



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh *Holding Time Tempering* Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70

Dwi Joko Purnomo¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾, Untung Budiarto¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
)e-mail : dwije.purnomo@gmail.com

Abstrak

Baja karbon sering digunakan dalam industri perkapalan dan memiliki aplikasi yang luas karena mempunyai kemampuan *work hardening* dan ketahanan destruktif yang baik setelah menerima perlakuan panas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan, nilai tarik, kuat impact (ketangguhan) dan perubahan struktur mikro pada baja jenis medium carbon steel ST 70 setelah perlakuan panas tempering, sehingga hasilnya dapat diaplikasikan dilapangan. Metode yang digunakan yaitu baja diberi perlakuan panas *quenching* pada suhu $\pm 850^{\circ}\text{C}$ ditahan 30 menit kemudian dilanjutkan dengan tempering pada suhu $\pm 450^{\circ}\text{C}$ ditahan selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada baja ST 70 perlakuan panas tempering 1 jam dengan kenaikan nilai kekerasan sebesar 25,85% dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas, nilai tarik tertinggi terdapat pada baja ST 70 perlakuan panas tempering 3 jam dengan kenaikan nilai tarik sebesar 38,60% dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas, nilai impact tertinggi terdapat pada baja ST 70 perlakuan panas tempering 2 jam dengan penurunan nilai impact sebesar 45,01% dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas.

Kata Kunci : Baja ST 70, *Quenching*, *Tempering*, Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan, Struktur Mikro

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi, baja sering kali digunakan sebagai bahan dasar penunjang kebutuhan manusia. Industri baja sekarang berkembang cukup pesat disebabkan oleh beberapa aspek yang mendukung terutama teknologi proses dan teknologi material. Kebutuhan akan perbaikan sifat-sifat fisik dan mekanik dari baja akan terus meningkat. Sehingga mendorong peneliti bersaing untuk membuat produk baja ataupun logam yang mempunyai sifat unggul seperti memiliki nilai kekerasan, sifat keuletan serta ketangguhan yang lebih baik yang nantinya akan dimanfaatkan pada pembuatan alat-alat tertentu.

Untuk mendapatkan sifat-sifat unggul dari logam tersebut dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas. Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah suatu metode yang dipergunakan untuk merubah sifat-sifat mekanik dari suatu baja seperti misalnya kekerasan, kekuatan atau keuletannya [1]. Proses perlakuan panas yang

digunakan pada penelitian ini adalah perlakuan panas *quenching* dan *tempering*.

Material baja yang telah mengalami proses perlakuan panas *quenching* akan memiliki sifat yang lebih baik, seperti meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik akan tetapi material tersebut mempunyai sifat getas, oleh karena itu untuk menghilangkan tegangan sisa dan meningkatkan keuletan material tersebut maka harus dilakukan proses perlakuan panas lanjutan *tempering* yaitu proses memanaskan kembali baja yang sudah di *quenching* pada temperatur dibawah temperatur kritis dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan induktilitas dan ketangguhan yang tinggi.

Proses pengerasan pada baja karbon menengah akan memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan baja karbon yang lain karena dengan kandungan karbon yang cukup banyak dapat membentuk martensit untuk menambah kekerasan baja [2].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisa pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan dan ketangguhan pada baja karbon sedang. Dimana penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur semakin baik pula nilai ketangguhan suatu material [3]. Kemudian pada penelitian lainnya dilakukan analisa pengaruh waktu penahan *tempering* terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *impact* baja komersial sebagai bahan komponen mesin-mesin produksi tepat guna. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa perbedaan waktu *temper* tidak terlalu berpengaruh terhadap ketangguhan baja [4].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diambil rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh nilai kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan dan perubahan struktur mikro pada *medium carbon steel* setelah proses *quenching-tempering* dengan variasi *holding time*.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari buku-buku referensi, jurnal, modul, artikel, internet, dan studi lapangan secara langsung sehingga karakteristik material baja ST 70, perlakuan panas *quenching* dan *tempering*, pengujian tarik, *impact*, kekerasan, dan metalografi dapat dipelajari. Objek yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah baja ST 70 yang tergolong sebagai baja dengan kadar karbon sedang.

1. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah [2]. Penelitian ini menggunakan baja ST 70 yang tergolong *medium carbon steel*.



Gambar 1. Baja ST 70

2. Quenching

Quenching adalah suatu proses pengerasan baja dengan cara baja dipanaskan hingga mencapai batas austenit dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat melalui media pendingin air, oli, atau air garam, sehingga fasa austenit bertransformasi secara parsial membentuk struktur martensit. Tujuan utama dari proses *quenching* ini adalah untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan tinggi [5].

3. Tempering

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan (*quenching*) pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis) sehingga diperoleh *ductility* tertentu, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan [6]. Prosesnya adalah memanaskan kembali berkisar antara suhu $\pm 450^{\circ}\text{C}$ menggunakan dapur pemanas dan didinginkan tanpa media pendingin (suhu ruangan).



Gambar 2. Dapur Pemanas

4. Uji Kekerasan

Uji Kekerasan logam didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi [7]. Alat uji kekerasan menekankan bola kecil, piramida atau kerucut ke permukaan logam dengan beban tertentu, dan bilangan kekerasan (*Brinell* atau piramida *Vickers*) diperoleh dari diameter jejak. Kekerasan dapat dihubungkan dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik logam, Karena sewaktu indentasi, material di sekitar jejak mengalami deformasi plastis mencapai beberapa persen regangan tertentu.

Secara garis besar terdapat tiga metode pengujian kekerasan logam yaitu *rockwell*, *brinell*, dan *vickers*. Pengujian kekerasan *vickers* banyak dilakukan pada penelitian karena hasil dari pengukuran kekerasan *vickers* tidak tergantung pada besarnya gaya tekan seperti pada pengujian *brinell*, jadi dengan gaya yang berbeda-beda akan tetap diperoleh nilai kekerasan yang sama.

Pengujian kekerasan *vickers* juga akan menghasilkan nilai kekerasan yang relatif kontinyu untuk suatu beban tertentu [8]. Pengujian kekerasan penelitian ini menggunakan metode *vickers* dengan mengambil tiga titik penekanan.



Gambar 3. Mesin Uji Kekerasan

Perhitungan angka kekerasan *vickers* (VHN) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

Dimana:

P = beban yang menekan (kgf)

beban yang digunakan sebesar 0,1 kgf

α = sudut piramida intan (136°)

d = diagonal bekas injakan penetrator (mm)

5. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material seperti kekuatan tarik (σ_{Max}), kekuatan luluh (σ_y), regangan (ϵ), dan modulus elastisitas (E). Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan (perpanjangannya) terus menerus meningkat dan teratur sampai putus dengan tujuan menentukan nilai tarik [7].



Gambar 4. Mesin Uji Tarik

Kekuatan tarik (σ_{Max}) adalah tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan. Kekuatan tarik (σ_{Max}) dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{Max} = \frac{P_{Max}}{A_0} \text{ (Mpa)} \quad (2)$$

Dimana:

σ_{Max} = kekuatan tarik (Mpa)

P_{Max} = beban maksimum (N)

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

Kekuatan luluh (σ_y) adalah tegangan minimum ketika suatu material kehilangan sifat elastisnya. Kekuatan luluh (σ_y) dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0} \text{ (Mpa)} \quad (3)$$

Dimana:

σ_y = kekuatan luluh (Mpa)

P_y = beban luluh (N)

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

Regangan (ϵ) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula. Regangan (ϵ) dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana:

ϵ = regangan (%)

ΔL = pertambahan panjang (mm)

L_0 = panjang mula-mula (mm)

Modulus elastisitas (E) merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus elastisitas maka semakin kecil regangan yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku [9]. Modulus elastisitas (E) dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon} \text{ (Mpa)} \quad (5)$$

Dimana:

E = modulus elastisitas (Mpa)

σ_y = kekuatan luluh (Mpa)

ϵ = regangan

6. Uji Impact

Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian *impact* mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba [7]. Pengujian *impact* pada penelitian ini menggunakan mesin uji (tipe *Charpy*) yang dirancang dengan memiliki sebuah pendulum dengan berat tertentu yang mengayun dari suatu ketinggian untuk memberikan beban kejut.



Gambar 5. Mesin Uji *Impact*

Kuat *impact* atau nilai ketangguhan suatu material dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat Impact} = \frac{E}{A} \quad (6)$$

Dimana:

kuat *impact* = nilai ketangguhan (J/mm²)

E = energi *impact*

A = luas penampang patah

7. Uji metalografi

Uji metalografi bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur serta arah perubahan struktur mikro [10]. Pengujian metalografi ini dilakukan dengan mengamati perubahan struktur mikro pada baja ST 70 sebelum dan sesudah perlakuan panas.



Gambar 6. Mikroskop Optik

Prosedur dalam penelitian ini diawali dengan pembuatan spesimen dari baja ST 70 dengan bentuk standard ASTM (*American Society for Testing and Material*). Langkah selanjutnya adalah menyiapkan dapur pemanas dan media pendingin, kemudian dilakukan proses *quenching* dengan memanaskan spesimen kedalam dapur pemanas pada suhu $\pm 850^{\circ}\text{C}$ dan ditahan selama 30 menit setelah itu didinginkan secara cepat menggunakan oli Mesran SAE 20W-50. Langkah

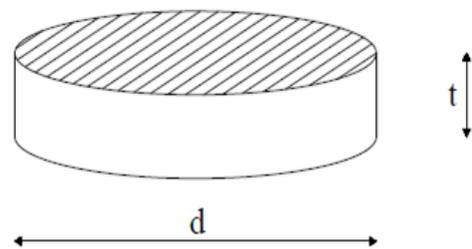
selanjutnya adalah proses *tempering* yaitu dengan memanaskan kembali spesimen yang sudah di *quenching* kedalam dapur pemanas pada suhu $\pm 450^{\circ}\text{C}$ dan ditahan selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam setelah itu didinginkan secara perlahan pada udara terbuka. Langkah selanjutnya adalah proses pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian *impact* dan pengamatan struktur mikro, setelah itu data hasil pengujian tersebut dilakukan analisa dan perhitungan. Penelitian ini hanya dilakukan dengan pengujian tanpa analisa menggunakan software.

2.2. Parameter Penelitian

1. Parameter Tetap

Parameter tetap pada penelitian ini adalah baja karbon rendah ST 70. Baja ST 70 kemudian dibentuk menjadi spesimen uji kekerasan, tarik, *impact* dan metalografi.

a. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan, dan Uji Metalografi



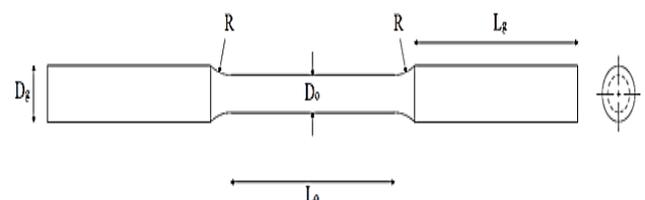
Gambar 7. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan, dan Metalografi

Tabel 1. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan, dan Metalografi

Dimensi Spesimen Uji (mm)	
D	t
18	10
Jumlah Spesimen = 4 Buah	

b. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Dimensi Spesimen Uji Tarik Berdasarkan Standard ASTM E-8 [11].



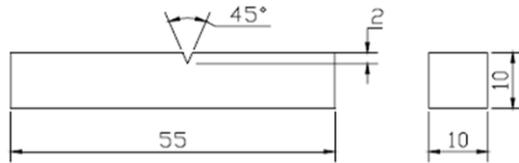
Gambar 8. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Standard Pengujian	Dimensi Spesimen Uji (mm)				
	Do	Lo	R	Dg	Lg
ASTM E-8	8	65	15	16	60
Jumlah Spesimen = 12 Buah					

c. Dimensi Spesimen Uji Impact

Dimensi Spesimen Uji Impact Berdasarkan Standard ASTM E-23 [12].



Gambar 9. Dimensi Spesimen Uji Impact

Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Impact

Standard Pengujian	Dimensi Spesimen Uji			
	P (mm)	L (mm)	T (mm)	α (o)
ASTM E-23	55	10	10	45
Jumlah Spesimen = 12 Buah				

2. Parameter Perubah

Parameter perubah pada penelitian ini adalah perlakuan panas *quenching* baja ST 70 pada suhu $\pm 850^{\circ}\text{C}$ dengan lama penahanan 30 menit, perlakuan panas *tempering* baja ST 70 pada suhu $\pm 450^{\circ}\text{C}$ dengan lama penahanan 1 jam, 2 jam, 3 jam, pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian *impact* dan pengujian mikrografi.

2.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan penelitian merupakan sarana yang digunakan dalam pembuatan spesimen maupun pengambilan data. Alat dan bahan yang digunakan yaitu dapur pemanas, mesin uji komposisi, mesin uji kekerasan, mesin uji tarik, mesin uji *Impact*, mikroskop optik, jangka sorong, spesimen baja ST 70, dan media pendingin oli Mesran SAE 20W-50.

2.4. Lokasi Penelitian

Proses pembuatan spesimen, perlakuan panas, dan pengujian spesimen dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi atau kandungan yang terdapat pada suatu logam. Uji komposisi sangat penting dilakukan sebagai validasi untuk menentukan kesesuaian bahan yang digunakan. Pengujian ini dilakukan pada baja dalam kondisi baja tanpa perlakuan panas (raw material).

Hasil yang didapat dari pengujian komposisi material baja ST 70 adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Komposisi Baja ST 70

Unsur		(%)
C	Carbon	0,3934
Si	Silicon	0,2497
S	Sulfur	0,0021
P	Phosphorus	0,0113
Mn	Mangan	0,6992
Ni	Nickel	0,0349
Cr	Chromium	1,0263
Mo	Molybdenum	0,1695
Cu	Copper	0,0328
w	Tungsten	0,0000
Ti	Titanium	0,0032
Sn	Stannum	0,0034
Al	Aluminium	0,0274
Nb	Niobium	0,0010
V	Vanadium	0,0076
Co	Cobalt	0,0061
Pb	Plumbum	0,0000
Ca	Calcium	0,0010
Zn	Zink	0,0019
Fe	Ferrum	97,33

Berdasarkan hasil pengujian komposisi pada Tabel 4, material baja ST 70 yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kandungan karbon sebanyak 0,3934% (dientang 0,20% – 0,60%) dapat disimpulkan bahwa material tersebut sudah sesuai dengan teori bahwa material tersebut tergolong baja karbon sedang (*medium carbon steel*).

Peraturan BKI *Volume V 2014 Rules For Material Sec. 6* menyebutkan bahwa untuk material komponen dan konstruksi mesin kapal harus memiliki komposisi kimia sebagai berikut :

Tabel 5. Perbandingan Batas Komposisi Standard BKI dengan Hasil Pengujian

Batas Komposisi Kimia			
Baja Karbon (%)			Hasil Pengujian
Unsur Kimia	Standard BKI		
C	Carbon	Max. 0,50	0,3934
Mn	Mangan	0,3 – 1,70	0,6992
Si	Silicon	Max. 0,45	0,2497
P	Phosphorus	Max. 0,035	0,0113
S	Sulfur	Max. 0,035	0,0021

Berdasarkan Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan pada tugas akhir ini memenuhi standard BKI *Volume V 2014 Rules For Material Sec. 6* sehingga dapat dijadikan material komponen dan konstruksi mesin kapal.

3.2. Hasil Uji Kekerasan

Hasil yang didapat dari pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

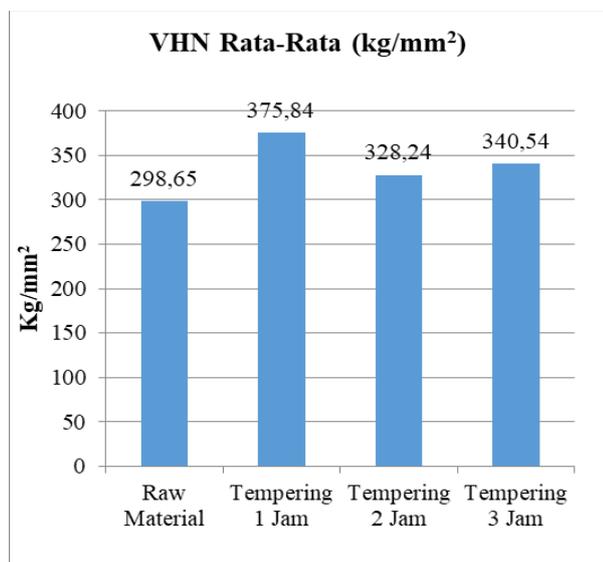
Tabel 6. Data Hasil Uji Kekerasan

No	Spesimen	Posisi Titik Uji	d1 (mm)	d2 (mm)	d rata-rata (mm)
1	Raw Material	Acak	24,6	23,2	23,9
2		Acak	25,3	25,5	25,4
3		Acak	25,8	25,3	25,55
4	Tempering 1 Jam	Acak	21	21,5	21,25
5		Acak	22,2	24	23,1
6		Acak	21,6	23,2	22,4
7	Tempering 2 Jam	Acak	26	24,5	25,25
8		Acak	23,5	23,5	23,5
9		Acak	22,5	23	22,75
10	Tempering 3 Jam	Acak	23,5	21	22,25
11		Acak	23,5	26,5	25
12		Acak	23,5	22,5	23

Hasil yang didapat dari perhitungan angka kekerasan *vickers* adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Perhitungan Angka Kekerasan

No	Spesimen	d rata-rata (mm)	VHN (kg/mm ²)	Rata-Rata (kg/mm ²)
1	Raw Material	23,9	324,57	298,65
2		25,4	287,37	
3		25,55	284,01	
4	Tempering 1 Jam	21,25	410,57	375,84
5		23,1	347,44	
6		22,4	369,50	
7	Tempering 2 Jam	25,25	290,80	328,24
8		23,5	335,72	
9		22,75	358,22	
10	Tempering 3 Jam	22,25	374,50	340,54
11		25	296,64	
12		23	350,47	



Gambar 10. Grafik Nilai Kekerasan *Vickers*

Berdasarkan hasil perhitungan kekerasan *vickers* pada Tabel 7 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki sifat yang lebih keras dibandingkan dengan baja ST 70 tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan karena baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* sebelumnya telah mengalami perlakuan panas *quenching* dimana sesuai dengan dasar teori bahwa perlakuan panas *quenching* menyebabkan kenaikan nilai kekerasan suatu material. Baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 2 jam memiliki nilai keuletan tertinggi dibanding baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* yang lain karena nilai kekerasannya terendah.

3.3. Hasil Uji Tarik

Hasil yang didapat dari pengujian tarik adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Data Hasil Uji Tarik

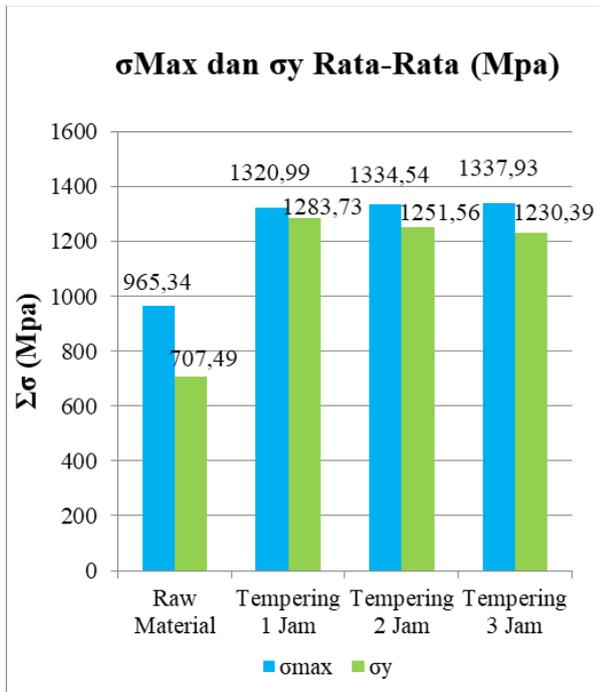
No	Spesimen	Ao (mm ²)	ΔL (mm)	Py (N)	Pmax (N)
1	Raw Material	78,73	7	55700	75400
2		78,73	7,8	50800	77600
3		78,73	7,55	60600	75000
4	Tempering 1 Jam	78,73	5,45	102200	106600
5		78,73	5,8	100600	103200
6		78,73	6,4	100400	102200
7	Tempering 2 Jam	78,73	6,05	98200	103400
8		78,73	4,7	100800	107400
9		78,73	6,65	96600	104400
10	Tempering 3 Jam	78,73	6,35	97400	104800
11		78,73	5,85	95600	102800
12		78,73	6,25	97600	108400

1. Kekuatan Tarik (σMax) dan Kekuatan Luluh (σy)

Hasil yang didapat dari perhitungan kekuatan tarik (σMax) dan kekuatan luluh (σy) adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil Perhitungan Kekuatan Tarik dan Kekuatan Luluh

No	Spesimen	Σy (Mpa)	σy Rata-Rata (Mpa)	σMax (Mpa)	σMax Rata-Rata (Mpa)
1	Raw Material	707,49	707,49	957,72	965,34
2		645,25		985,66	
3		769,73		952,64	
4	Tempering 1 Jam	1298,13	1283,73	1354,02	1320,99
5		1277,81		1310,83	
6		1275,27		1298,13	
7	Tempering 2 Jam	1247,32	1251,56	1313,37	1334,54
8		1280,35		1364,18	
9		1227		1326,07	
10	Tempering 3 Jam	1237,16	1230,39	1331,15	1337,93
11		1214,30		1305,75	
12		1239,70		1376,88	



Gambar 11. Grafik Rata-Rata Kekuatan Tarik dan Kekuatan Luluh

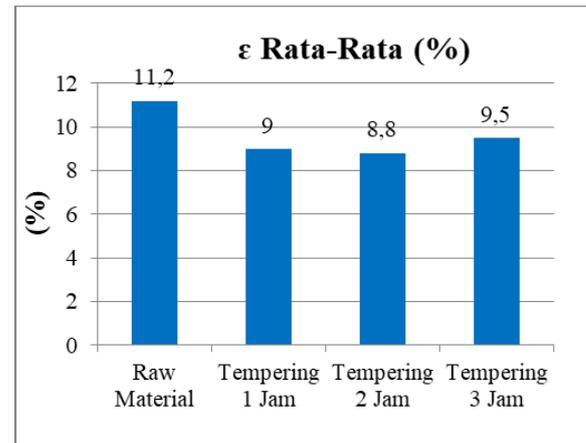
Berdasarkan hasil perhitungan kekuatan tarik dan kekuatan luluh pada Tabel 9 dan Gambar 11, maka dapat diketahui bahwa baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja ST 70 tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan karena kandungan karbon pada baja ST 70 yang tergolong menengah sehingga dapat membentuk struktur martensit yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh setelah di *tempering*. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa Baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 3 jam memiliki kekuatan tarik paling tinggi.

2. Regangan (ϵ)

Hasil yang didapat dari perhitungan regangan (ϵ) adalah sebagai berikut :

Tabel 10. Hasil Perhitungan Regangan

No	Spesimen	L_0 (mm)	ΔL (mm)	ϵ (%)	ϵ Rata-Rata (%)
1	Raw Material	67,8	7	10,3	11,2
2		67,2	7,8	11,6	
3		65,05	7,55	11,6	
4	Tempering 1 Jam	67,25	5,45	8,1	9,0
5		64,95	5,8	8,9	
6		64,6	6,4	9,9	
7	Tempering 2 Jam	64,7	6,05	9,4	8,8
8		66,9	4,7	7,0	
9		65,75	6,65	10,1	
10	Tempering 3 Jam	66,95	6,35	9,5	9,5
11		63,75	5,85	9,2	
12		64,25	6,25	9,7	



Gambar 12. Grafik Rata-Rata Regangan

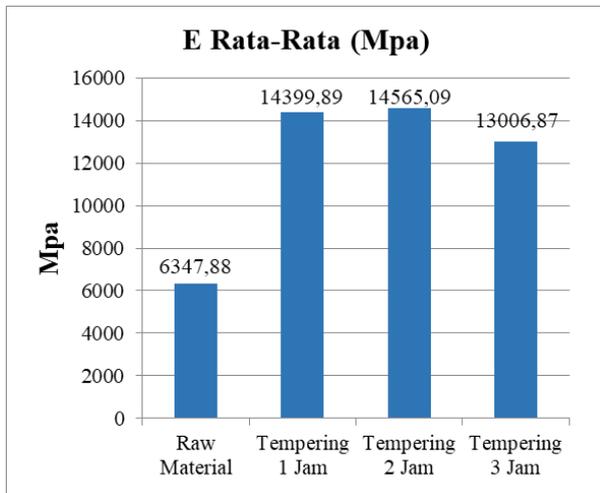
Berdasarkan hasil perhitungan regangan pada Tabel 10 dan Gambar 12, maka dapat diketahui bahwa baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai regangan yang lebih rendah dibandingkan dengan baja ST 70 tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan karena nilai kekuatan tarik baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* lebih tinggi dibandingkan baja ST 70 tanpa perlakuan. Baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 2 jam memiliki nilai regangan terendah. Penelitian ini telah sesuai dengan teori tegangan-regangan yaitu semakin tinggi nilai tegangan atau kekuatan tarik suatu material maka semakin rendah nilai regangannya, begitu pula sebaliknya.

3. Modulus Elastisitas (E)

Hasil yang didapat dari perhitungan modulus elastisitas (E) adalah sebagai berikut :

Tabel 11. Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

No	Spesimen	Σy (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)	E Rata-Rata (Mpa)
1	Raw Material	707,49	10,3	6852,58	6347,88
2		645,25	11,6	5559,11	
3		769,73	11,6	6631,93	
4	Tempering 1 Jam	1298,13	8,1	16018,21	14399,89
5		1277,81	8,9	14309,23	
6		1275,27	9,9	12872,22	
7	Tempering 2 Jam	1247,32	9,4	13339,13	14565,09
8		1280,35	7,0	18224,52	
9		1227,00	10,1	12131,61	
10	Tempering 3 Jam	1237,16	9,5	13043,77	13006,87
11		1214,30	9,2	13232,73	
12		1239,70	9,7	12744,13	



Gambar 13. Grafik Rata-Rata Modulus Elastisitas

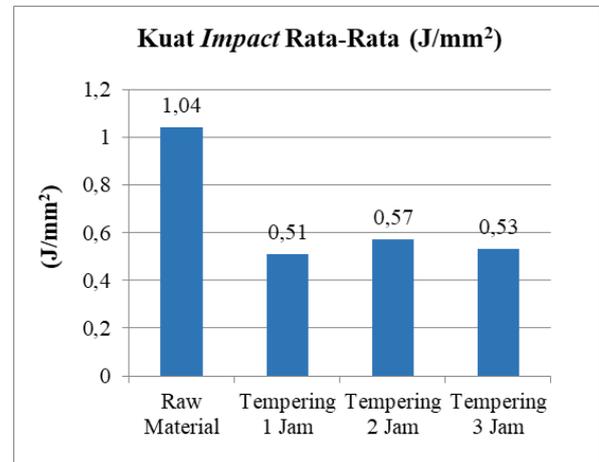
Berdasarkan hasil perhitungan modulus elastisitas pada Tabel 11 dan Gambar 13, maka dapat diketahui bahwa baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan baja ST 70 dengan tanpa perlakuan panas. Hal ini disebabkan karena baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai regangan yang lebih rendah dibandingkan baja ST 70 dengan tanpa perlakuan panas. Baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki sifat yang lebih kaku dibandingkan baja ST 70 dengan tanpa perlakuan panas. Baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 2 jam memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi dibanding dengan baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* yang lain.

3.4. Hasil Uji Impact

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan Kuat *impact* adalah sebagai berikut :

Tabel 12. Hasil Perhitungan Kuat *impact*

No.	Spesimen	A (mm ²)	Energi (J)	Kuat <i>impact</i> (J/mm ²)	Rata-rata Kuat <i>impact</i> (J/mm ²)
1	Raw Material	81,41	84,82	1,04	1,04
2		80,90	87,30	1,08	
3		78,98	79,90	1,01	
4	Tempering 1 Jam	85,43	43,38	0,51	0,51
5		80,07	41,30	0,52	
6	Tempering 2 Jam	84,75	43,38	0,51	0,57
7		79,50	45,48	0,57	
8		82,82	47,61	0,57	
9	Tempering 3 Jam	82,72	47,61	0,58	0,53
10		85,26	45,48	0,53	
11		83,13	43,38	0,52	
12		84,25	45,48	0,54	

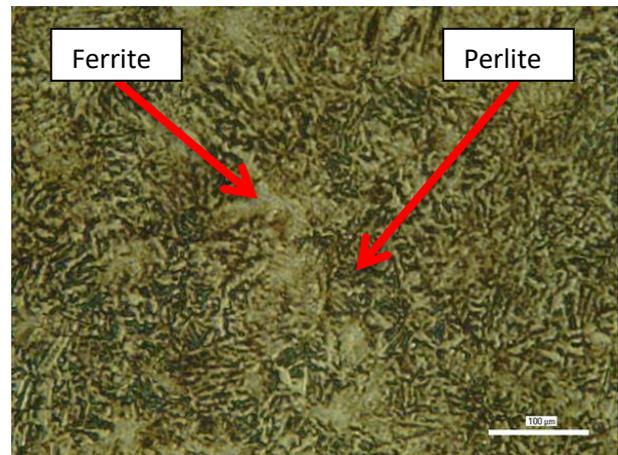


Gambar 14. Grafik Rata-Rata Kuat *impact*

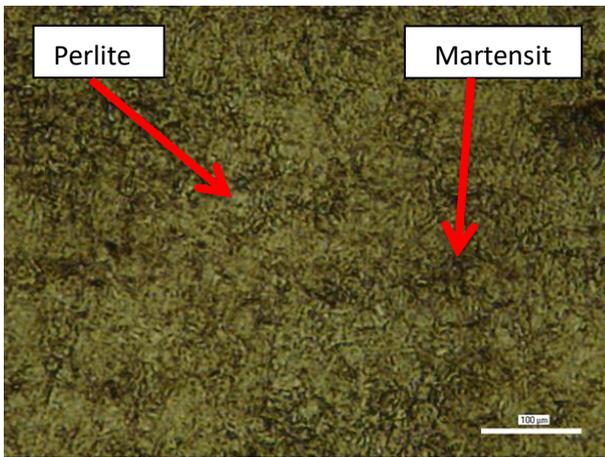
Berdasarkan hasil perhitungan Kuat *impact* pada Tabel 12 dan Gambar 14 menunjukkan bahwa nilai rata-rata Kuat *impact* yang dihasilkan dari baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* lebih rendah dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas. Hal ini sesuai dengan teori bahwa Kuat *impact* (ketangguhan) suatu material berbanding terbalik dengan nilai kekerasan. Pada penelitian ini baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 2 jam memiliki Kuat *impact* tertinggi dibanding baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* yang lain.

3.5. Hasil Uji Mikrografi

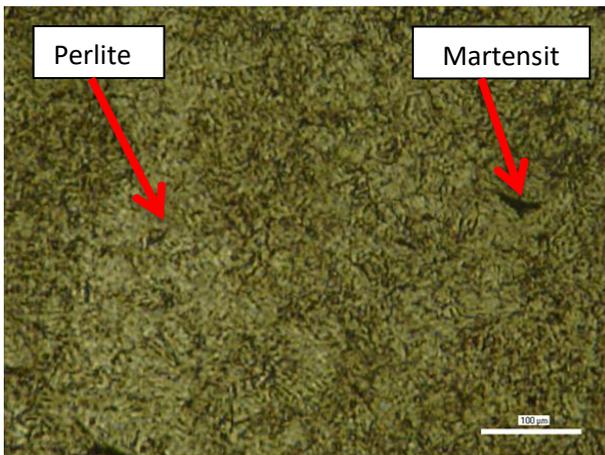
Pengujian foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur yang terkandung dalam spesimen penelitian. Bentuk penampang mikro hasil pengujian adalah sebagai berikut :



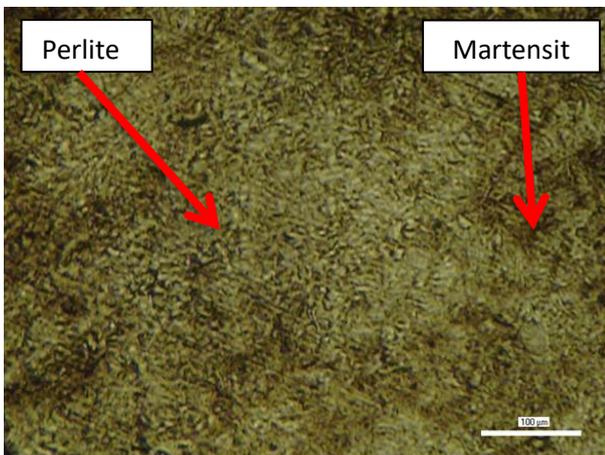
Gambar 15. Foto Mikro Baja ST 70 Tanpa Perlakuan dengan Perbesaran 100x



Gambar 16. Foto Mikro Baja ST 70 Setelah Perlakuan Panas *Tempering* 1 Jam dengan Perbesaran 100x



Gambar 17. Foto Mikro Baja ST 70 setelah Perlakuan Panas *Tempering* 2 Jam dengan Perbesaran 100x



Gambar 18. Foto Mikro Baja ST 70 setelah Perlakuan Panas *Tempering* 3 Jam dengan Perbesaran 100x

Fasa yang terlihat pada Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18 diatas adalah struktur martensit. Fasa martensit bisa diperoleh jika kandungan karbon dalam baja tersebut relatif tinggi. Perbedaan stuktur mikro baja ST 70 yang mengalami proses perlakuan panas dan tanpa proses panas dapat terlihat dengan memperhatikan kerapatan stuktur mikronya. Dimana pada tiap waktu tahan *tempering* yang berbeda mempunyai kerapatan yang berbeda pula.

Pada penelitian ini spesimen dengan perlakuan panas *tempering* 1 jam memiliki struktur yang lebih rapat dibanding dengan spesimen lain yang sudah di *tempering* dengan waktu penahan yang lebih lama. Hal ini disebabkan pada spesimen perlakuan panas *tempering* sebelumnya telah diberi perlakuan panas *quenching* yang memiliki struktur martensit dimana sifat dari struktur martensit yaitu mempunyai kerapatan yang tinggi sedangkan proses *tempering* sendiri berguna untuk membuat baja semakin ulet. Sehingga baja yang mengalami pendinginan cepat dengan temperatur yang tinggi akan memiliki struktur mikro lebih rapat (fasa martensit) dengan kekerasan yang tinggi pula, dan baja yang ditahan dengan waktu *tempering* lebih lama akan mengurangi kerapatan dari struktur mikro baja tersebut dan membuatnya menjadi lebih ulet.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian-uraian yang telah dibahas pada bab analisa dan pembahasan diatas, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Nilai kekerasan *vickers* yang dihasilkan baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 1 jam memiliki nilai tertinggi dibanding baja ST 70 dengan perlakuan *tempering* yang lain, dimana nilai kekerasannya naik sebesar 25,85% dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas.

Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 3 jam memiliki nilai tarik tertinggi dibanding baja ST 70 perlakuan *tempering* yang lain, dimana nilai tariknya naik sebesar 38,60% dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas.

Nilai *impact* yang dihasilkan baja ST 70 dengan perlakuan panas *tempering* 2 jam memiliki kuat *impact* tertinggi dibanding baja ST 70 perlakuan *tempering* yang lain, dimana kuat *impact*-nya hanya turun sebesar 45,01% dari baja ST 70 tanpa perlakuan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwanto, R.E., dkk. (Alih Bahasa), 1995, *Teknologi Mekanik*, Edisi ke-7, Jilid I, PT.Erlangga, Jakarta.
- [2] Amanto, H. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara, Jakarta.
- [3] K. Rasif, “Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering, Dan High Tempering Pada Jenis Medium Carbon Steel Baja ST 60 Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketangguhan (Toughness),” *KAPAL*, vol. 6, no. 3, 2018.
- [4] Bakri dan S. Chandrabakty, “Efek Waktu Perlakuan *Panas Temper Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Impact Baja Komersial*,” *JURNAL SMARTEK*, Vol. 4, No. 2, Mei 2006: 97 – 102.
- [5] Djafri, Sriati. 1983. *Teknologi Mekanik Jilid I*, (Terjemahan *Manufacturing Processes*). Erlangga, Jakarta.
- [6] Koswara, Engkos. 1999. *Pengujian Bahan Logam*. Humaniora Utama Press, Bandung.
- [7] Supardi, Edih. 1999. *Pengujian Logam*. Angkasa, Bandung.
- [8] Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Erlangga, Jakarta
- [9] Bradbury, EJ. 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [10] ASM Handbook. 2004. Volume 9, *Metallography and Microstructures*. ASM International.
- [11] ASTM E8, *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*. USA, 2013.
- [12] ASTM E23, *Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. USA, 2013.