

# PENGARUH VARIASI WAKTU PROSES PERLAKUAN PANAS TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PERKAKAS KRUPP 2510 (AISI O1)

Meilinda Nurbanasari dan Weldi  
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional, Bandung  
Djoko Hadi Prayitno  
Pusat Teknologi Nulir Bahan & Radiometri, BATAN, Bandung

## ABSTRAK

*Baja perkakas AISI O1 banyak digunakan untuk proses blanking, punching, thread rolling, forming, shearing, coining, sehingga harus memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Perbaikan sifat keras dan ketahanan aus tersebut dapat dilakukan melalui proses perlakuan panas.*

*Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk melihat sejauh mana pengaruh variasi waktu proses perlakuan panas terhadap kekerasan, ketahanan aus dan struktur mikro. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah proses pengerasan (hardening) dilakukan pada temperatur 850°C dengan variasi holding time selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Kemudian didinginkan secara cepat pada media pendingin oli. Proses dilanjutkan dengan tempering pada temperatur 500°C selama 180 menit dan didinginkan di udara.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga kekerasan tertinggi yaitu 520,9 Hv diperoleh untuk Baja perkakas AISI O1 yang dikeraskan pada temperatur 850 °C, waktu penahanan 60 menit dan ditemper pada temperatur 500 °C selama 180 menit. Sedangkan harga kekerasan terendah sebesar 196.4 Hv terdapat pada material awal. Dari pengujian ketahanan aus ternyata material yang dikeraskan pada temperatur 850 °C dengan waktu penahanan 60 menit kemudian ditemper pada temperatur 500 °C selama 180 menit memiliki ketahanan aus yang paling tinggi dengan persentase keausan sebesar 0.0087 %. Hasil ini menunjukkan bahwa harga kekerasan berbanding lurus dengan ketahanan ausnya. Hasil analisa metalografi menunjukkan struktur yang terbentuk setelah proses pengerasan adalah karbida bulat pada matrik martensit dan setelah proses temper adalah karbida bulat pada matrik martemper.*

## PENDAHULUAN

Baja perkakas Krupp 2510 (*international standard: AISI O1*) banyak diaplikasikan sebagai bahan perkakas untuk proses pemotongan (*cutting process*) dan cetakan proses pembentukan (*forming process*). Baja perkakas ini masih memiliki kekerasan yang relatif rendah. Oleh karena itu apabila dalam penggunaannya baja perkakas tersebut akan mengalami pembebanan yang tinggi dan terjadi dalam waktu yang lama, maka jenis baja perkakas ini harus mempunyai ketangguhan dan ketahanan aus yang cukup tinggi. Untuk meningkatkan ketangguhan dan ketahanan aus pada baja tersebut perlu dilakukan *Heat Treatment*.

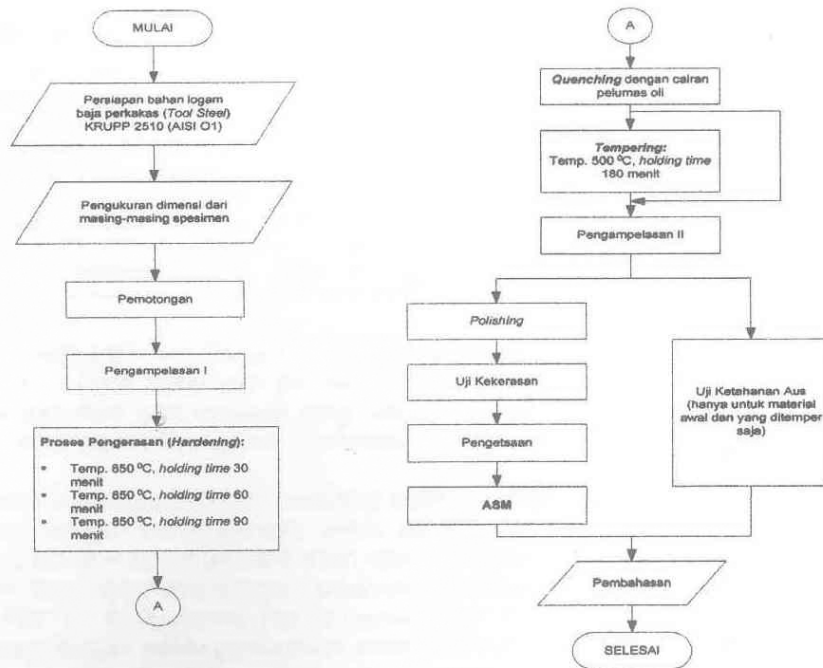
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan struktur mikro setelah baja tersebut mengalami perlakuan panas dengan temperatur dan variasi waktu yang berbeda, mendapatkan harga



kekerasan baja setelah mengalami perlakuan panas, dan memperoleh data peningkatan ketahanan aus baja setelah perlakuan panas.

## METODOLOGI PENELITIAN

Jenis material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja perkakas Krupp 2510 yang berbentuk batang pejal. Material dipotong sesuai dengan bentuk, ukuran dan jumlah yang dibutuhkan. Setelah itu dilakukan proses perlakuan panas dengan pengerasan (*hardening*) dan *tempering* di dalam tungku pemanas dengan temperatur dan waktu pemanasannya berbeda, yaitu pengerasan pada temperatur 850 °C dengan waktu pemanasan divariasikan selama 30, 60 dan 90 menit, kemudian ditemper pada temperatur 500 °C dengan waktu pemanasan selama 180 menit untuk semua spesimen. Setelah proses perlakuan panas selesai dilakukan, dilanjutkan dengan pengujian spesimen yang terdiri atas 11 spesimen. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan dengan metoda Viskers beban 500 gram dan waktu pembebanan 15 detik. Pengujian ketahanan aus dilakukan pada material awal maupun pada material yang telah mengalami proses *quenching* dan temper, sesuai standar ASTM B 611-76, dan dilakukan juga perhitungan persentase kehilangan beratnya. Pengujian lainnya adalah metalografi yang bertujuan untuk mengetahui struktur dan fasa dan proses pengetsaan juga menggunakan larutan Aqua Regia (26 ml HNO<sub>3</sub>, 60 ml HCl). Diagram alir penelitian, dapat dilihat sebagai berikut:



## HASIL & PEMBAHASAN

### I. Uji Keras

Dari data spesifikasi yang berasal dari pabrikan diketahui bahwa spesimen tersebut mempunyai kandungan unsur sebagai berikut :



**Tabel. 4.1 Kandungan Unsur Pada Material Terhadap Standar Acuan**

Unsur	Standar AISI O1 (% wt)	Krupp 2510 (% wt)
C	0,85 – 0,95	0,95
Si	0,20 – 0,40	0,30
Mn	1,0 – 1,30	1,20
Cr	0,40 – 0,60	0,50
V	≤ 0,20	0,10
W	0,40 – 0,60	0,50
Mo	-	-
Cu	-	-
Ni	-	-
Ti	-	-
Al	-	-
Fe	Sisa	Sisa

Dari standar acuan komposisi kimia standar AISI dapat diambil kesimpulan bahwa material awal tersebut telah sesuai dengan standar material AISI O1.

#### Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pada tabel 4.2 dan 4.3 ditampilkan data-data hasil pengujian kekerasan pada material awal dan yang sudah mengalami proses perlakuan panas.

**Tabel 4.2 Data Kekerasan Material Awal dan Material Hasil Proses *Quenching* dan Hasil Proses *Quenching* dan *Tempering***

No	Proses Material	(HVN), kg/mm <sup>2</sup>	Proses Material	(HVN), kg/mm <sup>2</sup>
1	Original (O)	196.4	-	-
2	Quench T=850°C t=30menit (Q 1)	807.8	Quench T=850 °C t=30menit, Temper T=500 °C t=150menit (QT 1)	483.5
3	Quench T=850°C t=60menit (Q 2)	815.7	Quench T=850 °C t=60menit, Temper T=500 °C t=150menit (QT 2)	520.9
4	Quench T=850°C t=90menit (Q 3)	805.2	Quench T=850 °C t=90menit, Temper T=500 °C t=150menit (QT 3)	470.6

Pada kondisi awal baja perkakas Krupp 2510 (AISI O1) memiliki harga kekerasan rata-rata (Hv) 196,4 kg/mm<sup>2</sup> (tabel 4.2). Angka kekerasan ini masih dapat ditingkatkan lagi dengan proses perlakuan panas untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik. Sifat mekanik tersebut diantaranya sifat mampu mesin yang baik, ketangguhan yang baik dan ketahanan aus yang tinggi.

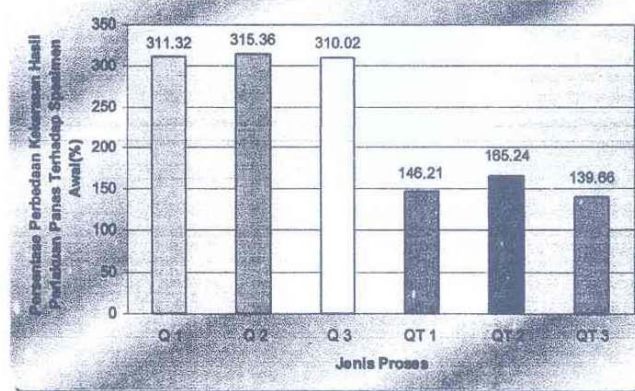
Pada proses perlakuan panas dengan *quenching* terjadi peningkatan kekerasan kemudian penurunan kekerasan seiring dengan bertambahnya waktu penahanan. Dari data hasil pengujian kekerasan proses *quenching* (tabel 4.2), harga kekerasan rata-rata pada spesimen Q 2 (*Quenching* T= 850 °C , t= 60 menit) lebih tinggi dibanding dengan spesimen Q 1 (*Quenching* T= 850 °C , t= 30 menit) dan Q 3 (*Quenching* T= 850 °C , t= 90 menit). Hal ini menandakan proses pengerasan maksimal terjadi pada proses pengerasan dengan waktu pemanasan selama 60 menit. Harga kekerasan tertinggi yaitu 815.7 kg/mm<sup>2</sup> terjadi karena pemanasan dilakukan dengan waktu penahanan yang cukup sehingga pada saat austenisasi fasa perlit berubah menjadi struktur Austenit yang nyaris sempurna. Kekerasan tinggi ini juga disebabkan karena adanya butir-butir Austenit yang halus berubah menjadi struktur Martensit yang halus setelah di-*quenching*. Pada pemanasan dengan waktu penahanan selama 30 menit dianggap terlalu singkat karena perubahan fasa perlit menuju Austenit belum begitu sempurna (fasa perlit yang bertransformasi menjadi  $\gamma$  pada penahanan 30 menit lebih sedikit daripada waktu penahanan 60 menit), sehingga kekerasannya lebih rendah daripada waktu penahanan 60 menit. Penurunan kekerasan pada waktu penahanan 90 menit ini terjadi karena waktu pemanasan terlalu lama sehingga menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir Austenit (dari halus menjadi kasar) yang juga berdampak terhadap ukuran struktur Martensit menjadi kasar setelah di-*quenching*.

Pada hasil proses *tempering* menunjukkan bahwa hasil proses pengerasan mempengaruhi tingkat kekerasan pada spesimen yang ditemper (pada T= 500 °C dan t= 180 menit untuk semua spesimen yang ditemper). Kenaikan dan penurunan kekerasan antara waktu penahanan (t= 30 menit, t= 60 menit dan t= 90 menit) pada proses pengerasan dan *tempering* menunjukkan fenomena yang sama





namun sifat mekanik dan harga kekerasannya berbeda. Spesimen QT 2 yang dikeraskan pada temperatur 850 °C selama 60 menit dan ditemper pada temperatur 500 °C selama 180 menit memiliki harga kekerasan rata-rata (Hv) 520,9 kg/mm<sup>2</sup> dan harga kekerasan ini adalah paling tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang ditemper lainnya (tabel 4.3). Perbedaan harga kekerasan pada spesimen yang ditemper juga disebabkan oleh perbedaan ukuran butir sebagai akibat dari variasi waktu penahanan pada proses pengerasan sebelumnya. Harga kekerasan dari hasil proses pengerasan (dengan *Quenching*) dan temper jelas berbeda, yaitu harga kekerasan spesimen hasil pengerasan lebih tinggi daripada yang ditemper. Terjadi demikian karena struktur Martensit didapatkan dari hasil proses pendinginan yang sangat cepat dimana sifatnya keras dan getas, untuk mengurangi kegetasannya maka dilakukan proses temper dengan pendinginan yang sangat lambat (udara luar) dimana hasilnya adalah Martensit temper (Martemper). Pada gambar 4.23 ditampilkan besarnya persentase kenaikan harga kekerasan hasil perlakuan panas terhadap material awal.



Gambar 4.23 Grafik Persentase Kenaikan Harga Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Terhadap Material Awal

#### 4.1.3 Data Hasil Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus hanya dilakukan terhadap material awal dan material yang mengalami perlakuan panas dengan *quenching* dilanjutkan *Tempering* (O, QT 1, QT 2 dan QT 3). Pada tabel 4.4 ditampilkan data-data hasil pengujian ketahanan aus.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Aus  
(beban yang digunakan 10 Kg, waktu 30 menit)

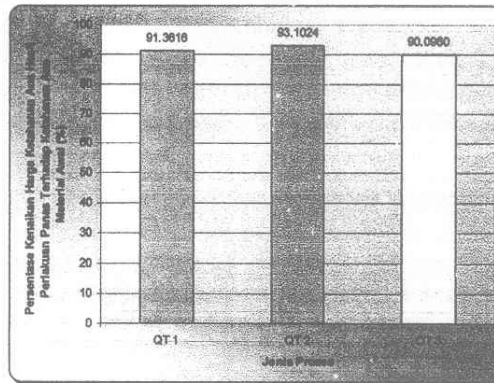
Material	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Kehilangan Berat (gram)	Kehilangan Berat (%)
O	10.3580	10.3450	0.0130	0.1255
QT 1	10.1459	10.1448	0.0011	0.0108
QT 2	10.3962	10.3953	0.0009	0.0087
QT 3	11.2629	11.2615	0.0014	0.0124

Pengujian ketahanan aus dilakukan pada spesimen awal dan yang ditemper. Dari hasil pengujiannya ternyata ketahanan aus suatu material berbanding lurus dengan kekerasannya. Artinya semakin tinggi kekerasan, ketahanan aus juga akan semakin tinggi. Keausan pada spesimen terjadi karena lepasnya atau tergoresnya material dari suatu permukaan sebagai akibat aktivitas mekanik pada suatu gerakan relatif antara material tersebut dengan material lain. Jika semakin banyak partikel yang lepas dari suatu permukaan spesimen maka semakin besar pula pengurangan berat dari spesimen, sehingga persentase keausan juga besar. Artinya spesimen tersebut memiliki harga kekerasan dan ketahanan aus yang rendah.

Pada penelitian ini pengujian ketahanan aus menggunakan alat uji yang memenuhi standar ASTM B 611-76. Pada tabel 4.4 terlihat bahwa persentase keausan terkecil sebesar 0.0087 % terdapat pada material QT 2 (hasil proses *hardening* pada T= 850 °C t= 60 menit dan *tempering* pada T= 500 °C t= 180 menit). Ini menandakan bahwa material tersebut memiliki ketahanan aus yang paling baik. Sedangkan persentase keausan terbesar yaitu 0.1255 % terdapat pada material O (Awal). Ini



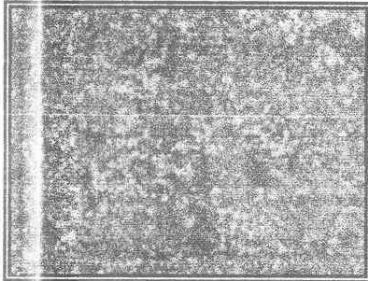
menandakan bahwa material ini memiliki ketahanan aus rendah dibanding dengan material lain yang telah mendapat perlakuan panas. Untuk material yang telah mengalami perlakuan panas (*Tempering*) persentase keausan terbesar yaitu 0.0124 % terdapat pada material QT 3 (hasil proses *hardening* pada  $T= 850\text{ }^{\circ}\text{C}$   $t= 90$  menit dan *tempering* pada  $T= 500\text{ }^{\circ}\text{C}$   $t= 180$  menit). Dan material QT 1 memiliki persentase keausan sebesar 0.0108 % yang sedikit lebih kecil dari material QT 3. Pada gambar 4.24 ditampilkan persentase kenaikan harga ketahanan aus terhadap material awal.



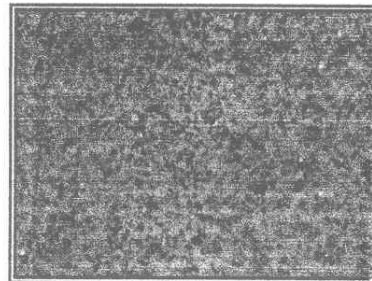
Gambar 4.24 Grafik Persentase Kenaikan Harga Ketahanan Aus Proses Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Aus Material Awal.

#### 4.1.4 Analisa Struktur Mikro

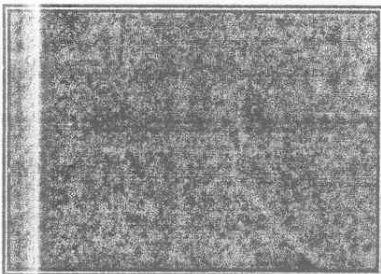
Gambar hasil pemotretan struktur mikro spesimen baja perkakas Krupp 2510 akan ditampilkan pada gambar 4.15 sampai dengan 4.21, yaitu spesimen pada kondisi awal, yang mengalami proses pengerasan dan juga *tempering* (pembesaran 300x).



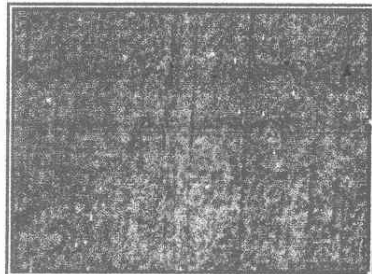
Gambar 4.15 Baja perkakas Krupp 2510 pada kondisi awal : Perlit & Karbida Bulat



Gambar 4.16 Baja perkakas Krupp 2510 pada Material Hasil Proses *Quenching*  $T= 850^{\circ}\text{C}$  dan  $t= 30$  menit  
Struktur : Karbida Bulat Pada Matrik Martensit



Gambar 4.18 Baja perkakas Krupp 2510, Hasil Proses *Quenching*  $T= 850^{\circ}\text{C}$  dan  $t= 90$  menit  
Struktur: Karbida Berbentuk Bulat Pada Matrik Martensit



Gambar 4.19 Baja perkakas Krupp 2510 Hasil Proses *Quenching*  $T=850^{\circ}\text{C}$   $t= 30$  menit & *Tempering*  $T= 500^{\circ}\text{C}$   $t= 180$  mnt. Struktur: Karbida pada Matrik Martensit Temper





Dari hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat bahwa material awal (Gambar 4.15) memiliki struktur mikro berupa karbida (titik putih) dan sebagian kecil karbida berbentuk bulat pada matriks perlit. Keberadaan karbida pada material menyebabkan material tersebut memiliki kekerasan serta ketahanan aus yang tinggi. Material awal yang dipanaskan sampai temperatur Austenit dengan waktu penahanan tertentu disebut dengan Austenisasi. Dalam proses ini unsur-unsur paduan yang terkandung di dalam baja perkakas terurai menjadi karbida sisa dan matriks Austenit. Karbida sisa ini dapat mengontrol pertumbuhan butir Austenit. Bila kemudian didinginkan secara celup cepat (*quenching*) akan diperoleh struktur karbida pada matriks martensit yang sifatnya sangat keras (gambar 4.16 sampai 4.18). Bila dilanjutkan dengan penemperan struktur martensit ini akan bertransformasi menjadi struktur karbida kompleks (titik putih) pada matriks martensit temper yang sifatnya keras tetapi tidak getas (gambar 4.19 sampai 4.21).

Terjadinya martensit berawal dari pemanasan baja perkakas sampai temperatur austenit kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang sangat cepat. Fasa austenit akan melarutkan atom-atom karbon secara interstisi pada sel satuan FCC. Pada laju pendinginan cepat, atom-atom karbon yang berada pada fasa austenit tidak sempat berdifusi keluar tapi terjebak di antara sel-sel satuan FCC sehingga timbul tegangan dalam (*internal stress*). Atom-atom yang terjebak ini akan menggeser kisi sehingga menghasilkan tetragonalitas ( $BCT \rightarrow c/a \gg 1$ ) (gambar 2.10).

Terjadinya martensit temper (martemper) adalah akibat dari pemanasan kembali fasa martensit (dan  $\gamma$  sisa) kemudian dilanjutkan dengan pendinginan secara lambat. Akibat pemanasan ini tetragonalitas dari struktur martensit menjadi berkurang sehingga kekerasan dan kegetasan juga menurun ( $BCT \rightarrow c/a \approx 1$ ).

Pada material awal dan yang telah di-*heat treatment* selalu terdapat struktur karbida. Namun yang membedakannya adalah jenis dan fasa yang bertindak sebagai matriksnya. Perbedaan ini tergantung dari jenis proses perlakuan panas dan pengaruh unsur paduan yang terkandung dalam baja tersebut. Misalnya:  $Mn_3C$ ,  $V_2C$ ,  $SiC$ ,  $WC$ , dll.

#### KE SIMPULAN

1. Berdasarkan data komposisi kimia yang didapatkan bahwa material baja perkakas Krupp 2510 yang dipakai pada penelitian ini termasuk dalam baja perkakas AISI O1.
2. Kekerasan tertinggi dari proses pengerasan (*hardening*) terdapat pada material Q 2 (material hasil proses *quenching*  $T = 850^\circ C$  dan  $t = 60$  menit) dengan harga kekerasan rata-rata (Hv) 815.7  $kg/mm^2$ , sedangkan harga kekerasan terendah pada material Q 3 (material hasil proses *quenching*  $T = 850^\circ C$  dan  $t = 90$  menit) dengan harga kekerasan rata-rata (Hv) 805.2  $kg/mm^2$ .
3. Kekerasan tertinggi dari proses *tempering* terdapat pada material QT 2 (material hasil proses *quenching*  $T = 850^\circ C$   $t = 60$  menit dan *tempering*  $T = 500^\circ C$   $t = 180$  menit) dengan harga kekerasan rata-rata (Hv) 520.9  $kg/mm^2$ , sedangkan harga kekerasan yang terendah pada material QT 3 (material hasil proses *quenching*  $T = 850^\circ C$   $t = 90$  menit dan *tempering*  $T = 500^\circ C$   $t = 180$  menit) dengan harga kekerasan rata-rata (Hv) 470.6  $kg/mm^2$ .
4. Dari material hasil proses *tempering* ketahanan aus tertinggi terdapat pada material QT 2, yang ditandai dengan kehilangan berat terendah yaitu sebesar 0.0009 gram (0.0087 %), sedangkan ketahanan aus terendah terdapat pada material QT 3 dengan kehilangan berat terbanyak yaitu sebesar 0.0014 gram (0.0124 %).
5. Dari hasil penelitian ternyata ketahanan aus suatu material berbanding lurus dengan kekerasannya.
6. Struktur mikro awal yang terbentuk pada material Krupp 2510 adalah karbida bulat yang terdapat pada matriks perlit. Setelah proses *hardening* struktur mikro yang terbentuk adalah karbida bulat pada matriks martensit. Sedangkan setelah dilanjutkan dengan proses *tempering* struktur yang terbentuk pada material adalah karbida bulat pada matriks martensit temper (martemper).

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Sidney, Avner, "Introduction Physical Metallurgy", second edition McGraw Hill, Singapore, 1974.
2. ASM, Metals Handbook ninth edition, Volume 4, "Heat Treating", Metal Park, Ohio, 44073.
3. ASM, Metals Handbook ninth edition, Volume 1, "Properties and Selection Iron and Steel", Metal Park, Ohio, 44073.



- 
4. Bishop, Smallman, "*Metalurgi fisik Modern dan Rekayasa Material*", edisi keenam, Erlangga, Jakarta, 2000.
  5. Dieter, E. George, "*Mechanical Metallurgy*", 3<sup>rd</sup> ed., McGraw Hill Book Company, Singapore, 1986.
  6. Krauss, George, "*Principles of Heat Treatment of Steels*", ASM Metal Park, Ohio, 440773, 1980.
  7. Kusharjanto, "*Perlakuan Panas dan Metalografi*", Laboratoria Metalurgi, Unjani, 1998.
  8. K H Prabhudev, "*Hand Book of Heat Treatment of Steels*", McGraw Hill, New Delhi, 2000.
  9. Supardi, Rachmat, "*Pengetahuan Bahan Logam II: Pengujian Logam*", STTIB, Bandung, 1989.
  10. Siswosuwarno, Marjono, "*Korelasi Antara Sifat Mekanik Dengan Transformasi Fasa*", Lembaga Penelitian ITB, Bandung, 1988.
  11. Suratman, Rochim, "*Panduan Proses Perlakuan Panas*", Lembaga Penelitian ITB, Bandung, 1995.
  12. Wilson, Robert, "*Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steels*", McGraw Hill Book, London, 1975.
  13. Smith, William F., "*Structure and Properties of Engineering alloys*", McGraw Hill, USA, 1981.

