

# ANALISA PENGARUH TEMPERATUR PADA PROSES TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 4340

Sasi Kirono, Eri Diniardi, Seno Ardian  
Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Abstrak.** Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan oleh manusia untuk berbagai keperluan. Adakalanya baja yang akan diproses tidak mempunyai kekerasan yang cukup. Oleh karena itu perlu dilakukan proses lagi yaitu proses hardening. Dengan melakukan Hardening maka akan didapatkan sifat kekerasan yang lebih tinggi. Semakin tinggi angka kekerasan maka sifat keuletan akan menjadi rendah dan baja akan menjadi getas. Baja yang demikian tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Oleh karena itu biasanya atau hampir selalu setelah dilakukan proses pengerasan kemudian segera diikuti dengan Tempering.

Pengujian dilakukan baik pada sifat fisis (komposisi, struktur mikro, dan fotomakro) maupun sifat mekanis (kekerasan dan kekuatan tarik). Hasil penelitian pada baja AISI 4340 diperoleh kekuatan tarik pada spesimen tanpa perlakuan panas sebesar 1115,7 N/mm<sup>2</sup> dengan VHN sebesar 347, setelah mengalami proses Hardening 850°C kekuatan tarik menjadi 1234,8 N/mm<sup>2</sup> dengan VHN sebesar 527,4. Tempering 200°C diperoleh kekuatan tarik sebesar 1813,4 N/mm<sup>2</sup> dengan VHN sebesar 507,6. Tempering 400°C diperoleh kekuatan tarik sebesar 1402,4 N/mm<sup>2</sup> dengan VHN sebesar 435,6. Sedangkan pada proses Tempering 600°C diperoleh kekuatan tarik sebesar 1039,1 dengan VHN sebesar 332,8. Semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses tempering kekuatan tarik dan kekerasan semakin menurun, sebaliknya keuletannya meningkat sehingga disesuaikan dengan keperluan.

*Kata kunci: baja AISI 4340, proses hardening*

## PENDAHULUAN

### LATAR BELAKANG

Logam adalah salah satu bahan penting yang ada pada mesin. Meskipun saat ini banyak dimanfaatkan bahan lain untuk mengganti logam tetapi masih ada bagian-bagian tertentu yang tidak dapat dibuat dari bahan lain selain logam. Sebagai mahasiswa khususnya mahasiswa jurusan teknik mesin harus mengetahui berbagai macam logam serta karakteristiknya. Hal ini sangat penting karena hampir semua elemen mesin menggunakan logam sebagai bahan dasarnya.

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan oleh manusia dalam berbagai keperluan. Adakalanya baja yang akan diproses tidak mempunyai kekerasan yang cukup. Oleh karena itu perlu diadakan proses lagi yaitu proses hardening. Dengan melakukan hardening maka akan didapatkan sifat kekerasan yang lebih tinggi. Semakin tinggi angka kekerasan maka akan semakin rendah sifat keuletannya dan baja akan menjadi getas. Baja yang demikian tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Oleh karena itu biasanya atau hampir selalu setelah dilakukan proses pengerasan kemudian segera diikuti dengan tempering.

Tempering adalah proses dimana baja yang sudah dikeraskan, dipanaskan kembali pada temperatur tertentu dan ditahan selama waktu tertentu untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Kembalinya sebagian keuletan dan ketangguhannya ini didapat dengan mengorbankan sebagian kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan.

Temperatur temper pada tempering mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam memperoleh kembali keuletan dari baja. Oleh karena itu kita perlu mengetahui dan memahami berapa tinggi temperatur pada tempering yang harus dilakukan untuk mendapatkan baja dengan karakteristik dan sifat mekanis tertentu. Proses tempering juga merubah struktur mikro dari baja. Dengan berubahnya struktur mikro maka sifat mekanis pada baja juga akan mengalami perubahan.

## LANDASAN TEORI

Penambangan terhadap biji besi dilakukan di bawah permukaan tanah, bahan baku yang paling awal dalam pembuatan besi dan baja adalah berupa biji besi. Biji besi merupakan persenyawaan besi ( Fe ) dengan gas Oksigen ( O<sub>2</sub> ) Membentuk oksida besi seperti hematite ( Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ), magnetit ( Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ), siderit ( Fe Co<sub>3</sub> ), pyrite (FeS), dan Limonite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Biji besi dilebur bersama kokas, batu kapur, dan uap panas didalam tanur tinggi (blast furnace), dan menghasilkan besi kasar (pig iron). Besi kasar (pig iron) adalah bahan baku untuk membuat baja atau besi tuang/cor.

Ada 3 metode utama untuk meleburkan besi menjadi baja, yaitu:

1. Open Heart Furnace
2. Basic Oxygen Furnace
3. Electric Arc Furnace

Klasifikasi Baja dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. Baja Karbon

1. Baja karbon rendah atau baja konstruksi.  
( < 0,30 % C )
2. Baja karbon sedang atau baja permesinan .  
( 0,30 < C < 0,70 % )
3. Baja karbon tinggi atau baja perkakas  
( 0,70 < C < 1,40 % )

b. Baja Paduan

1. Baja paduan rendah ( jumlah unsure paduan khusus < 8,0 % )
2. Baja paduan tinggi ( jumlah unsur paduan khusus > 8,0 % )

Unsur paduan pada baja akan berpengaruh terhadap keseimbangan transformasi fasa dan pembentukan struktur mikro akhir pada saat pendinginan. Elemen-elemen seperti : C, Ni, Mn, adalah unsur penstabil fasa ferit, sedangkan Cr, Si, Mo, W dan Al merupakan unsur penstabil fasa austenit. Fasa-fasa yang dapat terbentuk dalam baja adalah Bainit, Perlit, Ferit, Austenit, Sementit atau karbida besi, dan Martensit.

Heat Treatment atau perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Besi dan baja dapat di panaskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau besi dan baja dapat dilunakkan untuk memudahkan permesinan lanjut . Proses perlakuan panas dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu :

1. Pengerasan (Hardening ).
2. Anil atau Pelunakan (Annealing ).
3. Temper ( Tempering ).

Tempering adalah pemanasan kembali dari besi atau baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah keritis disusul dengan pendinginan. Dengan demikian didapatkan peningkatan keuletan dan ketangguhan serta penurunan tegangan dalam, namun disisi lainnya terjadi pengurangan kekuatan dan kekerasannya.

## METODOLOGI PENELITIAN

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 4340. Dengan komposisi kimia sbb:

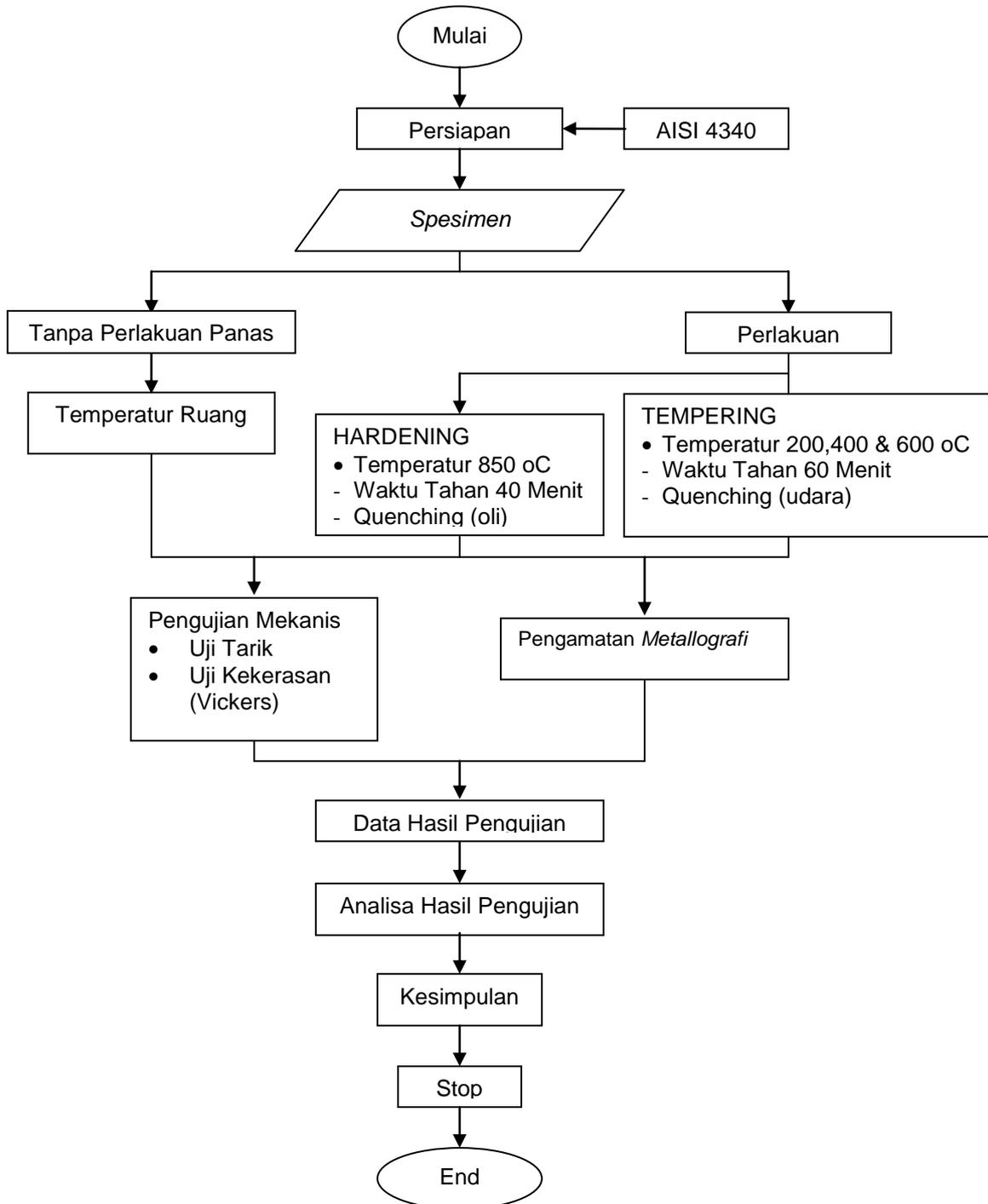
Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W	S	P
%	95.85	0.34	0.30	0.60	1.50	1.50	0.20	0.22	0.023	0.055	0.020	0.010

2. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah dengan Hardening dan Tempering dengan menggunakan :

- Temperatur pemanasan 850o C untuk Hardening. Proses pendinginan (Quencing) dengan media oli.
- Variasi waktu 40 menit
- Temperatur pemanasan 200 oC,400 oC, dan 600 oC untuk Tempering.
- Variasi waktu 60 menit.
- Temperatur ruang.

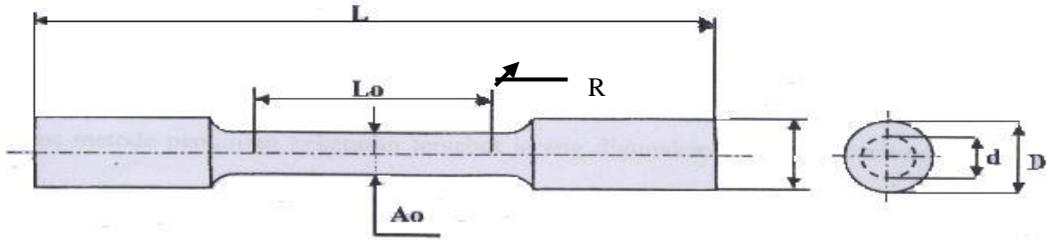
3. Pengujian sifat mekanis diantaranya adalah

- Uji Tarik : untuk mengetahui sifat mekanis dari material suatu bahan jika diberi beban tarik secara statis. Untuk specimen uji tarik standar yang digunakan adalah standar JIS Z 2201 no.4
- Uji Kekerasan : untuk mengetahui kekerasan suatu material terhadap tekanan. Untuk kekerasan digunakan metode Vickers
- Uji Metallografi : untuk mengetahui struktur material baik makro atau mikro. Alat yang di gunakan dalam pengujian ini adalah Mikroskop Optik dengan pembesaran 500 X dan 1000X.



## ANALISA DAN PEMBAHASAN

- Hasil Analisa Uji Tarik



Gambar Specimen benda uji tarik dengan standar JIS Z 2201 no.4.

Keterangan :  
 L : 250 mm  
 Lo : 50 mm  
 d : 12,5 mm  
 D : 25 mm  
 R : 25 mm

NO	Diameter (mm)	Lo (mm)	$\Delta L$ (mm)	Ao (mm <sup>2</sup> )	Fe (kN)	Fm (kN)	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)
1	12,46	50	1	121,9	127,0	136,0	1041,8	1115,7	2.0
2	14,47	50	1,5	164,4	-	203,0	-	1234,8	3.0
3	12,50	50	3,5	122,7	-	222,5	-	1813,4	7.0
4	12,52	50	6,5	123,0	-	172,5	-	1402.4	13.0
5	12,50	50	9,9	122,7	117,5	127,5	957,6	1039,1	19.8

### 1. Luas Penampang Awal :

$$A_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

- Spesimen I (Tanpa pemanasan (TP) / temperatur ruang) :

$$A_o = \frac{3,14(12,46^2)}{4}$$

$$= 121,9 \text{ mm}^2$$

- Spesimen II (Dengan hardening 850 oC) :

$$A_o = \frac{3,14(14,47^2)}{4}$$

$$= 164,4 \text{ mm}^2$$

- Spesimen III (Dengan tempering 200 oC) :

$$A_o = \frac{3,14(12,50^2)}{4}$$

$$= 122,7 \text{ mm}^2$$

- Spesimen IV (Dengan tempering 400 oC) :

$$A_o = \frac{3,14(12,52^2)}{4}$$

$$= 123,0 \text{ mm}^2$$

- Spesimen V (Dengan tempering 600 oC) :

$$A_0 = \frac{3,14(12,50^2)}{4}$$

$$= 122,7 \text{ mm}^2$$

## 2. Kuat Tarik Maksimum

$$\sigma_{maks} = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

- Spesimen I (Tanpa pemanasan/temperatur ruang)

$$\sigma_{maks} = \frac{136,0 \text{ kN}}{121,9 \text{ mm}^2}$$

$$= 1115,7 \text{ N/mm}^2$$

- Spesimen II (Dengan Hardening 850°C)

$$\sigma_{maks} = \frac{203,0 \text{ kN}}{164,4 \text{ mm}^2}$$

$$= 1234,8 \text{ N/mm}^2$$

- Spesimen III (Dengan Tempering 200°C)

$$\sigma_{maks} = \frac{222,5 \text{ kN}}{122,7 \text{ mm}^2}$$

$$= 1813,4 \text{ N/mm}^2$$

- Spesimen IV (Dengan Tempering 400°C)

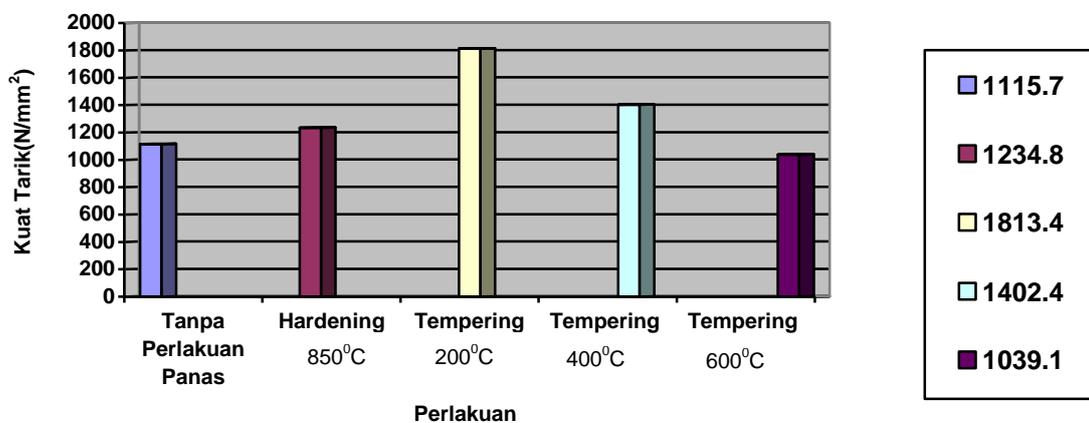
$$\sigma_{maks} = \frac{172,5 \text{ kN}}{123,0 \text{ mm}^2}$$

$$= 1402,4 \text{ N/mm}^2$$

- Spesimen V (Dengan Tempering 600°C)

$$\sigma_{maks} = \frac{127,5 \text{ kN}}{122,7 \text{ mm}^2}$$

$$= 1039,1 \text{ N/mm}^2$$



Gambar Grafik Kuat Tarik Maksimum Vs Perlakuan

Data pengujian ini diperoleh dalam tiga kelompok pengujian yaitu specimen tanpa perlakuan panas, hasil proses hardening dan hasil proses tempering.

Kekuatan tarik material baja karbon sedang sebesar 1115,7 N/mm<sup>2</sup>, setelah proses hardening menjadi sebesar 1234,8 atau meningkat 10,67%. Setelah proses tempering 200°C menjadi sebesar 1813,4 N/mm<sup>2</sup> atau meningkat 62,53%, setelah proses tempering 400°C menjadi sebesar 1402,4 N/mm<sup>2</sup> atau meningkat 25,7% dan setelah proses tempering 600°C menjadi sebesar 1039,1 N/mm<sup>2</sup> atau menurun 6,86%.

### 3. Kuat Luluh

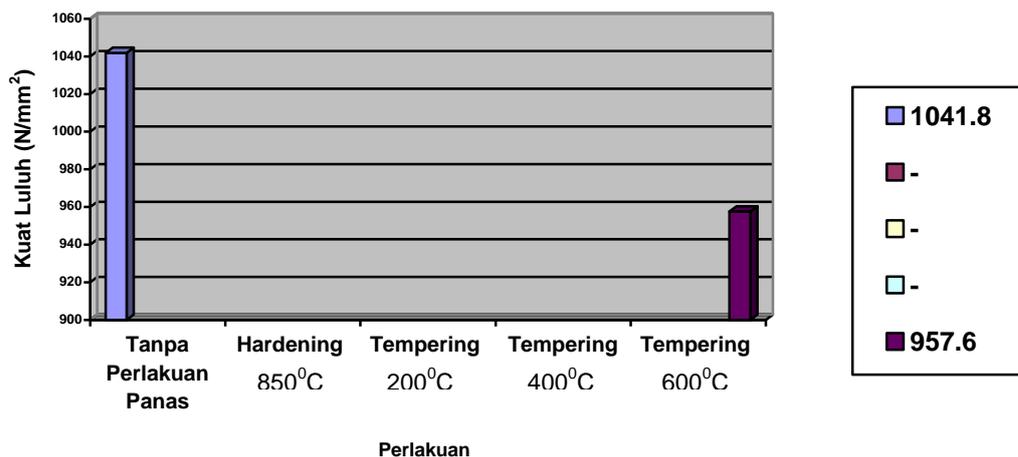
$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o} = \frac{F_y \cdot 10^3}{A_o}$$

- Specimen I (Tanpa pemanasan (TP) / temperatur ruang)

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \frac{127,0 \cdot 10^3}{121,9} \\ &= 1041,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Specimen II (Dengan Tempering 600°C)

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \frac{117,5 \cdot 10^3}{122,7} \\ &= 957,6 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



**Gambar Grafik Kuat Luluh vs Perlakuan**

### 4. Regangan

Kemampuan suatu bahan meregang plastis sebelum putus. Dalam hal ini diukur dengan elongasi dan dengan reduksi penampang. Pengukuran regangan dilakukan dengan menggabungkan bagian yang putus, kemudian diukur panjangnya, regangan (elongasi) adalah rasio antara pertambahan panjang dengan panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

- Spesimen I (Tanpa perlakuan panas / temperature ruang) :

$$\varepsilon = \frac{51-50}{50} \times 100\% = 20\%$$

- Spesimen II (Hardening 850°C) :

$$\varepsilon = \frac{51,5-50}{50} \times 100\% = 3,0\%$$

- *Spesimen III (Tempering 200°C) :*

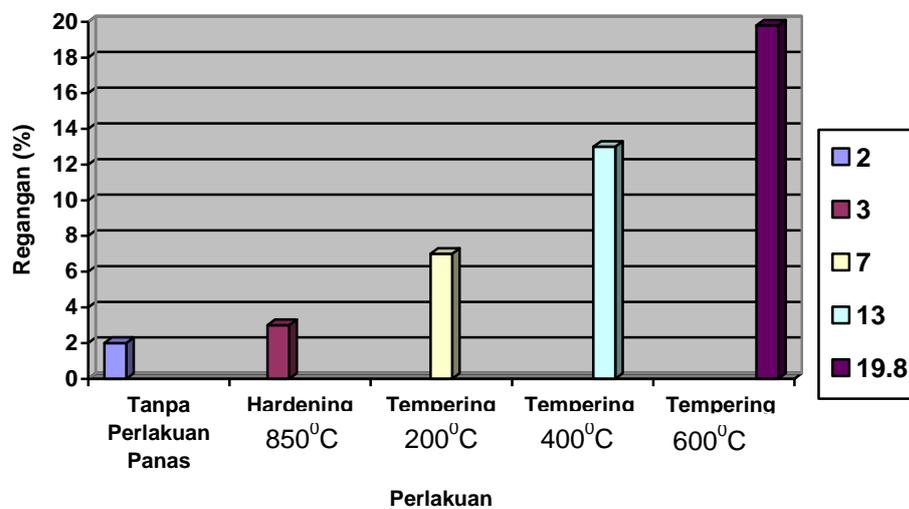
$$\epsilon = \frac{53,5-50}{50} \times 100\% = 7,0\%$$

- *Spesimen IV (Tempering 400°C) :*

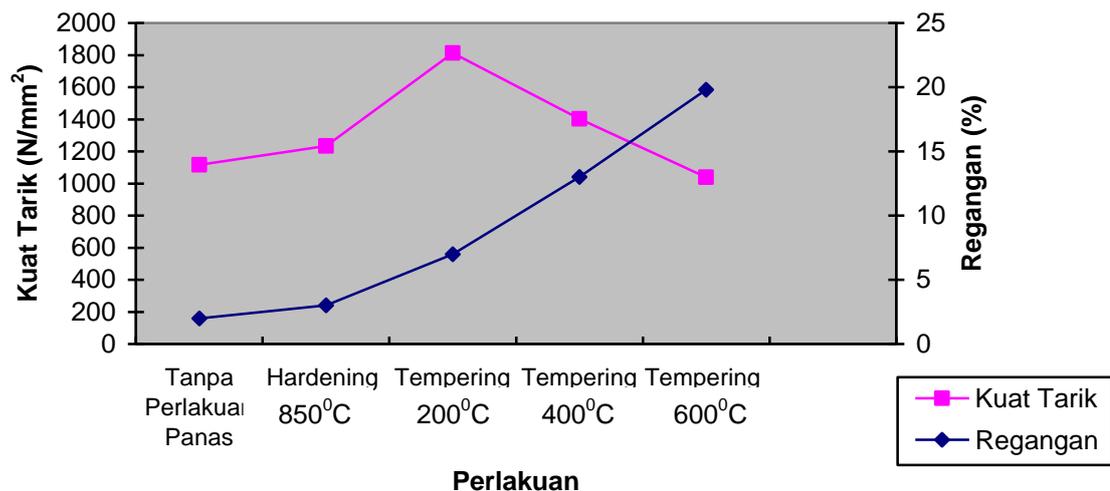
$$\epsilon = \frac{56,5-50}{50} \times 100\% = 13,0\%$$

- *Spesimen V (Tempering 600°C) ;*

$$\epsilon = \frac{59,5-50}{50} \times 100\% = 19,8\%$$



**Gambar Grafik Regangan vs Perlakuan**



**Gambar Grafik Kuat Tarik & Regangan vs Perlakuan**

## HASIL ANALISA UJI KEKERASAN

Alat uji yang digunakan dalam melakukan pengujian kekerasan Vickers di LUK (Lembaga Uji Konstruksi) BPPT adalah Frank Finotest. Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Sudut ini dipilih berdasarkan karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan Brinell.

Karena bentuk penumbuk piramida, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan intan atau Diamond Pyramid Hardness (DPH) atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan, VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{L^2} = \frac{1,854 \cdot P}{L^2}$$

Dimana :  
VHN = Vickers Hardness Number  
P = Beban yang diterapkan (Kg)  
L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$$\begin{aligned} &= \frac{1,854 \cdot P}{L^2} \\ &= \frac{1,854 \cdot 5}{0,165^2} = \frac{9,27}{0,027225} = 340 \end{aligned}$$

**Tabel 1 Nilai Kekerasan Vickers Pada Bahan Tanpa Perlakuan Pemanasan.**

Nomor Jejak	L (mm)	VHN
1	0.165	340
2	0.162	353
3	0.162	353
4	0.162	353
5	0.166	336

Jadi nilai rata – rata kekerasan Vickers tanpa perlakuan panas adalah : 347

**Tabel 2 Nilai Kekerasan Vickers Pada Bahan Dengan Hardening Pada temperatur 8500C Dengan Waktu Penahanan 40 Menit.**

Nomor Jejak	L (mm)	VHN
1	0.136	501
2	0.134	516
3	0.133	524
4	0.130	548
5	0.130	548

Jadi nilai rata – rata kekerasan Vickers dengan Hardening 8500C adalah : 527,4

**Tabel 3 Nilai Kekerasan Vickers Pada Bahan Dengan Proses Tempering Pada Temperatur 4000C Dengan Waktu Penahanan 60 Menit Dengan Quenching(Temperatur Ruang).**

Nomor Jejakan	L (mm)	VHN
1	0.147	429
2	0.147	429
3	0.145	440
4	0.145	440
5	0.145	440

Jadi nilai rata – rata kekerasan Vickers dengan Proses Tempering 4000C adalah 435,6

Tabel 4 Nilai Kekerasan Vickers Pada Bahan Dengan Proses Tempering Pada Temperatur 6000C Dengan Waktu Penahanan 60 Menit Dengan Quenching(Temperatur Ruang).

Nomor Jejakan	L (mm)	VHN
1	0.167	332
2	0.167	332
3	0.166	336
4	0.166	336
5	0.168	328

Jadi nilai rata – rata kekerasan Vickers dengan Proses Tempering 6000C adalah 332,8

#### Hasil ANALISA Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan Struktur Mikro ini di lakukan di Laboratorium Uji Konstruksi Serpong . Alat yang di gunakan dalam pengujian ini adalah Mikroskop Optik dengan pembesaran 500 X dan 1000X.



Gambar Foto Struktur Mikro Tanpa Perlakuan Panas, Pembesaran 500X



Gambar Foto Struktur Mikro Tanpa Perlakuan Panas, Pembesaran 1000X



Gambar Foto Struktur Mikro Dengan Hardening 850 °C Pembesaran 500X

## BENTUK PENAMPANG PATAHAN

Pengujian tarik pada benda uji tanpa perlakuan panas menghasilkan bentuk patahan star fracture, patahan penampang berbentuk cup-cone tetapi pada terdapat sobekan tak beraturan pada sisi diameter ukur dan butirannya seperti kristal. Treatment dengan hardening 850°C menghasilkan patahan pada permukaan penampang tampak rata, ini membuktikan bahwa specimen mengalami patah getas atau brittle fracture. Bentuk penampang pada specimen dengan proses tempering 200°C masih seperti bentuk pada proses hardening yaitu patah getas. Sedangkan pada specimen pada proses tempering 400°C menghasilkan penampang berbentuk patahan partial cup-cone dengan butiran halus, menunjukkan bahan mempunyai perpanjangan dan mulai mempunyai keuletan sehingga harga kekuatan dan kekerasannya sedikit menurun. Bentuk patahan pada proses tempering 600°C adalah partial cup-cone dengan butiran agak kasar, menunjukkan perpanjangan specimen lebih besar dari pada proses tempering sebelumnya.



Specimen Tanpa Perlakuan Panas



Specimen Hardening 850°C



Specimen Tempering 200°C



Specimen Tempering 400°C



Specimen Tempering 600°C

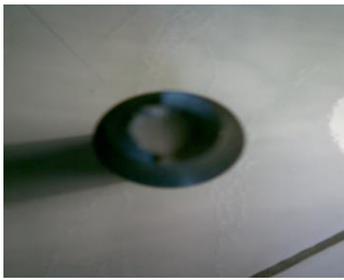
### Gambar Foto bentuk patahan pada specimen



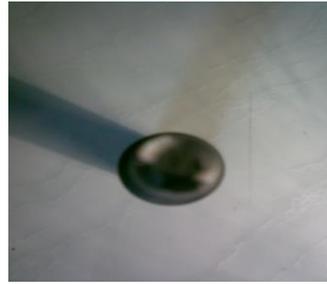
Specimen Tanpa Perlakuan Panas



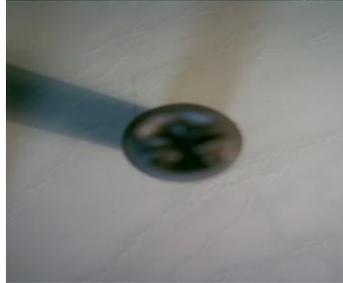
Specimen Hardening 850°C



Specimen Tempering 200°C



Specimen Tempering 400°C



Specimen Tempering 600°C

**Gambar Foto bentuk Penampang pada patahan specimen**

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian didapatkan suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat Tarik Maksimum tertinggi didapat pada baja AISI 4340 dengan proses Tempering 200°C dengan waktu tahan 60 menit sebesar 1813,4 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai terendah sebesar 1039,1 N/mm<sup>2</sup> pada proses Tempering 600°C dengan waktu tahan 60 menit.
2. Kuat luluh / yield pada baja AISI 4340 tanpa perlakuan panas sebesar 1041,8 N/mm<sup>2</sup> tetapi pada proses hardening 850°C, tempering 200°C dan 400°C kuat luluh specimen tidak di ketahui karena struktur baja masih terlalu keras. Sedangkan pada proses tempering 600°C kuat luluh sebesar 957,6 N/mm<sup>2</sup>.
3. Nilai regangan tertinggi didapat pada baja AISI 4340 adalah pada specimen dengan proses tempering 600°C sebesar 19,8 %. Sedangkan nilai terendah sebesar 2 % pada specimen tanpa perlakuan panas.
4. Untuk nilai kekerasan tertinggi pada baja AISI 4340 adalah pada proses hardening 850°C dengan VHN sebesar 548, sedangkan nilai terendah pada proses Tempering 600°C dengan waktu tahan 60 menit dengan VHN sebesar 328.
5. Fasa yang terjadi adalah.
  - Pada specimen tanpa perlakuan panas adalah Ferrite dan Perlite.
  - Pada specimen yang di Hardening 850°C adalah Martensite butir kasar.
  - Pada specimen yang di Tempering 200°C adalah Martensite butir halus.
  - Pada specimen yang di Tempering 400°C adalah Bainite.
  - Pada specimen yang di Tempering 600°C adalah Ferrite dan Sementit.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Daniel A.Brandt, 1992, '*Metallurgy Fundamentals*' South Holland, Illionis.
2. Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999, '*Pengetahuan Bahan Teknik*', PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
3. Van Vlack, Sriati Djaprie, 1991, '*Ilmu Teknologi Bahan*', Erlangga, Jakarta.
4. Amstead,B.H, Ostwald, Phillip F, Begeman,Myron L, 1989,*Teknologi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
5. George E. Dieter, Sriati Djaprie, 1993, *Metalurgi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
6. Modul Pelatihan, *Heat Treatment*, 2003, FTUI, Depok.