

Pengaruh Variasi Bahan Aditif Pada *Base Quench Medium* dan *Holding Time Tempering* Terhadap Sifat Mekanik Material Roda Gigi

Alexander David Kurniawan¹, Pondi Udianto²

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia
Email korespondensi: alexanderdkep@gmail.com

Abstrak

Permukaan roda gigi yang aus disebabkan karena roda gigi saling bergesekan dan menekan dengan komponen lainnya. Untuk mengatasi masalah tersebut material roda gigi diberi perlakuan panas *hardening* dan *tempering* untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi bahan aditif pada *base quench medium* dan *holding time tempering* terhadap nilai kekerasan dan kekuatan impact baja S45C. Kebaharuan dari penelitian ini yaitu menggunakan karbon aktif dengan ukuran 40 mesh. Metode yang digunakan yaitu baja S45C dipanaskan pada suhu 950°C selama 35 menit kemudian didinginkan menggunakan air + karbon aktif 0.12%, larutan NaCl 5%, dan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12%. Setelah itu di *tempering* pada suhu 260°C selama 15 menit, 25 menit, dan 35 menit. Lalu dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasannya dan dilakukan uji impact untuk mengetahui nilai ketangguhannya. Dari hasil penelitian didapatkan parameter optimum untuk mengatasi masalah keausan pada roda gigi yaitu menggunakan media pendingin oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% dan *holding time tempering* selama 15 menit. Dari parameter optimum tersebut menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi yaitu 24,5 HRC dan harga impact sebesar 0,44 J/mm².

Kata kunci: Heat treatment, karbon aktif, laju pendinginan, perpindahan panas, salt solution, S45C

Abstract

The worn gear surface is caused by the gear rubbing and pressing against other components. To overcome this problem, the gear material is given a *hardening* and *tempering* heat treatment to improve its mechanical properties. The purpose of this study was to determine the effect of additive variations on *base quench medium* and *holding time tempering* on the hardness value and impact strength of S45C steel. The novelty of this research is to use activated carbon with a size of 40 mesh. The method used is S45C steel heated at 950°C for 35 minutes then cooled using water + 0.12% activated carbon, 5% NaCl solution, and SAE 15 W 40 oil + 0.12% activated carbon. After that, it was tempered at 260 ° C for 15 minutes, 25 minutes, and 35 minutes. Then a hardness test was carried out to determine the hardness value and an impact test was carried out to determine the toughness value. From the results of the study, it was found that the optimum parameters for overcoming wear problems on gears were using SAE 15 W 40 oil cooling media + 0.12% activated carbon and *tempering holding time* for 15 minutes. From these optimum parameters, it produces a high hardness value of 24.5 HRC and an impact price of 0.44 J/mm².

Keywords: Heat Treatment, activated carbon, cooling rate, heat transfer, salt solution, S45C.

1. Pendahuluan

Baja karbon mempunyai peranan penting dalam dunia industri, yaitu sebagai bahan baku utama yang digunakan dalam bidang konstruksi dan komponen mesin. Pada bidang konstruksi, baja karbon sering digunakan untuk membuat jembatan dan komponen konstruksi (1). Sedangkan pada bidang komponen mesin, baja karbon sering digunakan untuk membuat poros, roda gigi, dan mur (2).

Penggunaan baja karbon dalam dunia industri tidak selalu dibuat dari bahan dan metode yang sama, akan tetapi disesuaikan dengan tujuan penggunaannya (3). Untuk memenuhi hal tersebut maka dilakukan proses pengolahan yang mencakup sifat mekanik dan sifat fisik baja karbon dengan menggunakan metode tertentu sehingga dapat menghasilkan produk yang

bermutu, dapat memenuhi kebutuhan konsumen, dan dapat bersaing di pasaran.

Sifat mekanik tersebut meliputi kekuatan, keuletan, kekerasan, ketangguhann, dan kekerasan. Sedangkan sifat fisik meliputi massa jenis, warna, dan ketahanan korosi (4). Roda gigi terbuat dari baja karbon menengah dan berfungsi untuk mentransmisikan daya ke bagian mesin lainnya. Pada penggunaannya, roda gigi saling bergesekan dan menekan dengan komponen lainnya sehingga sering mengalami aus pada permukaannya. Untuk mengatasi masalah tersebut material roda gigi perlu diberikan perlakuan panas *hardening* dan *tempering*.

Perlakuan panas *hardening* merupakan perlakuan panas dimana baja dipanaskan pada suhu diatas A3 dan didinginkan menggunakan fluida agar didapatkan

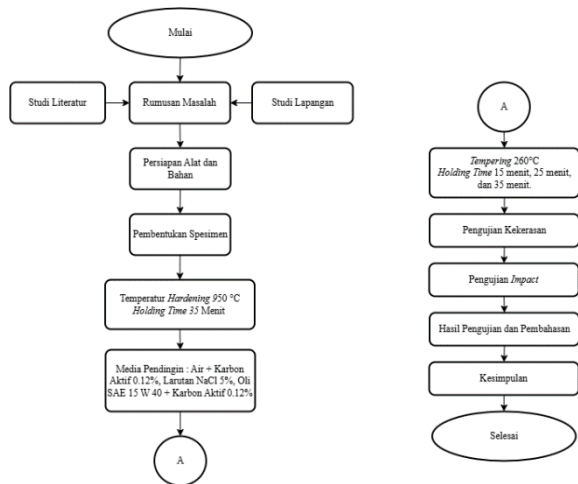
nilai kekerasan yang diinginkan. Sedangkan *tempering* merupakan proses pemanasan kembali pada logam yang bertujuan untuk meningkatkan nilai ketangguhan (5).

Berdasarkan pada permasalahan tersebut maka material yang akan digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan roda gigi perlu diberikan perlakuan panas *hardening* dan *tempering*. Perlakuan panas *hardening* digunakan untuk meningkatkan nilai kekerasannya sehingga roda gigi lebih tahan terhadap gesekan, dan diberikan perlakuan panas *tempering* untuk meningkatkan nilai ketangguhannya sehingga roda gigi lebih tahan terhadap tekanan.

2. Metode

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dimana metode ini mencari hubungan sebab dan akibat antara variabel independen dengan variabel dependen (6). Variabel independen diatur untuk mengetahui pengaruh terhadap variabel dependen.

Diagram alir dibawah ini berfungsi untuk memudahkan ketika melaksanakan eksperimen sehingga dapat dilaksanakan secara urut dan sesuai dengan tahapan pada diagram alir.



Gambar 1. Diagram Alir

Pada eksperimen ini terdapat beberapa variabel yang digunakan yaitu variabel independen, variabel dependen, dan variabel terkendali. Variabel independen pada eksperimen ini dibagi menjadi 2, yaitu media pendingin yang divariasikan bahan aditifnya dan *holding time tempering* yang divariasikan waktunya. Untuk variabel dependen pada eksperimen ini meliputi uji kekerasan menggunakan jenis *rockwell c* dan uji impact menggunakan jenis *charpy impact*. Adapun variabel tersebut dapat diamati pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Variabel Eksperimen

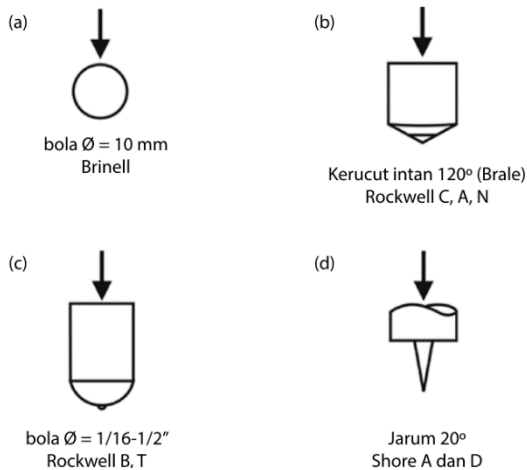
Variabel Independen
1. Media pendingin <ul style="list-style-type: none"> Air + karbon aktif 0.12% Larutan NaCl 5% Oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12%
2. <i>Holding time tempering</i> <ul style="list-style-type: none"> 15 menit 25 menit 35 menit
Variabel Dependen
1. Uji kekerasan
2. Uji impact
Variabel Terkendali
1. Menggunakan baja S45C
2. <i>Hardening</i> pada suhu 950 °C selama 35 menit
3. <i>Tempering</i> pada suhu 260 °C
4. Volume media pendingin 5 liter

Pada eksperimen ini jumlah spesimen yang digunakan adalah 36 spesimen. Masing-masing spesimen tersebut diberikan kode sesuai dengan variabel independen yang digunakan. Pemberian kode pada spesimen tersebut bertujuan agar spesimen tidak tertukar ketika dilakukan uji kekerasan dan uji impact. Untuk kode pada spesimen dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Kode Spesimen

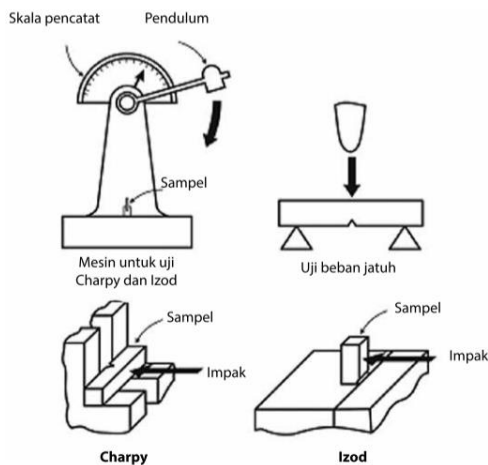
Kode Spesimen
AC3 : air + karbon aktif 0.12% <i>holding time tempering</i> 15 menit
AC5 : air + karbon aktif 0.12% <i>holding time tempering</i> 25 menit
AC7 : air + karbon aktif 0.12% <i>holding time tempering</i> 35 menit
AG3 : larutan NaCl 5% <i>holding time tempering</i> 15 menit
AG5 : larutan NaCl 5% <i>holding time tempering</i> 25 menit
AG7 : larutan NaCl 5% <i>holding time tempering</i> 35 menit
OC3 : oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% <i>holding time tempering</i> 15 menit
OC5 : oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% <i>holding time tempering</i> 25 menit
OC7 : oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% <i>holding time tempering</i> 35 menit

Uji kekerasan pada eksperimen ini menggunakan jenis *rockwell c* yang mengacu pada standar ASTM E18 dan menggunakan indenter berbentuk kerucut intan dengan sudut 120° (7). Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan cara memasang indenter berbentuk kerucut lalu mengatur besar pembebanan sebesar 150 kgf dan menempatkan spesimen di landasan alat uji. Setelah itu spesimen didekatkan ke indenter hingga mengenai indenter dan jarum penunjuk menunjukkan huruf c. Lalu tekan *start* dan tunggu nilai kekerasannya keluar. Untuk jenis indenter yang digunakan dapat memperhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 2. Rockwell Hardness Scale

Dan untuk uji impak menggunakan jenis *charpy impact* dengan bentukan takikan *v-notch* yang sesuai dengan standar ASTM E23 (8). Untuk proses pengujian dilakukan dengan memasang beban pendulum dan menempatkan spesimen di landasan alat uji impak. Lalu atur ketinggian pendulum dan tahan pada ketinggian tersebut dan lepaskan pendulum hingga mengenai spesimen. Catat sudut awal dan sudut akhir spesimen untuk dilakukan perhitungan. Untuk skema pengujian impak dapat memperhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 3. Skema Uji Impak

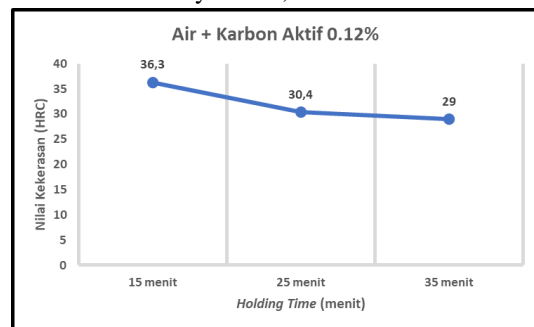
3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian kekerasan *rockwell c* selanjutnya di inputkan ke dalam tabel yang telah dibuat untuk memudahkan proses analisa. Untuk tabel hasil uji kekerasan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Data Hasil Uji Kekerasan

Media Pendingin (Konsentrasi %)	Holding Time Tempering (Menit)	Rata-rata Nilai Kekerasan (HRC)
Air + Karbon Aktif 0.12%	15 Menit	36,3
	25 Menit	30,4
	35 Menit	29
Larutan NaCl 5%	15 Menit	29,3
	25 Menit	28,5
	35 Menit	25,6
Oli SAE 15 W 40 + Karbon Aktif 0.12%	15 Menit	24,5
	25 Menit	22,7
	35 Menit	12,2

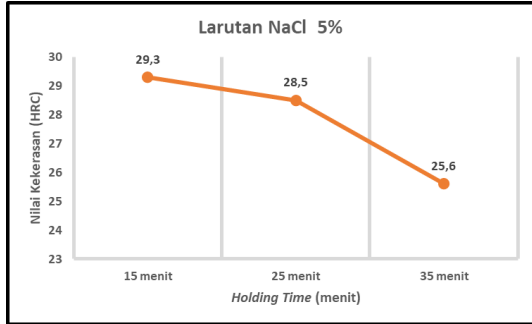
Dari hasil pengujian kekerasan tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang direndam dengan air + karbon aktif 0.12% dan di *tempering* selama 15 menit memiliki rata-rata nilai kekerasan terbesar yaitu 36,3 HRC. Dan pada spesimen yang direndam dengan larutan NaCl 5% dan di *tempering* selama 15 menit memiliki rata nilai kekerasan terbesar yaitu 29,3 HRC. Sedangkan pada spesimen yang direndam dengan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% dan di *tempering* selama 15 menit memiliki rata-rata nilai kekerasan terbesar yaitu 24,5 HRC.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Air + Karbon Aktif 0.12% Terhadap Nilai Kekerasan

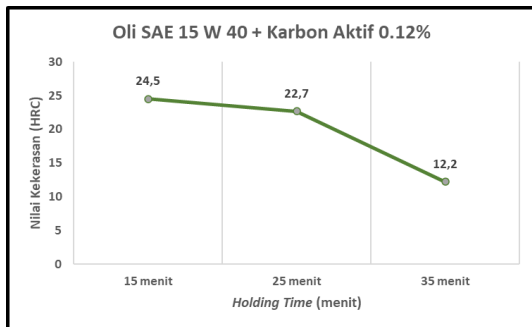
Pada grafik tersebut spesimen yang di *quenching* menggunakan air + karbon aktif 0.12% memiliki rata-rata nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan spesimen yang di *quenching* menggunakan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12%. Nilai kekerasan yang tinggi tersebut dipengaruhi oleh dua hal yaitu,

penambahan karbon aktif dan laju pendinginan yang cepat. Penambahan karbon aktif memiliki fungsi untuk menambahkan kadar karbon pada logam sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan di permukaan logam. Dan semakin lama dipanaskan kembali maka nilai kekerasan pada spesimen tersebut semakin menurun. Pada spesimen yang ditahan selama 35 menit mengalami penurunan nilai kekerasan tertinggi yaitu menjadi 29 HRC.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Larutan NaCl 5% Terhadap Nilai Kekerasan

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang di *quenching* menggunakan larutan NaCl 5% memiliki rata-rata nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang di *quenching* menggunakan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12%. Penyebab nilai kekerasan yang tinggi tersebut adalah dengan penambahan garam dapur dapat meningkatkan *thermal conductivity* sehingga laju pendinginan semakin cepat. Dan semakin lama dipanaskan kembali maka nilai kekerasannya semakin menurun.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Oli SAE 15 W 40 + Karbon Aktif 0.12% Terhadap Nilai Kekerasan

Pada grafik tersebut spesimen yang di *quenching* menggunakan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% memiliki rata-rata nilai kekerasan terendah dibandingkan dengan spesimen yang di *quenching* menggunakan dua media pendingin lainnya. Hal tersebut karena oli SAE 15 W 40 memiliki tingkat viskositas yang tinggi sehingga menyebabkan laju pendinginan yang lambat dan penambahan karbon aktif pada oli SAE 15 W 40 masih belum bisa meningkatkan nilai kekerasannya. Dan semakin lama di *tempering* maka nilai kekerasannya semakin

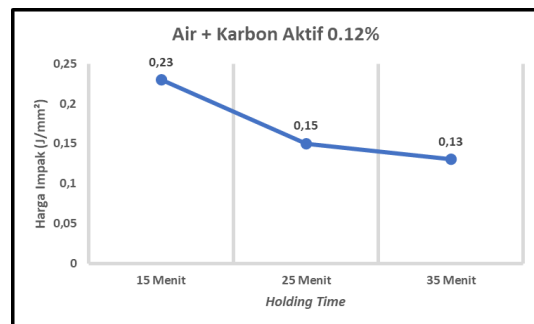
menurun. Penurunan terbesar terjadi pada *holding time* 35 menit.

Data hasil pengujian *impact charpy* selanjutnya di inputkan ke dalam tabel yang telah dibuat untuk memudahkan proses analisa. Untuk tabel hasil uji *impact charpy* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Data Hasil Uji Impak

Media Pendingin (Konsentrasi %)	Holding Time Tempering (Menit)	Rata-rata Harga Impak (J/mm ²)
Air + Karbon Aktif 0.12%	15 Menit	0,23
	25 Menit	0,15
	35 Menit	0,13
Larutan NaCl 5%	15 Menit	0,13
	25 Menit	0,14
	35 Menit	0,17
Oli SAE 15 W 40 + Karbon Aktif 0.12%	15 Menit	0,44
	25 Menit	0,40
	35 Menit	0,30

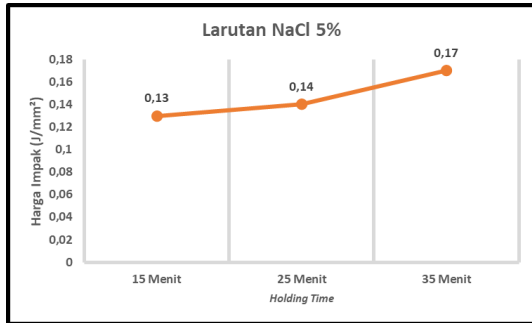
Dari hasil pengujian impak tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang direndam dengan air + karbon aktif 0.12% dan di *tempering* selama 15 menit memiliki rata-rata harga impak terbesar yaitu 0,23 J/mm². Dan pada spesimen yang direndam dengan larutan NaCl 5% dan di *tempering* selama 35 menit memiliki rata-rata harga impak terbesar yaitu 0,17 J/mm². Sedangkan pada spesimen yang direndam dengan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% dan di *tempering* selama 15 menit memiliki rata-rata harga impak terbesar yaitu 0,44 J/mm².



Gambar 7. Grafik Pengaruh Air + Karbon Aktif 0.12% Terhadap Harga Impak

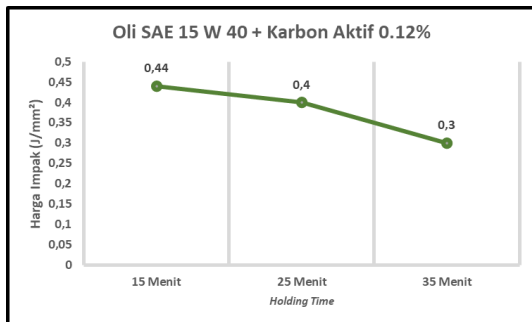
Pada grafik harga impak tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang didinginkan menggunakan air + karbon aktif 0.12% memiliki harga impak yang kecil dibandingkan dengan spesimen yang didinginkan menggunakan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12%. Dengan penambahan karbon aktif pada media pendingin tersebut membuat spesimen memiliki sifat yang getas. Dan semakin lama

spesimen di *tempering* maka harga impaknya semakin menurun. Penurunan harga impact terbesar terjadi pada *holding time* 35 menit yaitu turun menjadi 0,13 J/mm².



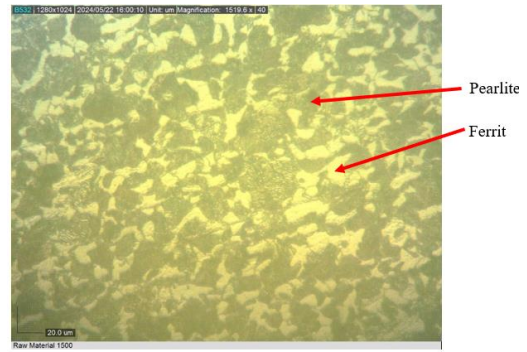
Gambar 8. Grafik Pengaruh Larutan NaCl 5% Terhadap Harga Impact

Pada grafik harga impact tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang didinginkan menggunakan larutan NaCl 5% memiliki harga impact yang kecil dibandingkan dengan spesimen yang didinginkan menggunakan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12%. Dan semakin lama spesimen di *tempering* maka harga impactnya semakin meningkat. Harga impact yang semakin meningkat menandakan bahwa spesimen semakin ulet atau semakin tangguh. Peningkatan harga impact terbesar terjadi pada *holding time* 35 menit yaitu meningkat menjadi 0,17 J/mm².



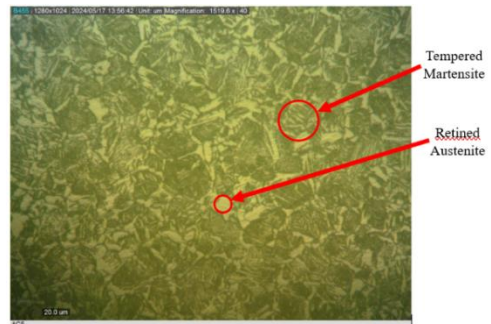
Gambar 9. Grafik Pengaruh Oli SAE 15 W 40 + Karbon Aktif 0.12%

Pada grafik harga impact tersebut dapat diketahui bahwa spesimen yang didinginkan menggunakan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% memiliki harga impact yang besar dibandingkan dengan spesimen yang didinginkan menggunakan air + karbon aktif 0.12%. Dan semakin lama spesimen di *tempering* maka harga impactnya semakin menurun. Penurunan harga impact tersebut menandakan bahwa spesimen menjadi semakin getas. Penurunan harga impact terbesar terjadi pada *holding time* 35 menit yaitu turun menjadi 0,30 J/mm².



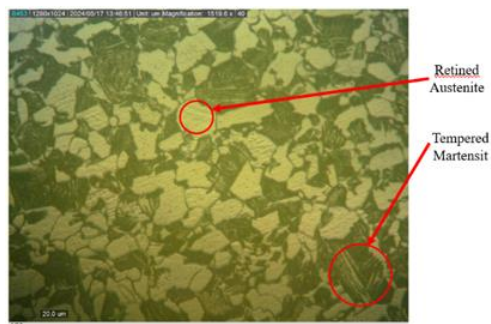
Gambar 10. Struktur Mikro Baja S45C Tanpa Perlakuan

Pada hasil pengujian struktur mikro diatas didapatkan bahwa baja S45C tanpa diberi perlakuan panas *hardening* dan *tempering* memiliki struktur mikro berupa perlit dan ferit. Struktur mikro perlit memiliki ciri berwarna gelap dan struktur mikro ferit memiliki ciri berwarna terang. Penggabungan kedua struktur mikro tersebut membuat spesimen memiliki tingkat kekerasan yang rendah.



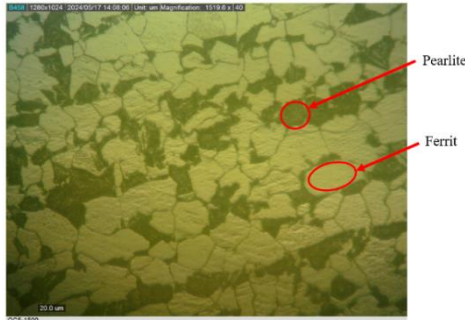
Gambar 11. Struktur Mikro Baja S45C Setelah di *Quenching* Menggunakan Air + Karbon Aktif 0.12% dan di *Tempering* Selama 25 Menit

Pada hasil uji struktur mikro tersebut, baja S45C yang di *quenching* menggunakan air + karbon aktif 0.12% dan di *tempering* memiliki struktur mikro berupa martensit temper dan sisa austenit. Martensit terbentuk ketika spesimen didinginkan menggunakan media pendingin yang memiliki laju pendinginan yang cepat sehingga austenit bertransformasi menjadi martensit. Kemudian ketika di *tempering* martensit akan berubah menjadi martensit temper.



Gambar 12. Struktur Mikro Baja S45C Setelah di *Quenching* Menggunakan Larutan NaCl 5% dan di *Tempering* Selama 15 Menit

Pada hasil uji struktur mikro tersebut, baja S45C yang di *quenching* menggunakan larutan NaCl 5% dan di *tempering* memiliki struktur mikro berupa martensit temper dan sisa austenit. Martensit terbentuk ketika spesimen didinginkan menggunakan media pendingin yang memiliki laju pendinginan yang cepat sehingga austenit bertransformasi menjadi martensit. Kemudian ketika di *tempering* martensit akan berubah menjadi martensit temper.



Gambar 13. Struktur Mikro Baja S45C Setelah di *Quenching* Menggunakan Oli SAE 15 W 40 + Karbon Aktif 0.12% dan di *Tempering* Selama 25 Menit

Pada hasil uji struktur mikro tersebut, baja S45C yang di *quenching* menggunakan larutan oli SAE 15 W 40 + karbon aktif 0.12% memiliki struktur mikro berupa perlit dan ferit. Perlit terbentuk ketika spesimen didinginkan menggunakan media pendingin yang memiliki laju pendinginan yang lambat sehingga austenit akan bertransformasi menjadi perlit.

4. Kesimpulan

Masing-masing media pendingin memiliki laju pendinginan yang berbeda-beda. Semakin cepat laju pendinginan yang dimiliki suatu media pendingin maka nilai kekerasannya semakin meningkat dan semakin lambat laju pendinginannya maka nilai kekerasannya semakin rendah. Dan penambahan zat terlarut pada media pendingin memiliki pengaruhnya masing masing. Semakin lama dipanaskan kembali maka spesimen semakin menurun nilai kekerasannya.

Spesimen yang di *quenching* menggunakan media pendingin yang ditambahkan karbon aktif dan di *tempering* semakin lama cenderung mengalami penurunan harga impact. Dimana penurunan harga impact membuat spesimen menjadi semakin getas. Dan pada spesimen yang di *quenching* menggunakan larutan NaCl 5% memiliki harga impact yang cenderung semakin meningkat ketika di *tempering*. Semakin meningkatnya harga impact membuat spesimen tersebut menjadi semakin ulet (*ductile*).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kepada Kepala Laboratorium Perlakuan Bahan, Politeknik Negeri Malang dan dosen pembimbing yang telah membimbing saya sehingga dapat menyelesaikan eksperimen ini.

Daftar Pustaka

- [1] Suarsana IK, Santhiarsa IN, Negara DP. Pengaruh Perlakuan Temperatur dan Media Pendinginan Terhadap Sifat Ketangguhan Baja AISI 3215. *Jurnal METTEK*. 2018 Apr 30;4(1):23.
- [2] Syaifullah M, Subhan M, Juanda J. Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST 60. *Jurnal Syntax Admiration*. 2021 Aug 23;2(8):1555–69.
- [3] Gunawan E. ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA KARBON RENDAH (ST41) DENGAN METODE PACK CARBIRIZING. *Teknika: Engineering and Sains Journal*. 2017;1(2).
- [4] Hidayat W. *Klasifikasi dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian material*. 2019.
- [5] Sofyan BT. *Pengantar Material Teknik*. 2nd ed. Vol. 2. UNHAN RI PRESS; 2021.
- [6] Hafni Sahir S. *Metodologi Penelitian [Internet]*. Vol. 1. Bantul-Jogjakarta: PENERBIT KBM INDONESIA; 2021. Available from: www.penerbitbukumurah.com
- [7] American A, Standard N. Designation: E18 – 20 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. 2020; Available from: <http://www.ansi.org>.
- [8] American A, Standard N. Designation: E23 – 16b Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1. 2016; Available from: www.astm.org.