



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja ST 60 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (*Propeller Shaft*) setelah Proses *Tempering*

Ridwan Redi Putra¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾, Ari Wibawa Budi S.¹⁾

Laboratorium Pengelasan

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Email: ridwanundip@gmail.com, sarjitojs@gmail.com, arikapal75@gmail.com

Abstrak

Poros baling-baling (*propeller shaft*) adalah salah satu komponen kapal yang berfungsi untuk memindahkan/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 puntir, beban tarik dan beban tekan, dimana beban-beban tersebut terjadi secara berulang-ulang 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 (*heat treatment*). Pada penelitian ini dilakukan proses perlakuan panas *quenching* dengan menggunakan media pendingin pelumas Mesran SAE 20W – 50 dan dilanjutkan dengan proses perlakuan panas *tempering* dengan menggunakan media pendingin udara suhu ruangan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik puntir, tarik, kekerasan dan struktur metalografi pada material baja ST 60 setelah proses *tempering*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja ST 60 perlakuan panas *tempering* memiliki kekuatan puntir 737,72 Mpa, kekuatan tarik 853,49 Mpa dan kekerasan *brinell* sebesar 325,6 BHN.

Kata Kunci : *Heat Treatment, Tempering, Uji Puntir, Uji Tarik, Uji kekerasan*

1. PENDAHULUAN

Dalam sebuah berputarnya/bekerjanya poros baling-baling untuk menghasilkan gaya dorong, poros tersebut menanggung berbagai jenis beban akibat dari kombinasi berbagai bentuk gaya. Beban yang terjadi pada waktu berputarnya/bekerjanya poros baling-baling adalah beban puntir, beban lentur putar, beban tekan dan beban tarik, dimana beban-beban tersebut terjadi secara berulang-ulang yang akhirnya akan terjadi kegagalan lelah (*fatigue failure*) pada material. Oleh karena penggunaan material untuk sebuah poros baling-baling harus memenuhi standar tertentu. Berdasarkan BKI material untuk sebuah poros harus memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) antara 400 - 800 N/mm² (*Vol.3 Rules for Machinery Installation*

2006 sec.4) dan material yang digunakan adalah *stainless steel* dan baja karbon [1].

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan tentang kekuatan tarik pada poros baling-baling kapal menggunakan material baja ST 60 dengan perlakuan panas *quenching* didapatkan bahwa material tersebut mempunyai kekuatan tarik sebesar 695,95N/mm². Secara umum material baja yang telah mengalami proses perlakuan panas *quenching* akan memiliki sifat yang lebih baik, seperti meningkatkan kekerasan, ketahanan dan kekuatan tarik. Akan tetapi material yang dilakukan perlakuan panas *quenching* tersebut akan mempunyai sifat getas, karena material tersebut dipanaskan sampai suhu *austenit* 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 panas lanjutan yaitu *tempering* [2].

Tempering adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan ke temperature yang dibawah temperature *hardening*, dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan induktilitas dan ketangguhan yang tinggi. Suhu *tempering* yang digunakan untuk bahan poros baling-baling kapal (*propeller shaft*) adalah $550^{\circ} - 650^{\circ} \text{C}$ (*tempering* suhu tinggi) [3]. Perlakuan panas *tempering* ini tidak membutuhkan waktu yang lama dan dalam kenyataannya perlakuan tersebut juga digunakan. Oleh karena dengan penelitian ini dimana material poros ST 60 diberi perlakuan *tempering* dapat menanggung berbagai jenis beban yang terjadi akibat dari kombinasi gaya yang terjadi dan kekuatan tarik yang dihasilkan masih memenuhi standar yang digunakan.

1.1. Perumusan Masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik dan kekuatan puntir yang terjadi pada material baja ST 60 setelah diberikan perlakuan panas *tempering*.
2. Mengetahui karakteristik dan kekuatan tarik yang terjadi pada material baja ST 60 setelah diberikan perlakuan panas *tempering*.
3. Mengetahui karakteristik dan kekerasan yang terjadi pada material baja ST 60 setelah diberikan perlakuan panas *tempering*.
4. Mengetahui struktur *metalografi* pada material baja ST 60 setelah dilakukan perlakuan panas *quenching* dan *tempering* dibandingkan dengan matrial baja ST 60 yang belum mengalami perlakuan panas.

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan adalah :

1. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah *quenching* dan *tempering*.
2. Media pendingin yang digunakan untuk proses *quenching* oli Mesran SAE 20W-50.
3. Pemanasan proses *quenching* dilakukan pada suhu $\pm 850^{\circ}\text{C}$ karena pada suhu tersebut material baja ST 60 akan mengalami suhu austenit (*diagram keseimbangan besi-karbida besi*).

4. Pemanasan proses *tempering* dilakukan pada suhu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ karena suhu *tempering* yang digunakan untuk bahan poros baling-baling kapal (*propeller shaft*) adalah *tempering* suhu tinggi (550°C).
5. Pengujian kekuatan yang dilakukan hanya menggunakan spesimen perlakuan panas *tempering* dan tanpa dilakukan takik terlebih dahulu.
6. Uji material yang dilakukan adalah dengan uji puntir, uji tarik, uji kekerasan dan uji metalografi.
7. Uji kekerasan menggunakan metode *brinell*.
8. Spesimen yang digunakan adalah jenis baja ST 60 dengan bentuk uji standar ASTM (*American Society for Testing and Material*).

1.3. Tujuan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian dengan variasi tanpa perlakuan pendinginan dan perlakuan pendinginan dengan media air laut dan oli adalah untuk mengetahui :

1. Mengetahui nilai kekuatan puntir dari baja ST 60 setelah dilakukan perlakuan panas *tempering*.
2. Mengetahui nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari baja ST 60 setelah dilakukan perlakuan panas *tempering*.
3. Mengetahui nilai kekerasan dari baja ST 60 setelah dilakukan perlakuan panas *tempering*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Karbon

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja.

2.2. Baja ST 60

Baja ST 60 merupakan jenis baja karbon menengah dengan memiliki kandungan karbon sebesar 0,5012 % (Sarjito, 2009). Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, Baja ST 60 memiliki kekuatan tarik sebesar $706,47 \text{ N/mm}^2$ dengan menggunakan material yang belum

mengalami perlakuan panas, sedangkan untuk material dengan mengalami perlakuan panas *quenching* memiliki kekuatan tarik sebesar 695,95 N/mm² [1].

2.3. Hardening

Hardening merupakan proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat yang dinamakan *quench*. Tujuan dari dilakukan hardening adalah meningkatkan kekerasan, kekuatan dan fatigue limit [4].

2.4. Tempering

Tempering adalah pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis yang disusul dengan pendinginan untuk menghilangkan tegangan dalam (sisa) dari baja akibat proses *quenching*. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat [6].

2.5. Pengujian Puntir

Uji puntir pada suatu spesimen dilakukan untuk menentukan keplastisan suatu material. Spesimen yang digunakan pada pengujian puntir adalah batang dengan penampang lingkaran karena bentuk penampang ini paling sederhana sehingga mudah diukur. Spesimen tersebut hanya dikenai beban puntiran pada salah satu ujungnya karena dua pembebanan akan memberikan ketidakkonstanan sudut puntir yang diperoleh dari pengukuran.

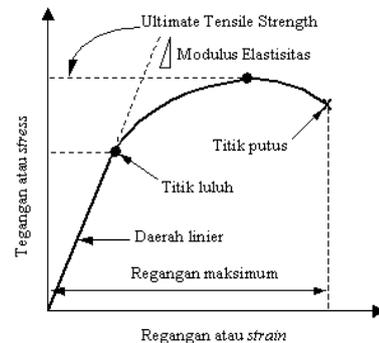
Pengukuran yang dilakukan pada uji puntir adalah momen puntir dan sudut puntir. Pengukuran ini kemudian dikonversikan menjadi sebuah grafik Momen Puntir terhadap Sudut Puntir (dalam putaran). Namun, pada daerah plastis hubungan antara momen puntir dengan sudut puntir tidak linear lagi, sehingga diperlukan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

2.6. Pengujian Tarik

Pembebanan tarik merupakan suatu pembebanan pada benda dengan memberikan gaya yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah, atau dengan memberikan gaya pada salah satu ujung benda dan ujung lainnya diikat. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Akibat dari penarikan gaya terhadap bahan adalah perubahan bentuk

(deformasi) bahan, yaitu pergeseran butiran kristal logam hingga terlepasnya ikatan kristal tersebut karena gaya maksimum [7].

Proses terjadinya deformasi pada bahan hingga putus, dapat dievaluasi melalui tahapan pembebanan tarik. Hasil pengukuran dari pengujian tarik adalah suatu kurva yang memberikan hubungan antara gaya yang dipergunakan dan perpanjangan yang dialami oleh specimen.



Gambar 1. kurva hasil pengujian tarik

2.6. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan atau *hardness test* merupakan salah satu cara untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan suatu material. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

Secara garis besar terdapat tiga metode pengujian kekerasan logam yaitu penekanan, goresan, dan dinamik. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Dikenal ada tiga jenis metode penekanan, yaitu: *Rockwell*, *Brinell*, *Vickers* yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasannya.

2.7. Pengujian Metalografi

Uji Metalografi merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah logam atau paduan. Melalui Proses ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam atau paduan dengan memperjelas batas-batas butir logam sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya. Pengujian mikrografi dimaksudkan untuk melihat perubahan struktur pada sebuah logam atau paduan setelah dilakukan pengelasan dari logam murni [8].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari buku buku, majalah, modul, artikel, jurnal dan melalui internet. Sehingga dapat mempelajari karakteristik material baja ST 60, *heat treatment*, serta mempelajari pengujian puntir, tarik, kekerasan, dan metalografi.

3.2. Pemilihan Benda Uji

Berdasarkan BKI Volume III *Rules for Machinery Installation 2006 sec. 4*, bahan material yang digunakan untuk proses pembuatan poros baling-baling (*shaft propeller*) adalah *stainless steel* dan *carbon steel*. Dalam hal ini pemilihan bahan uji yang digunakan sebagai objek penelitian poros baling-baling (*shaft propeller*) adalah *medium carbon steel* yaitu baja ST 60.

3.3. Spesimen Uji Puntir

Spesimen yang digunakan adalah jenis baja ST 60 dengan bentuk uji standar ASTM (*American Society of Testing and Material*) tipe E-143 (*Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperatures*).



Gambar 2. spesimen pengujian puntir

3.4. Spesimen Uji Tarik

Spesimen yang digunakan adalah jenis baja ST 60 dengan bentuk uji standar ASTM (*American Society of Testing and Material*) tipe E-8 (*Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*).



Gambar 3. spesimen pengujian tarik

3.5. Spesimen Uji Kekerasan

Dimensi spesimen pengujian kekerasan menggunakan tabung silindris dengan tebal 10 mm.



Gambar 4. spesimen pengujian kekerasan

3.6. Spesimen Uji Metalografi

Dimensi spesimen pengujian kekerasan menggunakan tabung silindris dengan tebal 10 mm.



Gambar 5. spesimen pengujian metalografi

3.7. Cara Penelitian

Langkah penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen
Pembuatan spesimen tarik dan kekerasan dengan menggunakan mesin bubut konvensional, sedangkan pada pembuatan spesimen *impact* dan muai panjang menggunakan menggunakan mesin skrap konvensional. Pada tahapan akhir pengerjaan spesimen dilakukan penghalusan.
2. Proses Pemanasan
Pemanasan diawali dengan persiapan bahan dan dapur pemanas. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan dapur listrik. Spesimen *quenching* dipanaskan pada 850°C sedangkan pada proses *tempering* diatur pada suhu 550°C.
3. Proses *Quenching*
Proses *quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan semua spesimen yang telah dipanaskan pada suhu 850°C kedalam oli Mesran SAE 20W – 50 secara kejut.
4. Proses *Tempering*
Proses *tempering* dilakukan dengan cara memanaskan kembali spesimen temper pada suhu 550°C kedalam oven kemudian didinginkan secara alami pada udara terbuka.
5. Pengujian spesimen
Pengujian spesimen ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik material hasil *tempering* suhu 550°C.

4. HASIL PENGUJIAN

4.1. Uji Komposisi

Unsur-unsur yang terkandung dalam baja akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan fisis dari baja yang bersangkutan. Jenis-jenis baja umumnya ditentukan berdasarkan kandungan unsur karbon yang terkandung dalam material baja tersebut. Tabel berikut ini menunjukkan data komposisi kimia unsur-unsur yang ada dalam material spesimen. Berdasarkan kandungan karbon dalam material dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan tergolong *medium carbon steel* dengan kadar karbon 0,508%. Berikut tabel kandungan unsur kimia dalam material hasil pengujian dibandingkan dengan Rules BKI Volume V 2006 For Material Sec.5.

Tabel 1. Hasil uji komposisi

Batas Komposisi Kimia			
Baja Karbon (%)		Hasil	
Unsur Kimia	Standar BKI	Pengujian	
C	Karbon	Max. 0,50	0,5085
Mn	Mangan	0,3 – 1,70	0,6703
Si	Silikon	Max. 0,45	0,2726
P	Fosfor	Max. 0,035	0,0114
S	Belerang	Max. 0,035	0,0038

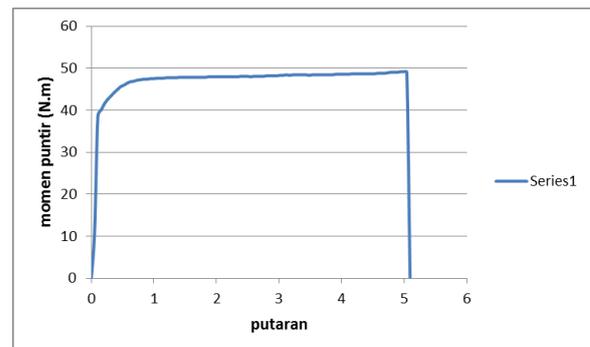
Apabila dibandingkan dengan hasil uji komposisi material baja ST 60 pada Tabel 1, maka dari kelima komposisi kimia yang dipersyaratkan BKI menunjukkan bahwa material baja ST 60 memenuhi persyaratan BKI Volume V "Rules for Materials" tahun 2006 Section 5, sebagai material/ bahan pembuatan poros baling-baling kapal (*propeller shaft*).

4.2. Uji Puntir

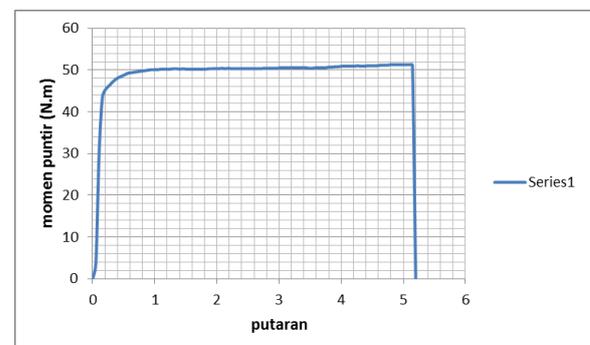
Uji puntir merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat seperti modulus elastisitas geser, kekuatan luluh puntir dan modulus pecah. Hasil pengujian puntir terdiri dari dua parameter yaitu parameter momen puntir, dan parameter tegangan geser. Pengujian puntir ini dilakukan terhadap material baja ST 60 yang telah mendapatkan perlakuan panas yaitu *tempering*. Hasil pengujian puntir yang didapat dari pengujian terlihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil uji puntir

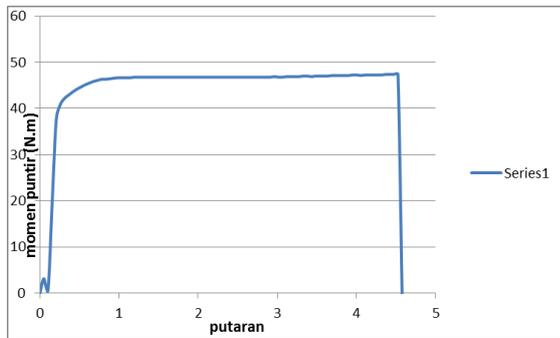
Putaran	Momen Puntir / Torsi (N.m)			
	Spes. 1	Spes. 2	Spes. 4	Rata-rata
0,5	45.97	48.92	44.67	47.36
1	47.63	50.09	46.67	48.83
1,5	47.85	50.22	46.79	48.97
2	47.98	50.33	46.79	48.98
2,5	48.09	50.33	46.79	48.40
3	48.33	50.56	46.91	48.60
3,5	48.40	50.57	47.03	48.66
4	48.57	50.92	47.26	48.91
4,5	48.67	51.04	47.39	48.03
5	49.15	51.28	-	50.21
Maks.	49.15	51.28	47.39	49.66



Gambar 6. kurva hasil pengujian puntir spes. 1



Gambar 7. kurva hasil pengujian puntir spes. 2



Gambar 8. kurva hasil pengujian puntir spes. 3

Berdasarkan tabel 2, maka dapat diketahui bahwa nilai rata-rata momen puntir / torsi pada putaran maksimum baja ST 60 perlakuan panas *tempering* adalah 49,66 N.m. Sehingga didapat tegangan geser maksimum adalah sebagai berikut:

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

$$\tau_g = \frac{16 \cdot 49657,5}{3,14 \cdot 7^3}$$

$$\tau_g = 737,72 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan uji puntir yang telah dilakukan terhadap baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering*, maka dapat diketahui karakteristik baja ST 60 sebagai berikut:

1. Baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai torsi maksimum sebesar 49.657 N.m.
2. Baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan geser maksimum sebesar 737,72 Mpa.

4.3. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari spesimen dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik terdiri dari tiga parameter yaitu parameter kekuatan tarik (*ultimate strength*), parameter kekuatan luluh (*yield strength*) dan parameter keuletan yang ditunjukkan oleh besarnya regangan serta bentuk penampang patah yang terjadi.

Tabel 3. Hasil uji tarik

Spes. Uji	Teg. Luluh (Mpa)	Teg. Max (MPa)	Regangan (%)
1	569.88	821.51	29.6
2	610.11	848.20	27.2
3	606.03	861.01	26.2
4	919.75	998.58	17.3

5	703.32	883.24	26.9
Rata-rata	622,33	853,49	27.47

Berdasarkan tabel 2, maka dapat diketahui nilai modulus young adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Young} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

$$\text{Modulus Young} = \frac{853,49}{0,2747}$$

$$\text{Modulus Young} = 2.265,49 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan hasil pengujian, juga dapat diketahui nilai modulus poisson number adalah sebagai berikut:

$$\text{Poisson Number} = \frac{\text{Tegangan transversal}}{\text{Tegangan longitudinal}}$$

$$\text{Poisson Number} = \frac{0,08}{0,27}$$

$$\text{Poisson Number} = 0,32$$

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan uji tarik yang telah dilakukan terhadap baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering*, maka dapat diketahui karakteristik baja ST 60 sebagai berikut:

1. Baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan luluh sebesar 622,33 Mpa.
2. Baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 853,49 Mpa.

4.4. 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 ST 60 perlakuan panas *tempering* menggunakan metode *Brinell*. Data hasil pengujian ini dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu data untuk spesimen *raw materials* data spesimen *quench* dan data pengujian spesimen *temper*. Secara umum, hasil pengujian kekerasan yang didapat dari pengujian terlihat dalam tabel berikut ini.

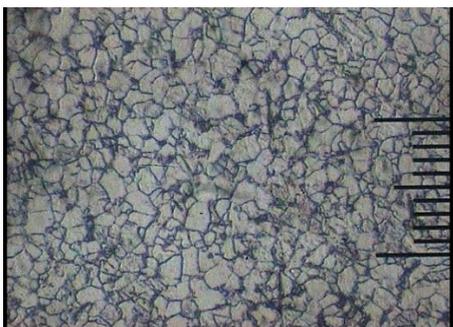
Tabel 4. Hasil uji kekerasan

No	Spesimen	d _{rata-rata} (mm)	Kekerasan (BHN)
1	Raw Material	0.90	285.0
		0.90	285.0
		0.90	285.0
2	Quench	0.75	414.8
		0.74	426.4
		0.75	414.8
3	Qench Temper	0.85	320.7
		0.85	320.7
		0.85	320.7
4	Qench Temper	0.83	336.9
		0.85	320.7
		0.83	336.9
5	Qench Temper	0.82	345.4
		0.85	320.7
		0.83	336.9
6	Qench Temper	0.85	320.7
		0.85	320.7
		0.85	320.7
7	Qench Temper	0.85	320.7
		0.85	320.7

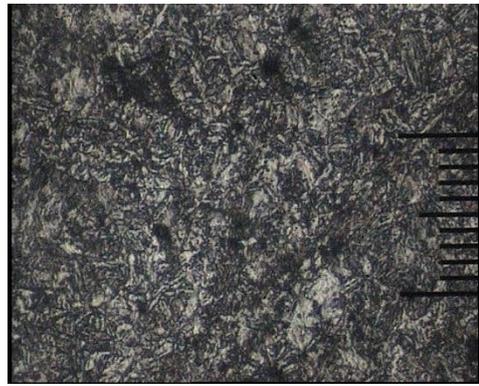
Berdasarkan tabel 4 maka dapat diketahui nilai rata-rata kekerasan baja ST 60 tanpa perlakuan panas adalah 285 BHN, nilai rata-rata kekerasan baja ST 60 perlakuan panas *quenching* adalah 418 BHN, sedangkan nilai rata-rata kekerasan baja ST 60 perlakuan panas *tempering* adalah 320 BHN.

4.5. Uji Metalografi

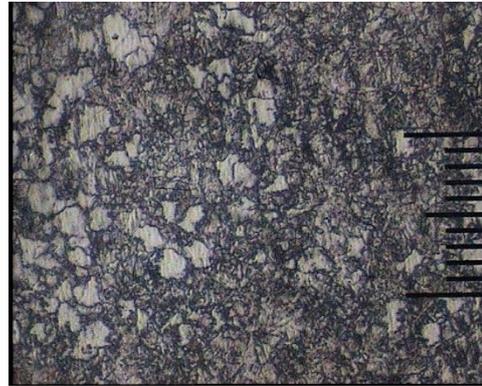
Pengujian foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur yang terkandung dalam spesimen penelitian. Struktur mikro yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat mekanis bahan. Data hasil pengujian ini dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu data untuk spesimen *raw materials* data spesimen *quench* dan data pengujian spesimen temper. Bentuk penampang mikro untuk tiap jenis spesimen adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Struktur mikro row material



Gambar 10. Struktur mikro proses *quenching*



Gambar 11. Struktur mikro proses *tempering*

Fasa yang terlihat pada ketiga foto diatas ialah *ferrite* yang berwarna putih dan *perlite* yang berwarna hitam (gelap). Fasa *ferrite* hanya bisa diperoleh jika kandungan karbon dalam baja adalah rendah. *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki kekuatan ulet yang tinggi. Fasa *perlite* merupakan campuran dari *ferit* dan *sementit*, dimana 2 fasa ini adalah hasil transformasi dari fasa *austenit*. Pembentukan fasa *perlite* memerlukan pendinginan lambat dari daerah *austenit* dan juga tergantung dari komposisi yang terkandung dalam baja.

Berdasarkan pengujian metalografi baja ST 60 yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) akan mengubah struktur mikro pada material.
2. Baja ST 60 tanpa perlakuan panas memiliki keuletan dan ketangguhan lebih tinggi, diikuti dengan baja ST 60 perlakuan panas *tempering* lalu baja ST 60 perlakuan panas *quenching*, hal tersebut dikarenakan baja ST 60 tanpa perlakuan panas memiliki fasa *ferrite* yang lebih dominan dibandingkan dengan baja ST 60 yang telah mengalami perlakuan (*panas heat treatment*).
3. Baja ST 60 perlakuan panas *quenching* memiliki kekerasan lebih tinggi, diikuti dengan baja ST 60 perlakuan panas *tempering*

lalu baja ST 60 tanpa panas, hal tersebut dikarenakan baja ST 60 perlakuan panas *quenching* memiliki fasa *perlite* yang lebih dominan dibandingkan dengan baja ST 60 tanpa perlakuan panas maupun dengan baja ST 60 perlakuan panas *tempering*.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari uraian-uraian yang telah dibahas di bab IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian puntir yang telah dilakukan, baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai torsi maksimum sebesar 49.657 N.m, dan memiliki nilai tegangan geser maksimum sebesar 737,72 Mpa.
2. Berdasarkan pengujian tarik yang telah dilakukan, baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai tegangan luluh sebesar 622,33 Mpa, dan memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 853,49 Mpa. Sehingga baja ST 60 perlakuan panas *tempering* dapat digunakan sebagai bahan alternatif pembuatan poros baling-baling (*propeller shaft*).
3. Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan, baja ST 60 dengan perlakuan panas *tempering* memiliki nilai kekerasan sebesar 320 BHN. Sehingga baja ST 60 perlakuan panas *tempering* dapat digunakan sebagai bahan alternatif pembuatan poros baling-baling (*propeller shaft*).

5. Saran

Dari analisis hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap baja ST 60 perlakuan panas *tempering* penulis menyarankan:

1. Apabila ingin melakukan penelitian tentang poros baling-baling kapal bisa ditambahkan pengujian seperti pengujian aus.
2. Apabila ingin melakukan penelitian tentang pengujian material sebaiknya dilakukan pemeriksaan spesimen terlebih dahulu apakah spesimen memiliki cacat material akibat pembuatan spesimen di mesin bubut.
3. Apabila ingin melakukan penelitian tentang pengujian material sebaiknya dilakukan pemeriksaan mesin uji terlebih dahulu untuk mengetahui apakah mesin uji telah dilakukan kalibrasi atau belum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, 2001, "*Rules for Machinery Instalation, Vol.III*".
- [2] Jokosisworo, Sarjito. 2009. *Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar dan Kekerasan Baja ST 60 untuk Poros Propeller setelah diquenching*. Jurnal Teknik Perkapalan Undip Volume 11 Nomor 2 Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro.
- [3] Amanto Hari dan Daryanto, 1999. *Ilmu Bahan*, Jakarta Smar Grafika Offset.
- [4] Djafri, Sriati. 1990. "*Dasar Metalurgi untuk Rekayasa*". Terjemahan dari Essential Metallurgy for Engineers. Jakarta: Erlangga.
- [5] Biro Klasifikasi Indonesia, 2001, "*Rules for Materials, Vol.V*".
- [6] Alexander dkk, Sriatie Djaprie, 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*, Jakarta Gramedia.
- [7] Zuhaimi, *Fatigue Strength Baja NS 4340 setelah mengalami Tempering*. Skripsi Sarjana FT Politeknik Negeri Lhokseumawe :tidak diterbitkan.
- [8] Haryadi, Gunawan Dwi. 2006. *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Ppada Baja K-460*. Jurnal Teknik Mesin Undip Volume 8 Nomor 2 Fakultas Teknik - Universitas Diponegoro.