



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (*Propeller Shaft*) Setelah Proses *Tempering*.

Indra Kurniawan¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Email : kurindra70@gmail.com, untungb@undip.ac.id, pujomulyatno2@gmail.com

Abstrak

Poros baling-baling (propeller shaft) adalah salah satu komponen kapal yang berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan daya dari mesin induk ke baling-baling menjadi gaya dorong untuk menggerakkan sebuah kapal. Dalam proses berputarnya poros baling-baling untuk menghasilkan gaya dorong, poros tersebut menanggung berbagai jenis beban akibat dari kombinasi berbagai gaya. Beban tersebut diantaranya adalah beban puntir, beban tarik dan beban tekan, dimana beban-beban tersebut terjadi secara berulang-ulang yang akhirnya akan mengakibatkan lelah (fatigue failure) pada material. Untuk mendapatkan ketahanan destruktif yang tinggi dan kekuatan material yang baik perlu dilakukan proses perlakuan panas (heat treatment). Pada penelitian ini dilakukan proses quenching yaitu pemanasan dengan suhu 850 °C waktu penahanan 50 menit media pendingin pelumas Mesran SAE 20W-50 dan dilanjutkan dengan proses perlakuan panas tempering dengan suhu 600 °C waktu penahanan 40 menit dengan media pendingin air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja S45C perlakuan panas tempering memiliki kekuatan puntir 425,67 Mpa, Kekuatan tarik 452,75 Mpa, modulus elastisitas sebesar 161,5 Gpa, nilai kekerasan 16,5 HRC, dan memiliki struktur mikrografi menunjukkan fasa ferrite yang lebih dominan. Sedangkan baja S45C perlakuan panas quenching memiliki kekuatan puntir 392,7 Mpa, kekuatan tarik 453,5 Mpa, modulus elastisitas 196,35 Gpa, nilai kekerasan 32,5 HRC, dan struktur mikrografi menunjukkan fasa perlite lebih dominan.

Kata Kunci : Baja S45C, Quenching, Tempering, Uji Puntir, Uji Tarik, Uji Kekerasan, dan Uji Struktur Mikrografi

1. PENDAHULUAN

Baling-baling kapal merupakan suatu alat mekanik untuk menghasilkan gaya dorong kapal, putaran baling-baling kapal dihasilkan dari transmisi poros baling-baling yang berasal dari *main engine* pada mesin kapal. Dalam proses bekerjanya poros baling-baling berfungsi untuk memindahkan daya dari mesin induk ke baling-baling sehingga menjadi gaya dorong dan menggerakkan sebuah kapal. Sehingga poros tersebut akan mengalami berbagai jenis beban diantaranya beban tekan, beban tarik, beban puntir dimana beban tersebut akan terjadi secara terus-menerus sehingga akan terjadi lelah (*fatigue failure*) pada material. Oleh karena itu penggunaan material untuk sebuah poros baling-baling harus sesuai standar BKI, material untuk sebuah poros

harus memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) antara 400-800 N/mm² [1]

Proses perlakuan panas memiliki tujuan untuk memperoleh bahan yang memiliki kekuatan keras, lunak, ulet, dan menghilangkan tegangan sisa. *Tempering* adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan ke temperatur yang dibawah temperatur *hardening*. Dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan induktilitas dan ketangguhan yang tinggi. Suhu *tempering* yang digunakan untuk poros baling-baling kapal adalah 550-650°C [2].

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Bambang Tri Wibowo (2006), hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan setelah *quenching* 118,3 HRC, sedangkan nilai kekerasan setelah *tempering* sebesar 112,13 HRC. Proses *tempering*

juga mempengaruhi nilai keuletan. Nilai keuletan maksimum setelah *quenching* sebesar 9,8%, sedangkan nilai keuletan maksimum setelah *tempering* sebesar 14,09% [3]. Secara umum material baja yang mengalami proses perlakuan panas *quenching* akan memiliki sifat yang lebih baik, seperti meningkatkan kekerasan, ketahanan dan kekuatan tarik. Akan tetapi material yang mengalami perlakuan panas *quenching* akan memiliki sifat getas karena material tersebut dipanaskan sampai suhu *austenite* dan didinginkan secara cepat sehingga membentuk struktur *martensit*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan tegangan sisa dan meningkatkan keuletan material tersebut maka harus dilakukan proses perlakuan *tempering*.

Pada penelitian yang lain oleh Awang Annas Firmansyah (2014), variasi temperatur *hardening* pada proses *quench-temper* memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai kekerasan baja S45C. nilai kekerasan rata-rata sebesar 52,2 HRC atau meningkat 71% dari spesimen *raw material*. Struktur mikro yang terbentuk berupa *ferrite*, *perlite* dan *martensit*. Struktur *ferrite* berkembang lebih besar apabila temperatur *hardening* semakin tinggi [10].

Pada penelitian sebelumnya oleh Ridwan Redi Putra (2017), hasil penelitian menunjukkan bahwa baja ST 60 setelah mengalami proses *tempering* memiliki kekuatan puntir 737,72 Mpa, kekuatan tarik 853,49 Mpa dan kekerasan *Brinell* sebesar 325,6 BHN [11].

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja S45C. Baja S45C merupakan jenis baja medium *carbon steel* dengan kandungan karbon 45%, ini memungkinkan baja ini untuk dikeraskan kembali dengan perlakuan panas untuk membentuk struktur mikro *martensit* yang keras [4]. Bila dilihat dari fungsinya, baja karbon medium ini diklasifikasikan sebagai *machinery steel* seperti untuk *shaft*, *crankshaft*, *gear* dan lain-lain

Quenching adalah proses perlakuan panas yang dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dari temperatur *austenisasi*. Tujuan dari proses *quenching* adalah untuk proses *hardening*. *Hardening* adalah proses pemanasan logam sampai temperatur di atas titik kritis, ditahan sejenak sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur *austenite* dan kemudian didinginkan secara cepat. Tujuan proses ini adalah untuk mendapatkan struktur kristal *martensit*. *Martensit* adalah struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang sangat besar [5].

Tempering adalah pemanasan kembali dari baja yang dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis yang disusul dengan pendinginan untuk

menghilangkan tegangan dalam (sisa) dari baja akibat proses *quenching*. Melalui *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan akan naik [6].

Berdasarkan penjelasan di atas, maka rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh proses *tempering* terhadap hasil uji puntir, uji tarik, kekerasan dan struktur mikro. Perbedaan antara material baja S45C yang dilakukan proses *quenching* dan baja S45C yang dilakukan proses *tempering*.

Batasan masalah yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan adalah baja yang digunakan adalah tipe baja S45C, proses *quenching* dilakukan pada suhu 850°C dengan *holding time* 50 menit kemudian didinginkan menggunakan pelumas Mesran SAE 20W-50, proses *tempering* dilakukan pada suhu 600°C dengan *holding time* 40 menit kemudian didinginkan dengan menggunakan air, pengujian yang dilakukan meliputi uji puntir, uji tarik, uji kekerasan dengan metode *Rockwell*, dan uji metalografi. Pengujian di Laboratorium Bahan Teknik menggunakan 24 spesimen yang terdiri dari 12 spesimen yang mengalami perlakuan panas *quenching* dan 12 spesimen yang mengalami perlakuan panas *tempering*. Bentuk dan standar pengujian yang digunakan adalah ASTM (*American Society for Testing and Material*)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan sifat-sifat mekanik dan karakteristik kekuatan puntir, kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro dari baja S45C setelah mengalami proses *quenching* dan *tempering*, apakah dapat digunakan sebagai bahan pembuatan poros baling-baling kapal (*propeller shaft*).

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan sumbangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi material kapal terhadap dunia pendidikan terutama di bidang perkapalan. Memberi tambahan informasi bagi lembaga dan instansi sebagai bahan pertimbangan atau literatur pada penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi pengelasan pada bidang perkapalan.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pengumpulan data diperoleh dari buku-buku, majalah, modul, jurnal,

artikel dan melalui internet. Sehingga dapat mempelajari karakteristik baja S45C, *heat treatment*, serta mempelajari pengujian puntir, uji Tarik, kekerasan dan metalografi setelah mengalami proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering*.

2.1 Uji Puntir

Uji puntir (*torsion test*) adalah salah satu pengujian merusak yang mengakibatkan suatu material mengalami patahan. Uji puntir pada suatu spesimen dilakukan untuk menentukan keplastisan suatu material. Spesimen yang digunakan pada pengujian puntir adalah batang dengan penampang melingkar karena bentuk penampang ini paling sederhana sehingga mudah untuk diukur. Spesimen tersebut hanya dikenai beban puntiran pada salah satu ujungnya karena dua pembebanan akan menyebabkan sudut puntir tidak konstan.

Pengukuran yang dilakukan pada uji puntir adalah momen puntir dan sudut puntir. Pengukuran ini kemudian di konversikan menjadi sebuah grafik momen puntir terhadap sudut puntir (dalam putaran). Namun, pada daerah plastis hubungan antara momen puntir dengan sudut puntir tidak linier lagi, sehingga diperlukan rumus yang berbeda untuk mencari tegangan geser.

Nilai tegangan geser maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{\max}}{\pi \cdot d^3} \quad (1)$$

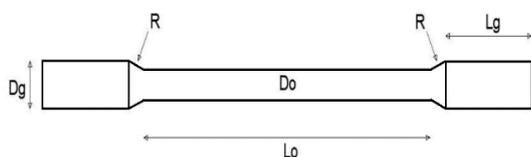
Keterangan :

τ_g = Tegangan geser (Mpa)
 T_{\max} = Momen puntir (N.m)
 π = 3,14
 d = Jari-jari (mm)

Spesimen yang digunakan adalah jenis baja S45C. Dengan standar ASTM (*American Society of Testing and Material*) tipe E-143 (*Standar Test Method for Shear Modulus at Room Temperatures*) [8]. Jumlah spesimen 8.

Tabel 1. Dimensi Pengujian Puntir

| Spesimen | Dimensi Spesimen (mm) | | | | |
|------------|-----------------------|-----|---|----|----|
| ASTM E-143 | Do | Lo | R | Dg | Lg |
| | 6 | 100 | 9 | 10 | 32 |



Gambar 1. Spesime uji puntir ASTM E-134

2.2 Spesimen Uji Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan / material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Percobaan ini untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik. Akibat dari penarikan gaya terhadap bahan adalah perubahan bentuk (*deformasi*) bahan yang pergeseran butiran kristal logam hingga terlepasnya ikatan Kristal tersebut karena gaya maksimum [7].

Sifat-sifat yang dihasilkan dari pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Tegangan tarik maksimum (σ)
Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*).

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

Dimana, σ adalah Tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm²), P adalah Beban Maksimum (N), dan A₀ adalah Luas Penampang Mula-mula (mm²).

2. Regangan maksimum (ϵ)
Regangan maksimum dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana, L_i adalah Panjang sesudah patah (mm), L₀ adalah Panjang mula-mula (mm), ϵ adalah Regangan (%).

3. Modulus elastisitas (E)
Merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan. Modulus elastisitas tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastik yang linier.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4)$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (GPa), σ adalah Tegangan Maksimum (N/m²), dan ϵ adalah Regangan (%).

4. Poisson Number (ν)

$$\nu = \frac{-\Delta b/b_0}{\Delta l/l_0} \quad (5)$$

Dimana, $\Delta b/b_0$ adalah regangan transversal (mm), dan $\Delta l/l_0$ adalah regangan longitudinal (mm).

5. Tegangan Geser (G)

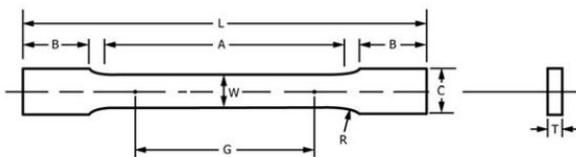
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Dimana, G adalah Modulus Geser (Mpa), E adalah Modulus Elastisitas (Gpa), ν adalah Poisson Number.

Spesimen yang digunakan adalah jenis baja S45C. Dengan standar ASTM (*American Society of Testing and Material*) tipe E-8 [9]. Jumlah yang digunakan adalah 4 spesimen dengan perlakuan *quenching* dan 4 spesimen dengan perlakuan *tempering*.

Tabel 2. Dimensi Pengujian Tarik

| Spes | Dimensi Spesimen (mm) | | | | | | | |
|------|-----------------------|------|----|----|-----|----|----|----|
| ASTM | G | W | T | R | L | A | B | C |
| E-8 | 50 | 12.5 | 10 | 12 | 200 | 57 | 50 | 20 |



Gambar 2. Spesimen uji tarik ASTM E-8

2.3 Spesimen Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan logam atau *hardness test* adalah pengujian untuk mengetahui kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

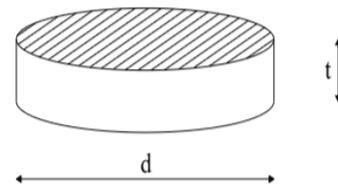
Nilai kekerasan dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$HR = E - (e/0,002 \text{ mm}) \quad (6)$$

Keterangan :

- F = Total beban yang diberikan (kgf)
- E = jarak antara indenter saat diberi minor load dan zero reference line
- e = jarak antara kondisi 1 ke kondisi 2

Spesimen yang digunakan adalah jenis baja S45C. Dengan standar ASTM (*American Society of Testing and Material*) tipe E-18. Jumlah spesimen 2. Dimensi spesimen d = 12,70mm

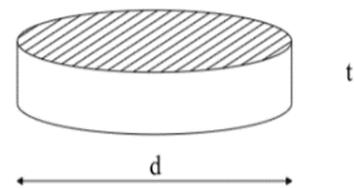


Gambar 3. Spesimen Uji Kekerasan

2.4 Spesimen Uji Metalografi

Pengujian metalografi adalah suatu teknik ilmu yang mempelajari metoda observasi atau pemeriksaan atau pengamatan dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan struktur dengan sifat atau karakter dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan bahan-bahan lainnya.

Spesimen yang digunakan dalam pengujian metalografi menggunakan tabung silindris pejal dengan d = 12,70 mm.



Gambar 4. Spesimen Uji Metalografi

2.5 Tempat Penelitian

Pengambilan data uji pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Baja S45C

Berdasarkan BKI Volume III *Rules For Macry Instalation 2006 sec 4*, bahan material yang digunakan untuk pembuatan poros baling-baling adalah *stainless steel* adan *carbon steel*. Dalam penelitian ini material yang digunakan sebagai objek penelitian adalah baja S45C.

Unsur-unsur yang terkandung dalam baja akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan fisis dari baja. Berikut adalah tabel kandungan unsur kimia dan kekuatan dari material sebelum dilakukan perlakuan panas.

Tabel 3. Komposisi Kimia Baja S45C

| Komposisi Kimia (%) | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|------|
| Unsur kimia | Standar BKI | Hasil Pengujian | |
| C | Karbon | Max 0,5 | 0,45 |

| | | | |
|----|----------|------------|------|
| Mn | Mangan | 0,3 – 0,17 | 0,84 |
| Si | Silikon | Max 0,45 | 0,25 |
| P | Fosfor | Max 0,035 | 0,02 |
| S | Belerang | Max 0,035 | 0,01 |

Apabila dibandingkan dengan uji komposisi material baja S45C pada tabel 3, maka komposisi kimia telah memenuhi persyaratan BKI sebagai bahan pembuatan poros baling-baling kapal.

Tabel 4. Kekuatan Baja S45C

| Kekuatan Baja S45C | |
|--------------------|---------------------------|
| Hardness | 3 - 19 (HRC) |
| Young Modulus | 190 – 210 (Gpa) |
| Shuaring Modulus | 75 - 80 (Gpa) |
| Tensile Strength | 569 Mpa |
| Yield Strength | 343 Mpa |
| Density | 7700 (Kg/m ³) |

3.2 Uji Puntir

Pengujian puntir adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui sita-sifat seperti modulus elastisitas geser, kekuatan luluh puntir, dan modulus pecah. Hasil pengujian puntir terdiri dari dua parameter yaitu parameter momen puntir dan parameter tegangan geser. Pengujian puntir ini dilakuka terhadap material baja S45C yang telah mendapatkan perlakuan panas yaitu tempering. Hasil pengujian puntir yang didapat dari pengujian dapat terlihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 5. Hasil Uji Puntir *Quenching*

| Putaran | Momen puntir / Torsi (N.m) | | | | |
|---------|----------------------------|--------|--------|--------|-----------|
| | Spes 1 | Spes 2 | Spes 3 | Spes 4 | Rata-rata |
| 20 | 8,14 | 9,22 | 6,67 | 7,08 | 7,78 |
| 40 | 8,39 | 9,56 | 7,26 | 7,53 | 8,19 |
| 60 | 9,24 | 9,81 | 7,94 | 7,97 | 8,74 |
| 80 | 10,00 | 10,00 | 8,53 | 8,30 | 9,21 |
| 100 | 10,65 | 11,01 | 91,69 | 8,48 | 30,46 |
| 120 | 10,98 | 11,24 | 9,90 | 8,72 | 10,21 |
| 140 | 11,57 | 11,58 | 10,59 | 9,26 | 10,75 |
| 160 | 11,87 | 11,77 | 11,18 | 9,92 | 11,18 |
| 180 | 13,34 | 11,78 | 12,55 | 10,89 | 12,14 |
| 200 | 13,44 | 12,12 | 12,85 | 12,06 | 12,62 |
| 220 | 13,93 | 12,85 | 12,85 | 12,36 | 12,99 |
| 240 | 14,61 | 12,90 | 12,94 | 12,76 | 13,30 |
| 260 | 15,00 | 13,41 | 13,53 | 12,87 | 13,70 |
| 280 | 15,40 | 13,73 | 13,83 | 13,48 | 14,11 |
| 300 | 15,79 | 14,32 | 14,02 | 13,73 | 14,46 |
| 320 | 15,89 | 15,10 | 14,22 | 13,74 | 14,74 |
| 340 | 15,89 | 15,30 | 14,51 | 13,85 | 14,89 |
| 360 | 16,08 | 15,40 | 15,30 | 14,28 | 15,26 |
| Sudut | 16,48 | 16,87 | 17,16 | 16,08 | 16,65 |
| Max | 1220 | 1200 | 1090 | 1240 | 1187,5 |

Berdasarkan tabel 5, maka dapat diketahui bahwa nilai rata-rata momen puntir / torsi pada putaran maksimum baja S45C perlakuan panas *quenching* adalah 16,65 N.m dengan sudut maksimum rata-rata 1187,5°. Sehingga dari hasil yang telah didapatkan, maka tegangan geser maksimum adalah sebagai berikut:

$$\tau_g = \frac{16.T \max}{\pi.d^3}$$

$$\tau_g = \frac{16.16646,9}{3,14.6^3}$$

$$\tau_g = \frac{266350,4}{678,24}$$

$$\tau_g = 392,70 \text{ Mpa}$$

Tabel 6. Hasil Uji Puntir *Tempering*

| Putaran | Momen puntir / Torsi (N.m) | | | | |
|---------|----------------------------|--------|--------|--------|-----------|
| | Spes 1 | Spes 2 | Spes 3 | Spes 4 | Rata-rata |
| 20 | 5,20 | 4,71 | 5,69 | 4,12 | 4,93 |
| 40 | 5,39 | 6,96 | 7,75 | 5,49 | 6,40 |
| 60 | 6,67 | 8,73 | 8,63 | 6,28 | 7,58 |
| 80 | 7,55 | 10,10 | 9,32 | 6,45 | 8,36 |
| 100 | 8,43 | 10,69 | 10,10 | 7,36 | 9,14 |
| 120 | 9,32 | 11,57 | 11,18 | 9,41 | 10,37 |
| 140 | 9,73 | 12,16 | 11,57 | 10,20 | 10,91 |
| 160 | 10,69 | 12,65 | 11,96 | 11,38 | 11,67 |
| 180 | 10,89 | 12,91 | 12,85 | 12,06 | 12,18 |
| 200 | 11,57 | 13,48 | 13,19 | 12,65 | 12,72 |
| 220 | 11,87 | 13,78 | 13,44 | 12,94 | 13,01 |
| 240 | 12,16 | 14,08 | 13,93 | 12,99 | 13,29 |
| 260 | 12,76 | 14,69 | 14,02 | 13,14 | 13,65 |
| 280 | 12,79 | 14,77 | 14,12 | 13,53 | 13,80 |
| 300 | 12,89 | 14,87 | 14,32 | 13,85 | 13,98 |
| 320 | 13,16 | 15,00 | 14,32 | 13,93 | 14,10 |
| 340 | 13,53 | 15,18 | 14,51 | 14,32 | 14,39 |
| 360 | 13,76 | 15,30 | 14,81 | 14,72 | 14,65 |
| Sudut | 17,946 | 18,73 | 18,24 | 17,26 | 18,04 |
| Max | 1430 | 1890 | 1620 | 1830 | 1692,50 |

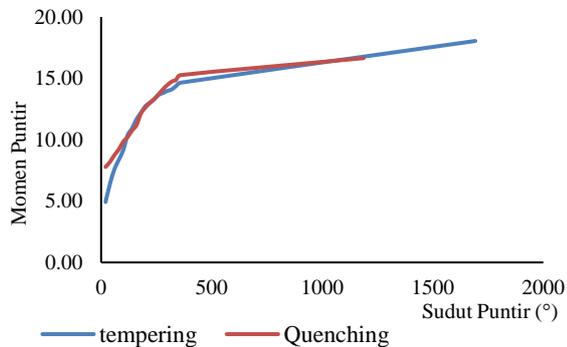
Berdasarkan tabel 6, maka dapat diketahui bahwa nilai rata-rata momen puntir / torsi pada putaran maksimum baja S45C perlakuan panas *quenching* adalah 16,65 N.m dengan sudut maksimum rata-rata 1692,5°. Sehingga didapat tegangan geser maksimum adalah sebagai berikut:

$$\tau_g = \frac{16.T \max}{\pi.d^3}$$

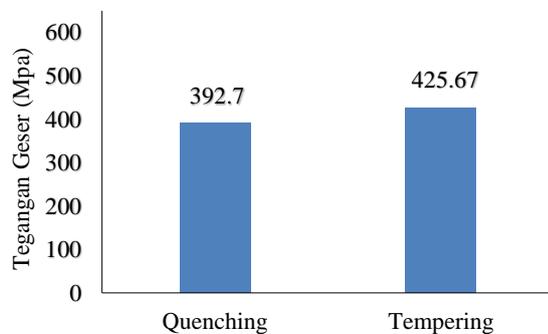
$$\tau_g = \frac{16.18044,3}{3,14.6^3}$$

$$\tau_g = \frac{288708,8}{678,24}$$

$$\tau_g = 425,67 \text{ Mpa}$$



Gambar 5. Grafik momen torsi



Gambar 6. Tegangan Geser Max

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan uji puntir yang telah dilakukan terhadap baja S45C dengan perlakuan *quench* dan *temper*, maka dapat diketahui karakteristik baja S45C sebagai berikut:

1. Baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai torsi maksimum sebesar 18,04 N.m. Lebih tinggi dibandingkan baja S45C yang mengalami proses *quenching* yang memiliki nilai torsi maksimum sebesar 16,65 N.m.
2. Baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan geser maksimum sebesar 425,67 Mpa. Lebih tinggi dibandingkan dengan baja S45C yang mengalami proses *quenching* yang memiliki tegangan geser maksimum sebesar 392,70 Mpa.

3.3 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari baja S45C yang mendapat perlakuan panas *tempering*. Hasil pengujian tarik terdiri dari tiga parameter yaitu kekuatan tarik, kekuatan luluh dan keuletan yang ditunjukkan oleh

besarnya regangan serta bentuk penampang patah yang terjadi.

Tabel 7. Hasil Uji Tarik *Quenching*

| Spes | Teg Luluh (Mpa) | Teg Max (Mpa) | Regangan (%) |
|-----------|-----------------|---------------|--------------|
| Q1 | 385 | 462 | 40 |
| Q2 | 375 | 453 | 45 |
| Q3 | 379 | 448 | 40 |
| Q4 | 369 | 451 | 41 |
| Rata-rata | 377 | 453,5 | 41,5 |

Berdasarkan tabel 7, maka dapat diketahui nilai modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

$$E = \frac{377}{0,00192}$$

$$E = 196,35 \text{ Gpa}$$

Tabel 8. Perubahan Panjang dan Lebar *Quenching*

| Spes | b_0 | b' | Δb | l_0 | Δl |
|-----------|-------|-------|------------|-------|------------|
| Q1 | 12,91 | 10,31 | -2,6 | 50 | 20,12 |
| Q2 | 12,68 | 10,68 | -2,0 | 50 | 22,34 |
| Q3 | 13,26 | 10,47 | -2,79 | 50 | 19,87 |
| Q4 | 12,97 | 10,43 | -2,54 | 50 | 20,55 |
| Rata-rata | 12,95 | 7,47 | -2,48 | 50 | 20,75 |

Berdasarkan hasil pengujian, juga didapatkan nilai *poisson number* sebagai berikut :

$$\nu = \frac{-\Delta b/b_0}{\Delta l/l_0}$$

$$\nu = \frac{-(-2,48)/12,955}{20,75/50}$$

$$\nu = \frac{0,1914}{0,415}$$

$$\nu = 0,46$$

Selanjutnya, telah diketahui modulus elastisitas E 196354 Mpa, dan poisson number ν adalah 0,46. Maka nilai modulus geser G adalah:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$G = \frac{196354}{2(1+0,46)}$$

$$G = 67244,57 \text{ Mpa}$$

Tabel 9. Hasil Uji Tarik *Tempering*

| Spes | Teg Luluh (Mpa) | Teg Max (Mpa) | Regangan (%) |
|-----------|-----------------|---------------|--------------|
| QT1 | 324 | 454 | 47 |
| QT2 | 317 | 451 | 53 |
| QT3 | 337 | 451 | 46 |
| QT4 | 327 | 455 | 45 |
| Rata-rata | 326,25 | 452,75 | 47,5 |

Berdasarkan tabel 9, maka dapat diketahui nilai modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

$$E = \frac{326,25}{0,00202}$$

$$E = 161,5 \text{ Gpa}$$

Tabel 10. Perubahan Panjang dan Lebar *Tempering*

| Spes | b_0 | b' | Δb | l_0 | Δl |
|-----------|--------|------|------------|-------|------------|
| QT1 | 12,56 | 9,36 | -3,2 | 50 | 23,51 |
| QT2 | 12,25 | 8,72 | -3,53 | 50 | 26,57 |
| QT3 | 12,20 | 9,16 | -3,04 | 50 | 22,97 |
| QT4 | 13,01 | 9,46 | -3,55 | 50 | 22,53 |
| Rata-rata | 12,505 | 9,17 | -3,3 | 50 | 23,89 |

Berdasarkan hasil pengujian, juga didapatkan nilai *poisson number* sebagai berikut :

$$v = \frac{-\Delta b/b_0}{\Delta l/l_0}$$

$$v = \frac{-(-3,3)/12,505}{23,89/50}$$

$$v = \frac{0,266}{0,4778}$$

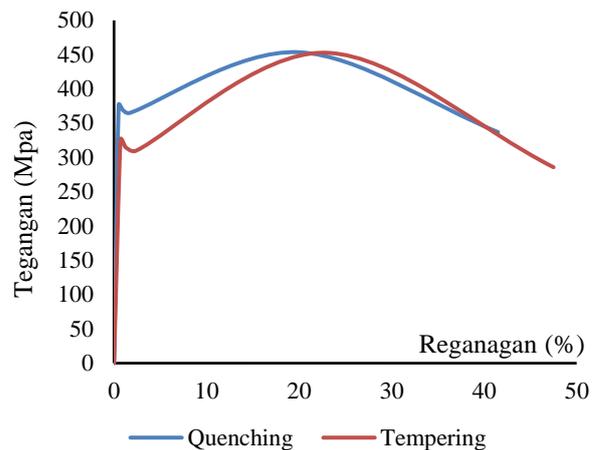
$$v = 0,56$$

Selanjutnya, telah diketahui modulus elastisitas E 161509,9 Mpa, dan poisson number v adalah 0,56. Maka nilai modulus geser G adalah sebagai berikut ini :

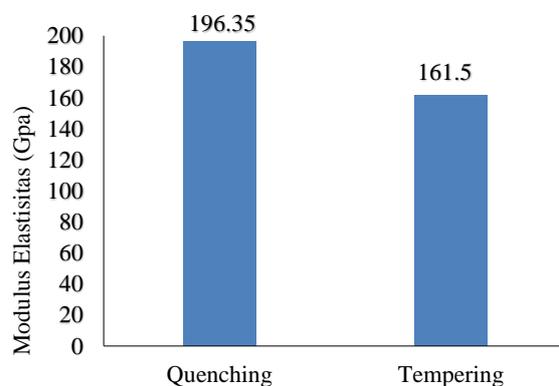
$$G = \frac{E}{2(1+v)}$$

$$G = \frac{161509,9}{2(1+0,56)}$$

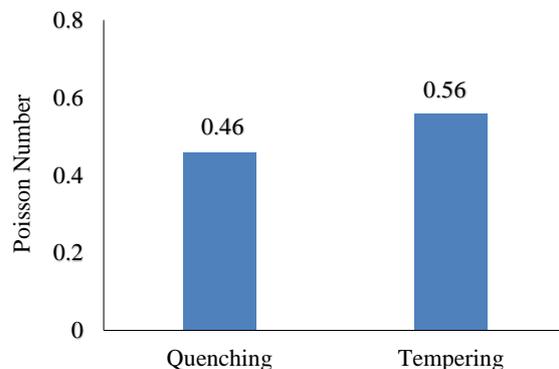
$$G = 51765,9 \text{ Mpa}$$



Gambar 7. Grafik Tegangan Regangan



Gambar 8. Grafik Modulus Elastisitas



Gambar 9. Poisson Number

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan uji tarik yang telah dilakukan terhadap baja S45C dengan perlakuan *tempering*, maka dapat diketahui karakteristik baja S45C yang mendapat perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 452,75 Mpa dan memiliki modulus elastisitas sebesar 161509 Mpa. Sehingga memenuhi standar BKI *Volume V (Rules For Material) 2006 section 6*, dan dapat digunakan sebagai bahan pembuatan poros baling-baling (*propeller shaft*).

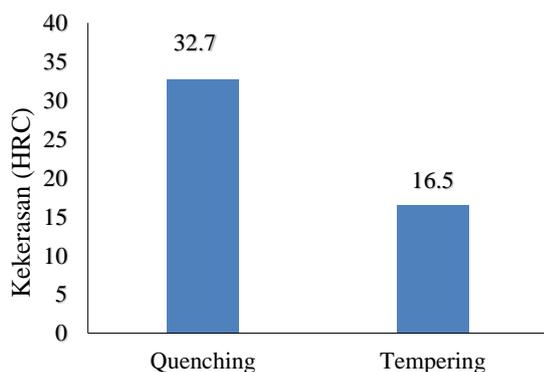
Dari hasil pengujian tarik didapatkan juga nilai modulus elastisitas dari baja S45C dengan perlakuan *quenching* sebesar 196,3 Gpa dan baja S45C dengan perlakuan *tempering* memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 161,5 Gpa. Hal ini menunjukkan bahwa baja S45C yang mengalami proses *tempering* mengalami penurunan modulus elastisitas jika dibandingkan dengan modulus elastisitas baja S45C *raw material* yaitu 190 – 210 Gpa.

3.4 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material. Dalam hal ini pengujian kekerasan untuk baja S45C yang mendapatkan perlakuan panas *tempring* menggunakan metode *Rockwell*. Data hasil pengujian dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu data untuk spesimen yang mendapat perlakuan *quenching* dan spesimen yang mendapat perlakuan panas *tempering*. Secara umum, hasil pengujian kekerasan yang didapat dari pengujian terlihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 11. Hasil Uji Kekerasan

| Spesimen | Kekerasan Rockwell C | | | |
|-----------|----------------------|------|------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-rata |
| Quenching | 31,5 | 35,0 | 31,5 | 32,7 |
| Tempering | 16,0 | 17,0 | 16,5 | 16,5 |



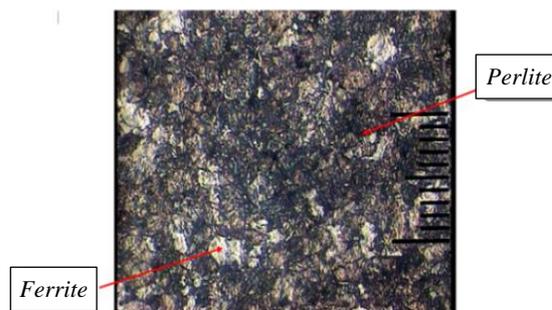
Gambar 10. Nilai kekerasan Rockwell C

Berdasarkan tabel 11, maka didapatkan nilai rata-rata kekerasan baja S45C dengan perlakuan panas *quenching* sebesar 32,7 HRc, sedangkan nilai rata-rata kekerasan baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* sebesar 16,5 HRc. Sehingga dapat diketahui bahwa perlakuan panas *tempering* dapat menurunkan nilai kekerasan hingga 98,18%. Jika dibandingkan dengan nilai kekerasan baja S45C *raw material* yaitu 3 - 19

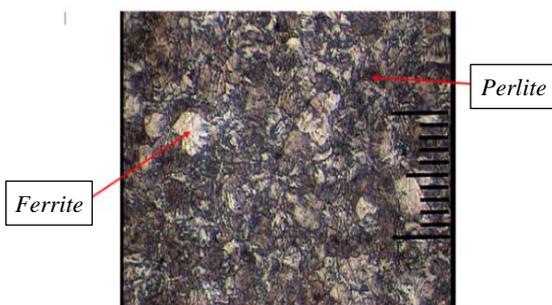
HRC. Maka baja S45C dengan perlakuan *quenching* dan *tempering* mengalami kenaikan nilai kekerasan.

3.5 Uji Metalografi

Pengujian mikro bertujuan untuk mengetahui struktur yang terkandung dalam spesimen penelitian. Struktur mikro yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat mekanis bahan. Data hasil dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu data untuk spesimen baja S45C yang mendapat perlakuan panas *quenching* dan data spesimen baja S45C yang mendapat perlakuan panas *tempering*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan perubahan struktur mikro baja S45C karena telah mendapatkan proses perlakuan panas (heat treatment). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, bentuk penampang mikro untuk setiap jenis spesimen adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Struktur mikro proses *Quenching*



Gambar 12. Struktur mikro proses *Tempering*

Fasa yang terlihat pada dua foto diatas yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *perlite* yang berwarna hitam. Fasa *ferrite* hanya bisa diperoleh jika kandungan karbon dalam baja rendah. *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang tinggi. Fasa *perlite* merupakan campuran dari *ferrite* dan *sementit*, dimana dua fasa ini adalah hasil transformasi dari fasa *austenite*. Pembentukan fasa *perlite* memerlukan pendinginan yang lambat dari daerah

austenite dan juga tergantung dari komposisi yang terkandung dalam baja.

Berdasarkan pengujian metalografi baja S45C yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses *quenching* dan *tempering* akan mengubah struktur mikro pada material.
2. Baja S45C dengan perlakuan panas *quenching* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja S45C dengan perlakuan panas *tempering*, hal tersebut dikarenakan baja S45C dengan perlakuan panas *quenching* memiliki fasa *perlite* yang dominan.
3. Baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki keuletan dan ketangguhan lebih tinggi dibandingkan dengan baja S45C dengan perlakuan panas *quenching*, hal ini terjadi karena baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki fasa *ferrite* yang lebih dominan.

4. KESIMPULAN

Dari uraian-uraian yang telah dibahas, maka didapatkan beberapa kesimpulan, berdasarkan pengujian puntir yang telah dilakukan, baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai torsi maksimum sebesar 18,04 N.m, dan memiliki tegangan geser sebesar 425,67 Mpa. Lebih tinggi dibandingkan dengan baja S45C dengan perlakuan *quenching* yang memiliki nilai torsi maksimum 16,65 N.m dan memiliki tegangan geser sebesar 392,70 Mpa. Pada pengujian tarik yang telah dilakukan, baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 452,75 Mpa. Sehingga baja S45C dapat digunakan sebagai bahan pembuatan poros baling-baling (*propeller shaft*). Selain itu, juga didapatkan modulus elastisitas sebesar 161,5 Gpa dan modulus geser sebesar 51765,9 Mpa. Pada pengujian kekerasan yang telah dilakukan, baja S45C dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai kekerasan sebesar 16,5 HRc. Lebih kecil dibandingkan dengan baja S45C dengan perlakuan panas *quenching* yang memiliki nilai kekerasan 32,7 HRc. Dan pada pengujian metalografi yang telah dilakukan, baja S45C yang mengalami proses pemanasan *tempering* memiliki fasa *ferrite* yang lebih dominan, dan baja S45C yang mengalami proses pemanasan *quenching* memiliki fasa *perlite* yang lebih dominan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkat dan rahmat-Nya

penulis dapat menyelesaikan Penelitian ini dengan baik. Penulis menyadari dalam penyusunan Penelitian ini dapat terselesaikan karena bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara formil maupun materiil kepada penulis dalam penyusunan Penelitian ini. Secara khusus, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada kedua orang tua yang telah berjuang serta mendukung dalam do'a dan kasih sayang, kepada Dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan materi, informasi, bimbingan dan dukungan dalam menyelesaikan Penelitian ini serta teman-teman S1 Teknik Perkapalan 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules for Machinery Instalation, Vol.III", 2001.
- [2] Amanto Hari dan Daryanto, "Ilmu Bahan," Jakarta Smar Grafika Offset, 1999.
- [3] Tri Wibowo, Bambang. "Pengaruh Tempering dengan Quenching Media Pendingin Oli Mesran SAE 40 Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Baja ST 60," Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2006
- [4] Amanto Hari dqn Daryanto, "Ilmu Bahan," PT. Bumi Aksara, 2003
- [5] Handoyo Yopi. "Pengaruh Quenching dan Tempering pada baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis," Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol.III Nomor 2 Fakultas Teknik – Universitas Islam 45 Bekasi, 2015.
- [6] Alexander dkk, Sriatie Djaprie, "Dasar Metalurgi untuk Rekayasa," Gramedia, Jakarta, 1990.
- [7] S. Vicky Bhagaskara, "Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan (holding time) baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi," Jurnal Teknik Perkapalan, Volume 6, No 1, 2018.
- [8] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Torsion at Room Temperature, ASTM Designation e143., Annual Book of ASTM Standards, Vol.3, No.1, 338-342, 2004.
- [9] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Torsion Testing of Metallic Materials, ASTM Designation E8, 2004.
- [10] Annas Firmansyah, Awang. "Analisa Struktur Mikro dan Kekerasan Baja S45C Pada proses Quench-Temper dengan Mediaa Pendingin Air," Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Surabaya, 2014.

- [11] Putra, Ridwan Redi, “Analisa kekuatan puntir, kekuatan Tarik, dan kekerasan baja ST 60 sebagai bahan poros baling-baling kapal (propeller shaft) setelah proses tempering,” Jurnal Teknik Perkapalan Volume 5 Nomor 1 Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro, 2017.
- [12] S. Matheus, "Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik," Berekeng, vol. 5, no 2, 2011.
- [13] Biro Klasifikasi Indonesia, “Rules for Material, Vol V,” 2001.
- [14] Miftakhuddin, Nur. “ Pengaruh Temper dengan Quench Media Oli Mesran Sae 20W-50 terhadap Karakteristik Medium Carbon Steel,” Skripsi sarjana FT Negeri Semarang, 2006.