

Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 1040 dan Baja AISI 1042 untuk Aplikasi Mata Pisau Mesin Pencacah

Rahmat *¹
Rahmat Fajrul ²

^{1,2} Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: rahmadbks01@gmail.com¹, rahmatfajrul@polbeng.ac.id²

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan media pendingin oli terhadap kekerasan Rockwell dari baja AISI 1040 dan baja AISI 1042 dengan ketebalan 10 mm pada proses heat treatment. Proses heat treatment banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan menambah unsur carbon pada baja yang memiliki nilai kekerasan yang rendah dan perlu di berikan perlakuan khusus untuk meningkatkan kekerasan baja tersebut. Metode penelitian menggunakan metode eksperimen. Pada penelitian ini menggunakan media pendingin oli dengan SAE W10-30. Dalam penelitian ini proses heat treatment ini menggunakan variasi temperature 700, 800 dan 900 °C dan holding time 10 menit. Adapun untuk peningkatan kekerasan tertinggi terdapat pada suhu 900°C pada proses heat treatment pada baja AISI 1040 yaitu sebesar 77,25 HRC menjadi 96,45 HRC dengan jumlah peningkatan sebesar 19,2 HRC atau rata-rata peningkatan sebesar 24,85%. Dan nilai peningkatan kekerasan terendah sebesar suhu 700 dan 800°C pada proses heat treatment pada baja AISI 1042 yaitu sebesar 85,1 HRC menjadi 91,75 HRC dengan jumlah peningkatan sebesar 6,65 HRC atau rata-rata peningkatan sebesar 7,81%.

Kata Kunci: Heat Treatment, Kekerasan Rockwell, Baja AISI 1040 dan 1042, Oli

Abstract

This research is conducted to investigate the influence of variation in temperature and oil quenching media on the Rockwell hardness of AISI 1040 and AISI 1042 steel with a thickness of 10 mm in the heat treatment process. The heat treatment process is widely used to increase the hardness and add carbon elements to steel that has low hardness and needs special treatment to increase its hardness. The research method used is an experimental method. This study uses oil quenching media with SAE W10-30. In this study, the heat treatment process uses temperature variations of 700, 800, and 900 °C and a holding time of 10 minutes. The highest increase in hardness occurs at a temperature of 900°C in the heat treatment process on AISI 1040 steel, which is 77.25 HRC to 96.45 HRC with an increase of 19.2 HRC or an average increase of 24.85%. The lowest increase in hardness value is at temperatures of 700 and 800°C in the heat treatment process on AISI 1042 steel, which is 85.1 HRC to 91.75 HRC with an increase of 6.65 HRC or an average increase of 7.81%.

Keywords: Heat Treatment, Rockwell Hardness, AISI 1040 and 1042 Steel, Oil

PENDAHULUAN

Mesin pencacah merupakan alat penting dalam berbagai industri, digunakan untuk memotong bahan menjadi bagian-bagian kecil. Kinerja mesin ini sangat bergantung pada kualitas mata pisaunya, yang harus memiliki sifat mekanis unggul, terutama kekerasan dan ketangguhan, agar mampu memotong material secara efektif dan tahan terhadap aus maupun patah. Mata pisau yang tidak memiliki kekerasan yang memadai akan cepat mengalami keausan, mengurangi efisiensi kerja mesin dan meningkatkan biaya operasional akibat frekuensi penggantian yang lebih sering. Baja adalah material yang sering digunakan untuk pembuatan mata pisau mesin pencacah karena memiliki kekuatan yang tinggi, stabilitas struktural, serta kekerasan yang mumpuni. Sifat-sifat ini membuat baja menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi, termasuk komponen mesin dan peralatan yang memerlukan ketahanan terhadap beban mekanis. Namun, dalam penggunaannya, baja akan mengalami berbagai gaya seperti tekan, tarik, dan gesek secara berulang, yang dapat mengurangi performa material jika tidak diolah dengan benar. Oleh karena

itu, diperlukan perlakuan panas (heat treatment) untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis baja, terutama kekerasan dan ketangguhannya.

Proses heat treatment adalah teknik yang digunakan untuk mengubah struktur mikro dan sifat mekanis material melalui pemanasan dan pendinginan terkendali. Proses ini melibatkan dua tahap utama, yaitu austenisasi dan pendinginan. Pada tahap austenisasi, baja dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu, di mana struktur mikro ferrite dan perlite berubah menjadi austenit. Struktur austenit ini memiliki kekerasan yang relatif rendah tetapi kekuatan tarik yang tinggi. Pada tahap pendinginan, baja didinginkan dengan cepat untuk membentuk martensit, sebuah struktur mikro yang memiliki kekerasan tinggi namun kekuatan tarik yang lebih rendah. Martensit inilah yang diinginkan untuk aplikasi mata pisau karena mampu memberikan ketahanan terhadap deformasi dan keausan. Faktor-faktor seperti temperatur austenisasi dan media pendingin sangat mempengaruhi sifat akhir baja setelah perlakuan panas. Temperatur austenisasi yang lebih tinggi cenderung menghasilkan martensit dalam jumlah yang lebih banyak, meningkatkan kekerasan baja secara signifikan. Sementara itu, penggunaan media pendingin yang cepat, seperti oli, akan menghasilkan martensit yang lebih halus, yang pada gilirannya juga meningkatkan kekerasan material.

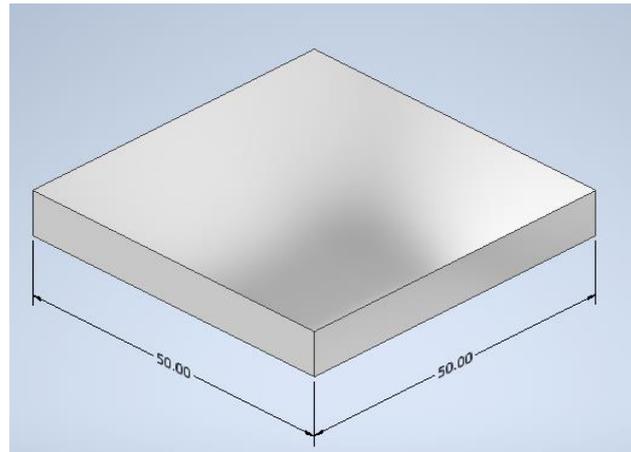
Baja AISI 1040 dan AISI 1042, yang termasuk dalam kategori baja karbon menengah, banyak digunakan dalam aplikasi mata pisau mesin pencacah karena keseimbangan sifat mekanisnya yang baik. Baja AISI 1040 memiliki kandungan karbon sebesar 0,40%, sedangkan AISI 1042 memiliki kandungan karbon sebesar 0,42%. Kedua jenis baja ini dikenal memiliki kekerasan dan ketangguhan yang dapat dioptimalkan melalui perlakuan panas.

Pengujian kekerasan, khususnya dengan metode Rockwell, menjadi metode standar untuk mengevaluasi kemampuan suatu material dalam menahan deformasi akibat beban yang diterapkan. Melalui pengujian ini, dapat dianalisis seberapa besar kekerasan baja setelah menjalani proses heat treatment, yang menjadi indikator utama dalam menentukan kualitas dan keandalan mata pisau yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh variasi temperatur heat treatment (700°C, 800°C, dan 900°C) dengan media pendingin oli terhadap sifat mekanis baja AISI 1040 dan AISI 1042 untuk aplikasi mata pisau mesin pencacah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemahaman lebih lanjut mengenai optimasi proses heat treatment pada baja karbon menengah untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi antara kekerasan dan ketangguhan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi pengaruh proses heat treatment dan quenching terhadap kekerasan permukaan baja karbon sedang, yaitu baja AISI 1040 dan AISI 1042. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan, Politeknik Negeri Bengkalis. Tahapan penelitian dimulai dengan perencanaan, yang mencakup penyusunan rancangan penelitian dan penentuan variabel-variabel yang akan diuji. Selanjutnya, pelaksanaan penelitian dilakukan di Politeknik Negeri Bengkalis, dengan memastikan semua fasilitas, seperti bengkel dan laboratorium, telah dipersiapkan melalui pengurusan perizinan yang diperlukan. Terakhir, data dikumpulkan dan diolah berdasarkan hasil pengujian kekerasan sebelum dan sesudah perlakuan heat treatment dan quenching, untuk menilai seberapa besar pengaruh dari proses tersebut terhadap kekerasan material. Hasil pengujian ini dianalisis untuk menentukan pengaruh variasi temperatur dan media pendingin terhadap kekerasan baja AISI 1040 dan AISI 1042. Berikut ini disajikan bentuk ukuran spesimen dan pengambilan titik pada specimen uji.



Gambar 1. Spesimen Uji Kekerasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah baja karbon sedang, yaitu AISI 1040 dan AISI 1042, yang sering diterapkan dalam industri karena sifat mekanik dan kemampuannya untuk mengalami perlakuan panas. Baja AISI 1040, setara dengan EN8, dikenal memiliki kandungan karbon dan mangan dalam jumlah sedang, yang membuatnya cocok untuk aplikasi seperti poros engkol dan elemen struktural lainnya. Baja ini dapat dianil, dinormalisasi, dikeraskan, ditempa, dan dilas.

Tabel 1. Komposisi kimia pada baja AISI 1040.

No	Elemen (Unsur)	Isi (%)	Pengujian komposisi
1	Besi,Fe	98.6 - 99	99,64
2	Mangan,Mn	0,60 - 0,90	0,63
3	Carbon,C	0,37 - 0,40	-
4	Fosfor,P	≤ 0,04	-
5	Belerang,S	≤ 0,05	-

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia yang ditampilkan pada Tabel 1, baja AISI 1040 mengandung besi (Fe) sebesar 99,64% dan mangan (Mn) sebesar 0,63%, sementara kandungan karbon (C), fosfor (P), dan belerang (S) tidak terdeteksi dalam pengujian tersebut.

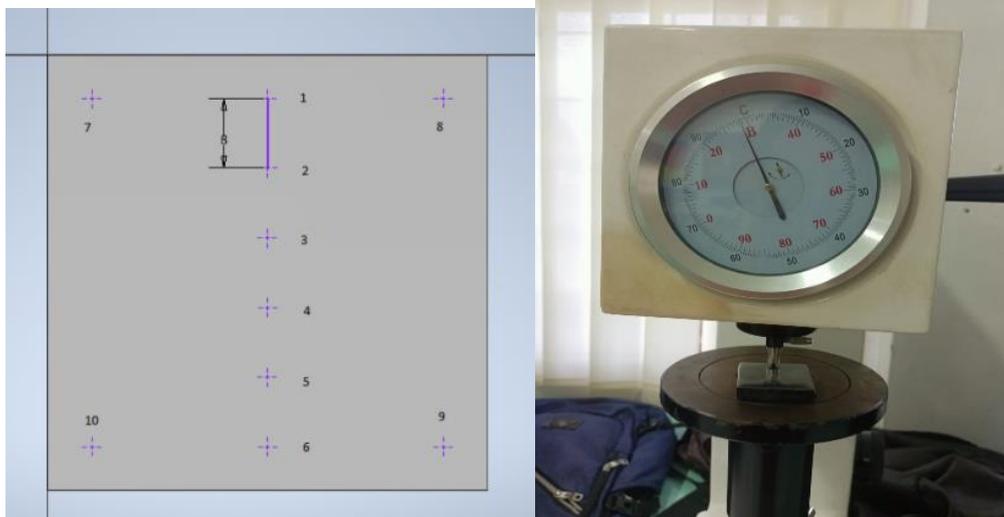
Sementara itu, baja AISI 1042 juga merupakan baja karbon sedang yang memiliki kemampuan las dan kemampuan mesin yang baik, sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Dari hasil pengujian komposisi kimia yang ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah, baja AISI 1042 mengandung besi (Fe) sebesar 98,77%, mangan (Mn) sebesar 1,08%, fosfor (P) sebesar 0,1%, dan belerang (S) sebesar 0,03%, sementara kandungan karbon (C) tidak terdeteksi dalam pengujian ini. Data komposisi ini memberikan dasar yang penting untuk memahami bagaimana sifat-sifat mekanik baja ini dipengaruhi oleh perlakuan panas dan quenching yang dilakukan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Komposisi kimia pada baja AISI 1042.

No	Elemen (Unsur)	Isi (%)	Pengujian komposisi
1	Besi, Fe	98.54 - 99.0	98,77
2	Mangan, Mn	0,60 - 0,90	1,08
3	Carbon, C	0,40 - 0,47	-
4	Fosfor, P	≤ 0,04	0,1
5	Belerang, S	≤ 0,05	0,03

Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell dan Analisa Data

Pengujian kekerasan Rockwell dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis, menggunakan alat uji kekerasan Rockwell. Uji kekerasan ini mengikuti standar ASTM E18 dan dilakukan pada skala Rockwell C (skala hitam) dengan menggunakan indenter berbentuk kerucut intan. Gambar spesimen yang digunakan dalam pengujian kekerasan Rockwell serta ilustrasi pembebanan pada skala Rockwell C ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Spesimen Pengujian dan Skala Pembebanan Pengujian Kekerasan

Pengolahan Data untuk Spesimen

Tabel 3. Data spesimen baja AISI 1040 tanpa perlakuan

Kekerasan (xi)	Rata-Rata(X)	(xi-X)	(X-xi) ²
78	77,25	0,75	0,5625
71,5		5,75	33,0625
81		3,75	14,0625
81		3,75	14,0625
76		1,25	1,5625
78,5		1,25	1,5625
80		2,75	7,5625
75,5		1,75	3,0625
75		2,25	5,0625
76		1,25	1,5625
77,25		24,5	82,125

Hasil pengujian kekerasan tanpa perlakuan pada baja AISI 1040 dengan menggunakan Metode Rockwell dan beban 150 kgf menunjukkan bahwa kekerasan rata-rata yang diperoleh adalah 77,25 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-3 dan ke-4 dengan nilai sebesar 81 HRC, sedangkan titik kekerasan terendah berada pada titik ke-2 dengan nilai 71,5 HRC. Hasil ini didukung oleh pengujian spectrometer yang menunjukkan komposisi kimia material, dengan kandungan besi (Fe) sebesar 99,64% dan mangan (Mn) sebesar 0,63%.

Tabel 4. Data spesimen baja AISI 1042 tanpa perlakuan

Kekerasan (xi)	Rata-rata(X)	(xi-x)	(X-xi) ²
82	85,1	3,1	9,61
85		0,1	0,01
85,5		0,4	0,16
86		0,9	0,81
87,5		2,4	5,76
84		1,1	1,21

Kekerasan (xi)	Rata-rata(X)	(xi-x)	(X-xi) ²
87		1,9	3,61
90		4,9	24,01
80,5		4,6	21,16
83,5		1,6	2,56
85,1		21	68,9

Hasil pengujian kekerasan tanpa perlakuan pada baja AISI 1042 dengan menggunakan Metode Rockwell dan beban 150 kgf menunjukkan bahwa kekerasan rata-rata yang diperoleh adalah 85,1 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-8 dengan nilai sebesar 90 HRC, sedangkan titik kekerasan terendah berada pada titik ke-9 dengan nilai 81 HRC.

Tabel 5. Data spesimen baja AISI 1040 *Heat Treatment* pada temperatur 700°C

Kekerasan (xi)	Rata-rata(X)	(xi-x)	(X-xi) ²
88	90,6	2,6	6,76
89		1,6	2,56
90		0,6	0,36
91		0,4	0,16
90		0,6	0,36
93		2,4	5,76
91		0,4	0,16
88		2,6	6,76
93		2,4	5,76
93		2,4	5,76
90,6		16	34,4

Hasil pengujian kekerasan setelah dilakukan proses Heat Treatment pada temperatur 700°C terhadap baja AISI 1040 menggunakan Metode Rockwell dan beban 150 kgf menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 90,6 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-6, ke-9, dan ke-10 dengan nilai sebesar 93 HRC, sedangkan titik kekerasan terendah tercatat pada titik ke-1 dan ke-8 dengan nilai 88 HRC.

Tabel 6. Data spesimen baja AISI 1040 *heat Treatment* pada temperatur 800°C

Kekerasan (xi)	Rata-rata(X)	(xi-x)	(X-xi) ²
89	93,73	4,75	22,56
88		5,75	33,06
95,5		1,75	3,06
97		3,25	10,56
95		1,25	1,56
92		1,75	3,06
97		3,25	10,56
94		0,25	0,06
97		3,25	10,56
93		0,75	0,56
93,75		26	95,54

Hasil pengujian kekerasan setelah dilakukan proses Heat Treatment pada temperatur 800°C terhadap baja AISI 1040 menggunakan Metode Rockwell dengan beban 150 kgf menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 93,75 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-4, ke-6, dan ke-8 dengan nilai sebesar 97 HRC, sedangkan titik kekerasan terendah tercatat pada titik ke-2 dengan nilai 88 HRC.

Kemudian hasil pengujian kekerasan setelah proses Heat Treatment pada temperatur 900°C terhadap baja AISI 1040 menggunakan Metode Rockwell dengan beban 150 kgf menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 96,45 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-9 dengan nilai 102 HRC, sementara titik kekerasan terendah tercatat pada titik ke-1 dengan nilai 88 HRC.

Untuk baja AISI 1042, hasil pengujian kekerasan setelah proses Heat Treatment pada temperatur 700°C dengan Metode Rockwell dan beban 150 kgf menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 91,75 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-2 dengan nilai 94 HRC, sedangkan titik kekerasan terendah berada pada titik ke-3 dengan nilai 90,5 HRC.

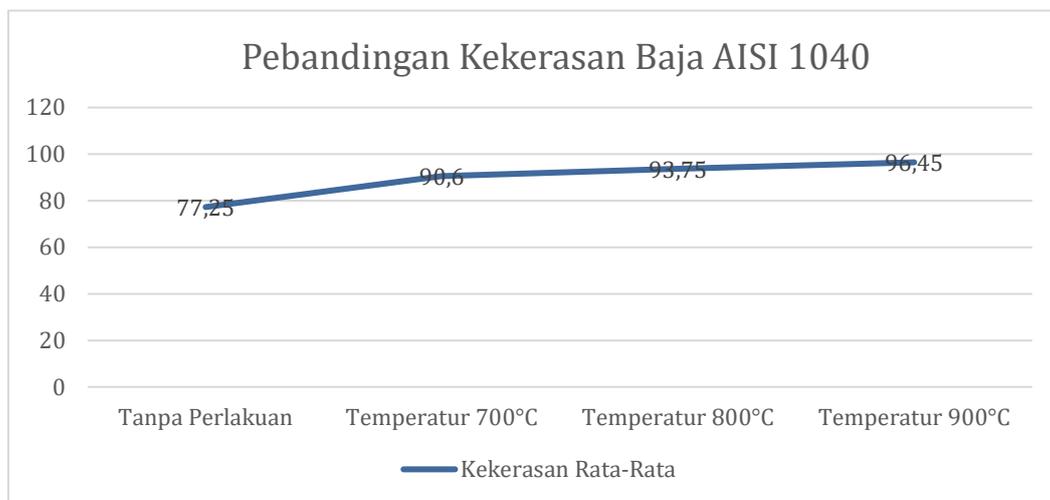
Pada temperatur 800°C, hasil pengujian kekerasan baja AISI 1042 menggunakan Metode Rockwell dan beban 150 kgf menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 91,75 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-2 dengan nilai 94 HRC, sementara titik kekerasan terendah tercatat pada titik ke-4 dan ke-5 dengan nilai 86,5 HRC.

Hasil pengujian kekerasan setelah Heat Treatment pada temperatur 900°C untuk baja AISI 1042 dengan Metode Rockwell dan beban 150 kgf menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 98 HRC. Titik kekerasan tertinggi tercatat pada titik ke-6 dengan nilai 103 HRC, sementara titik kekerasan terendah berada pada titik ke-1 dengan nilai 92,5 HRC

Tabel 7. Hasil Uji Kekerasan

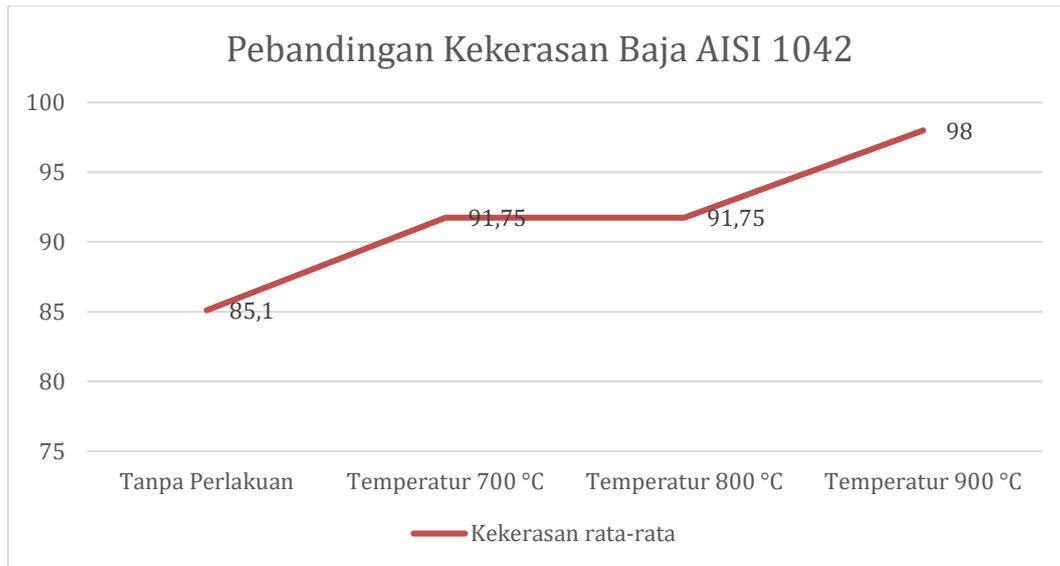
No	Material	Temperatur (°C)	Rata-rata
1	1040	Tanpa perlakuan	77,3
2	1042		85,1
A1	1040	700°C	90,6
A2	1042		91,75
B1	1040	800°C	93,75
B2	1042		91,75
C1	1040	900°C	96,45
C3	1042		98

Perbandingan Kekerasan Baja Sebelum di Treatment dan Sesudah di Heat Treatment



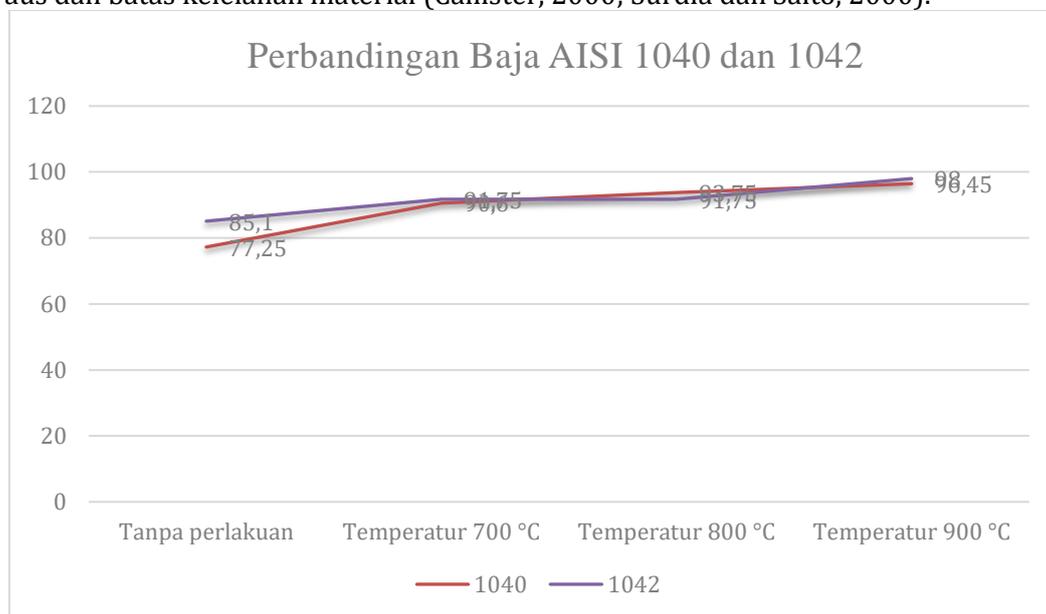
Gambar 3. Nilai Kekerasan Rata-Rata Baja AISI 1040

Grafik di atas menunjukkan bahwa kekerasan awal baja AISI 1040 tanpa perlakuan adalah 77,25 HRC. Setelah menjalani proses Heat Treatment menggunakan oli, kekerasan baja AISI 1040 meningkat secara signifikan. Pada temperatur 700°C, kekerasan naik sebesar 17,28%, dari 77,25 HRC menjadi 90,6 HRC. Peningkatan kekerasan berlanjut pada temperatur 800°C, di mana kekerasan meningkat sebesar 21,36% menjadi 93,75 HRC. Proses Heat Treatment pada temperatur 900°C menghasilkan peningkatan kekerasan sebesar 24,85%, dari 77,25 HRC menjadi 96,45 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur Heat Treatment berbanding lurus dengan peningkatan kekerasan material. Peningkatan ini sesuai dengan tujuan proses Heat Treatment, yaitu untuk memperoleh kekerasan yang lebih tinggi, serta meningkatkan sifat tahan aus, kekuatan, dan batas kelelahan material (Callister, 2000; Surdia dan Saito, 2000).



Gambar 4. Nilai kekerasan rata-rata Baja AISI 1042

Grafik yang ditampilkan menunjukkan kekerasan awal baja AISI 1042 sebesar 85,1 HRC. Setelah menjalani proses Heat Treatment menggunakan oli, kekerasan baja ini mengalami peningkatan. Pada temperatur 700°C dan 800°C, hasil pengujian menunjukkan peningkatan sebesar 7,81%, dengan kekerasan yang meningkat dari 85,1 HRC menjadi 91,75 HRC. Peningkatan lebih signifikan terlihat pada temperatur 900°C, di mana kekerasan naik sebesar 15,1%, mencapai 98 HRC dari nilai awal 85,1 HRC. Temuan ini mengindikasikan bahwa kenaikan temperatur Heat Treatment berbanding lurus dengan peningkatan kekerasan material. Hal ini mendukung tujuan utama dari proses Heat Treatment, yaitu untuk meningkatkan kekerasan, kekuatan, serta sifat tahan aus dan batas kelelahan material (Callister, 2000; Surdia dan Saito, 2000).



Gambar 5. Perbandingan Nilai Kekerasan AISI 1040 dan 1042

Merujuk pada sajian grafik di atas didapati hasil penelitian mengenai proses Heat Treatment pada baja AISI 1040 dan AISI 1042 dengan ketebalan 10 mm, menggunakan media pendingin oli SAE 10-30 dan variasi temperatur pada 700°C, 800°C, dan 900°C. Grafik menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan tertinggi terjadi pada suhu 900°C pada baja AISI 1040, dengan peningkatan sebesar 24,85%, dari 77,25 HRC menjadi 96,45 HRC. Sebaliknya,

peningkatan kekerasan terendah, sebesar 7,81%, terlihat pada baja AISI 1042 dengan suhu Heat Treatment 700°C dan 800°C, di mana kekerasan meningkat dari 85,1 HRC menjadi 91,75 HRC.

Analisis dari hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur Heat Treatment secara signifikan mempengaruhi kekerasan baja. Pada temperatur yang lebih tinggi, struktur mikro baja mengalami perubahan yang lebih besar, seperti pembentukan martensit yang lebih banyak, yang meningkatkan kekerasan material. Hal ini konsisten dengan prinsip dasar Heat Treatment yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material. Namun, perbedaan respons antara AISI 1040 dan AISI 1042 juga menyoroti karakteristik material yang berbeda dalam merespons proses Heat Treatment. Baja AISI 1040 menunjukkan peningkatan kekerasan yang lebih tajam pada temperatur yang lebih tinggi, sedangkan AISI 1042 menunjukkan peningkatan yang lebih moderat. Ini mungkin terkait dengan komposisi kimia dan struktur mikro dasar dari masing-masing jenis baja, yang mempengaruhi sejauh mana mereka dapat mengembangkan kekerasan melalui proses Heat Treatment. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai bagaimana temperatur Heat Treatment mempengaruhi kekerasan baja, yang sangat berguna untuk aplikasi industri yang memerlukan material dengan sifat mekanik tertentu.

Hasil Uji Data Anova (Kekerasan)

Tabel 8. Faktor *Information*

Factor	Type	Levels	Values
variasi material	Fixed	2	baja AISI 1040; baja AISI 1042
Perlakuan	Fixed	4	Tanpa perlakuan; Temperatur 700 °C; Temperatur 800 °C; Temperatur 900 °C

Tabel 8 menggambarkan desain eksperimen yang melibatkan dua faktor tetap untuk diuji: variasi material dan perlakuan panas. Faktor pertama adalah Variasi Material, yang mencakup dua level yaitu baja AISI 1040 dan baja AISI 1042. Faktor kedua adalah Perlakuan, yang terdiri dari empat level yaitu tanpa perlakuan, perlakuan panas pada temperatur 700°C, perlakuan panas pada temperatur 800°C, dan perlakuan panas pada temperatur 900°C.

Kombinasi dari kedua faktor ini dirancang untuk mengevaluasi bagaimana variasi jenis baja dan perlakuan panas mempengaruhi sifat-sifat material. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menganalisis efek dari perbedaan jenis baja dan perlakuan panas pada karakteristik kekerasan dan performa material. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang bagaimana faktor-faktor tersebut berinteraksi dan mempengaruhi hasil akhir, serta memberikan informasi yang relevan untuk aplikasi industri yang membutuhkan pemilihan dan perlakuan material yang optimal.

Tabel 9. *Analysis of Variance Kekerasan*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Kontribusi %
variasi material	1	9,138	9,138	1,07	0,376	2,94
Perlakuan	3	275,346	91,782	10,78	0,041	88,81
Error	3	25,536	8,512			8,23
Total	7	310,02				100

Output ANOVA dari Minitab 19 yang terlampir, nilai P-Value tidak tersedia untuk kategori "Error" dan "Total" karena P-Value relevan hanya untuk pengujian hipotesis pada sumber variasi tertentu seperti Variasi Material dan Perlakuan. P-Value digunakan untuk menilai apakah perbedaan yang diamati signifikan secara statistik. Tabel 9 di atas menyajikan hasil analisis varian untuk menguji pengaruh faktor-faktor tertentu terhadap variabel respon. Berikut penjelasan mengenai masing-masing kolom dalam tabel tersebut:

1. **Sumber Variasi (Source):** Menunjukkan sumber variabilitas dalam analisis ini. Terdapat dua sumber variasi dalam tabel ini, yaitu Variasi Material dan Perlakuan.

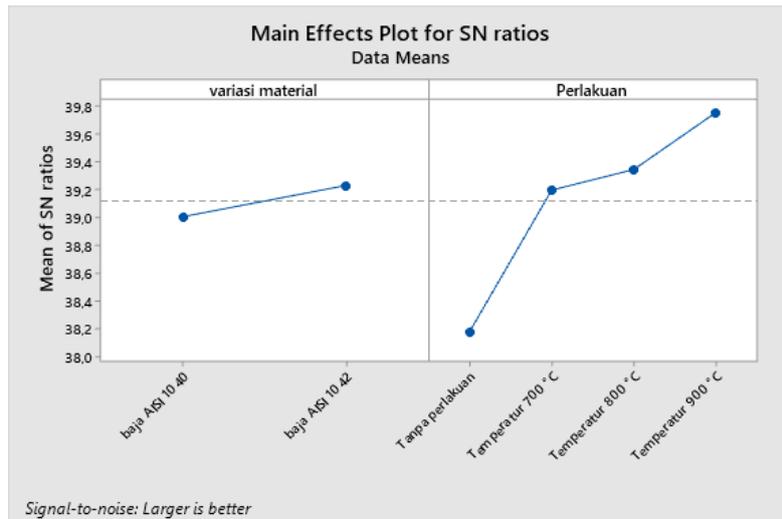
2. **Degres of Freedom/Degre of Freedom (DF)**: Menunjukkan jumlah derajat kebebasan yang digunakan dalam uji untuk setiap sumber variabilitas.
3. **Adjusted Sum of Squares (Adj SS)**: Jumlah kuadrat yang disesuaikan untuk setiap sumber variabilitas. Adj SS untuk Error mencerminkan variabilitas yang tidak dijelaskan oleh model.
4. **Adjust Mean Squares (Adj MS)**: Jumlah kuadrat rata-rata yang disesuaikan untuk setiap sumber variabilitas. Ini dihitung dengan membagi jumlah kuadrat disesuaikan (Adj SS) dengan Derajat Kebebasan (DF) untuk setiap faktor.
5. **F-Value**: Menunjukkan nilai F yang dihitung untuk setiap sumber variabilitas. Ini dihitung dengan membagi jumlah kuadrat rata-rata disesuaikan (Adj MS) dari faktor dengan jumlah kuadrat rata-rata disesuaikan (Adj MS) dari error.
6. **P-Value**: Probabilitas yang menunjukkan seberapa kuat bukti terhadap hipotesis nol (bahwa tidak ada perbedaan antara kelompok). P-Value yang kecil (biasanya < 0,05) menunjukkan bahwa hasilnya signifikan secara statistik, dan ada cukup bukti untuk menolak hipotesis nol. P-Value untuk Variasi Material adalah 0,376, yang menunjukkan bahwa perbedaan antara material tidak signifikan secara statistik. Sebaliknya, P-Value untuk Perlakuan adalah 0,041, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara perlakuan yang diuji.
7. **Kontribusi %**: Menunjukkan kontribusi setiap sumber variasi terhadap total variasi. Istilah error berkontribusi sebesar 8,23% terhadap total variasi, mencerminkan bagian dari variasi yang tidak dijelaskan oleh faktor-faktor yang diteliti. Ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan faktor-faktor atau sumber variasi potensial lainnya yang dapat mempengaruhi hasil uji kekerasan.

Pada tabel tersebut, Variasi Material memberikan kontribusi sebesar 2,94% terhadap total variasi dengan nilai P sebesar 0,376, menunjukkan bahwa variasi material tidak signifikan dalam mempengaruhi respons. Sebaliknya, Perlakuan memberikan kontribusi yang sangat besar, yaitu 88,81% terhadap total variasi dengan nilai P sebesar 0,041, menunjukkan bahwa suhu perlakuan memiliki pengaruh signifikan terhadap rasio S/N.

Tabel 10. *Model Summary*

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,91753	91,76%	80,78%	41,43%

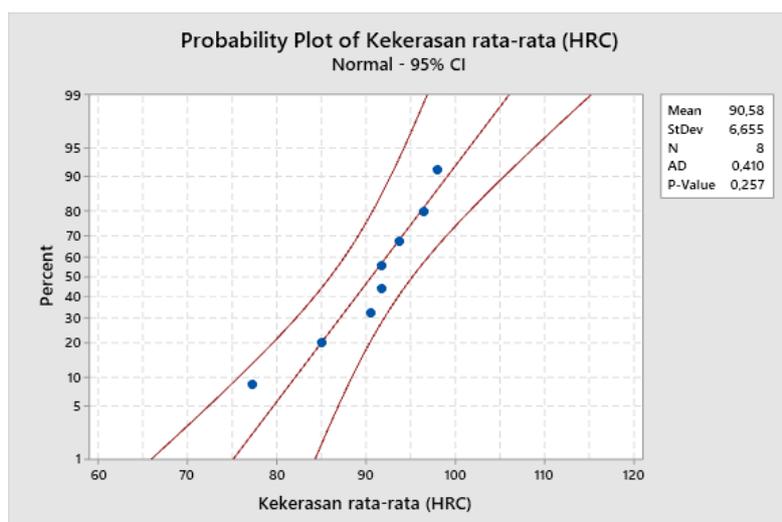
Sajian tabel di atas menunjukkan ringkasan model yang mencakup beberapa statistik penting untuk evaluasi model regresi. Nilai S, atau standar deviasi residual, sebesar 2,91753 mengindikasikan perkiraan kesalahan prediksi rata-rata dari model, dengan nilai yang lebih rendah menandakan kesesuaian model yang lebih baik terhadap data. R-squared (R-sq) sebesar 91,76% mengindikasikan bahwa model dapat menjelaskan 91,76% variabilitas dalam data dependen, menunjukkan kecocokan model yang sangat baik. Adjusted R-squared (R-sq(adj)) sebesar 80,78% memperhitungkan kompleksitas model dan mengurangi nilai R-squared untuk mencerminkan pengaruh penambahan variabel prediktor, menunjukkan bahwa model masih menjelaskan 80,78% variabilitas setelah penyesuaian. Sementara itu, Predicted R-squared (R-sq(pred)) sebesar 41,43% menunjukkan kemampuan model dalam memprediksi data baru, dengan nilai ini menunjukkan bahwa model dapat menjelaskan sekitar 41,43% variabilitas dalam data yang tidak digunakan selama pemodelan. Nilai Predicted R-squared yang lebih rendah dibandingkan dengan R-squared dan Adjusted R-squared mungkin menunjukkan kemungkinan overfitting, di mana model terlalu sesuai dengan data pelatihan dan tidak generalisasi dengan baik pada data baru.



Gambar 6. Grafik *Main Effect Plot* for Nilai Kekerasan
 Sumber: Minitab 19

Grafik yang ditampilkan mengilustrasikan rata-rata rasio Signal-to-Noise (S/N) berdasarkan variasi material dan perlakuan panas. Pada sumbu vertikal, grafik menunjukkan rata-rata rasio S/N, di mana nilai yang lebih tinggi mengindikasikan sinyal yang lebih dominan dibandingkan noise, menandakan hasil eksperimen yang lebih baik dan konsisten. Sementara itu, sumbu horizontal terbagi menjadi dua kategori: variasi material, yang mencakup dua jenis baja yaitu AISI 1040 dan AISI 1042, serta perlakuan panas yang terdiri dari empat level yaitu tanpa perlakuan, perlakuan pada temperatur 700°C, 800°C, dan 900°C.

Dari grafik tersebut, baja AISI 1042 menunjukkan rata-rata rasio S/N yang sedikit lebih tinggi dibandingkan baja AISI 1040, meskipun perbedaannya tidak signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa baja AISI 1042 mungkin menawarkan performa yang sedikit lebih baik dan konsistensi yang lebih tinggi. Selain itu, grafik juga memperlihatkan bahwa rata-rata rasio S/N meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya temperatur perlakuan. Perlakuan tanpa panas menunjukkan rasio S/N terendah, diikuti oleh perlakuan pada 700°C, 800°C, dan tertinggi pada 900°C. Peningkatan ini menunjukkan bahwa perlakuan panas pada temperatur yang lebih tinggi cenderung meningkatkan rasio S/N, yang berarti bahwa kualitas dan konsistensi hasil eksperimen meningkat dengan temperatur perlakuan yang lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Probability Plot Nilai Kekerasan
 Sumber: Minitab 19

Grafik yang ditampilkan menunjukkan hasil uji normalitas untuk kekerasan material. Dari analisis ini, diperoleh nilai rata-rata (Mean) sebesar 90,58 dengan standar deviasi (StDev) sebesar

6,655. Nilai Anderson-Darling (AD) yang terukur adalah 0,410, sementara P-Value yang diperoleh adalah 0,257. Karena P-Value ini lebih besar dari tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ (0,05), dapat disimpulkan bahwa data kekerasan material terdistribusi normal. Ini berarti distribusi data kekerasan material tidak berbeda secara signifikan dari distribusi normal, yang mengindikasikan bahwa data tersebut mengikuti pola distribusi normal dengan baik.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa hasil ini memberikan kepercayaan tambahan pada validitas model statistik yang digunakan dalam penelitian. Dengan data yang terdistribusi normal, asumsi dasar dari banyak metode analisis statistik dapat dipenuhi, seperti uji-t dan analisis varians (ANOVA), sehingga meningkatkan akurasi dan keandalan hasil penelitian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa proses heat treatment pada baja AISI 1040 dan AISI 1042 menunjukkan peningkatan signifikan dalam kekerasan material dengan variasi suhu perlakuan yang berbeda. Pada baja AISI 1040, pengolahan dengan media oli SAE 10W-30 pada suhu 700°C menghasilkan peningkatan kekerasan dari 77,25 HRC menjadi 90,6 HRC, sedangkan pada suhu 800°C meningkat menjadi 93,75 HRC, dan pada suhu 900°C mencapai nilai tertinggi sebesar 96,45 HRC, yang mencerminkan peningkatan sebesar 24,85%. Untuk baja AISI 1042, perlakuan yang sama menunjukkan hasil yang optimal pada suhu 900°C, dengan kekerasan rata-rata mencapai 98 HRC dan peningkatan sebesar 15,1%. Sebaliknya, pada suhu 700°C dan 800°C, kekerasan rata-rata adalah 91,75 HRC, dengan peningkatan hanya sebesar 7,81% dari kondisi tanpa perlakuan yang memiliki nilai kekerasan awal 85,1 HRC. Hasil ini menegaskan bahwa suhu perlakuan yang lebih tinggi berkontribusi pada peningkatan kekerasan material yang lebih besar, menunjukkan efektivitas proses heat treatment dalam meningkatkan kualitas mekanik baja.

DAFTAR PUSTAKA

- A. F. H. Bambang Pratowo, "Analisa Kekerasan Baja Karbon Aisi 1045 Setelah Mengalami Perlakuan," *Jurnal Teknik Mesin Ubl*, p. 11, 2018.
- Alwarits, dkk "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Terhadap peningkatan Kekerasan Baja Karbon Sedang," *Automotive Engineering Education Journal 2*, pp. Halaman 1-5, 2014.
- Anton Tri Wibowo, "Pengaruh Proses Quenching dengan Media Pendingin Air dan Oli terhadap Kekerasan Baja dan Struktur Mikro Baja S45C", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 18, No. 1, 2019.
- Astm : *American Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials 1,2*. (2017). America.
- Faisal, Muhammad (2019). "Analisa Hardenability Dan Perubahan Struktur Mikro Baja Aisi 1040, 1060 Menggunakan Metode Uji Jominy" Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Luisetiawan, A. D. B, Priyagung Hartono, Ismi Choirotin "Analisis Variasi Olding Time Dan Media Pendingin Proses *Hardening* Dan Tempering Pada Baja Aisi 1042 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro" *Jurnal Teknik Mesin*. Halaman 12-19, 2022.
- Ramadhan, R. (2018). "Analisa Kekerasan Mata Pisau Bahan ST 60 Pada Mesin Pemotong Zincalume Dengan Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)".
- R. Maulani, "Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Material Baja ST-41 Pada Proses Heat Treatment," Universitas Pancasakti Tegal, Tegal, 2021.
- Purwanto. Dwi, Oscar Haris (2022) "Analisis Sifat Kekerasan Dan Metalografi Pada Baja Aisi 1020, Aisi 1037 Dan Aisi 1040 Untuk Poros (Shaft) Dengan Menggunakan Proses Heat Treatment". *Journal*, Vol. 13, No. 2 (page: 13-20).
- Yudiarjo.Muhammad, Kosjoko, Aidin Bentar, "Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Uji Kekerasan ROCKWELL Pada Baja AISI 1045," *Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, Vol. 4 No. 25 Desember 2020, Hal. 1-5.

W. Sampurna, "Studi Eksperimen Studi Tempering Terhadap Kekerasan Permukaan Dan Estimasi keausan," Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2016.