



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Tekuk, Kekuatan Puntir, dan Kekerasan Baja S45C dengan Variasi Temperatur *Quenching*

Aldi Tama¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa²⁾, Untung Budiarto³⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*}e-mail : alditamat@gmail.com, arikapal75@gmail.com, untungbudiarto@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Dalam proses berputarnya poros baling-baling untuk menghasilkan gaya dorong, poros tersebut menanggung berbagai jenis beban. Perlakuan panas dilakukan untuk mendapatkan ketahanan destruktif tinggi dan kekuatan yang baik. Tujuan penelitian adalah membandingkan nilai kekuatan tekuk, kekuatan puntir, kekerasan material, dan struktur mikro pada baja S45C sebelum dan sesudah proses *quenching* dengan variasi suhu. Hasil penelitian bahwa spesimen *raw material* memiliki kekuatan tekuk 1803,88 MPa, kekuatan puntir 561,40 MPa, dan nilai kekerasan 190,8 VHN. Spesimen *quenching* 850°C memiliki kekuatan tekuk 2304,68 MPa, kekuatan puntir 431,82 MPa dan nilai kekerasan sebesar 330,9 VHN. Sedangkan spesimen *quenching* 950°C memiliki kekuatan tekuk 2434,03 MPa, kekuatan puntir 395,20 MPa dan kekerasan sebesar 330,9 VHN. Berdasarkan hasil diatas disimpulkan kekuatan tekuk tertinggi adalah spesimen *quenching* 950°C, sedangkan kekuatan puntir tertinggi didapatkan dari spesimen *raw material*, dan nilai kekerasan *vickers* tertinggi diperoleh dari spesimen *quenching* yaitu 950°C dan 850°C. Pada uji mikrografi spesimen *raw material* memiliki fasa *ferrite* lebih dominan dibanding kedua spesimen *quenching*, lalu pada *quenching* 950°C dan 850°C fasa *pearlite* lebih dominan dibanding *raw material* dan tampak terlihat sama pada struktur mikronya. Berdasarkan hasil eksperimen, semakin tinggi suhu *quenching* material semakin keras, namun setelah diquenching tidak cukup ulet dan tangguh dibanding spesimen tanpa perlakuan panas.

Kata Kunci : Baja S45C, *Quenching*, Kekuatan Tekuk, Kekuatan Puntir, Kekerasan, Struktur Mikrografi

1. PENDAHULUAN

Propeller kapal (baling-baling kapal) adalah suatu bagian dari kapal untuk menghasilkan gaya dorong pada sistem pemindahan tenaga dari mesin ke baling-baling kapal, gaya dorong yang berasal dari berputar propeller shaft pada kapal yang dihasilkan oleh transmisi poros yang terdapat pada mesin induk di kamar mesin. Dalam proses bekerjanya poros baling-baling berperan penting dalam pemindahan atau penyaluran daya yang berasal dari mesin induk kapal ke propeller kapal menghasilkan gaya dorong yang berperan penting dalam geraknya suatu kapal. Dengan demikian poros akan menerima berbagai macam beban yang berasal dari bermacam bentuk gaya. Gaya yang diterima ketika poros bekerja adalah gaya tekan, gaya tarik, gaya puntir, dan gaya lentur putar, dimana gaya-gaya yang diterima akan bekerja

secara terus-menerus sehingga akan menimbulkan kegagalan lelah (*fatigue failure*) pada material yang dipakai.

BKI sudah menentukan material yang cocok untuk poros kapal, yaitu harus mempunyai spesifikasi kekuatan tarik (tensile strength) antara 400-800 N/mm² (*Vol.3 Rules for Machinery Instalation 2006 sec.4*) dan material yang dipakai adalah baja karbon dan *stainless steel* [1].

Perlakuan panas bertujuan untuk menjadikan material yang memiliki kekerasan, kelunakan, keuletan, dan tegangan sisa dihilangkan. Perlakuan ini yang bertujuan penting dalam peningkatan tingkat kekerasan material yang biasa digunakan, kegunaan dalam pengerasan material yang dapat mengubah sifat dari material tersebut berguna juga pada kepentingan yang lain [2].

Quenching adalah cara perlakuan panas pada proses pengerasan material baja dalam

pembentukan struktur *martensite*. Pada proses *quenching* baja dipanaskan hingga mencapai temperatur *austenite*, selanjutnya temperatur tersebut ditahan untuk beberapa saat agar kandungan *austenite* pada material tersebut disamakan. Langkah terakhir yaitu material didinginkan pada suatu media pendingin. Proses *quenching* bertujuan agar bermacam jenis baja (*low alloy steel*, *carbon steel*, dan *tool steel*) adalah untuk proses *hardening*, struktur mikro *martensite* yang dihasilkan oleh proses tersebut muncul [3].

Pada penelitian sebelumnya dilakukan penelitian dengan menggunakan baja ST 70 setelah proses *quenching* pada suhu 800°C memiliki kekuatan tekuk 1833,72 MPa, kekuatan puntir 1228.63 MPa dan kekerasan *rockwell* sebesar 39 HRC. Sedangkan baja ST 70 proses *quenching* pada suhu 900°C memiliki kekuatan tekuk 1844,78 MPa, kekuatan puntir 1081.88 MPa dan kekerasan *rockwell* sebesar 49,33 HRC [4].

Pada penelitian sebelumnya yang dihasilkan dengan menggunakan baja ST 60 setelah mengalami proses *quenching* pada suhu ±850°C menghasilkan nilai kekuatan puntir 337,08 MPa, kekuatan tekuk 860,27 MPa dan kekerasan *Brinell* sebesar 263,2 BHN [5].

Pada penelitian sebelumnya untuk mendapatkan solusi dalam perlakuan panas pada baja S45C untuk *machine parts* dengan diameter kecil agar mencapai tekstur yang keras, baja S45C diberikan 3 tahap perlakuan panas. Tahap pertama perlakuan panas *normalizing* pada suhu 950°C ditahan selama 15 menit, tahap kedua dilakukan *normalizing* dua kali pada suhu 840°C dan 760°C masing-masing ditahan selama 15 menit agar memberikan homogenitas ukuran mikrostruktur dari 10 µm ke 20 µm, dan tahap ketiga *quenching* pada suhu 850°C selama 15 menit dan didinginkan secara cepat menggunakan air untuk memperoleh nilai kekerasan 56-58 HRC [6].

Dari permasalahan yang ada pada latar belakang terdapat beberapa hal yang dapat kita soroti seperti pengaruh kekuatan dan struktur metalografi setelah diberikan perlakuan panas *quenching* pada suhu 700°C sampai 1000°C.

Batasan masalah yang berfungsi sebagai pagar dan acuan dalam penulisan proposal tugas akhir ini adalah proses pemanasan dilakukan dengan variasi suhu 850°C dan 950°C, spesimen yang digunakan pada penelitian kali ini dengan menggunakan standar ASTM, media pendingin pada proses perlakuan panas dilakukan dengan media oli, dan penelitian dilakukan hanya dengan pengujian tanpa analisa dengan *software*.

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tekuk, kekuatan puntir,

dan kekerasan baja S45C setelah dilakukan perlakuan panas *quenching* dengan *holding time* 20 menit pada variasi suhu 850°C dan 950°C.

2. METODE

Pemecahan dari persoalan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperatur *quenching* pada baja S45C. Proses penelitian ini dilakukan dengan melakukan variasi suhu perlakuan panas *quenching* 850°C dan 950°C, kemudian dilakukan pengujian tekuk, puntir, kekerasan, dan metalografi.

2.1. Objek Penelitian

Baja adalah logam perpaduan antara besi dengan karbon, dimana besi biasanya lebih dominan dibanding karbon. Disini terdapat karbon yang menjadi unsur utama yang terkandung didalam baja karbon. Persentase struktur mikro dan karbon sangat mempengaruhi sifat baja pada umumnya. Kandungan karbon didalam baja berkisar dari 0,2%-2,1%. Terdapat beberapa unsur didalam baja selain karbon yaitu : Silikon (Si), Mangan (Mn), Sulfur (S), Fosfor (P), dan lain-lain [11].

Pada penelitian kali ini objek penelitian yang akan digunakan adalah baja jenis S45C yang diklasifikasikan baja dengan kadar karbon sedang dengan kandungan 0,3% C – 0,59% C [7]. Total spesimen yang digunakan sebanyak 30 spesimen

2.2. Quenching

Quenching adalah proses pengerasan baja dengan cara melakukan perlakuan panas untuk membentuk struktur *martensite*. Proses *quenching* dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur *austenite*, ditahan beberapa saat pada temperatur tersebut dengan tujuan menghomogenkan strukturnya, lalu didinginkan dengan cepat ke suatu media pendingin [12].

Media *quenching* (*quenchat medium*) yang digunakan adalah kunci keberhasilan dari suatu proses *quenching*. Dalam penentuan media pada proses *quenching*, berdasarkan pada kekerasan (*hardenability*) pada suatu logam atau baja, dalam penentuan spesifikasi dan struktur mikro yang diinginkan. Media *quenching* biasa digunakan adalah media cair (*liquid*) contohnya oli, air, laurtan polimer, dan larutan garam.

Tujuan dari *quenching* adalah pembentukan struktur mikro *martensite* dihasilkan pada baja yang diuji. Struktur mikro *martensite* merupakan fasa metastabil yang terbentuk akibat laju pendinginan singkat. BCT (*Body Centred*

Tetragonal) terbentuk secara tersusun dikarenakan *martensite* yang keras [8].

Pada penelitian kali ini akan dilakukan proses perlakuan panas *quenching* dengan variasi suhu 850°C dan 950°C menggunakan oli sebagai media pendingin

2.3. Pengujian Tekuk

Uji tekuk adalah suatu pengujian yang bersifat merusak yang fungsi untuk mengetahui kualitas dari suatu material secara visual serta untuk mengetahui kekuatan sambungan dari suatu material akibat adanya pembebanan. Pada pengujian *bending* terdapat perbedaan saat posisi pengujian yaitu *transversal bending* dan *longitudinal bending*.

Pengujian tekuk dilakukan harus sesuai dengan standar ASTM E290-14 *Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility* [13]. Nilai tegangan tekan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

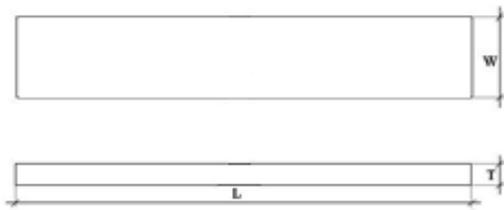
Keterangan:

σ_b = Tegangan tekan, MPa

P = Gaya tekan, KN

B = Lebar, mm

d = Tebal, mm



Gambar 1. Bentuk Spesimen Uji Tekuk.

Keterangan :

Panjang (L) : 152 mm

Lebar (W) : 38 mm

Tebal (T) : 10 mm

Total Spesimen : 12 Spesimen

2.4. Pengujian Puntir

Uji puntir pada suatu spesimen dalam penentuan sifat-sifat material spesimen diantaranya batas luluh geser pada suatu material. Pada pengujian puntir biasanya menggunakan spesimen as dengan bentuk penampang lingkaran karena bentuk penampang yang mudah diukur. Beban puntiran akan dikenai pada salah satu ujung dari spesimen karena pada saat pengukuran akan lebih konstan apabila hanya salah satu ujung dari spesimen yang diberikan pembebanan.

Dalam pengujian puntir, dimensi pengukuran spesimen harus sesuai dengan ASTM E143 *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials* [14]. Nilai tegangan geser maksimum dapat dicari dengan rumus :

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{max}}{\pi d^3} \quad (2)$$

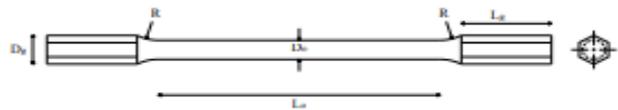
Keterangan:

τ_g = Tegangan geser (MPa)

T_{max} = Momen puntir (N.m)

π = 3,14

d = Jari-jari (mm)



Gambar 2. Bentuk Spesimen Uji Puntir

Tabel 1. Ukuran Spesimen Uji Puntir

Spesimen	Dimensi Spesimen (mm)				
Uji	Do	Lo	R	Dg	Lg
ASTM	8	100	9	10	32
E143	Jumlah Spesimen = 12				

2.5. Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan merupakan pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen beberapa bagian hingga diketahui distribusi dan rata-rata kekerasan pada setiap spesimen yang diuji. Kekerasan adalah ketahanan material pada penetrasi atau goresan pada permukaan bahan.

Pengujian kekerasan bahan, pada umumnya dibagi menjadi tiga metode diantaranya goresan, penekanan, dan dinamika. Metode yang paling cepat dan mudah untuk pengukuran nilai kekerasan adalah metode penekanan. Metode penekanan diantaranya *brinell*, *rockwell*, dan *vickers* untuk setiap metode mempunyai cara masing-masing dalam penentuan nilai kekerasannya. Pada metode *vickers* maupun *brinell* dalam menentukan nilai kekerasan bergantung pada perhitungan kekuatan dari material dengan daya luas penampang mengalami gaya.

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 kontinu untuk suatu beban tertentu. Pengujian kekerasan penelitian ini menggunakan metode *vickers* dengan mengambil tiga titik penekanan. Penggunaan uji kekerasan dengan metode *vickers* sesuai dengan ASTM E92-82 *Standard Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials* [15].



Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Kekerasan dan metalografi.

2.6. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk menganalisis dan memahami bentuk dan bermacam jenis struktur mikro setelah melalui proses perlakuan panas dengan memiliki hasil perbandingan antara struktur mikro tanpa perlakuan panas dengan material yang mengalami perlakuan panas [7].

2.7. 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
- Mesin uji metalografi

2.8. Tempat Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini, proses pengujian untuk komposisi bahan, pengujian tarik, pengujian puntir, pengujian kekerasan, dan metalografi dilakukan di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik UGM Yogyakarta.

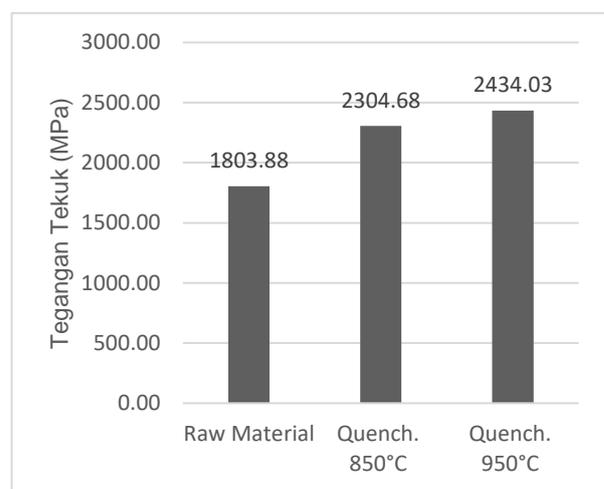
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Tekuk

Pengujian tekuk dilakukan menggunakan standar ASTM E290 pada tanggal 11 Maret 2020 bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, maka didapatkan hasil pengujian tarik sebagai berikut :

Tabel 2. Data hasil pengujian tekuk

Spesimen	PMax (KN)	Teg. Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
Raw Material	64.79	1872.83	1803.88
	61.26	1782.04	
	58.50	1794.81	
	60.44	1765.85	
	72.95	2303.21	
Quenching 850°C	70.86	2235.38	2304.67
	76.90	2411.51	
	71.36	2268.61	
	73.90	2312.59	
	73.15	2338.39	
Quenching 950°C	78,13	2554.57	2434.03
	77,93	2530.58	



Gambar 4. Grafik rata-rata tegangan tekuk maksimum

Dari pengujian tekuk yang telah dilakukan pada baja S45C, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4 terlihat pada baja S45C dengan diberikan perlakuan panas memiliki nilai kekuatan tekuk yang lebih besar dari pada spesimen tidak diberi perlakuan apapun, dengan hasil pada *quenching* pada suhu 850°C sebesar 2304,68 MPa dan *quenching* pada suhu 950°C sebesar 2434,03 MPa. Kemudian disusul dengan spesimen tanpa perlakuan *quenching* sebesar 1803,88 MPa. Berdasarkan hasil pengujian tekuk pada penelitian tugas akhir ini didapatkan bahwa spesimen dengan perlakuan *quenching* dengan variasi suhu 850°C dan 950°C memiliki kekuatan tekuk lebih besar dari spesimen tanpa perlakuan *quenching*.

Berdasarkan tabel 2 maka dapat disimpulkan bahwa tegangan pada baja S45C dari masing-masing perlakuan tidak memenuhi ketentuan standar BKI untuk poros baling-baling kapal

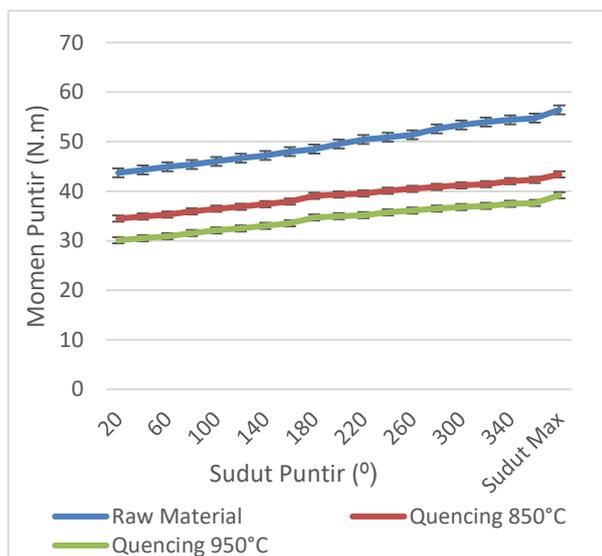
karena memiliki nilai kekuatan tekuk lebih dari 800 MPa.

3.2. Hasil Pengujian Puntir

Pengujian puntir dilakukan menggunakan standar ASTM E143 pada tanggal 12-13 Maret 2020 bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, maka didapatkan hasil pengujian puntir sebagai berikut :

Tabel 3. Data hasil pengujian puntir

Spesimen	Momen Puntir (N.m)	Sudut Maks.
Raw Material	56,41	1178°
Quenching 850°C	43,39	1095°
Quenching 950°C	39,17	865°

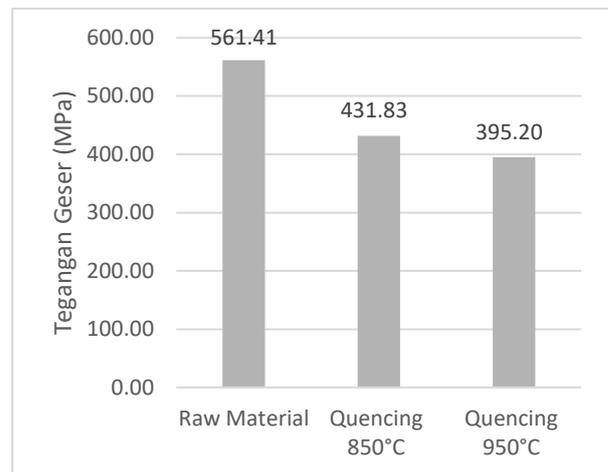


Gambar 5. Grafik momen puntir setiap sudut puntiran

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 5, terdapat hasil pengujian tekuk berupa momen puntir dan sudut maksimal yang dihasilkan, sedangkan pada gambar terdapat grafik momen puntir di setiap sudutnya. Maka dapat diketahui bahwa nilai rata-rata momen puntir / torsi pada putaran maksimum baja S45C raw material, perlakuan panas *quenching* 850°C, dan perlakuan panas *quenching* 950°C adalah 56,41 N.m , 49,39 N.m , dan 39,17 N.m. Sehingga didapat nilai tegangan geser maksimum berdasarkan momen puntir dan diameter spesimen (mm).

Tabel 4. Hasil tegangan geser maksimum

Spesimen	Diameter Spesimen	Momen Puntir (N.mm)	Tegangan Geser (MPa)
Raw Material	8	56410	561.40
Quenching 850°C	8	43390	431,82
Quenching 950°C	8	39170	395,20



Gambar 6. Grafik tegangan geser maksimum

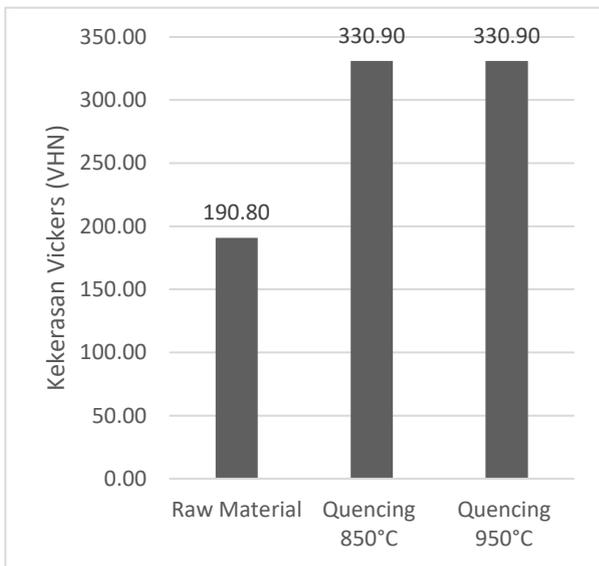
Dari hasil pengujian yang dilakukan, hasil yang diperoleh pada grafik tegangan geser maksimum pada tabel 4 dan gambar 6 menunjukkan bahwa nilai spesimen tegangan geser maksimum spesimen *raw material* memiliki nilai sebesar 561,41 MPa. Dengan perlakuan panas *quenching* suhu 850° C sebesar 431,83 MPa, dan dengan perlakuan panas *quenching* suhu 950° C adalah sebesar 395,20 MPa. Dapat disimpulkan bahwa semakin naik suhu pemanasan suatu spesimen maka nilai tegangan geser maksimum semakin berkurang, hal ini dikarenakan semakin naik suhu pemanasan maka spesimen akan semakin keras dan getas yang menyebabkan nilai tegangan geser maksimum nya semakin mengecil.

3.3. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan standar ASTM E92-82 pada tanggal 10 Maret 2020 bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, maka didapatkan hasil pengujian kekerasan sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil pengujian kekerasan *vickers*

Spesimen	Titik Uji	Kekerasan (VHN)	Rata-Rata Kekerasan (VHN)
Raw Material	1	0.54	190.8
	2	0.54	190.8
	3	0.54	190.8
Quenching 850°C	1	0.41	330.9
	2	0.41	330.9
	3	0.41	330.9
Quenching 950°C	1	0.41	330.9
	2	0.41	330.9
	3	0.41	330.9



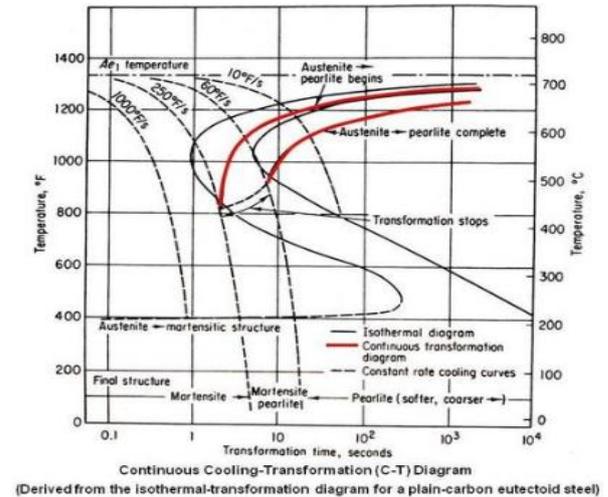
Gambar 7. Grafik kekerasan *vickers*

Dari hasil pengujian yang dilakukan, hasil yang diperoleh pada grafik kekerasan pada tabel 5 dan gambar 6 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan baja S45C tanpa perlakuan panas adalah 190,8 VHN dan nilai rata-rata kekerasan baja S45C dengan *quenching* variasi suhu 850°C dan 950°C adalah 330,9 VHN. Pada spesimen *quenching* untuk variasi suhu 850°C dan 950°C memiliki hasil sama, hal ini disebabkan oleh proses pemanasan sudah mencapai suhu austenisasi, laju pendinginan yang cenderung sama dengan waktu tahan 20 menit dan media pendingin oli. *Quenching* menyebabkan nilai kekerasan menjadi meningkat.

3.4. Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan bentuk struktur mikro baja S45C sebelum di *quenching* dan setelah

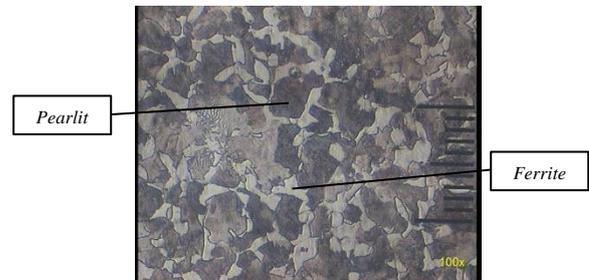
di *quenching* dengan dua suhu yang berbeda yaitu suhu 850°C dan 950°C.



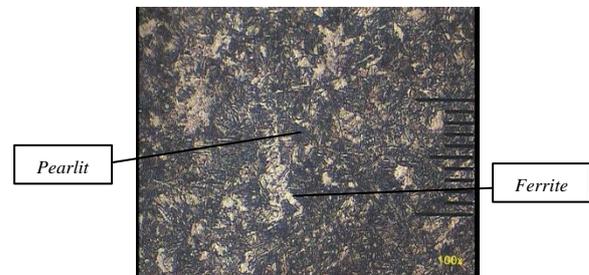
Gambar 8. Diagram CCT

Berdasarkan gambar 7 dimana diagram CCT menjelaskan bahwa baja karbon yang telah dipanaskan ke suhu austenisasi akan berubah struktur mikro nya bergantung pada laju pendinginannya. Pendinginan cepat atau yang disebut dengan *quenching* dengan laju penurunan suhu sekitar 550°C/detik dari suhu austenisasi nya maka akan menghasilkan struktur mikro *martensite*, dimana struktur ini merupakan struktur yang memiliki sifat yang keras dan getas.

Dari hasil pengujian struktur mikro baja S45C didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 9. Struktur mikro *raw material*



Gambar 10. Struktur mikro *quenching 850°C*



Gambar 11. Struktur mikro *quenching* 950°C

Fasa yang terlihat pada hasil pengujian diatas adalah *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* berwarna hitam. Sifat dari fasa *ferrite* berasal dari kadar karbon pada baja rendah dan menimulkan sifat ulet yang tinggi. Sedangkan fasa *pearlite* merupakan campuran dari fasa *ferrite* dan *sementite*, dimana kedua fasa ini adalah transformasi dari suhu *austenite*. Berdasarkan hasil pengujian metalografi, baja S45C tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekerasan lebih kecil dibandingkan spesimen *quenching*, hal ini ditunjukkan pada spesimen *raw material* memiliki fasa *ferrite* lebih dominan dibanding spesimen *quenching* 850°C dan 950°C. Pada spesimen *quenching* untuk variasi suhu 850°C dan 950°C memiliki nilai kekerasan sama, hal ini ditunjukkan pada pada hasil mikrografi cenderung terlihat sama dari fasa *ferrite* maupun *pearlite*, begitupula spesimen *quenching* memiliki fasa *pearlite* lebih dominan dibanding *raw material*.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukannya pengujian tekuk, puntir, kekerasan dan metalografi pada baja S45C dengan perlakuan panas *quenching* dengan variasi suhu, maka dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen dapat dikatakan bahwa baja S45C setelah perlakuan panas *quenching*, semakin tinggi suhu *quenching* material akan semakin besar nilai kekerasannya, namun setelah spesimen diberi perlakuan panas *quenching* tidak cukup ulet dan tangguh dibanding spesimen tanpa perlakuan panas. Berdasarkan hasil uji tekuk, pada spesimen *quenching* 950°C memiliki nilai kekuatan tekuk terbesar yaitu 2434,03 MPa. Kemudian disusul dengan spesimen *quenching* 850°C sebesar 2304,68 MPa, dan *raw material* sebesar 1803,88 MPa, hal ini menunjukkan bahwa tegangan pada baja S45C dari masing-masing perlakuan tidak memenuhi ketentuan standar BKI untuk poros baling-baling kapal dengan ketentuan memiliki nilai kekuatan tekuk diatas 400-800 MPa. Pada hasil uji puntir, tegangan geser terbesar terdapat pada *raw material* sebesar 561,40 MPa. Kemudian diikuti oleh spesimen *quenching* 850°C sebesar 431,82 MPa, dan spesimen *quenching* 395,20 MPa.

Hasil uji kekerasan dengan metode *vickers*, spesimen *quenching* 850°C dan 950°C memiliki nilai kekerasan sama yaitu 330,90 VHN. Kemudian nilai kekerasan pada *raw material* sebesar 190,80 VHN. Berdasarkan pengujian metalografi, spesimen *quenching* 850°C dan 950°C memiliki fasa *ferrite* dan *pearlite* cenderung sama, sedangkan *raw material* memiliki fasa *ferrite* lebih dominan dibanding spesimen *quenching* 850°C dan 950°C spesimen *quenching* 950°C memiliki fasa *pearlite* lebih dominan dibanding spesimen *quenching* 850°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. K. Indonesia, "Rules For Machinery Installations," *Vol. III*, 2019.
- [2] Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft," *J. Ilm. Tek. Mesin Unisma "45" Bekasi*, 2015.
- [3] M. H. Kusuma, "Studi Pengaruh Waktu Penahanan Quenching-Partitioning Terhadap Sifat," *J. Tek. Ind.*, 2017.
- [4] A. F. Diantama, S. Jokosisworo, and W. Amiruddin, "Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Dan Kekerasan Baja ST 70 Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 4, 2018.
- [5] S. Jokosisworo, "Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar Dan Kekerasan Baja St 60 Untuk Poros Propeller Setelah Diquenching," *J. Tek. Perkapalan*, 2009.
- [6] L. N. N. Phi, N. D. Thien, C. Le Chi, and P. N. Vinh, "Solution for Heat Treatment in Quenching Process of S45C Steel Small Diameter Machine Parts Having Strong Texture," *Proc. 2018 4th Int. Conf. Green Technol. Sustain. Dev. GTSD 2018*, pp. 241–245, 2018.
- [7] K. Sarjono, "Pengaruh Hardening Pada Baja Jis G 4051 Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro," *J. Sains dan Teknol. Indones.*, vol. 11, no. 2, 2012.
- [8] M. Muryanto and D. Prayitno, "Pengaruh Annealing Terhadap Ketangguhan Baja S45C Yang Telah Di-Hardening Dengan Media Pendingin Oli," *Pros. Semin. Nas. Cendekiawan*, pp. 487–490, 2018.
- [9] B. K. Indonesia, "Rules for Materials," *Vol. V*, 2012.
- [10] G. Totten, "Steel Heat Treatment Handbook," *2nd Ed.*, vol. Chapter 3, 2006.
- [11] N. Miftakhuddin, "Pengaruh Temper dengan Quench Media Oli Mesran SAE

- 20W – 50 Terhadap Karakteristik Medium Carbon Steel,” *J. Media Tek.*, vol. Vol. 2, no. 189, 2006.
- [12] I. R. Astrini, P. K. Karo, and Y. I. Supriyatna, “Pengaruh Heat Treatment dengan Variasi Media Quenching Air dan Oli terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 4, no. 02, pp. 195–200, 2016.
- [13] ASTM E290-14, “Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility,” USA, 2014.
- [14] ASTM E143-13, “Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature,” USA, 2013.
- [15] ASTM-E92-82, “Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials1,” USA, 1982.