



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Kekerasan, dan Mikrografi Baja ST 60 Sebagai Bahan Poros *Propeller* Setelah Proses *Normalizing* dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*)

Willson F. Tambunan¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan dan Bahan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*e-mail : willsonf75@gmail.com, budiartountung@gmail.com, arikapal75@gmail.com

Abstrak

Baja ST 60 pada penelitian sebelumnya memiliki kekuatan tarik sebesar 706,47 N/mm² setelah dilakukan uji tarik dengan material yang belum mengalami perlakuan panas. Padahal dalam kenyataannya penggunaan material untuk poros *propeller* harus diberi perlakuan panas terlebih dahulu agar didapatkan sifat-sifat bahan yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai kekuatan tarik, kekuatan puntir, kekerasan, dan mikrografi baja ST 60 setelah diberi perlakuan *normalizing* dengan variasi waktu penahanan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor waktu penahanan panas berpengaruh. Pada uji tarik, spesimen dengan waktu penahanan 20 menit memiliki kekuatan tarik sebesar 633,53 N/mm² dan regangan 24,37%. Sedangkan spesimen dengan waktu penahanan 40 menit memiliki kekuatan tarik sebesar 620,07 N/mm² dan regangan 22,14%. Pada uji puntir, spesimen dengan waktu penahanan 20 menit mempunyai kekuatan puntir sebesar 485,82 MPa, spesimen dengan waktu penahanan 40 menit mempunyai kekuatan puntir sebesar 474,25 MPa. Hasil dari uji kekerasan menunjukkan spesimen dengan waktu penahanan 20 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 195,05 VHN dan spesimen dengan waktu penahanan 40 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 184,92 VHN. Pada uji mikrografi, spesimen dengan waktu penahanan 40 menit memiliki fasa ferrite yang lebih dominan dibandingkan spesimen dengan waktu penahanan 20 menit. Faktor waktu penahanan panas berpengaruh pada struktur ferrite dan pearlite yang juga mempengaruhi keuletan, ketangguhan, dan kekerasan dari baja ST 60 yang diberi perlakuan panas.

Kata Kunci : ST 60, *Normalizing*, *Propeller*, Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Kekerasan

1. PENDAHULUAN

Dalam menghasilkan daya dorong suatu kapal, poros *propeller* merupakan salah satu bagian yang penting. Saat sebuah poros *propeller* berputar/bekerja untuk menghasilkan daya dorong, poros tersebut menerima berbagai jenis beban akibat dari kombinasi berbagai bentuk gaya. Maka, bahan yang dipakai sebagai poros *propeller* dituntut untuk memiliki nilai kekerasan, sifat keuletan, serta ketangguhan yang baik.

Baja ST 60 pada penelitian sebelumnya memiliki kekuatan tarik sebesar 706,47 N/mm² setelah dilakukan uji tarik dengan material yang belum mengalami perlakuan panas. Padahal dalam kenyataannya penggunaan material untuk poros *propeller* harus diberi perlakuan panas terlebih

dahulu agar didapatkan sifat-sifat bahan yang diinginkan, kekerasan bahan meningkat, dan dapat menanggung berbagai gaya yang terjadi pada waktu berputarnya poros baling-baling kapal [1].

Heat treatment merupakan proses kombinasi antara pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan padat untuk memperoleh sifat pada logam atau paduan. Pembentukan sifat inilah yang diperlukan untuk membuat material bahan sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya.

Normalizing baja adalah proses pemanasan baja hingga ke fasa *austenite* sehingga diperoleh struktur *mikro-austenite*, dan didinginkan di udara terbuka hingga temperatur kamar. Dengan demikian struktur dalam material yang telah berubah akibat perlakuan mekanik (pembebanan),

ataupun karena bekerja pada temperatur tinggi atau rendah dikembalikan ke struktur yang normal lewat proses *normalizing* [2].

Tujuan dari *normalizing* adalah untuk menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki sifat mekanik baja karbon struktural dan baja-baja paduan rendah, serta mengembalikan keuletan baja lagi.

Batasan masalah yang digunakan agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan antara lain proses perlakuan panas yang digunakan adalah *normalizing*, lama waktu tahan yang digunakan adalah 20 menit dan 40 menit, pemanasan dilakukan pada suhu 850 °C, uji material yang dilakukan adalah dengan uji tarik, uji puntir, uji kekerasan, dan uji mikrografi, spesimen yang digunakan adalah jenis baja ST 60 dengan bentuk uji standar ASTM, uji kekerasan menggunakan metode *Vickers*, analisa tidak membahas tentang getaran, perubahan struktur mikro yang terjadi pada spesimen selama pengujian.

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan puntir, kekerasan, dan struktur mikrografi dari baja ST 60 setelah dilakukan perlakuan panas *normalizing* pada dua macam variasi waktu penahanan panas.

Setelah diketahui hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak.

Kegunaan teoritisnya adalah untuk memberikan sumbangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi material terhadap dunia pendidikan, terutama dalam bidang teknologi perkapalan.

Kegunaan praktis pada industri perkapalan agar dapat meningkatkan mutu bahan poros baling-baling kapal dari kekuatan puntir, kekuatan tarik dan kekuatan kekerasan setelah dilakukan proses perlakuan panas *normalizing* dan dapat meningkatkan keamanan kapal saat berlayar.

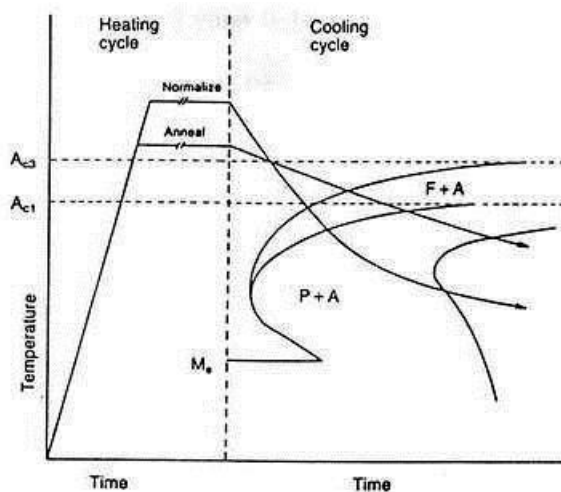
Bagi akademik, penelitian ini dapat menjadi pemacu untuk kedepannya muncul penelitian yang lebih baik lagi tentang teknologi material sebagai bahan bangunan kapal.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari buku-buku, referensi, jurnal, modul, artikel internet, dan studi lapangan secara langsung. Objek yang diteliti pada penelitian kali ini adalah baja ST 60, yang merupakan baja karbon sedang yang memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik.

Normalizing adalah bagian dari proses *heat treatment*. Memanaskan baja dengan suhu 30°C-80°C diatas *critical temperature* (A3), ditahan selama beberapa waktu, dan didinginkan di suhu udara kamar normal [9].



Gambar 1. Proses *Normalizing*

Uji tarik adalah metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan dengan cara memberi gaya yang sesumbu. Prinsip pengujian ini yaitu benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu pada kedua ujung spesimen tarik hingga putus sambil diukur pertambahan panjangnya. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan [10].

Uji puntir pada suatu spesimen dilakukan untuk menentukan sifat-sifat seperti batas luluh geser dari 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 ketidak konstanan sudut puntir yang diperoleh dari pengukuran.

Uji kekerasan merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan dari benda uji pada beberapa bagian sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan serta kekerasan rata-ratanya dari semua benda uji. Kekerasan merupakan ketahanan bahan terhadap goresan atau penetrasi pada permukaannya.

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur dan makrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material.

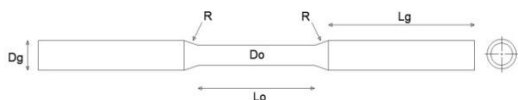
2.2. Parameter Penelitian

- a. Parameter Tetap
 - Spesimen baja ST 60
 - Dimensi ukuran spesimen :



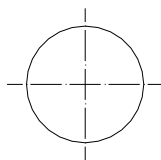
Gambar 2. Bentuk Spesimen Uji Tarik

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	Do	Lo	R	Dg	Lg
ASTM E8	6	50	10	10	70



Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Puntir

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	Do	Lo	R	Dg	Lg
ASTM E143	6	100	15	12	60



Gambar 4. Bentuk Spesimen Uji Kekerasan dan Mikrografi

Silinder	Diameter	Tebal
	10 mm	10 mm

- b. Parameter Perubahan

- Pengujian tarik
- Pengujian puntir
- Pengujian kekerasan
- Pengujian mikrografi

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

2.4. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, dimana pelaksanaannya dimulai dari persiapan benda uji sampai proses pengujian material dilakukan, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu normalizing terhadap sifat mekanik baja ST 60.

Terlebih dahulu sampel-sampel diberi perlakuan *normalizing* kemudian dilakukan pengujian kekuatan tarik, kekuatan puntir, kekerasan, dan mikrografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Tarik

Baja ST 60 yang telah dibentuk spesimen sesuai standar ASTM E8 kemudian diuji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik dari baja ST 60 setelah diberi perlakuan panas *normalizing*.

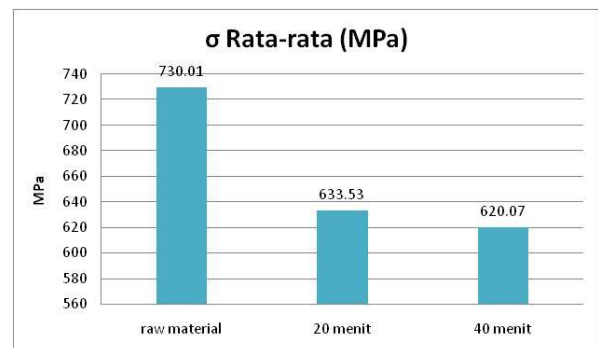
Hasil yang didapat dari pengujian tarik adalah nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas, yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari baja ST 60 setelah diberi perlakuan *normalizing*.

Tegangan Tarik

Merupakan tegangan maksimal yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*).

Tabel 2. Data Pengujian Tegangan Tarik

Spesimen	Diameter (mm)	Ao (mm ²)	P Max (N)	σ Max (MPa)	σ rata-rata (MPa)
Raw Material	6,00	28,26	20910	739,92	730,01
	6,00	28,26	20630	730,01	
	6,00	28,26	20350	720,10	
Holding Time 20 Menit	6,04	28,64	18020	629,23	633,53
	6,04	28,64	18240	636,91	
	6,06	28,83	18290	634,45	
Holding Time 40 Menit	6,04	28,64	17650	616,31	620,07
	6,01	26,35	17870	630,24	
	6,01	28,35	17400	613,66	



Gambar 5. Grafik Tegangan Tarik

Hasil yang didapat dari pengujian ini menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik yang dihasilkan oleh baja ST 60 setelah diberi perlakuan panas *normalizing* mengalami penurunan dibandingkan dengan *raw material*.

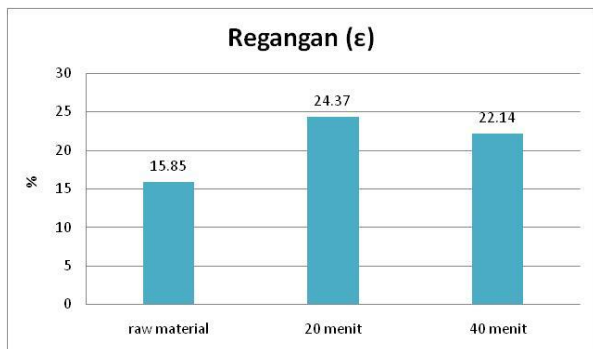
Penurunan nilai tegangan tarik juga berbanding lurus dengan waktu penahanan panas pada proses *normalizing*. Semakin lama waktu penahanan panas, maka nilai dari tegangan tarik juga semakin menurun.

Regangan Tarik

Regangan tarik maksimal dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

Tabel 3. Data Pengujian Regangan Tarik

Spesimen	Lo (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan Rata-Rata (%)
Raw Material	50	8,07	16,14	15,85
	50	7,65	15,30	
	50	8,05	16,10	
Holding Time 20 Menit	50	11,79	23,58	24,36
	50	12,40	24,80	
	50	12,36	24,72	
Holding Time 40 Menit	50	11,09	22,18	22,14
	50	11,23	22,46	
	50	10,89	21,78	



Gambar 6. Grafik Regangan Tarik

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, maka nilai regangan tarik baja ST 60 akan lebih besar setelah diberi perlakuan panas *normalizing*. Namun, semakin lama waktu penahanan panasnya, maka nilai dari regangan tarik baja ST 60 akan semakin menurun ketika diberi perlakuan panas *normalizing*.

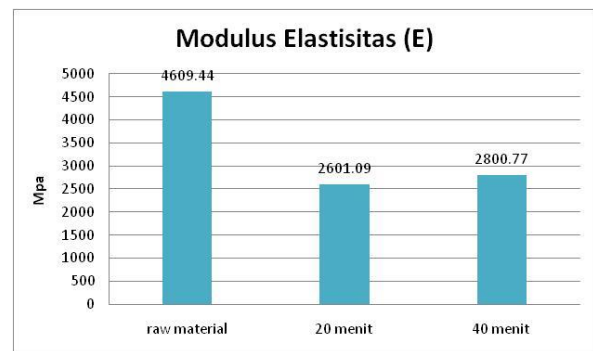
Maka, hasil penelitian ini telah sesuai dengan teori tegangan-regangan; bahwa nilai tegangan tarik berbanding lurus (*linear*) dengan nilai regangan yang dihasilkan. Semakin besar nilai tegangan tarik, maka semakin besar juga nilai regangan tariknya.

Modulus Elastisitas

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

Tabel 4. Data Modulus Elastisitas

Spesimen	σ Max (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E Rata-Rata (MPa)
Raw Material	739,92	16,14	4584,36	4609,44
	730,01	15,30	4771,29	
	720,10	16,10	4472,67	
Holding Time 20 Menit	629,23	23,58	2668,50	2601,1
	636,91	24,80	2568,20	
	634,45	24,72	2566,55	
Holding Time 40 Menit	616,31	22,18	2778,69	2800,77
	630,24	22,46	2806,06	
	613,66	21,78	2817,56	



Gambar 7. Grafik Modulus Elastisitas

Dari diagram hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai modulus elastisitas tertinggi ada pada baja ST 60 pada saat keadaan belum diberi perlakuan panas, dan semakin kecil ketika diberi perlakuan panas *normalizing*.

Analisa Hasil Uji Tarik

Berikut adalah hasil analisa pengujian tarik dan perbandingannya dengan standar BKI.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Uji Tarik

Spesimen	Diameter Spesimen (mm)	Hasil Pengujian (N/mm ²)	Standar BKI (N/mm ²)
Raw Material	< 250	730,01	400 – 800
20 Menit	< 250	633,53	400 – 800
40 Menit	< 250	617,14	400 – 800

Berdasarkan Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik baja ST 60 mengalami penurunan setelah diberi perlakuan panas *normalizing* pada suhu 850°C dan mengalami penurunan nilai kekuatan tarik yang berbanding lurus dengan lama waktu penahanan panas (*holding time*). Semakin lama durasi waktu penahanan panas (*holding time*) ketika diberi perlakuan panas *normalizing*, maka akan semakin kecil pula nilai dari kekuatan tarik baja ST 60 tersebut.

Data pada Tabel 5 juga menunjukkan bahwa baja ST 60 masih memenuhi standar BKI setelah diberi perlakuan panas *normalizing* pada suhu 850°C dengan waktu penahanan panas 20 menit dan 40 menit.

3.2. Uji Puntir

Baja ST 60 yang telah dibentuk spesimen sesuai standar ASTM E143 kemudian diuji puntir untuk mengetahui sudut maksimum, momen puntir, dan tegangan geser dari baja ST 60 setelah diberi perlakuan panas *normalizing*.

Pada pengujian ini diambil nilai rata-rata dari 3 spesimen yang diuji pada tiap variasinya. Berikut adalah data hasil pengujian puntir.

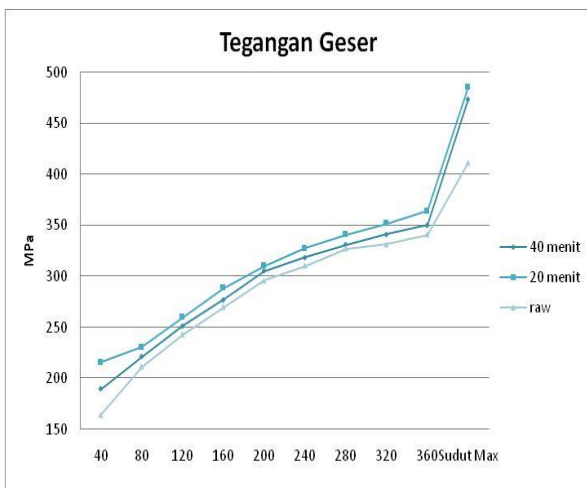
Tabel 6. Data Hasil Rata-Rata Uji Puntir

Spesimen	Sudut Maksimum	Momen Puntir (N.mm)	Tegangan Geser (MPa)
Raw Material	1256,67°	17455,84	411,79
Holding Time 20 Menit	2401,67°	20593,97	485,82
Holding Time 40 Menit	2206,67°	20103,63	474,25

Berdasarkan hasil pengujian puntir yang sudah dilakukan pada baja ST 60 dengan perlakuan panas *normalizing*, maka dapat diketahui karakteristik sebagai berikut :

- Tegangan geser maksimum dari suatu baja akan berbanding lurus dengan sudut maksimum untuk memutuskan suatu baja. Semakin besar nilai tegangan geser maksimum suatu baja, maka semakin besar pula sudut yang dibutuhkan untuk memutuskan baja tersebut.
- Baja ST 60 perlakuan panas *normalizing* pada suhu 850°C mengalami penurunan tegangan geser maksimum seiring dengan penambahan waktu penahanan panas.
- Kekuatan puntir tertinggi terdapat pada baja ST 60 setelah mendapat perlakuan panas *normalizing* dengan suhu 850°C dengan waktu penahanan panas (*holding time*) 20 menit.

Berikut ini merupakan grafik dari nilai tegangan geser rata-rata pengujian puntir :



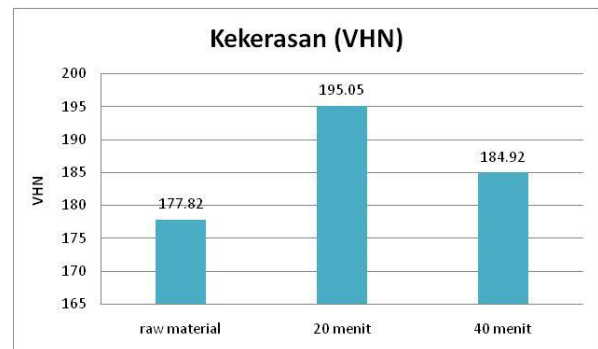
Gambar 8. Grafik Nilai Tegangan Geser

3.3. Uji Kekerasan

Baja ST 60 yang telah dibentuk silinder sesuai dimensi pengujian kemudian diuji kekerasan dengan metode *Vickers* untuk mengetahui nilai kekerasan dari baja ST 60 setelah diberi perlakuan panas *normalizing*. Pengujian dilakukan pada 3 titik.

Tabel 7. Data Hasil Uji Tarik

Spesimen	Titik Uji	d rata-rata	Kekerasan (VHN)	Rata-Rata (VHN)
Raw Material	1	0,45	179	177,82
	2	0,45	179	
	3	0,46	175	
Holding Time 20 Menit	1	0,62	193	195,05
	2	0,62	193	
	3	0,61	199	
Holding Time 40 Menit	1	0,63	187	184,92
	2	0,64	187	
	3	0,63	187	



Gambar 9. Grafik Nilai Kekerasan

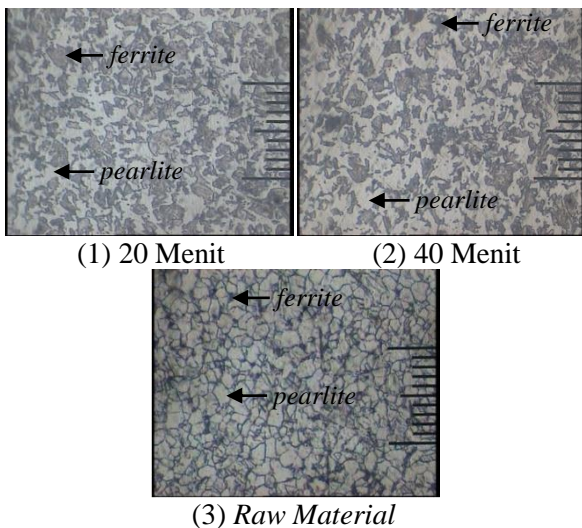
Berdasarkan pengujian kekerasan Vickers yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

- Hasil uji kekerasan ini menunjukkan bahwa baja ST 60 yang sudah diberi perlakuan panas *normalizing* cenderung lebih keras dibandingkan dengan baja ST 60 yang tidak diberi perlakuan panas.
- Nilai kekerasan baja ST 60 setelah diberi perlakuan *normalizing* berbanding terbalik dengan durasi waktu penahanan panas (*holding time*). Semakin tinggi nilai durasi waktu penahanan panas, maka nilai kekerasan baja ST 60 tersebut akan semakin menurun.

3.4. Uji Mikrografi

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu spesimen diampas hingga halus menggunakan 5 urutan lapis amplas, yaitu amplas nomor 100, 200, 400, 600, dan 1000. Setelah itu, permukaan spesimen diolesi dengan *autosol*.

Kemudian permukaan spesimen diberi larutan etsa NaOH 50% agar strukturnya dapat terlihat jelas melalui mikroskop. Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan mikroskop "Olympus PME 3" dengan pembesaran 100 kali.



Gambar 10. Struktur Mikro Baja ST 60 Normalizing dan Raw Material

Fasa yang terlihat pada ketiga foto diatas ialah *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* 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 *pearlite* merupakan campuran dari *ferrite* dan *sementite*, dimana 2 fasa ini adalah hasil transformasi dari fasa *austenite*. Pembentukan fasa *pearlite* memerlukan pendinginan lambat dari daerah *austenite* dan juga tergantung dari komposisi yang terkandung dalam baja [11].

Berdasarkan hasil uji mikrografi baja ST 60 yang telah dilakukan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

- Proses perlakuan panas (*heat treatment*) akan mengubah struktur mikro pada material.
- Baja ST 60 tanpa perlakuan panas memiliki nilai keuletan dan ketangguhan yang lebih tinggi, diikuti dengan *holding time* 40 menit, kemudian *holding time* 20 menit. Hal ini dikarenakan lebih dominannya fasa *ferrite* dibandingkan dengan fasa *pearlite*.
- Baja ST 60 perlakuan panas *normalizing* dengan *holding time* 20 menit memiliki kekerasan yang lebih tinggi, diikuti dengan *holding time* 40 menit, dan *raw material*. Hal ini dikarenakan kandungan fasa *pearlite* yang lebih dominan.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian uji tarik, uji puntir, kekerasan, dan mikrografi pada baja ST 60 dengan perlakuan panas *normalizing* dengan variasi waktu penahanan panas (*holding time*), maka didapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji tarik, *raw material* memiliki nilai kekuatan tarik terbesar yaitu 730.01 N/mm². Kemudian *holding time* 20 dan *holding time* 40 menit, masing-masing 13% dan 15% lebih kecil dari *raw material*.

Berdasarkan hasil uji puntir, tegangan geser terbesar terdapat pada *holding time* 20 menit yaitu sebesar 485.82 MPa. Diikuti *holding time* 40 menit dan *raw material*, masing-masing 2,3% dan 15,2% lebih kecil dari *holding time* 20 menit.

Berdasarkan hasil uji kekerasan, *holding time* 20 menit memiliki nilai kekerasan 195,05 VHN. Kemudian *holding time* 40 menit dan *raw material*, masing-masing 5,1% dan 8,8% lebih kecil dari 20 menit.

Spesimen *holding time* 40 menit mempunyai fasa *ferrite* yang lebih dominan dibandingkan dengan *holding time* 20 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jokosisworo, Sarjito. 2009. *Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar dan Kekerasan Baja ST 60 untuk Poros Propeller Setelah Diquenching*. Volume 11 Nomor 2 April 2009. Semarang.
- [2] Karokaro, Muchtar. 2001. *Pengaruh Normalizing Ulang Terhadap Sifat Kelelahan Baja DIN 42MnV7*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 1 No.1 – ITS Surabaya.
- [3] Biro Klasifikasi Indonesia. 2006. *Rules for Machinery Installations, Vol. III*.
- [4] Biro Klasifikasi Indonesia. 2001. *Rules for Materials, Vol. V*.
- [5] Bhaskara Sardi, Vicky. 2018. *Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 Terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi*. Jurnal Teknik Perkapalan – Volume 6 Nomor 1 Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro. Semarang.
- [6] Pitakkorraras, Sorachai dkk. 2010. *Effect of Normalizing Temperature and Time on Microstructures and Mechanical Properties of Hot Rolled Steel Strip for Gas Cylinder Production*. Journal of Metals, Materials and Minerals – Vol. 20 No. 30. Thailand.
- [7] Nugroho, Adhityo Sarwo. 2014. *Pengaruh Proses Normalizing terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Thermite Baja NP-42*. Jurnal Teknik Mesin – Vol. 2 No. 3 – Universitas Diponegoro. Semarang.
- [8] Sari, Woro Sekar. 2014. *Pengaruh Repeated Normalizing pada Side Frame Berbahan Baja AAR M201 Grade B+ terhadap Perubahan Sifat Mekanik dan Struktur*

Mikro. Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa – Universitas Jember.

- [9] Totten, George E. 2007. *Steel Heat Treatment*. Oregon, Portland.
- [10] Salindeho, Robert Denti dkk. 2013. *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. Jurnal Teknik Mesin – Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- [11] Putra, Ridwan Redi. 2018. *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 6 Nomor 1 Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro. Semarang.