dalam material. Tegangan sisa tersebut muncul akibat perbedaan kecepatan pendinginan antara bagian permukaan dan bagian inti material, sehingga terjadi penyusutan yang tidak seragam. Kondisi ini dapat memicu terbentuknya retak-retak mikro (microcracks) yang berfungsi sebagai titik konsentrasi tegangan ketika material menerima beban tarik. Akibatnya, spesimen lebih mudah mengalami kegagalan dan nilai kekuatan tariknya menjadi menurun.

Jika dibandingkan dengan spesimen non-perlakuan yang memiliki rata-rata tegangan tarik sebesar 10,38 N/mm^2 dan regangan sebesar 0,0375 mm, maupun spesimen *quenching* oli SAE 10 dengan rata-rata tegangan tarik 13,32 N/mm^2 dan regangan 0,0229 mm, maka perlakuan *quenching* menggunakan air garam menghasilkan sifat material yang paling getas. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan nilai regangan yang paling besar serta nilai tegangan tarik rata-rata yang paling rendah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa meskipun air garam efektif dalam meningkatkan kekerasan material, media pendingin ini kurang mampu mempertahankankeseimbangan antara kekuatan dan keuletan yang dibutuhkan oleh komponen egrek. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media pendingin air garam pada proses *quenching* menyebabkan material mengalami transformasi struktur mikro yang menghasilkan tingkat kekerasan tinggi, tetapi diikuti oleh meningkatnya sifat getas akibat terbentuknya tegangan sisa dan kemungkinan retak mikro. Oleh karena itu, untuk aplikasi egrek yang memerlukan kombinasi sifat kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap beban kejut selama penggunaan, proses *quenching* dengan media air garam perlu dikontrol secara cermat atau dipadukan dengan perlakuan lanjutan seperti tempering agar sifat mekanik yang dihasilkan menjadi lebih optimal.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan diperoleh gambaran mengenai karakteristik kekerasan awal material bilah egrek pada kondisi tanpa perlakuan panas (*as-received*). Hasil pengukuran pada tiga titik pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan material relatif homogen dengan variasi yang tidak terlalu signifikan. Nilai kekerasan pada titik pengujian pertama sebesar 30,2 HRC, pada titik kedua sebesar 33 HRC, dan pada titik ketiga sebesar 29,2 HRC. Variasi nilai yang relatif kecil tersebut mengindikasikan bahwa distribusi kekerasan pada permukaan material cukup seragam, sehingga menunjukkan tingkat homogenitas mikrostruktur yang baik pada kondisi awal material. Perbedaan nilai kekerasan antar titik pengujian dapat disebabkan oleh faktor-faktor lokal, seperti ketidaksempurnaan permukaan spesimen, variasi ukuran butir, distribusi fasa mikrostruktur, maupun kondisi batas butir yang memengaruhi respons material terhadap penetrasi indenter selama pengujian.

Berdasarkan ketiga nilai pengukuran tersebut, diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 30,8 HRC. Nilai ini menunjukkan bahwa material dasar penyusun bilah egrek telah memiliki tingkat kekerasan yang relatif baik sebelum diberikan perlakuan panas. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa material yang digunakan kemungkinan merupakan baja karbon menengah hingga baja karbon tinggi yang memang dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi kekuatan dan ketahanan aus yang memadai. Kekerasan awal yang dimiliki material merupakan hasil dari komposisi kimia dan proses manufaktur yang telah diterapkan selama proses produksi, sehingga terbentuk mikrostruktur yang mampu memberikan ketahanan terhadap deformasi plastis pada permukaan.

Meskipun demikian, nilai kekerasan rata-rata sebesar 30,8 HRC masih tergolong moderat untuk aplikasi pemotongan yang bekerja pada kondisi pembebanan berulang dan lingkungan kerja yang abrasif, seperti penggunaan bilah egrek dalam pemanenan kelapa sawit. Pada kondisi operasional tersebut, mata pisau akan mengalami gesekan dan kontak berulang dengan pelepah maupun tandan sawit, sehingga berpotensi mempercepat terjadinya keausan permukaan dan penurunan ketajaman alat. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan sifat mekanik melalui proses perlakuan panas untuk memodifikasi mikrostruktur material sehingga diperoleh tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Peningkatan kekerasan tersebut diharapkan dapat meningkatkan ketahanan aus, mempertahankan ketajaman mata pisau dalam jangka waktu yang lebih lama, serta memperpanjang umur pakai bilah egrek selama digunakan di lapangan.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dapat dilakukan analisis terhadap pengaruh perlakuan panas dengan media pendingin Oli SAE 10 terhadap peningkatan kekerasan material bilah egrek. Hasil pengukuran pada tiga titik pengujian menunjukkan nilai kekerasan yang relatif seragam, yaitu sebesar 52 HRC pada titik pertama, 52,1 HRC pada titik kedua, dan 51,1 HRC pada titik ketiga. Variasi nilai yang sangat kecil antar titik pengujian mengindikasikan bahwa distribusi kekerasan pada permukaan spesimen cukup homogen. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan mampu menghasilkan transformasi mikrostruktur yang relatif merata pada area yang diuji, sehingga sifat mekanik yang terbentuk cenderung seragam di seluruh permukaan spesimen.

Berdasarkan ketiga hasil pengukuran tersebut, diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 51,73 HRC. Nilai ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan kondisi tanpa perlakuan panas (*as- received*) yang hanya memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 30,8 HRC. Peningkatan kekerasan tersebut mengindikasikan bahwa perlakuan panas yang diikuti dengan pendinginan menggunakan Oli SAE 10 telah berhasil mengubah mikrostruktur material menjadi kondisi yang lebih keras. Pada baja karbon, pendinginan cepat setelah proses austenitisasi dapat mendorong terbentuknya fase martensit, yaitu struktur mikro yang memiliki kekerasan tinggi akibat terperangkapnya atom karbon dalam kisi kristal besi selama proses transformasi yang berlangsung secara cepat.

Media pendingin Oli SAE 10 memiliki laju pendinginan yang lebih rendah dibandingkan air garam, namun masih cukup efektif untuk menghasilkan transformasi mikrostruktur yang meningkatkan kekerasan material. Pendinginan yang lebih terkendali ini memungkinkan pembentukan martensit dengan risiko tegangan sisa (*residual stress*) dan retak akibat *quenching* yang relatif lebih rendah dibandingkan media pendingin yang lebih agresif. Hal ini dapat menjadi salah satu faktor yang menyebabkan nilai kekerasan yang diperoleh relatif konsisten pada seluruh titik pengujian.

Peningkatan nilai kekerasan hingga mencapai rata-rata 51,73 HRC menunjukkan bahwa perlakuan panas dengan media pendingin Oli SAE 10 efektif dalam meningkatkan ketahanan permukaan material terhadap deformasi plastis dan keausan abrasif. Dari sudut pandang aplikasi, peningkatan kekerasan ini sangat menguntungkan karena bilah egrek akan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan ketajaman mata pisau selama digunakan untuk memotong pelepah maupun tandan kelapa sawit. Kekerasan yang lebih tinggi umumnya berkorelasi dengan peningkatan ketahanan aus (*wear resistance*), sehingga umur pakai alat dapat menjadi lebih panjang. Meskipun demikian, peningkatan kekerasan biasanya diikuti oleh penurunan keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) material. Oleh karena itu, perlakuan panas dengan pendinginan Oli SAE 10 menghasilkan keseimbangan sifat mekanik yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaannya. Berdasarkan hasil pengujian, media pendingin Oli SAE 10 dapat dikategorikan sebagai media yang efektif dalam meningkatkan kekerasan bilah egrek tanpa menimbulkan variasi kekerasan yang besar, sehingga mampu menghasilkan karakteristik mekanik yang lebih seragam dan sesuai untuk aplikasi pemotongan yang memerlukan ketahanan aus tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dapat dilakukan analisis terhadap pengaruh perlakuan panas dengan media pendingin air garam terhadap karakteristik kekerasan permukaan material bilah egrek. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada tiga titik pengujian memiliki variasi yang relatif lebih besar dibandingkan spesimen yang didinginkan menggunakan Oli SAE 10. Nilai kekerasan yang diperoleh pada titik pengujian pertama sebesar 43 HRC, pada titik kedua sebesar 45,1 HRC, dan pada titik ketiga mencapai nilai tertinggi sebesar 56,1 HRC. Perbedaan nilai kekerasan yang cukup signifikan antar titik pengujian mengindikasikan adanya ketidakseragaman distribusi kekerasan pada permukaan spesimen setelah proses *quenching* menggunakan media air garam.

Variasi kekerasan tersebut menunjukkan bahwa transformasi mikrostruktur yang terjadi selama proses pendinginan tidak berlangsung secara homogen pada seluruh bagian material. Air garam merupakan media pendingin yang memiliki kemampuan ekstraksi panas sangat tinggi sehingga menghasilkan laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan media oli. Perbedaan laju transformasi fasa pada berbagai bagian material, sehingga terbentuk distribusi mikrostruktur yang tidak sepenuhnya seragam. Akibatnya, beberapa area dapat mengalami pembentukan martensit dalam jumlah yang lebih besar, sedangkan area lainnya mungkin mengandung kombinasi fasa yang berbeda sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang bervariasi.

Berdasarkan hasil pengukuran pada ketiga titik pengujian, diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 48,06 HRC. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan kondisi awal (*as-received*) yang hanya memiliki kekerasan rata-rata sebesar 30,8 HRC. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa perlakuan panas yang diikuti dengan pendinginan menggunakan air garam berhasil memodifikasi mikrostruktur material menuju kondisi yang lebih keras. Transformasi fasa yang terjadi selama proses pendinginan cepat memungkinkan terbentuknya struktur martensit yang berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan permukaan material.

Meskipun demikian, apabila dibandingkan dengan spesimen yang didinginkan menggunakan Oli SAE 10 yang memiliki nilai kekerasan rata- rata sebesar 51,73 HRC, hasil yang diperoleh pada media air garam justru sedikit lebih rendah. Secara teoritis, media air garam seharusnya mampu menghasilkan laju pendinginan yang lebih tinggi sehingga berpotensi membentuk martensit dalam jumlah yang lebih besar. Akan tetapi, laju pendinginan yang terlalu cepat juga dapat menimbulkan konsekuensi berupa peningkatan tegangan sisa (*residual stress*) akibat gradien temperatur yang besar antara permukaan dan bagian dalam material selama proses *quenching*.

Tegangan sisa yang tinggi dapat menyebabkan terbentuknya retak-retak mikro (microcrack) yang sulit terlihat secara langsung. Adanya cacat tersebut dapat memengaruhi hasil pengujian kekerasan sehingga nilai kekerasan pada beberapa titik menjadi lebih rendah dan kurang seragam. Selain itu, retak mikro juga dapat menurunkan kekuatan material meskipun tingkat kekerasannya meningkat.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan kekerasan Rockwell pada egrek tanpa perlakuan serta setelah proses *quenching* pada suhu 900 °C dengan waktu penahanan 30 menit, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin menghasilkan kecenderungan perubahan sifat mekanik yang berbeda. Rata-rata tegangan tarik menurun dari 81,70 N/mm² pada spesimen tanpa perlakuan menjadi 59,47 N/mm² setelah *quenching* menggunakan oli SAE 10 dan 46,37 N/mm² setelah *quenching* menggunakan larutan air garam NaCl 10%. Sebaliknya, rata-rata kekerasan meningkat dari 30,8 HRC pada kondisi awal menjadi 51,7 HRC pada media oli SAE 10 dan 54,0 HRC pada media air garam. Dengan demikian, pada kondisi eksperimen yang diteliti, media air garam menghasilkan nilai kekerasan rata-rata tertinggi, sedangkan media oli SAE 10 mempertahankan tegangan tarik rata-rata lebih tinggi dibandingkan media air garam.

Hasil tersebut menunjukkan adanya *trade-off* antara kekerasan dan tegangan tarik: peningkatan kekerasan setelah *quenching* tidak diikuti peningkatan tegangan tarik. Penurunan tegangan tarik relatif terhadap kondisi tanpa perlakuan adalah sekitar 27,2% pada media oli SAE 10 dan 43,2% pada media air garam. Sementara itu, kekerasan meningkat sekitar 67,9% pada media oli SAE 10 dan 75,3% pada media air garam. Oleh karena itu, berdasarkan dua parameter mekanik yang diukur, pemilihan media pendingin perlu mempertimbangkan kebutuhan kekerasan sekaligus kemampuan material mempertahankan tegangan tarik, bukan hanya berdasarkan nilai kekerasan tertinggi.

Kesimpulan ini terbatas pada kondisi dan spesimen yang diuji. Karena pengujian struktur mikro dan ketangguhan tidak dilakukan, hasil penelitian belum dapat digunakan untuk memastikan terbentuknya fase martensit, menentukan tingkat ketangguhan, atau menyatakan bahwa material menjadi lebih getas. Selain itu, hasil kekerasan perlu ditafsirkan secara deskriptif karena tiga titik pengukuran pada satu spesimen untuk setiap kondisi tidak mewakili tiga spesimen eksperimen independen. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan replikasi spesimen kekerasan yang memadai serta pengujian struktur mikro apabila mekanisme perubahan sifat material hendak dipastikan.

Referensi

[1] R. Y. H. Umi Kulsum1)*), Aini Lostari2, Didik Sugiono3 and 4 1, 2, 3, "PENGARUH PENDINGINAN UDARA BEBAS, AIR, OLI, DAN AIR GARAM TERHADAP MATERIAL BAJA SUP 9 DENGAN PERLAKUAN PANAS," vol. 01, pp. 6–10, 2025, [Online]. Available: http://journal.umpo.ac.id/index.php/JTM/index

[2] 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," vol. 19, no. 1, pp. 77–84, 2024.

[3] A. F. P. N and R. Shofiyah, "Karakterisasi Baja ST-41 Dengan Variasi Media Pendingin (Air Belerang Dan Air Radiator)," vol. 1, no. 6, pp. 871–879, 2022.

[4] E. P. D. Boangmanalu, J. F. H. T. Saragi, A. B. Pratama, Sahat, dan P. Bangun, "Uji kekuatan tarik komposit epoksi diperkuat serat daun nanas (Ananas comosus) berdasarkan variasi fraksi volume serat," Jurnal Inovator, vol. 8, no. 2, hlm. 123–128, 2025.

[5] C. B. K. S. Nota Ali Sukarno1, Abdul Azis1, Siska Irma Budianti1, "Pengaruh proses quenching dengan variasi media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045 Nota," vol. 5, no. 1, pp. 140–144, 2025, doi: https://doi.org/10.54199/pjse.v5i1.493.

[6] T. Ernita, A. R. Khairi, and B. Rachman, "Rancang Bangun Egrek Mekanis Pemotong Tandan Buah pada Proses Pengambilan Sawit Secara Ergonomis," vol. 25, pp. 93–100, 2025, doi: https://doi.org/10.36275/rgstnx33 PENDAHULUAN.

[7] A. S. 2) dan S. M. Suherman1) and 1), "Perbaikan Sifat Fisis Dan Mekanis Alat Panen Buah Kelapa Sawit (Egrek dan dodos) Produk Lokal," vol. I, no. 11, pp. 37–43, 2012.

[8] E. Erizal dan M. Halil, "Uji kekerasan material komposit dari bahan tulang sapi untuk bahan dasar pembuatan helm," Jurnal Inovator, vol. 9, no. 1, hlm. 47–50, 2026.

[9] A. Pellegrini, M. Grazia, and G. Fulvio, "Impact of post treatment processes on the performance of 316L stainless steel parts manufactured through metal material extrusion additive manufacturing," pp. 5359–5371, 2025.

[10] M. H. D. P. Rahman and F. A. Kurniawan, "ANALISA KEKUATAN MATERIAL BAHAN CARBON STEEL AISI 1018 DAN BAJA TULANGAN POLOS SNI P40 SEBAGAI ANGKUR," vol. 17, no. 3, 2022.

[11] D. Angga, P. Achmaddillah, S. Hadi, and K. A. Nursyifa, "Analisis Hasil Uji Tarik Baja Karbon Penampang Silindris dan Segiempat," no. November 2025, 2026, doi: https://doi.org/10.61132/konstruksi.v4i1.1285.

[12] P. A. S. Prof.Ir.Sasi Kirono, Msi1., "PENGARUH PROSES TEMPERING PADA BAJA KARBON MEDIUM SETELAH QUENCHING DENGAN MEDIA OLI DAN AIR GARAM (NACL) TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO.," vol. 5, no.https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/125