

**PENGARUH TEMPERATUR DAN HOLDING TIME DALAM PROSES  
TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK PIPA LOW CARBON STEEL LOW  
ALLOY GRADE X65Q**

**Agris Setiawan<sup>1</sup>, Bayu Yoga Pamungkas<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Metalurgi – Fakultas Teknologi Mineral

UPN “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjadjaran, Condongcatur, Yogyakarta 55283

Email : [bayuyoga09@gmail.com](mailto:bayuyoga09@gmail.com)<sup>2</sup>

**Abstract**

*Steel is a metal alloy consisting of iron as the main element and carbon as the main alloying element.. Heat treatment is a process to change the microstructure through a heating process and controlling the cooling rate with or without changing the chemical composition of the metal in order to produce the desired mechanical properties. This study aims to determine the effect of temperature and holding time of the quenching-tempering process on the mechanical properties of low carbon steel low alloy grade X65Q pipe. The tempering process is carried out with a temperature variation of 660°C holding time 50 minutes and 580°C holding time 53 minutes after the previous quenching. To figure out the mechanical properties of the specimen, a tensile test was carried out. From the results of the study, it is known that the temperature and holding time of the tempering process affect the mechanical properties of the X65Q low carbon steel low alloy grade pipe where by lowering the temperature by 80°C it can increase the yield strength by 7.419 psi and tensile strength by 6.095 psi. From these results it can be concluded that the correlation between temperature and specimen hardness is inversely proportional while the correlation between holding time and specimen ductility is directly proportional.*

**Keywords** : Steel, Heat Treatment, Quenching, Tempering, Tensile Test

**Abstrak**

Baja merupakan logam paduan yang terdiri dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur paduan utamanya.. Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses untuk mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengendalian laju pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia dari logam yang bertujuan untuk menghasilkan sifat logam yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *quenching-tempering* terhadap sifat mekanik pipa *low carbon steel low alloy grade X65Q*. Proses tempering dilakukan dengan variasi temperatur 660°C waktu tahan 50 menit dan 580°C waktu tahan 53 menit setelah dilakukan quenching sebelumnya. Untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen dilakukan pengujian tarik. Dari hasil penelitian diketahui bahwa temperatur dan waktu tahan proses tempering mempengaruhi sifat mekanik dari pipa *low carbon steel low alloy grade X65Q* dimana dengan menurunkan temperatur sebanyak 80°C dapat meningkatkan nilai *yield strength* sebanyak 7,419 psi dan *tensile strength* sebanyak 6,095 psi. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan pula bahwa pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan spesimen berbanding terbalik sedangkan hubungan antara waktu tahan dan keuletan spesimen berbanding lurus

**Kata kunci** : Baja, Perlakuan Panas, *Quenching*, *Tempering*, Pengujian Tarik

## 1. PENDAHULUAN

Pipa baja seamless, yang banyak digunakan terutama dalam pengeboran minyak dan gas, tidak pernah diproduksi oleh negara ini. Indonesia muncul sebagai komoditas pertambangan seperti minyak, dan gas yang cukup besar, Indonesia membutuhkan pasokan pipa baja yang besar pula. Pipa seamless dapat digolongkan menjadi beberapa grade sesuai dengan pengaplikasiannya. Untuk memperoleh sifat mekanik yang dapat memenuhi grade tersebut perlu dilakukan proses heat treatment.

Semakin tinggi suhu penemperan dan semakin lama didiamkan pada suhu ini (lama penemperan), semakin banyak terbentuk martensit, kekerasan akan menjadi lebih rendah, keuletan bertambah dan tegangan berkurang. (Schonmetz, 1985). Dari teori tersebut diperlukan percobaan untuk mendapatkan temperatur dan waktu tahan yang efektif untuk mencapai standar pipa grade X65Q.

Pada jurnal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur dan waktu tahan (*holding time*) dalam proses *tempering* terhadap sifat mekanik pipa *low carbon steel low alloy grade X65Q* yang kemudian dilakukan pengujian tarik.

### 1.1. Baja

#### a. Deskripsi Singkat

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya.

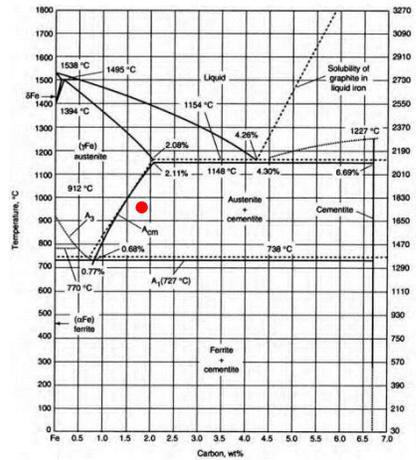
Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

#### b. Baja Karbon Rendah

Baja dengan komposisi karbon kurang dari 2%. Fasa dan struktur mikronya adalah ferrit dan perlit. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas (*martensit*) hanya bisa dengan pengerjaan dingin. Sifat mekaniknya lunak, lemah dan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Serta mampu mesin (*machinability*) dan mampu las nya (*weldability*) baik cocok untuk bahan bangunan konstruksi gedung, jembatan, rantai, *body* mobil.

#### c. Diagram FeC

Kesetimbangan diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah alat penting untuk memahami mikro dan sifat dari baja karbon, Suatu jenis paduan logam besi (Fe) dan karbon (C). Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C juga merupakan dasar dari pembuatan baja dan besi cor dalam pembuatan logam. Baja yang digunakan untuk pipa *grade X65Q* adalah baja *low carbon low alloy* dengan kandungan karbon 1,8% wt



Gambar 1. Diagram Kesetimbangan Fe<sub>2</sub>C  
(PT Artas Energi Petrogas, 2020)

Berdasarkan diagram di atas, menunjukkan bahwa pada temperatur 1100°C keatas akan terjadi transformasi fasa menjadi austenite secara keseluruhan. Hal ini lah yang menjadi acuan saat melakukan proses austenisasi pada proses HRM guna mendapatkan fasa austenite yang homogen dengan temperatur 1150°C. Pada kondisi tersebut biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Ada beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam diagram fasa Fe-C yaitu perubahan fasa ferit atau besi alfa ( $\alpha$ ), austenit atau besi gamma ( $\gamma$ ), sementit atau karbida besi, perlit dan martensit.

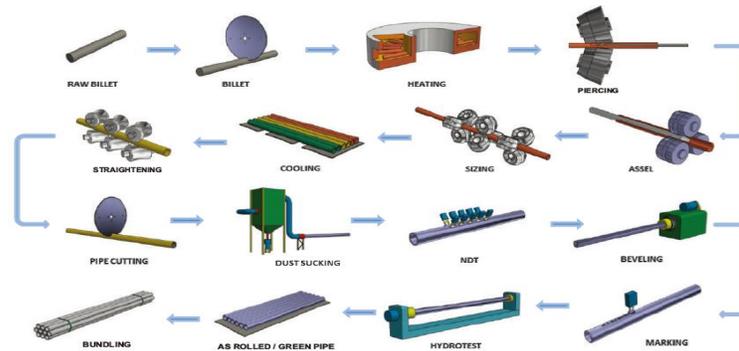
Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC dengan sifat lunak dan ulet. Karena ferit memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), maka ruang antar atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom

karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali sekitar 0,02% C.

Austenit adalah modifikasi struktur besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan ferit. Meskipun demikian, rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya menjadi terbatas sekali.

Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat. Jenis fasa martensit tergolong kedalam bentuk struktur kristal BCT. Pada fase ini terjadi proses difusi hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat sehingga atom yang tertinggal pada saat terjadi pergeseran akan tetap berada pada larutan padat. Besi yang berada pada fase martensit akan memiliki sifat yang kuat dan

keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh.



Gambar 2. *HRM Process*  
(PT Artas Energi Petrogas, 2020)

### 1.2. Hot Rolling Mill

Endapan *HRM* merupakan proses pembentukan logam (*metal forming*) melalui deformasi dengan melewati logam pada satu pasang roll yang berputar dengan arah berlawanan yang dilakukan pada temperatur di atas temperatur rekristalisasi. Pada proses *hot rolling*, deformasi tidak menyebabkan terjadinya penguatan logam. Tegangan alir bahan akan semakin kecil dengan semakin tingginya temperatur. Energi deformasi yang dibutuhkan menjadi lebih kecil pada temperatur yang lebih tinggi. Dengan demikian, maka deformasi dapat dilakukan pada benda kerja yang berukuran relatif besar dengan total deformasi besar.

Proses *HRM* diawali dengan memanaskan billet/bloom menggunakan *Rotary Heat Furnace* hingga di atas suhu rekristalisasi sehingga billet mempunyai *formability*. Kemudian billet melalui

proses *Piercing* untuk mengubah bentuknya menjadi *hollow* (pipa). Barulah setelah itu pipa melalui proses *Hot Rolling Mill*.

### 1.3 Heat Treatment Process

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) merupakan suatu proses untuk mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengendalian laju pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia dari logam yang bertujuan untuk menghasilkan sifat sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian logam atau hanya sebagian dari logam.

Proses perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda

kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit.

Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak.

*Tempering* adalah proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan sampai temperatur dibawah temperatur kritis terendah (A1), lalu didinginkan pada laju yang diinginkan. Proses ini bertujuan untuk

mengembalikan sebagian keuletan/ketangguhan, berakibat turunnya kekerasan, dan melepas tegangan dalam untuk memperoleh keuletan yang lebih baik (Clark, 1962). Struktur martensit dihasilkan dari proses *quenching*, maka dari itu ada tegangan internal besar, diperoleh dari transformasi martensit, sehingga keuletan berkurang. *Tempering* dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan, yang sangat penting untuk meningkatkan penyerapan energi impak dan struktur martensit temper menghasilkan kekuatan dinamik yang baik pada baja (Hongying, 2013)

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat. Temper dimungkinkan oleh karena sifat struktur martensit yang tidak stabil. Makin tinggi temperatur pemanasan, makin besar penurunan kekerasan dan keuletannya bertambah (Djarpie, 1990)

Semakin tinggi suhu penemperan dan semakin lama didiamkan pada suhu ini (lama penemperan), semakin

banyak terbentuk martensit, kekerasan akan menjadi lebih rendah, keuletan bertambah dan tegangan berkurang. (Schonmetz, 1985)

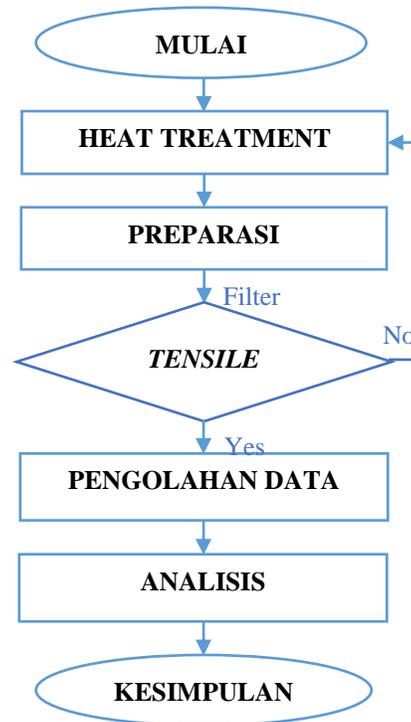
#### 1.4 Tensile Test

Uji Tarik merupakan salah satu *Destructive Test* (DT) yang digunakan untuk menguji kekuatan (*Tensile Strength*) suatu material/bahan dengan cara memberikan beban (gaya statis) sejajar dengan sumbunya secara lambat atau cepat. Dari hasil pengujian ini akan didapatkan kurva tegangan-regangan yang menampilkan kekuatan luluh, tegangan tarik maksimal, keuletan, elastisitas, dan elongasi dari *specimen* tersebut.

Sebelum dapat dilakukan uji tarik *specimen* melalui proses preparasi yang meliputi proses *cutting, marking, milling, dan* penitikan sesuai dengan standar prosedur pengujian pada ASTM A370-18.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan percobaan *quenching tempering* dan pengujian tarik di Laboratorium Quality Assurance PT Artas Energi Petrogas menggunakan alat *muffle furnace* dan *universal testing machine*. Percobaan dilakukan pada *specimen greenpipe* hasil proses *Hot Rolling Mill*.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

### 2.1 Percobaan *Quenching Tempering*

- Proses Austenisasi dengan memanaskan *specimen* dalam *muffle furnace* dengan *set up* temperatur 920°C dan waktu tahan selama 41 menit.
- Proses *quenching* dengan mencelupkan *specimen* ke dalam air hingga suhu <40°C.
- Proses *tempering* dengan memanaskan kembali *specimen* dalam *muffle furnace* dengan *set up* temperatur 650 °C dengan waktu tahan selama 50 menit pada *specimen* 1 serta 580°C dengan waktu tahan selama 53 menit pada *specimen* 2.

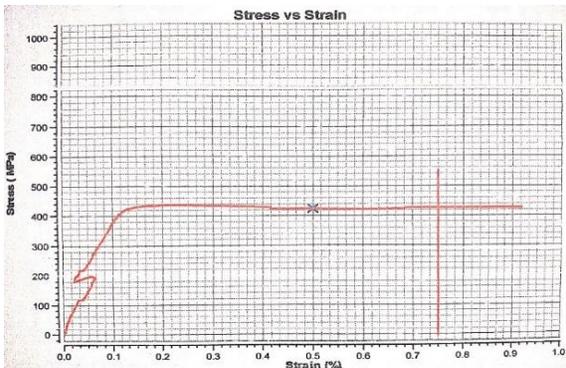
## 2.2 Preparasi

- Cutting*, memotong pipa menggunakan bandsaw secara longitudinal dengan ukuran 50.8mm
- Marking*, menandai specimen dengan marker guna mempermudah proses milling.
- Milling*, membentuk specimen menjadi *dog bone*.
- Penitikan, menandai titik pada ujung radius section yang berguna untuk mengukur pertambahan panjang saat uji Tarik.

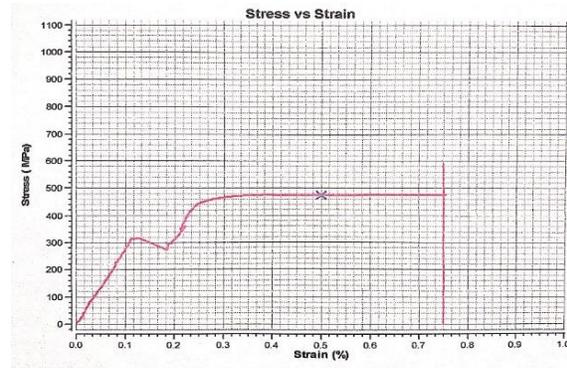
## 2.3 Pengujian Tarik

- Memasang sampel pada cekam mesin universal testing.
- Memasang ekstensometer pada sampel.
- Memulai uji tarik dengan memberikan beban (gaya statis) sejajar dengan sumbu.
- Melepas ekstensometer saat kurva sudah melewati titik *yield strength*.
- Mengukur perubahan panjang dari titik yang telah dibuat saat proses preparasi.

## 3. HASIL & PEMBAHASAN



(a) Spesimen 1



(b) Spesimen 2

Gambar 4. Kurva Tegangan Regangan Spesimen

Tabel 1. Hasil *Tensile Test*

Spesimen	Yield Strength (Ys)	Tensile Strength (Ts)	Elongation (E)	Ratio $\frac{Ys}{Ts}$
1	432.2 Mpa (61,375 psi)	550.1 MPa (79,788 psi)	44.1%	0,78
2	474.3 MPa (68,794 psi)	592.2 MPa (85,883 psi)	35.6%	0,80

Pada specimen 1 diketahui bahwa temperatur austenisasinya sebesar 880°C. Temperatur ini didapatkan dari perhitungan *Carbon Equivalent (CE)*, dengan *holding time* sebesar 41 menit yang kemudian dilakukan proses *quenching* menggunakan media air untuk mendapatkan fasa martensit. Diketahui bahwa fasa martensit memiliki sifat mekanik yang sangat keras sehingga menyebabkan pipa menjadi getas dan belum dapat digunakan. Maka dilakukan proses *tempering* dengan temperatur sebesar 660°C dengan *holding time* sebesar 50 menit. Setelah melalui proses perlakuan panas dan uji tarik didapatkan data sifat mekanik pipa tersebut adalah *Yield Strength (Ys)*: 61,375 psi, *Tensile Strength (Ts)* : 79,788 psi, *Elongation (E)*: 44.1%. Kemudian dilakukan percobaan perlakuan panas ulang dengan temperatur dan waktu tahan yang berbeda yaitu, temperatur 920°C dengan waktu tahan 41 menit untuk austenisasi kemudian dilakukan *quenching* dan dilanjutkan proses *tempering* dengan temperatur 580°C dengan waktu tahan selama 53 menit. Setelah dilakukan uji tarik data sifat mekanik yang diperoleh adalah Ys: 68,794 psi, Ts: 85,883 psi, E: 35.6%.

### **3.1. Pengaruh Temperatur**

Spesimen 1 memiliki sifat mekanik Ys: 61,375 psi, Ts: 79,788 psi, E: 44.1% sedangkan pada specimen 2 memiliki sifat mekanik Ys: 68,794 psi, Ts: 85,883 psi, E: 35.6%. Diketahui bahwa terjadi peningkatan nilai Ys dan Ts yang berarti

terdapat peningkatan kekerasan dan kekuatan luluh dari specimen dengan menurunkan suhu tempering yang sebelumnya 660°C menjadi 580°C. Hal ini sesuai dengan teori yang telah ada, peningkatan kekerasan specimen terjadi karena dengan temperatur yang rendah akan memperlambat laju penggumpalan karbida. Selain itu temperatur yang tinggi akan menyebabkan perbesaran ukuran butir dari struktur mikro yang akan menyebabkan turunnya kekerasan dari logam.

### **3.2 Pengaruh Waktu Tahan**

Spesimen 1 memiliki sifat mekanik Ys: 61,375 psi, Ts: 79,788 psi, E: 44.1% sedangkan pada specimen 2 memiliki sifat mekanik Ys: 68,794 psi, Ts: 85,883 psi, E: 35.6%. Dengan meningkatkan waktu tahan yang sebelumnya 50 menit menjadi 53 menit terjadi peningkatan kekerasan dan kekuatan luluh. Hal ini sudah sesuai dengan teori dari Schonmetz yang menyebutkan bahwa semakin lama waktu tahan maka akan semakin rendah nilai kekerasannya. Tetapi hal ini tidak terjadi disebabkan temperatur yang juga diturunkan sebanyak 80°C lebih memberikan dampak signifikan dan waktu tahan hanya ditingkatkan sebanyak 3 menit yang tergolong cukup singkat dan hasilnya tidak membuat perubahan yang signifikan terhadap kekerasan logam. Karena dibutuhkan setidaknya 15 menit untuk melihat dampak dari perbedaan *holding time*.

#### 4. KESIMPULAN

1. Sifat mekanik dari specimen 1 proses tempering dengan suhu 660°C dan waktu tahan selama 50 menit adalah Ys: 61,375 psi, Ts: 79,788 psi, E : 44.1%.
2. Sifat mekanik dari specimen 2 proses tempering dengan suhu 580°C dan waktu tahan selama 53 menit adalah Ys: 68,794 psi, Ts: 85,883 psi, E: 35.6%.
3. Pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan specimen berbanding terbalik, semakin rendah suhu maka semakin tinggi nilai kekerasannya.
4. Pengaruh waktu tahan tempering terhadap keuletan specimen berbanding lurus, dimana semakin lama waktu tahan maka akan semakin tinggi nilai keuletannya

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Didi Yusuf selaku Supervisor Laboratorium QHSE PT. Artas Energi Petrogas
2. Bapak Ikmal selaku Staff Laboratorium QHSE PT. Artas Energi Petrogas
3. Bapak Reza selaku Operator Laboratorium QHSE di PT. Artas Energi Petrogas
4. Berbagai pihak yang telah membantu kelancaran dalam penelitian ini baik secara langsung maupun tidak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, Sriatie Djaprie. 1990. Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan. Jakarta: Gramedia
- Amstead, B H. dan Djaprie. 1979. Teknologi Mekanik Edisi ke-7. Jakarta: Erlangga
- Budiman, Haris. 2016. Analisis Pengujian Tarik (*Tensile Test*) Pada Baja ST37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. Majalengka: Universitas Majalengka
- Davis. 1982. Evaluation of Tentative JI-R Curve Testing Procedure by Round Robin Test of HY130 Steel. Journal of Testing and Evaluation 10, no 6. <https://doi.org/10.1520/JTE10263J>
- Donald S Clark, Varney R Wilbur. 1962. Physical Metallurgy for Engineers. California: Litton Educational Publishing Inc.
- Haryadi, Gunawan Dwi. 2006. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Semarang: UNDIP
- Li Hong-ying, Li Jun Hu Ji-dong, Guang Chen, Xiong-jie Sun. 2013. Effect of tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of AISI 6150 Steel. Hunan: Central South University
- Mersilia, Anggun. 2016. Pengaruh *Heat Treatment* Dengan Variasi Media *Quenching* Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135. Lampung: LIPI

- Mujiarto, Iman dan Janto, Yoeli. 2018. Peningkatan Nilai Kekerasan Baka C-Mn Dengan Metode *Quenching* dan *Tempering*
- Rimpung, I Ketut dan Pujihadi, I Gede Okta. 2017. Analisis Perubahan Kekuatan Tarik Baja St 42 Dengan Perlakuan Panas 800°C. Bali: Politeknik Negeri Bali
- Schonmetz, Alois Karl Gruber. 1985. Pengetahuan Bahan dan Pengerjaan Logam. Bandung: Aksara
- Sumiyanto dan Abdunnaser. 2013. Pengaruh Proses Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Sedang SNCM 447. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional