



## Analisa Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Kekuatan Puntir Baja ST 37 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses *Tempering*

Rahmat Ridlo Aminuddin<sup>1)</sup>, Ari Wibawa Budi Santosa<sup>2)</sup> Hartono Yudo<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Material

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*)</sup>e-mail : [aldoridloo@gmail.com](mailto:aldoridloo@gmail.com), [arikapal75@gmail.com](mailto:arikapal75@gmail.com), [hartono.yudo@yahoo.com](mailto:hartono.yudo@yahoo.com)

### Abstrak

Dalam penelitian ini akan dilakukan uji kekerasan, uji tarik, dan uji puntir untuk material baja karbon ST 37 sebagai bahan poros propeller kapal setelah proses tempering. Tujuannya untuk mengetahui apakah baja ST 37 hasil perlakuan *Tempering* dapat memenuhi standar BKI untuk digunakan sebagai poros baling-baling. Poros baling-baling (propeller shaft) berfungsi untuk menyalurkan daya dari mesin induk ke baling-baling menjadi gaya dorong untuk menggerakkan sebuah kapal. Dalam berputarnya/bekerjanya poros baling-baling untuk menghasilkan gaya dorong, poros tersebut menanggung berbagai jenis beban akibat dari kombinasi berbagai bentuk gaya. Beban tersebut diantaranya adalah beban tarik dan beban puntir, dimana beban tersebut terjadi secara berulang yang akhirnya akan mengakibatkan kegagalan lelah (*fatigue failure*) pada material. Untuk mendapatkan ketahanan destruktif yang tinggi dan kekuatan material yang baik perlu dilakukan proses perlakuan panas. Pada penelitian ini dilakukan proses perlakuan panas *tempering* dengan menggunakan media pendingin pelumas Mesran SAE 20W – 50. Hasil penelitian ini berupa nilai kekuatan material yang kemudian dibandingkan dengan nilai minimum persyaratan rules BKI. Beberapa hasil penelitian seperti penampang patahan juga dapat mewakili karakter keuletan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja ST 37 perlakuan panas *tempering* memiliki kekuatan tarik 640,8 Mpa, kekuatan puntir 566,62 Mpa dan untuk uji kekerasan diperoleh nilai kekerasan 241,5 VHN

Kata Kunci : Baja ST 37, *Tempering*, Tarik, Puntir, Kekerasan

### 1. PENDAHULUAN

Baja merupakan salah satu logam ferro yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama di bidang rancang bangun dan rekayasa. Dalam dunia industri perkapalan, baja juga merupakan suatu material yang sangat esensial, dikarenakan sifatnya yang sangat keras dan lentur.

Utamanya dalam pembuatan poros propeller. Terdapat banyak jenis baja yang biasa digunakan, namun berdasarkan rules BKI, Baja yang akan digunakan sebagai bahan poros baling-baling diharuskan memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) antara 400 - 800 N/mm<sup>2</sup> (*Vol.3 Rules for Machinery Installation 2016 sec.4*) [1]

Baja ST 37 merupakan suatu material yang memiliki kadar karbon rendah (*low carbon steel*) dikarenakan kadar karbonnya kurang dari 0,30%.

Memiliki kekuatan tarik hingga 370 N/mm<sup>2</sup>. Baja ST 37 mengandung berbagai macam unsur seperti Karbon (C) = 0,15%, Silikon (Si) = 0,01 %, Mangan (Mn) = 0,6 %, Sulfur (S) = 0,0011 % dan Fosfor (P) = 0,050%.

Proses perlakuan panas adalah suatu proses pemberian panas atau pengaturan kecepatan pendinginan dengan tujuan untuk mengubah sifat logam menjadi lebih baik tanpa mengubah komposisi kimia logam tersebut. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan sifat logam yang sesuai bagi segala macam kebutuhan, kemudian proses ini juga dapat mencakup keseluruhan ataupun sebagian dari bagian logam. *Tempering* adalah proses pemanasan kembali baja pada suhu kritis yang telah dikeraskan, kemudian didinginkan kembali pada suhu ruangan untuk menghilangkan residu atau tegangan sisa pada

proses *quenching*. Proses *Tempering* yang akan dilakukan pada penelitian kali ini merupakan proses *tempering* tahap 3, temperatur pada tahap ini mencapai 550°C - 650°C. Pada tahap ini diharapkan keuletan material dapat bertambah secara signifikan, namun kekerasannya menjadi agak rendah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ridwan Redi Putra (2017), digunakan material baja ST 60 yang diuji setelah proses *Tempering* pada suhu 550°C memiliki kekuatan puntir 737,72 MPa, kekuatan tarik 853,49 MPa dan kekerasan *Brinell* sebesar 325,6 HRC. [3]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Indra Kurniawan (2019), material baja S45C diuji setelah proses *Tempering* pada suhu 600°C dengan  *Holding Time* 40 menit memiliki kekuatan puntir 392,70 MPa, kekuatan tarik 452,75 MPa dan kekerasan *Rockwell C* sebesar 32,7 HRC. [4]

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh D.A Fadare (2011). dengan menggunakan baja ST 37-2 setelah proses *Tempering* pada suhu 450°C dengan  *Holding Time* 90 menit memiliki kekuatan tarik 385,42 MPa dan kekerasan *Brinell* sebesar 131 BHN.[5]

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sasi Kirono (2011) menggunakan baja ST 37-3 setelah proses *Tempering* pada suhu 600°C dan 700°C, didapatkan hasil tegangan tarik sebesar 701,17 MPa pada suhu 700°C dan 598,53 MPa pada suhu 600°C.[6]

Berdasarkan penelitian diatas terdapat beberapa hal yang dapat disoroti, seperti pengaruh suhu serta durasi *holding time* pada perlakuan *tempering*

Beberapa pembatasan masalah pada pengujian yang digunakan agar pengujian tetap *on track* dan berfungsi sebagai acuan diantaranya adalah proses perlakuan panas yang digunakan adalah *Tempering*, media pendingin oli mesran SAE 20W-50, Pemanasan pada saat *Tempering* mencapai suhu 600°C, dikarenakan proses *tempering* yang dilakukan pada saat pengujian poros baling-baling kapal ada proses *tempering* suhu tinggi (550°C)

Terdapat 3 jenis pengujian yang dilakukan, yaitu uji puntir (*Torsion*), uji kekerasan (*Hardness*) dan uji tarik (*Tensile Strength*), Pengujian ini menggunakan spesimen material baja ST 37 dengan standar bentuk spesimen ASTM (*American Society for Testing and Material*)

Perubahan struktur mikro dan getaran yang terjadi pada spesimen tidak dibahas pada pengujian kali ini, serta pengujian dilakukan tanpa analisa software.

Berdasarkan latar belakang diatas maka maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik, puntir dan kekerasan baja ST 37 setelah perlakuan *Tempering* pada suhu 600°C dengan *holding time* 40 menit

## 2. METODE

### 2.1 Objek Penelitian

Penelitian kali ini akan berkonsentrasi pada pengaruh perlakuan panas *Tempering* pada Baja ST 37. Akan dilakukan 3 pengujian yaitu pengujian tarik, puntir dan kekerasan. Penelitian kali ini menggunakan baja karbon ST 37 yang diklasifikasikan sebagai baja karbon rendah dikarenakan kandungan karbonnya hanya sekitar 0,15%. Baja ST 37 juga memiliki *mechanical properties* seperti memiliki *tensile strength* mencapai 370-470 MPa, Memiliki nilai *Poisson Ratio* sebesar 0.29 pada suhu 20 °C, dan memiliki modulus elastisitas sebesar 217 GPa pada suhu - 100 °C

Tabel 1. Komposisi Baja ST37

Unsur		Kandungan %
C	Carbon	0,15
Si	Silicon	0,01
Mn	Mangan	0,60
P	Phosporus	0,028
S	Sulfur	0,050



Gambar 1. Spesimen Baja ST 37

### 2.2 Tempering

*Tempering* adalah proses pemanasan kembali baja pada suhu kritis yang telah dikeraskan, kemudian didinginkan kembali pada suhu ruangan untuk menghilangkan residu atau tegangan sisa pada proses *quenching*. Pada pengujian kali ini proses *tempering* akan dilakukan pada suhu 600°C (*Tempering* suhu tinggi) dengan  *Holding Time* selama 40 menit dengan tujuan memberikan keuletan yang tinggi serta kekerasan yang agak rendah

### 2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ialah suatu pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material dengan cara memberikan gaya tarik pada material tersebut. Pengujian ini menggunakan tegangan tarik aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Prinsip pengujian ini yaitu memberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar pada setiap ujung spesimen hingga putus sambil dihitung pertambahan panjangnya. Hasil yang didapat dalam pengujian ini yaitu berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara pertambahan panjang benda dan gaya yang diterima oleh benda tersebut, pengujian ini menggunakan spesimen dengan standar ASTM E8/E8M *Standard Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Sheet and Plate* [13]

Berdasarkan hasil pengujian maka didapatkan informasi mengenai nilai limit proporsional (*yield point*) ( $P_y$ ) dan beban maksimal (*ultimate point*) ( $P_u$ ), dari nilai  $P_y$  dan  $P_u$  tersebut dapat diketahui nilai propertis atau kekuatan mekanika material yang lain dengan menggunakan rumus tegangan maksimum (*Ultimate Strength*), yaitu :

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (1)$$

Dimana :

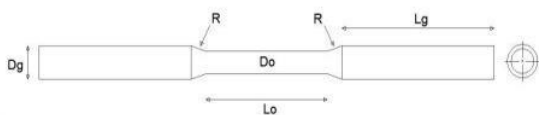
- $\sigma_u$  = tegangan maksimum (N/mm<sup>2</sup>)
- $P_{max}$  = beban maksimum (N)
- $A_0$  = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Kemudian nilai tegangan geser juga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_y = \frac{\sigma_u \cdot h_y}{h_u} \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

Dimana :

- $\sigma_y$  = tegangan maksimum (N/mm<sup>2</sup>)
- $h_y$  = titik batas grafik uji tarik (mm)
- $h_u$  = titik luluh grafik uji tarik (mm)



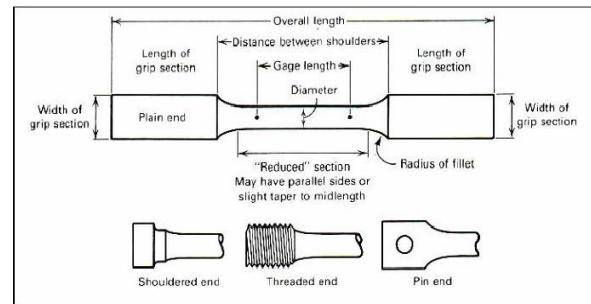
Gambar 2. Bentuk Spesimen Uji Tarik.

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
Do	8 mm
Lo	60 mm
R	15 mm
Dg	12 mm
Lg	60 mm

### 2.4 Pengujian Puntir

Uji puntir adalah suatu uji untuk menentukan batas luluh geser suatu material. Uji puntir menggunakan spesimen berbentuk penampang lingkaran, karena merupakan bentuk yang paling sederhana untuk diukur, pengujian dilakukan hanya pada salah satu batang penampang, karena jika dilakukan pada kedua penampang akan memberikan ketidakseimbangan sudut puntir.



Gambar 3. Spesimen Uji Puntir

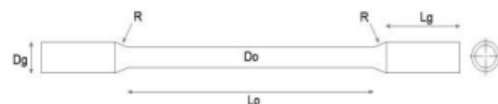
Pada uji puntir dilakukan pengukuran momen dan sudut puntir, yang kemudian di konversikan menjadi grafik momen puntir menjadi sudut puntir

Dalam pengujian puntir, dimensi pengukuran spesimen harus sesuai dengan ASTM E143 *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials* [9]. Nilai tegangan geser maksimum dapat dicari dengan rumus :

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{max}}{\pi d^3} \quad (3)$$

Keterangan:

- $\tau_g$  = Tegangan geser (MPa)
- $T_{max}$  = Momen puntir (N.m)
- $\pi$  = 3,14
- $d$  = Jari-jari (mm)



Gambar 4. Bentuk Spesimen Uji Puntir

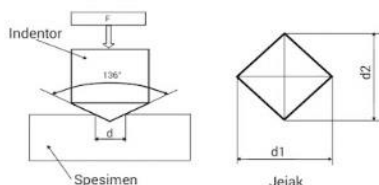
Tabel 3. Ukuran Spesimen Uji Puntir

Keterangan	Panjang
Do	5 mm
Lo	100 mm
R	15 mm
Dg	8 mm
Lg	32 mm

## 2.5 Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan adalah suatu pengujian untuk menentukan kekuatan suatu bahan dalam menghadapi deformasi. Terdapat 3 macam metode pengujian model, yaitu berdasarkan dinamis, penekanan dan goresan. Namun metode pengujian yang paling mudah dan paling lazim digunakan adalah pengujian berbasis penekanan. Pengujian kekerasan dibagi menjadi tiga metode yaitu metode *rockwell*, metode *brinell* dan metode *vickers*. [9] Metode *Rockwell* ditentukan berdasarkan kedalaman indenter terhadap benda uji, sedangkan *brinell* dan *vickers* menitikberatkan pada hubungan antara kekuatan bahan terhadap luas penampang. Metode pengujian kekerasan *Vickers* dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan  $136^\circ$ . Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji. Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak tersebut harus diukur terlebih dahulu dengan memakai mikroskop.

Angka kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan jejak.



Gambar 5. Skema uji kekerasan vickers

Pengujian kekerasan menggunakan spesimen berbentuk silindris dengan tebal 10 mm yang kemudian diampelas menggunakan mesin.

Gambar 6. Bentuk Spesimen Uji Kekerasan

## 2.6 Alat-alat

Peralatan penelitian berupa sarana peralatan yang digunakan dalam pembuatan spesimen maupun pengambilan data. Alat-alat yang digunakan antara lain :

- Mesin bubut
- Dapur pemanas
- Jangka sorong
- Mesin uji tarik
- Mesin uji puntir
- Mesin uji kekerasan

## 2.7 Lokasi Penelitian

Pembuatan dan penentuan ukuran spesimen akan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Sementara berbagai macam pengujian seperti uji tarik, kekerasan dan puntir juga akan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Pengujian Tarik

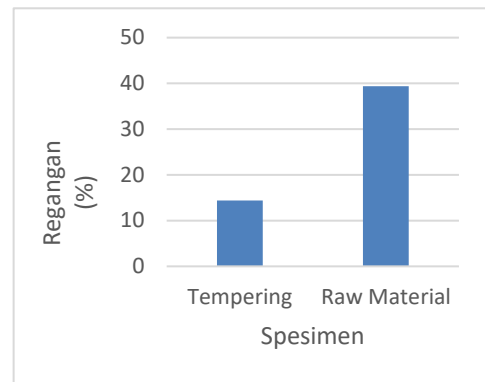
Pada pengujian kali ini menggunakan 8 spesimen baja ST 37 ( 4 *Raw Material* dan 4 *Tempering*) dengan standar ASTM E8M, pengujian bertempat di lab D3 Teknik Mesin Universitas Gajah Mada

### 3.2. Perhitungan Hasil Pengujian

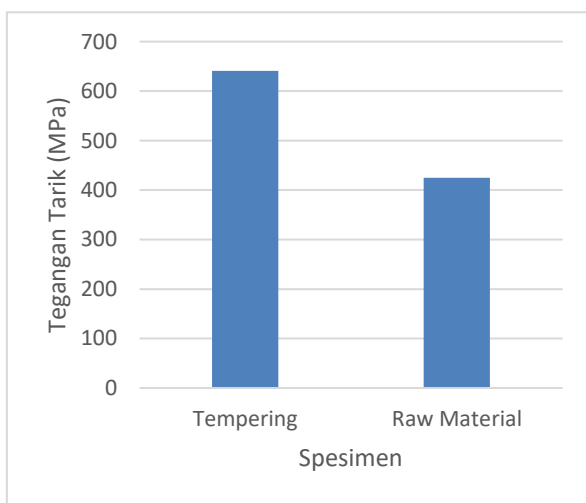
Setelah dilakukan pengujian maka hasil yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil perhitungan kekuatan luluh dan kekuatan tarik spesimen pada baja ST 37

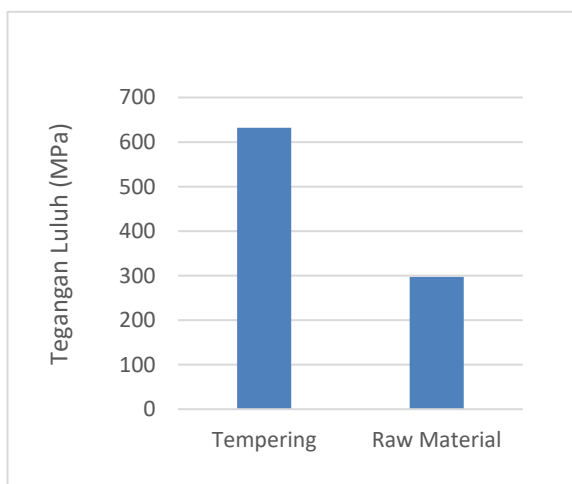
Spesimen	PMax (MPa)	Teg. luluh (MPa)	Regangan ( $\epsilon$ )	Rata-Rata (MPa)
Tempering 600°C	605.20	596.03	14.42	640.80
	606.88	597.78	15.71	
	625.93	613.54	14.23	
	725.16	722.10	13.39	
	263.67	393.99	42.07	
Raw Material	278.46	394.00	38.72	425.16
	283.90	410.08	41.04	
	362,62	502.58	35.58	



Gambar 9. Kurva regangan spesimen



Gambar 7. Kurva tegangan spesimen



Gambar 8. Kurva tegangan luluh spesimen

### 3.3 Analisa Uji Tarik

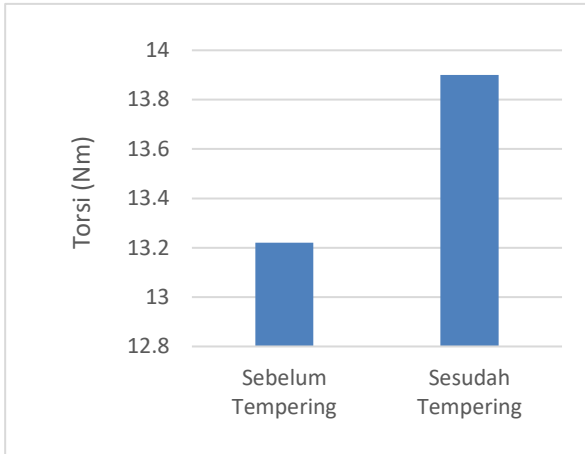
Pada pengujian tarik tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat peningkatan yang signifikan antara kekuatan tarik dan kekuatan luluh standar BKI dengan kekuatan tarik dan kekuatan luluh hasil pengujian, baja ST 37 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki kekuatan tarik sebesar 640,8 MPa atau **sesuai** dengan standar BKI (400-800 MPa), kemudian baja ST 37 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki kekuatan luluh sebesar 632,36 MPa atau **sesuai** dengan standar BKI (min 380 MPa), berdasarkan kesimpulan diatas maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan Tarik dan luluh baja ST 37 perlakuan panas *tempering* memenuhi standar BKI Volume V (*Rules for Material*) 2006 section 6

### 3.4. Pengujian Puntir

Pengujian puntir kali ini menggunakan spesimen baja ST 37 dengan standar ASTM E-143. Setelah dilakukan pengujian puntir terhadap baja ST 37 perlakuan panas *tempering* maka didapatkan nilai momen puntir / torsi sebagai berikut:

Tabel 5. Data hasil pengujian puntir baja ST 37

Spesimen	Momen Puntir	Sudut
Raw Material	12,92 Nm	1045 <sup>0</sup>
Tempering 600°C	13,58 Nm	1260 <sup>0</sup>



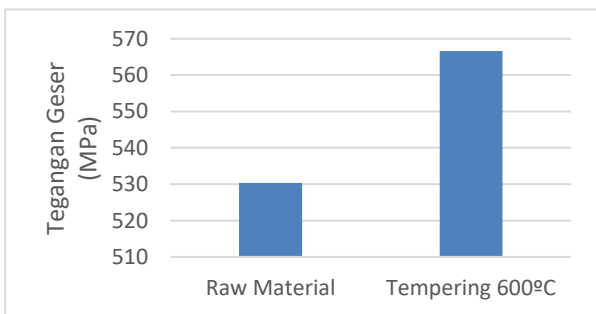
Gambar 10. Diagram perbandingan kekuatan puntir baja ST 37 sebelum dan sesudah *Tempering*

### 3.5 Menghitung Tegangan Geser Maksimum

Berdasarkan tabel 5 dan gambar 10 maka didapatkan nilai torsi maksimum pengujian puntir spesimen *raw material* dan *tempering* sebesar 12,92 Nm dan 13,58 Nm. Maka selanjutnya adalah mencari nilai tegangan geser maksimum. Dengan berdasarkan nilai torsi dan diameter benda uji, maka didapatkan nilai tegangan geser sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil tegangan geser maksimum

Spesimen	Diameter Spesimen	Momen Puntir (N.mm)	Tegangan Geser (MPa)
<i>Raw Material</i>	8	12920	553,58
<i>Tempering 600°C</i>	8	13580	526,67



Gambar 11. Diagram tegangan geser maksimum

Berdasarkan hasil pengujian puntir yang telah dilakukan terhadap baja ST 37 dengan perlakuan panas *tempering*, maka dapat diketahui karakteristik baja ST 37 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai torsi maksimum sebesar 13,90 N.m, dan memiliki nilai tegangan geser maksimum sebesar 566,62 Mpa.

### 3.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah suatu pengujian yang berguna untuk menguji tingkat kekerasan suatu benda, pengujian kekerasan merupakan pengujian yang bersifat destruktif karena benda uji akan hancur ketika terkena indentor.

Pengujian kali ini akan menggunakan metode *Vickers* dengan pertimbangan fleksibilitas variasi pengujian. Pengujian dilakukan pada tiga spesimen yang telah mengalami perlakuan panas *tempering* dengan suhu 800 derajat, tiga spesimen yang telah mengalami perlakuan panas *tempering* dengan suhu 900 derajat, dan satu spesimen yang tidak dilakukan perlakuan panas. Pada tiap spesimen dilakukan indentasi sebanyak tiga kali. Pada pengujian kekerasan, permukaan spesimen harus dihaluskan dengan cara diampas.



Gambar 12. Spesimen uji kekerasan

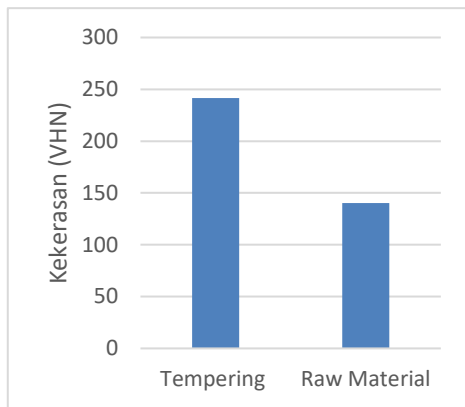


Gambar 13. Alat uji kekerasan

Berdasarkan pengujian kekerasan *Vickers* Baja ST 37 perlakuan panas *Tempering* maka didapat data sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil pengujian kekerasan *Vickers*

No	Spesimen	Titik Uji	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Kekerasan (VHN)
1	<i>Tempering</i>	Acak	48	48	48	241,5
2	R.M	Acak	63	63	63	140,2



Gambar 14. Diagram Uji Kekerasan

Berdasarkan tabel 8 maka dapat diketahui nilai rata-rata kekerasan baja ST 37 tanpa perlakuan panas adalah 241,5 VHN, nilai rata-rata kekerasan baja ST 37 perlakuan panas *quenching-tempering* suhu 850°C dan 600°C adalah 140,2 VHN.

Dapat disimpulkan bahwa suhu dan *treatment* sangat berpengaruh pada tingkat kekerasan suatu material, dalam grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu pemanasan

#### 4. KESIMPULAN

Dari uraian-uraian yang telah dibahas di bab IV, maka dapat diambil kesimpulan bahwa baja ST 37 yang telah diberi perlakuan *Tempering* memiliki tegangan maksimum sebesar 640,8 MPa dan tegangan luluh maksimum sebesar 632,36 MPa.

Kemudian berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan, Baja ST 37 yang telah diberi perlakuan *Tempering* memiliki kekuatan sebesar 241,5 VHN. Kemudian berdasarkan pengujian puntir yang telah dilakukan, baja ST 37 dengan perlakuan panas *Tempering* memiliki nilai torsi maksimum sebesar 13,58 N.m, dan memiliki nilai tegangan geser maksimum sebesar 553,58 Mpa

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. K Indonesia, "Rules for Machinery Instalation, Vol.III". 2001
- [2] F. Pradhana, "Uji Kekerasan Logam", Universitas Gunadarma. Jakarta .2012
- [3] R. R. Putra, "Analisa kekuatan puntir, kekuatan Tarik, dan kekerasan baja ST 60 sebagai bahan poros baling-baling kapal (propeller shaft) setelah proses tempering," *J. Tek. Perkapalan*, 2017
- [4] I. Kurniawan, "Analisa kekuatan tarik, puntir, kekerasan dan uji metalografi baja s45c sebagai bahan poros baling-baling kapal (propeller shaft) setelah proses

- tempering," *J. Tek. Perkapalan* Vol.7, no.4, 2019
- [5] D. A. Fadare, T. G. Fadara, and O. Y. Akanbi, "Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of NST 37-2 Steel," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 10, no. 03, pp. 299–308, 2011.
- [6] S. Kirono, A. Amri, "Pengaruh Tempering pada Baja ST 37 yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro" *Jur. Mesin, Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. C, pp. 1–10, 2013.
- [7] N. Miftakhuddin, "Pengaruh Temper dengan Quench Media Oli Mesran Sae 20W- 50 terhadap Karakteristik Medium Carbon Steel" *FT Negeri Semarang*, 2006
- [8] G. Rusydi Furqon S, M. Firman, and M. A. Sugeng P, "Analisa Uji Kekerasan Pada Poros Baja ST 60 Dengan Media Pendingin Yang Berbeda," *Uniska*, 2016
- [9] E143-02(08), "Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature," *ASTM B. Stand.*, 2013, doi: 10.1520/E0143-02R08.2.
- [10] J. Bhagaskara, "Pengaruh Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas Baja ST 46 Terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi," *J. Tek. Perkapalan*, 2018.
- [11] R.Setiaji, "Pengujian Tarik," *Lab. Metalurgi Fisik, FTUI*, 2009.
- [12] "Metallography and Microstructure," *ASM Metals Handbook*, Vol 9,2004.
- [13] ASTM E8/E8M-09, "Standard Specification for Aluminum and Aluminum- Alloy Sheet and Plate," *USA*,2009.