

## **ANALISIS PENGARUH TRIPLE TEMPER TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA S45C**

Anang Kustanto<sup>1</sup>, Margono Sugeng<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Dian Nusantara

Email: [anangkustanto12@gmail.com](mailto:anangkustanto12@gmail.com)<sup>1</sup>, [margono.sugeng@undira.ac.id](mailto:margono.sugeng@undira.ac.id)<sup>2</sup>

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses *Triple Temper* terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baja karbon sedang jenis S45C. Baja S45C sering digunakan dalam komponen alat pertanian dan konstruksi mesin yang membutuhkan kombinasi kekuatan dan ketangguhan. Masalah utama dalam penggunaan baja ini adalah kebutuhan untuk menyeimbangkan sifat keras dan ulet agar tahan terhadap beban dampak dan gesekan tinggi. Metode penelitian dilakukan secara eksperimen laboratorium dengan memberikan perlakuan panas *hardening* pada suhu 850°C yang diikuti *quenching* media oli, kemudian dilanjutkan dengan proses *Triple Tempering* pada suhu 650°C selama 120 menit sebanyak tiga siklus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses *Triple Temper* bertujuan untuk menstabilkan struktur martensit, menurunkan tegangan sisa internal, dan memperhalus presipitasi karbida. Analisis struktur mikro menunjukkan adanya fasa *tempered martensite* dengan distribusi karbida yang lebih homogen.

**Kata Kunci:** Baja S45C, *Triple Temper*, Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, *Heat Treatment*.

**Abstract:** This study aims to analyze the effect of the Triple Temper process on the tensile strength and microstructure of S45C medium carbon steel. S45C steel is commonly used in agricultural equipment components and machine construction that require a combination of strength and toughness. The main challenge in using this steel is the need to balance hardness and ductility to withstand high impact loads and friction. The research method was conducted through laboratory experiments by applying a hardening heat treatment at 850°C followed by oil quenching, then continued with a Triple Tempering process at 650°C for 120 minutes across three cycles. The test results show that the Triple Temper process aims to stabilize the martensite structure, reduce internal residual stress, and refine carbide precipitation. Microstructural analysis indicates the presence of a tempered martensite phase with a more homogeneous carbide distribution.

**Keywords:** S45C Steel, Triple Temper, Tensile Strength, Microstructure, Heat Treatment.

## **PENDAHULUAN**

Alat bantu pertanian seperti mata bajak, poros transmisi, dan alat pencacah tanah seringkali bekerja pada kondisi ekstrem, terpapar beban dampak, serta gesekan tinggi dengan media tanah. Oleh karena itu, pemilihan material yang memiliki kombinasi kekuatan tarik

(*tensile strength*) yang tinggi dan ketangguhan yang baik menjadi syarat mutlak dalam konstruksi alat pertanian.

Baja merupakan material logam yang sangat krusial bagi berbagai kebutuhan manusia, meskipun sering kali tingkat kekerasan alaminya belum memenuhi spesifikasi teknis yang dibutuhkan. (Ariyanto:2022). Seiring dengan kemajuan teknologi, pengembangan produksi baja terus ditingkatkan melalui penggunaan bahan baku yang lebih berkualitas. Baja karbon, yang menjadi komponen utama dalam pembuatan peralatan permesinan, memerlukan optimalisasi sifat mekanik agar mencapai keseimbangan antara kekerasan dan keuletan yang tepat. Oleh karena itu, penerapan proses perlakuan panas (*heat treatment*) menjadi langkah esensial untuk memodifikasi karakteristik baja, mulai dari sifat lunak hingga mencapai tingkat kekerasan yang diinginkan sesuai dengan fungsi penggunaannya (Meyzan Andreansyah:2023)

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Triple Temper* terhadap kekuatan tarik dan mikro struktur baja S45C serta menentukan material yang sesuai berdasarkan aspek mekanis dan metalurginya.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **1. Pengertian Baja**

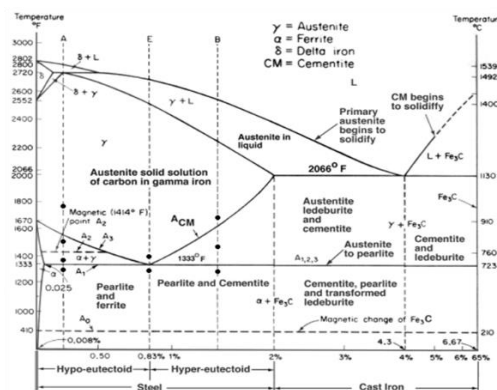
Baja merupakan logam ferro yang sangat penting dalam bidang teknik dan industri. Ini adalah paduan utama dari besi dan karbon, dengan besi (Fe) menyusun sekitar 97% komposisinya, sedangkan karbon (C) berkisar antara 0,2% hingga 2,1% tergantung pada jenisnya. Selain itu, baja mengandung unsur tambahan seperti mangan (Mn) hingga maksimal 1,65%, silikon (Si) hingga 0,6%, tembaga (Cu) hingga 0,6%, serta sulfur (S), fosfor (P), dan lainnya dalam jumlah terbatas yang bervariasi.

### **2. Klasifikasi Baja dan Hubungannya dengan Diagram Fasa Fe<sub>3</sub>C**

Baja diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok berdasarkan kandungan karbon dan unsur paduan. Baja karbon dibagi menjadi baja karbon rendah (low carbon steel, karbon <0,3%), baja karbon sedang (medium carbon steel, karbon 0,3-0,6%), dan baja karbon tinggi (high carbon steel, karbon >0,6%). Sementara itu, baja paduan terdiri dari baja paduan rendah (low alloy steel, unsur paduan <5%), baja paduan menengah (medium alloy steel, unsur paduan 5-10%), dan baja paduan tinggi (high alloy steel, unsur paduan >10%). Baja karbon diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbon, yang memengaruhi sifat mekanik dan aplikasi. Klasifikasi ini sering mengikuti standar seperti ASTM atau SAE:

- a. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel, Mild Steel): Kandungan karbon 0,05-0,3%; contoh: AISI 1010-1025. Sangat ulet, mudah dibentuk dan dilas, tetapi kekerasan rendah (kekerasan Brinell ~100-150). Cocok untuk lembaran, pipa, dan konstruksi ringan.
- b. Baja Karbon Sedang (Medium Carbon Steel): Kandungan karbon 0,3-0,6%; contoh: AISI 1030-1060. Menawarkan keseimbangan kekuatan (ultimate tensile strength ~500-800 MPa) dan keuletan, responsif terhadap perlakuan panas. Digunakan untuk komponen mesin seperti poros dan roda gigi.
- c. Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel): Kandungan karbon 0,6-2,1%; contoh: AISI 1060-1095. Sangat keras (kekerasan Brinell ~200-600) dan kuat, tetapi rapuh dan sulit dibentuk. Ideal untuk alat potong, pegas, dan kabel baja.
- d. Variasi Lain: Termasuk baja karbon ultra-rendah (<0,05% C) untuk aplikasi khusus seperti pelat baja galvanis, atau baja karbon eutektoid (~0,8% C) yang memiliki titik transformasi spesifik.

Transformasi fase baja berdasarkan kandungan karbon dan suhu, yang langsung terkait dengan klasifikasi ini akan ditunjukkan pada Diagram fasa  $Fe_3C$  (diagram besi-karbon) akan dijelaskan sebagai gambar diagram dibawah ini



*Gambar 1 Diagram fasa  $Fe_3C$*

Pada gambar 1 diatas ada baja karbon rendah (misalnya, karbon sekitar 0,2%), struktur mikro terutama ferrit ( $\alpha$ -Fe) dan pearlit (campuran ferrit dan sementit), yang memberikan keuletan tinggi namun kekerasan rendah cocok untuk aplikasi seperti konstruksi. Baja karbon sedang (karbon 0,4-0,6%) sering mengandung pearlit dan bainit, menawarkan keseimbangan kekerasan dan keuletan, sering digunakan untuk poros dan roda gigi. Baja karbon tinggi (karbon >0,8%) dominan sementit ( $Fe_3C$ ), menghasilkan kekerasan ekstrem tetapi keuletan rendah, ideal untuk alat potong dan pegas.

### **Baja Karbon Menengah (S45C)**



*Gambar 2 Pipa S45C*

Pada gambar 2 diatas, menunjukkan Besi Assental S45C merupakan salah satu jenis baja karbon yang banyak digunakan dalam industri manufaktur dan teknik. Dengan sifat mekanis yang unggul serta kemampuan machining yang baik, material ini menjadi pilihan utama dalam pembuatan berbagai komponen mesin dan konstruksi. Baja S45C merupakan baja karbon menengah dengan kadar karbon antara 0,42–0,48% dan termasuk dalam standar JIS G4051. Baja ini banyak digunakan pada industri manufaktur dan konstruksi mesin karena memiliki kombinasi sifat kekuatan, kekerasan, dan keuletan yang baik.

### **Perlakuan Panas (*Heat treatment*) dan Pengaruhnya terhadap Sifat Mekanik**

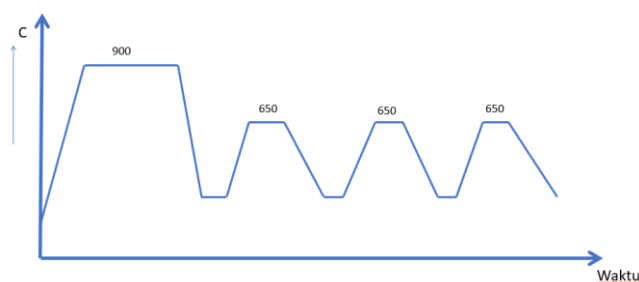
Perlakuan panas atau *heat treatment* merupakan proses penting dalam bidang metalurgi yang bertujuan untuk mengubah sifat mekanik maupun struktur mikro logam melalui proses pemanasan dan pendinginan terkontrol. Perlakuan panas diterapkan untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, keuletan, ketangguhan, dan daya tahan aus material logam, terutama baja karbon dan paduannya.

Proses *Normalizing*, Normalizing dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga mencapai suhu sedikit di atas daerah transformasi austenit (sekitar 850–900°C), kemudian didinginkan di udara terbuka. Tujuan proses ini adalah untuk memperbaiki distribusi butir austenit, meningkatkan kekuatan, serta menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan annealing. Struktur hasil normalizing umumnya berupa fine pearlite dan ferrite.

Proses *Hardening*, Proses hardening dilakukan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material melalui transformasi fasa austenit menjadi martensit. Baja dipanaskan hingga membentuk austenit (sekitar 800–900°C tergantung kadar karbon), kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*) menggunakan media pendingin seperti air, oli, atau udara

tekan. Struktur martensit yang terbentuk sangat keras namun bersifat getas, sehingga biasanya dilanjutkan dengan proses *tempering* untuk menurunkan kerapuhan material.

Proses *Tempering*, *Tempering* merupakan proses lanjutan setelah hardening, yang bertujuan untuk mengurangi kerapuhan (brittleness) dan meningkatkan ketangguhan (toughness) baja tanpa menurunkan kekerasan secara signifikan. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada suhu 150–650°C tergantung tingkat kekerasan dan sifat yang diinginkan, kemudian didinginkan perlahan di udara. maka kekerasan akan menurun, namun ketangguhan dan keuletan material meningkat. *Triple Temper* dengan Variasi *Holding Time*, Dalam penelitian dan rekayasa material modern, dikenal metode *Triple Temper*, yaitu proses *tempering* yang dilakukan tiga kali secara berurutan dengan waktu tahan (holding time) dan suhu yang dikontrol secara spesifik. Tujuannya adalah untuk mendapatkan struktur mikro yang lebih stabil, homogen, dan memiliki kombinasi kekuatan serta ketangguhan yang optimal.

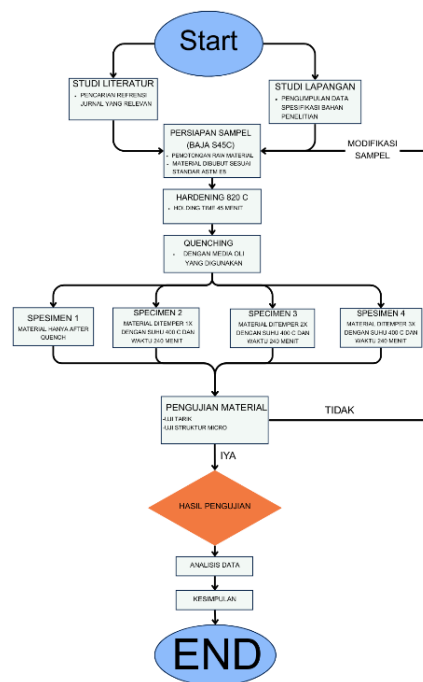


*Gambar 3 Diagram Proses*

Pada gambar 3 menunjukkan proses *heat treatment* baja karbon menengah seperti S45C, metode *Triple Temper* dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak mikro, menurunkan tegangan sisa internal, serta memperhalus presipitasi karbida. Proses ini juga memperbaiki transisi antara fasa martensit dan ferrite sehingga menghasilkan mikrostruktur yang lebih seimbang antara kekerasan dan keuletan.

## **METODE PENELITIAN**

Diagram alir penelitian ini menggambarkan tahapan sistematis yang dilakukan untuk menganalisis pengaruh perlakuan panas terhadap karakteristik mekanik dan struktur mikro baja S45C.



*Gambar 4 Flowchart Penelitian*

## Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengetahui pengaruh proses *Triple Temper* terhadap perubahan kekuatan tarik dan struktur mikro material baja karbon sedang S45C. Variasi waktu *tempering* digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan sifat mekanik dan metalurgi. Metode laboratorium dipilih karena memungkinkan kontrol presisi terhadap kondisi perlakuan panas, berbeda dari metode lapangan yang sulit mengontrol variabel eksternal. Ini sesuai dengan standar ASTM untuk pengujian material baja, memastikan hasil yang objektif dan dapat diukur.

## Bahan dan Alat Penelitian

### a. Bahan

1. Material S45C berbentuk silindris
2. Oli pendingin untuk proses quenching.
3. Kertas ampelas dan polishing material untuk preparasi metalografi.

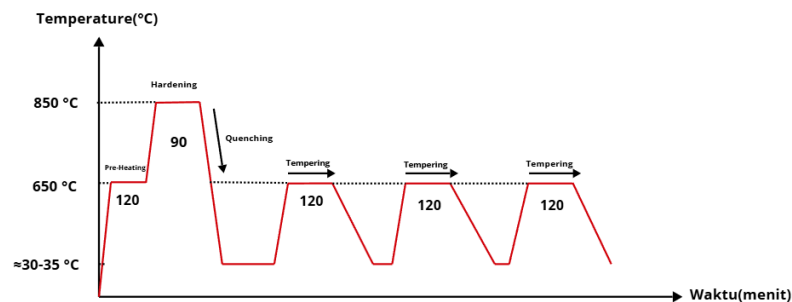
### b. Alat

1. Furnace/oven pemanas untuk proses hardening dan *tempering*.
2. Universal Testing Machine (UTM) untuk uji tarik.
3. Mikroskop metalografi atau SEM untuk pengamatan struktur mikro.
4. Alat pemotong material (cutting machine).

5. Mesin mounting, grinding–polishing.(Media Preparasi)
6. Termokopel atau alat ukur temperatur.

### Proses Perlakuan Panas

Pada proses heat treatment terjadi beberapa perubahan suhu pada setiap prosesnya ditunjukkan pada grafik dibawah ini



*Gambar 5 Diagram Proses*

Berdasarkan grafik pada gambar 3.3 perlakuan panas (*heat treatment*) yang diberikan, berikut tahap demi tahap proses tersebut:

- a) Pemanasan Awal (*Pre-Heating*): Material dipanaskan secara bertahap dari suhu ruang hingga mencapai 650 °C dan ditahan selama 120 menit untuk menstabilkan suhu internal agar tidak retak saat suhu dinaikkan lebih tinggi.
- b) Pengerasan (*Hardening*): Suhu ditingkatkan kembali hingga 850 °C dan ditahan selama 90 menit guna mengubah struktur mikro material menjadi austenit agar siap untuk tahap pengerasan.
- c) Pendinginan Cepat (*Quenching*): Material langsung didinginkan secara mendadak dari suhu 850 °C menuju suhu ruang untuk mengubah strukturnya menjadi martensit yang bersifat sangat keras.
- d) Penormalan Berulang (*Triple Tempering*): Proses pemanasan kembali ke suhu 650 °C yang dilakukan sebanyak tiga kali dengan durasi masing-masing 120 menit per siklus.

Berikut langkah-langkah melakukan heat treatment pada baja akan ditunjukkan pada tabel langkah dibawah ini

Tabel 3.1 Langkah *Heat treatment*

| No. | Gambar Langkah Pengujian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | <p>Spesimen dipanaskan pada suhu preheating 650°C selama 120 menit, kemudian dinaikan suhunya menjadi 850 °C selama 90 menit hingga mencapai fasa austenit penuh.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2.  | <p>Dilanjutkan dengan pendinginan cepat (<i>quenching</i>) dalam media oli SAE 40 pada suhu ruang. Setelah proses <i>After Quenching</i>, Specimen 1 dilakukan tes kekerasan, Specimen 2 dilakukan pemanasan pada suhu 650°C selama 240 menit, kemudian didinginkan udara. Specimen 2 dilakukan pemanasan kembali pada suhu 650°C selama 240 menit, didinginkan udara. Specimen 3: dilakukan pemanasan terakhir secara 3 kali pada suhu 650°C selama 240 menit, kemudian didinginkan udara. Proses ini dilakukan untuk menstabilkan struktur martensit dan memperhalus presipitasi karbida.</p>  |
| 3.  | <p>Hasilnya setelah dilakukan pengujian <i>heat treatment</i> dengan dilakukan pengujian RockWell menghasilkan nilai HRC dengan struktur martensit keras dan getas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### Pengujian Material

Untuk memastikan ketahanan specimen, proses ini dilakukan secara sistematis guna mencapai standar spesifikasi teknik yang diinginkan sebagai berikut:

#### Uji Kekuatan Tarik (*Ultimate Tensile Strength*)

Uji tarik dilakukan menggunakan mesin UTM (Universal Testing Machine) sesuai standar ASTM E8. Data yang diambil meliputi:

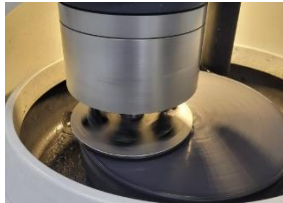
Tabel 3.2 Langkah Uji Tarik

| No. | Gambar Langkah Pengujian                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | <p><b>Pembentukan Spesimen:</b> Bentuk spesimen menggunakan mesin bubut hingga memiliki bagian yang tereduksi (<i>Reduced Section</i>) di tengah. Pastikan dimensi sesuai dengan tabel standar ASTM E8.</p>                 |
| 2.  | <p><b>Pemberian Tanda Specimen:</b> Pastikan bagian ujung permukaan pada specimen diberikan nomor agar patahan material tidak tertukar pada specimen yang lain.</p>                                                         |
| 3.  | <p><b>Pengaturan Kecepatan Tarik:</b> Atur kecepatan mesin sesuai standar ASTM E8 yaitu 10 mm/min. Kemudian specimen dipasangkan dengan dicekam dibagian kedua ujung.</p>                                                  |
| 4.  | <p><b>Memulai Penarikan:</b> Jalankan mesin. Amati grafik beban vs perpanjangan yang muncul secara <i>real-time</i> di monitor. Pelepasan Extensometer: Jika menggunakan extensometer, lepaskan alat tersebut setelah material melewati titik leleh untuk menghindari kerusakan alat saat spesimen putus.</p> |

### Uji *Metallography* (Uji Mikro Struktur)

Pengamatan struktur mikro pada specimen menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mengamati struktur mikro. Peralatan dan tahapan yang dilakukan pada pengujian ini diantaranya adalah.

Tabel 3.3 Langkah Uji Metalography

| No. | Gambar Langkah Pengujian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | <p><b>Preparasi Sampel (Cutting &amp; Mounting):</b> Spesimen dipotong sesuai dimensi yang dibutuhkan. Jika ukuran spesimen terlalu kecil, dilakukan proses mounting menggunakan resin termoset atau akrilik agar lebih mudah dipegang saat proses pengamplasan.</p>                                                                                                  |
| 2.  | <p><b>Pengamplasan (Grinding):</b> Permukaan spesimen diampelas secara bertahap menggunakan kertas amplas (SiC) dengan tingkat kekasaran yang meningkat, mulai dari <i>grit</i> 120, 240, 400, 600, 800, hingga 1000 atau 1200.</p>                                                                                                                                   |
| 3.  | <p><b>Pemolesan (Polishing):</b> Setelah pengamplasan selesai, dilakukan pemolesan menggunakan kain beludru (<i>polishing cloth</i>) dan bahan abrasif yang sangat halus seperti <b>serbuk intan (diamond paste)</b> atau <b>alumina</b>. Tujuannya adalah menghilangkan semua goresan halus hingga permukaan spesimen tampak mengkilap sempurna (efek cermin).</p>  |
| 4.  | <p><b>Pengetsaan (Etching):</b> Ini adalah tahap paling kritis. Permukaan yang sudah mengkilap diolesi dengan zat etsa. Untuk baja karbon sedang seperti S45C, biasanya menggunakan larutan <b>Nital</b> (campuran 3% dan alkohol). Larutan ini akan mengikis batas butir sehingga fasa-fasa pada baja dapat terlihat di bawah mikroskop.</p>                        |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. | <p><b>Pengamatan Mikroskopis:</b> Spesimen diletakkan pada meja mikroskop optik. Pengamatan dilakukan mulai dari perbesaran rendah (misal 100x) hingga perbesaran tinggi (untuk mengidentifikasi fasa-fasa hasil <i>triple temper</i>).</p>  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada specimen yang telah dilakukan proses *Heat treatment*, Uji Tarik, dan Uji Micro Struktur.

### Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang didapat adalah sebagai berikut :

#### 1. Hasil Proses *Heat treatment*

**Tabel 4.1 Hasil *Heat treatment***

| No | Nama Sampel  | Suhu Pre-Heating(°C) | Suhu Kristalisasi(°C) | Holding Time(menit) | Nilai Kekerasan (HRC) |
|----|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. | Tanpa Tamper | 650                  | 850                   | 90                  | 47.0                  |
| 2. | 1x Tamper    | 650                  | 850                   | 90                  | 35.0                  |
| 3. | 2x Tamper    | 650                  | 850                   | 90                  | 42.0                  |
| 4. | 3x Tamper    | 650                  | 850                   | 90                  | 33.0                  |

### Hasil Pengujian Uji Tarik

**Tabel 4.2 Dimensi Specimen**

| Nama Sampel  | Diameter(mm) | Gauge Length(mm) |
|--------------|--------------|------------------|
| Tanpa Tamper | 13.76        | 50.00            |
| 1x Tamper    | 13.80        | 50.00            |
| 2x Tamper    | 13.35        | 50.00            |

|           |       |       |
|-----------|-------|-------|
| 3x Tamper | 13.55 | 50.00 |
|-----------|-------|-------|

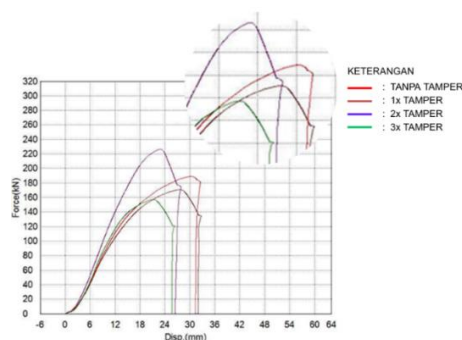
Pada tabel diatas menunjukkan untuk spesifikasi dan dimensi pada setiap specimen setelah pengukuran.

**Tabel 4.3 Hasil Uji Tarik A**

| Nama Unit       | Max_Force<br>Calc.at<br>Entire<br>Areas (kN) | Tensile_Strenght<br>Calc. at Entire<br>Areas (N/mm <sup>2</sup> ) | YS1_Stress<br>0.2% (N/mm <sup>2</sup> ) | Modulus<br>Elastisitas<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Elongnation<br>(%) |
|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------|
| Tanpa<br>Tamper | 189.051                                      | 1271.31                                                           | 301.655                                 | 82.8755                                        | 15.34              |
| 1x Tamper       | 170.701                                      | 1141.27                                                           | 357.755                                 | 90.5770                                        | 12.60              |
| 2x Tamper       | 226.287                                      | 1580.89                                                           | 249.765                                 | 75.4962                                        | 20.94              |
| 3x Tamper       | 157.063                                      | 1089.19                                                           | 162.54                                  | 77.7993                                        | 14.00              |

**Tabel 4.4 Hasil Uji Tarik B**

| Variabel<br>Temper | Perpanjangan<br>Maks<br>(mm) |
|--------------------|------------------------------|
| Tanpa Temper       | 31                           |
| 1x Temper          | 32                           |
| 2x Temper          | 26                           |
| 3x Temper          | 25                           |



**Gambar 4.1 Diagram Pengujian Uji Tarik**

(Sumber : Data Pribadi)

Pada Gambar 4.1 menunjukkan Grafik Grafik tersebut merupakan kurva Gaya (*Force*) dalam satuan kN (sumbu Y) terhadap Perpanjangan (*Displacement*) dalam satuan mm (sumbu X). Kurva ini menunjukkan bagaimana material bereaksi terhadap beban tarik hingga akhirnya patah.

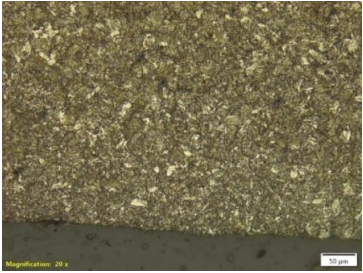
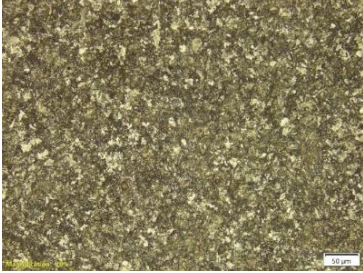
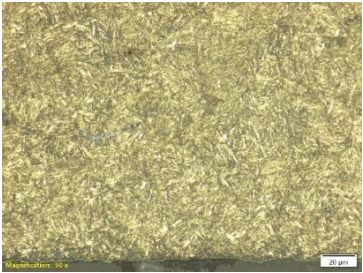
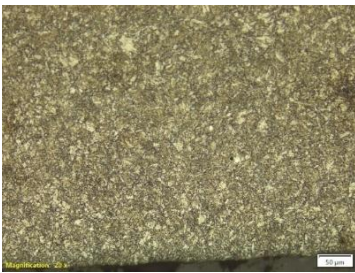
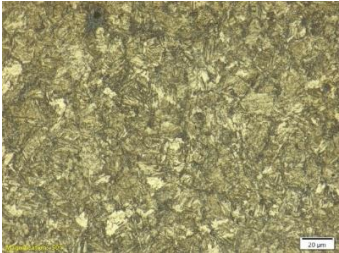
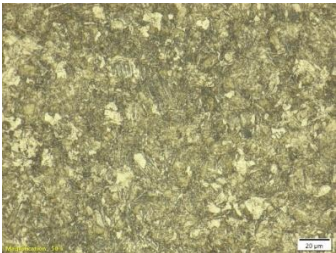
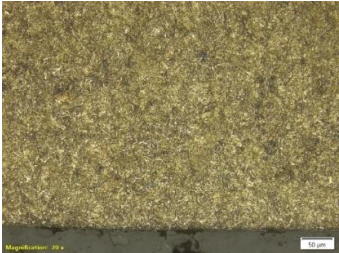
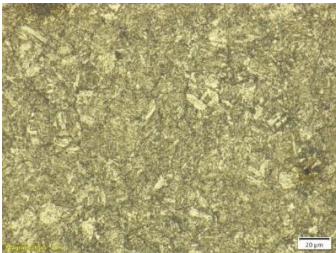
### Perbandingan Setiap Specimen

- a) Tanpa Temper (Garis Merah). Spesimen tanpa temper (0 temper) menunjukkan daktilitas paling tinggi dengan titik patah pada perpanjangan 31 mm dan kekuatan tarik maksimum sebesar 189,051 kN. Hal ini membuktikan bahwa kondisi *as-quenched* pada baja S45C dengan diameter 13,76 mm masih mempertahankan fleksibilitas yang sangat baik di samping kekuatannya yang tinggi.
- b) 1x Temper (Garis Cokelat). Pada spesimen dengan perlakuan 1x Temper, terjadi penurunan beban maksimum menjadi 170,701 kN dengan diameter spesimen 13,80 mm. Walaupun mampu mencapai perpanjangan hingga 32 mm, performa spesimen ini secara umum masih lebih rendah dibandingkan spesimen tanpa temper dalam hal menahan beban tarik maupun elastisitasnya.
- c) 2x Temper (Garis Ungu). Spesimen 2x Temper mencatatkan beban maksimum tertinggi sebesar 226,287 kN. Namun, material menunjukkan sifat yang lebih getas dengan perpanjangan maksimum hanya sebesar 24 mm, lebih rendah dibandingkan spesimen tanpa temper dan 1x temper.
- d) 3x Temper (Garis Hijau). Spesimen dengan perlakuan *triple temper* menunjukkan performa mekanik terendah dengan beban maksimum hanya sebesar 157,063 kN dan mengalami patah paling awal pada perpanjangan di bawah 23 mm. Dengan diameter spesimen sebesar 13,55 mm, hasil ini menunjukkan bahwa siklus *tempering* yang berlebihan pada baja S45C justru menurunkan kekuatan tarik dan keuletan material secara drastis.

### Hasil Pengujian Struktur Mikro

Berdasarkan pengujian metalografi yang dilakukan menggunakan mikroskop optik pada berbagai tingkat perbesaran, diperoleh gambaran detail mengenai fasa dan morfologi butir baja S45C setelah proses quenching dan tempering. Hasil pengamatan.

| Ukuran<br>Pembesaran | Hasil Tangkapan Gambar |
|----------------------|------------------------|
|----------------------|------------------------|

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20x | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 2</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 3</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 4</p>  </div> </div>         |
| 50x | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 2</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 3</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Specimen 4</p>  </div> </div> |

## Pembahasan Penelitian

### 1. Proses Heat treatment

Data menunjukkan adanya perubahan signifikan pada kemampuan material dalam menahan beban setelah melalui proses *Triple Tempering*:

**A. Kekuatan Beban Maksimum:**

- a) Pada kondisi Tanpa Temper (0 Temper), material mampu menahan beban hingga 301,655 kN. Ini menunjukkan kekerasan dan kekuatan puncak setelah proses *quenching* sangat tinggi.
- b) Setelah proses 3x Temper, kekuatan beban maksimum turun drastis menjadi 157,063 kN (penurunan sekitar 50%).

**B. Kapasitas Tegangan Tarik:**

- a) Terdapat korelasi linear antara jumlah siklus temper dengan penurunan tegangan tarik. Penurunan ini mengindikasikan bahwa siklus panas yang berulang (3 kali) pada suhu 650°C menyebabkan material kehilangan sifat kaku dan kerasnya secara signifikan.

**2. Pengujian Tarik**

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui respon mekanik baja S45C terhadap beban aksial setelah diberikan berbagai variasi siklus *tempering*. Data pengujian mencakup beban maksimum yang dapat ditahan (*Force*) serta kemampuan deformasi material (*Displacement*).

**3. Analisis Performa Mekanik**

**a) Kondisi Tanpa Temper**

Dari hasil yang didapat, spesimen tanpa temper menunjukkan performa terbaik dalam pengujian ini. Meskipun memiliki beban maksimum kedua tertinggi (189,051 kN),). Spesimen ini juga memiliki daktilitas (keuletan) tertinggi dengan perpanjangan hingga 31 mm. Hal ini menunjukkan struktur martensit hasil *quenching* pada sampel ini masih memiliki integritas kristal yang sangat baik.

**b) Keseimbangan Kekuatan dan Keuletan**

Meskipun spesimen 2x Temper menunjukkan kekuatan mekanik yang luar biasa tinggi (paling tinggi di antara semua sampel), terdapat konsekuensi pada sifat daktilitasnya. Spesimen ini mengalami patah pada perpanjangan 26 mm, yang jauh lebih pendek dibandingkan spesimen Tanpa Temper (31 mm). Hal ini menunjukkan bahwa proses dua kali *tempering* berhasil meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik secara drastis, namun menyebabkan material menjadi lebih getas (brittle).

#### **4. Pengamatan Mikro Struktur**

Analisis metalografi dilakukan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terjadi pada baja S45C setelah mengalami proses *quenching*. Berdasarkan pengamatan visual pada mikroskop dengan perbesaran 20x dan 50x berikut analisisnya

**Identifikasi Fasa Utama:** Martensit Akikular. Struktur mikro yang terbentuk pada seluruh sampel didominasi oleh fasa Martensit Akikular (*Acicular Martensite*).

- a) Pada perbesaran 50x, terlihat jelas kumpulan bilah-bilah jarum halus (*laths*) yang tumbuh secara acak dan saling bersilangan. Struktur ini mencerminkan mekanisme transformasi *displacive* (geser) tanpa difusi dari fasa austenit akibat laju pendinginan yang sangat cepat.
- b) Tekstur: Jarum-jarum martensit tampak sangat tajam dan rapat, yang secara teoritis memberikan kontribusi langsung pada nilai beban tarik tinggi 225 kN yang teramati pada grafik uji tarik specimen 2x temper pada gambar grafik 4.1.

**Kehadiran Austenit Sisa (*Retained Austenite*)** Di antara matriks martensit yang berwarna gelap, ditemukan adanya bintik-bintik atau area berwarna terang yang terdistribusi secara tidak merata.

- a) Deskripsi: Area terang ini diidentifikasi sebagai Austenit Sisa, yaitu fasa austenit yang terjebak dan tidak sempat bertransformasi menjadi martensit karena titik akhir pendinginan baja S45C berada di bawah suhu kamar.
- b) Pengaruh: Kehadiran fasa ini memberikan sedikit kontribusi pada daktilitas material, yang menjelaskan mengapa spesimen tanpa temper (0 temper) masih memiliki nilai elongasi yang cukup tinggi yakni 33 mm.

#### **5. Hubungan Struktur dengan Integritas Material**

Struktur martensit yang kasar dan tajam pada hasil mikroskop menunjukkan bahwa material berada dalam kondisi tegangan dalam (*internal stress*) yang ekstrem. Secara metalurgi, integritas struktur seperti ini sangat sensitif terhadap retak mikro (*micro-cracking*). Inilah alasan mengapa pada perlakuan 3x Temper, kekuatan material turun drastis ke 155 kN, karena siklus panas berlebih kemungkinan besar telah menyebabkan disosiasi batas butir atau pelunakan berlebihan pada jarum-jarum martensit tersebut.

#### **6. Korelasi hubungan antara hasil uji kekerasan, uji Tarik dan metallografi**

Berdasarkan keseluruhan data yang diperoleh, terdapat korelasi yang sangat kuat antara

struktur mikro yang terbentuk dengan sifat mekanik material baja S45C setelah proses perlakuan panas. Hubungan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Pengaruh Struktur Mikro terhadap Kekuatan dan Kekerasan. Hasil metalografi menunjukkan dominasi fasa Martensit Akikular dengan ciri khas bilah-bilah jarum yang tajam dan saling mengunci. Secara teoritis, struktur martensit memiliki kerapatan dislokasi yang sangat tinggi, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan nilai kekerasan dan tegangan tarik MPa. Hal ini terbukti pada spesimen 2x Temper (diameter 13,36 mm). Struktur jarum yang rapat ini memberikan hambatan yang besar terhadap deformasi plastik.
- b) Hubungan antara Daktilitas dan Austenit Sisa  
Meskipun struktur martensit bersifat keras dan getas, pengamatan metalografi mengidentifikasi adanya Austenit Sisa (area terang) di antara matriks martensit. Kehadiran fasa ini memberikan kontribusi pada sifat daktilitas atau keuletan material. Korelasi ini terlihat jelas pada spesimen Tanpa Temper (0 Temper) yang memiliki elongasi paling tinggi yaitu 31 mm. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi as-quenched, baja S45C masih memiliki fleksibilitas yang cukup baik karena transformasi fasa yang belum sepenuhnya kaku.
- c) Fenomena Penurunan Sifat Mekanik pada Triple Temper  
Terdapat korelasi negatif pada spesimen 3x Temper (Garis Hijau), di mana kekuatan tarik turun ke titik terendah yaitu 155 kN. Berdasarkan tinjauan metalografi, siklus pemanasan berulang menyebabkan struktur martensit mengalami pelunakan berlebihan (*over-tempering*). Secara mikroskopis, jarum-jarum martensit yang semula tajam mulai kehilangan integritasnya, yang berdampak pada penurunan kemampuan material dalam menahan beban tarik serta penurunan daktilitas secara bersamaan (hanya 25 mm)..

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai pengaruh *Triple Temper* terhadap baja S45C, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam data uji tarik yang dapat bisa disimpulkan jika dalam segi optimalitas, perlakuan 2x tamper memberikan hasil terbaik untuk kekuatan tarik dan beban maksimal. Material pada fase ini menjadi sangat kuat sekaligus memiliki keuletan (regangan) yang tinggi. Untuk kesimpulan material *over processing* pada perlakuan 3x tamper menunjukkan

indikasi *over-tempered* atau kejenuhan material, di mana kekuatan struktur justru melemah signifikan dibandingkan tanpa perlakuan sama sekali. Dan untuk dari segi kekakuan, jika tujuan desain adalah mencari material yang paling kaku (tidak mudah berubah bentuk), maka 1x temper adalah pilihan terbaik karena memiliki modulus elastisitas tertinggi.

2. Proses *Triple Temper* secara signifikan memengaruhi struktur mikro baja S45C dengan mentransformasi martensit hasil *quenching* yang getas menjadi *tempered martensite* yang lebih tangguh dan stabil.

### **Saran**

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengecekan pada kualitas pencarian, pembelian dan menggunakan sampel, pastikan sampel baik dilakukan pengujian. Dikarenakan sangat mempengaruhi dalam pengujian mikro struktur.
2. Disarankan pada sebelum uji tarik, sampel dipotong terlebih dahulu untuk keperluan mounting preparasi uji metallography.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Ihsan Saputra, N. P. (2020). Pengaruh Temperatur *Tempering* Terhadap Pembentukan Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja SKD 11 Untuk Tool Steel. *Volume 2, Nomor 1 (Juni 2020)*, 10-13.
- Jaya, M. R. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur *Tempering* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja AISI 1045. *Seminar Nasional Ilmu Teknik Dan Aplikasi Industri*, 148-151.
- Kawi Saputra, A. A. (2025). Pengaruh Proses Quenching Dan *Tempering* Terhadap Perubahan Mikrostruktur Dan Kekerasan Baja SKD11. *Vol 9 No. 7 Juli 2025*, 2118-7452.
- Margono Sugeng, A. F. (2021). Pengaruh Twice Temper Dan Variasi Temperatur Nitridasi Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Perkakas. *Volume 01, Issue 02, September 2021*, 268-280.
- Meyzan Andreansyah, R. D. (2023). Pengaruh Proses *Heat treatment* (Quenching Dan *Tempering*) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah. *Volume IX, No.1, Januari 2024*, 7864 - 7872.
- Perdana, J. P. (2024). The Effect Of Austenization Temperature Variations On The Mechanical

Properties Of Stainless Steel. *Volume 3077, Issue 1*, 050030.

- Randy Rifnaldi, M. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas Hardening Dan *Tempering* Terhadap Kekerasan (Hardness) Baja AISI 1045. *Journal Of Multidisciplinary Research And Development*, 950-959.
- Sumpena, W. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur Hardening Dan *Tempering* Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran Terhadap Kekerasan. *Jurnal ENGINE Vol. 2 No. 1*, 26-32.
- Wibowo, A. K. (2020). Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Pendingin Air Dan Oli Terhadap Kekerasan Baja Dan Struktur Mikro Baja S45C. *Volume 2 No 2 2020*, 147-148.