



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Pengaruh Variasi Larutan Garam Pada Proses *Quenching* Terhadap Ketahanan Aus, Struktur Mikro, Dan Kekerasan Baja VCN 150 Sebagai Material Poros *Propeller*

Redeko Saferland Simanjuntak¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*e-mail : redekosaferlands@gmail.com

Abstrak

Keausan pada poros propeller terjadi diakibatkan oleh kebocoran pada seal yang menyebabkan masuknya air laut ke terowongan poros propeller dan sekaligus membuat tercampurnya minyak pelumas dengan air laut. Keausan adalah hilangnya material secara progresif ketika dua permukaan yang berinteraksi bergerak relatif satu sama lain yang kemudian menyebabkan kerusakan pada salah satu atau kedua permukaan. VCN 150 merupakan baja paduan yang sering digunakan untuk pembuatan poros dan memiliki kemampuan untuk dikeraskan yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan agar mengetahui pengaruh media pendingin quenching larutan garam terhadap nilai kekerasan, keausan dan struktur mikro. Untuk mendapatkan kekerasan dan ketahanan aus dari material yang diinginkan dapat dilakukan dengan perlakuan panas dan quenching. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu spesimen 35% yang mendapatkan tahanan aus yang baik yaitu sebesar 0,000097 mm²/kg disusul dengan spesimen 15%, 3%, dan raw material. Nilai keausan berbanding lurus dengan nilai kekerasan, dimana semakin keras material tersebut maka semakin baik juga ketahanan aus yang dihasilkan. Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 35% sebesar 565,8 VHN dan yang terendah pada spesimen raw material sebesar 255,58 VHN. Pada uji mikrografi terdapat fasa martensite setelah mengalami proses quenching, semakin tinggi kadar larutan garam maka struktur martensite yang terbentuk juga semakin halus dan fasa pearlit pada spesimen 35% lebih dominan dibandingkan spesimen raw material, 3%, dan 15%. Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan media pendingin larutan garam proses quenching pada baja VCN 150 dapat meningkatkan kekerasan baja dan tahanan aus.

Kata Kunci : Baja VCN 150, Quenching, Keausan, Kekerasan, Struktur Mikro

1. PENDAHULUAN

Komponen yang mengambil peranan penting dari mesin transportasi laut yaitu *propeller*. Secara umum, kegagalan kelelahan poros *propeller* disebabkan oleh keausan, efek korosi, ketidaksempurnaan material yang buruk, beban berlebih, konsentrasi tegangan, dan beban impact, yang semuanya mengurangi kekuatan kelelahan poros [1].

Penyebab keausan pada poros *propeller* ialah kebocoran pada *seal* yang menyebabkan masuknya air laut ke terowongan poros *propeller* dan sekaligus membuat tercampurnya minyak

pelumas dengan air laut [2]. Keausan terjadi ketika salah satu atau kedua permukaan secara bertahap kehilangan material akibat kerusakan yang disebabkan oleh pergerakan relatif dari dua permukaan yang saling berinteraksi [3]. Dari 2 benda yang saling bergesekan tersebut, akan ada partikel-partikel material yang terkikis dan mengalami hancur secara bertahap. Perencanaan sistem propulsi kemungkinan besar akan memasukkan faktor-faktor yang berhubungan dengan keausan ke dalam pemilihan material [4]. Dengan memanaskan dan kemudian mendinginkan material, kekerasan dan ketahanan ausnya dapat ditingkatkan. Logam dapat dipanaskan untuk meningkatkan keuletan,

kekerasan, ketahanan terhadap tegangan tarik, penghalusan butiran, dan menghilangkan tegangan internal [5]. Perlakuan ini tidak hanya secara signifikan meningkatkan tingkat kekerasan material yang sering digunakan, tetapi juga memiliki banyak aplikasi praktis lainnya apabila digunakan untuk mengeraskan material yang mengubah karakteristiknya [6]. Untuk membuat baja menjadi lebih keras, baja dipanaskan hingga mencapai suhu di dekat atau di atas daerah kritisnya dan kemudian didinginkan dengan cepat. Proses ini disebut *quenching*. Memilih media pendingin *quenching* sangat penting karena membantu menghindari deformasi benda kerja setelah proses *quenching* selesai. Media *quenching* dapat berupa air, minyak, atau air garam. Karena perbedaan dalam densitas pendinginan, sifat mekanik dan kekerasan baja dapat dipengaruhi oleh media pendingin yang dipilih. Kemampuan garam untuk mensuplai pendinginan secara teratur menjadikannya bahan pendingin yang efisien dan cepat [7]. Ketika larutan garam digunakan sebagai media pendingin, kandungan karbon pada permukaan benda kerja meningkat. Hal ini dapat berdampak pada temperatur, kandungan larutan, viskositas, kapasitas media pendingin untuk mendinginkan spesimen dipengaruhi oleh bahan dasar media pendingin, antara lain. Akibatnya, kekerasan material transmisi dapat meningkat [7].

Penelitian sebelumnya mengenai "Dampak Media Pendingin dengan Penelitian "Proses *Quenching* pada Kekerasan, Struktur Mikro, dan Kekuatan Bending Baja AISI 1010" menggunakan tiga media pendingin yang berbeda: air suling, quench oil, dan kombinasi 50%:50 antara air suling dan garam. Dibandingkan dengan material tanpa perlakuan, material yang mengalami proses pendinginan menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dalam penelitian ini. Selain itu, media pendingin yang mengandung 50% campuran air suling dan garam menunjukkan tingkat kekerasan tertinggi yaitu sebesar 334 kg/mm^2 . Dalam pengujian metalografi, keberadaan martensit meningkat setelah pendinginan, meskipun bahan baku awalnya hanya terdiri dari fase ferit dan perlit. Dibandingkan dengan media pendingin lainnya, struktur fasa martensit paling menonjol dalam campuran air suling dan garam dengan perbandingan 50:50 [8].

Terdapat penelitian lainnya yang membahas tentang metode *quenching* dengan baja VCN 150 yang diberi perlakuan struktur kristal, kekakuan, dan kapasitas tegangan-regangan. Kekerasan terbukti meningkat dari 203 HB. menjadi 393 HB. ketika media pendinginan minyak digunakan, menurut penelitian. Karena meningkatkan

kekerasan maksimum dari 203 HB menjadi 445,3 HB, media pendinginan air garam adalah media pendinginan terbaik. Selanjutnya, setelah lima jam temper, kekerasan berkurang dari 445,3 HB menjadi 324 HB. [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media pendingin larutan garam pada material baja VCN 150 dengan proses *quenching*. Variabel bebas yang akan dipakai berupa salinitas larutan garam dengan variasi 3%, 15%, dan 35%. Harapannya penelitian ini bisa menunjukkan perbandingan ketahanan aus, struktur mikro, dan kekerasan baja VCN 150 dari material sebelum dan sesudah mendapat perlakuan panas (*heat treatment*).

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Baja VCN 150, yang setara dengan AISI 4340, adalah jenis baja yang sering digunakan untuk pembuatan poros. Termasuk dalam kelompok baja mekanis dan merupakan baja paduan Nikel, Krom, dan Molybdenum dengan karbon menengah. Material ini dapat digunakan dalam kondisi operasional yang diinginkan karena ketangguhan, kekuatan, dan keuletan yang luar biasa.

Tabel 1. Komposisi Kimia Material Baja AISI 4340 [9]

Komposisi	Standar	Aktual
C	0,28-0,43	0,4002
Si	0,15-0,35	0,2347
S	$\leq 0,04$	0,0027
P	$\leq 0,035$	0,0143
Mn	0,60-0,80	0,7557
Ni	1,65-2,00	1,7694
Cr	0,70-0,90	0,8225
Mo	0,20-0,30	0,2112

2.2. Quenching

Quenching adalah proses peningkatan nilai kekerasan dari suatu logam. Proses ini menyebabkan temperatur austenisasi baja menjadi fase *bainite* dan/atau *martensite* lebih cepat, kemudian dilakukan proses pendinginan cepat dengan perpindahan panas (*heat transfer*) menggunakan media pendingin berupa air, larutan garam, oli dan polimer. Proses ini juga dapat menyebabkan *martensite* menjadi lebih banyak seiring dengan waktu [10]. Proses *quenching* dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahap proses: pemanasan, penahanan, dan pendinginan. Pertama yaitu pemanasan spesimen menggunakan tungku

pemanas dengan suhu pemanasan 850°C dan ditahan pada suhu tersebut selama 30 menit. Spesimen kemudian dikeluarkan dari tungku pemanas dan langsung didinginkan setelahnya (*quenching*) dalam media pendingin. Media pendingin yang digunakan yakni campuran air suling dan garam dengan perbandingan 50% : 50%. Pada penelitian ini memakai media pendingin larutan garam yaitu dengan kandungan garam yang terlarut 3‰, 15‰, dan 35‰ yang dapat diartikan 3 gram dalam 1000ml atau 3ppt (*part per thousand*).



Gambar 1. Spesimen yang telah mengalami proses *quenching*

2.3. Pengujian Keausan

Ada banyak sekali pendekatan untuk pengujian keausan, semua dengan tujuan umum untuk menciptakan skenario keausan di dunia nyata. Teknik Ogoshi adalah salah satu pendekatan tersebut; teknik ini melibatkan penerapan gaya gesek pada spesimen dengan menggunakan cakram yang terus bergerak. Kontak permukaan-ke-permukaan yang berulang-ulang di bawah gaya gesekan ini akan mengikis permukaan benda uji seiring berjalannya waktu. Ukuran jejak permukaan material merupakan indikator yang baik untuk mengetahui tingkat keausannya. Semakin banyak material yang diambil dari benda uji ketika jejak keausan semakin dalam dan lebar. Untuk menyebutkan beberapa manfaat alat ini, alat ini dapat mengukur waktu abrasi dan memudahkan untuk mengetahui seberapa tahan material yang berbeda terhadap keausan pada permukaan benda uji [11].



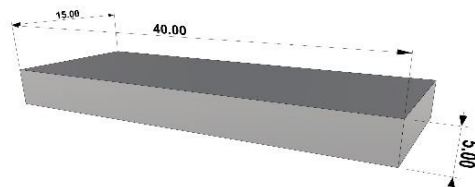
Gambar 2. *Ogoshi Wear Testing Machine*

Rumus nilai keausan spesifik:

$$W_s = \frac{B \cdot bo^3}{8 \cdot r \cdot Po \cdot lo} \quad (1)$$

Keterangan:

- W_s = Keausan spesifik (mm^2/kg)
- B = Tebal *disc* (mm)
- bo = Lebar keausan spesimen (mm)
- r = Radius *disc*(mm)
- Po = Beban tekan proses keausan (kg)
- lo = Jarak tempuh dari proses pengausan (mm)



Gambar 3. Bentuk Spesimen Keausan

2.4. Pengujian Kekerasan

Untuk menemukan nilai distribusi kekerasan pada material yang diuji, dilakukan pengujian kekerasan. Setiap bagian dari spesimen dikenai uji kekerasan untuk menentukan kekerasan yang

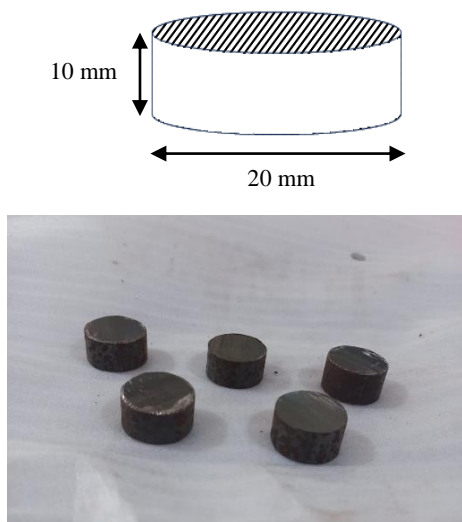
tepat. Biasanya, ada tiga cara untuk menentukan kekerasan material: menggores, menekan, dan dinamika. Kekerasan suatu bahan menentukan seberapa mudah bahan tersebut tergores atau tertembus. Nilai kekerasan dapat dengan cepat dan mudah ditentukan dengan cara menekan. Ada tiga cara berbeda untuk menentukan nilai kekerasan: brinell, rockwell, dan vickers. Nilai kekerasan vickers, seperti yang digunakan dalam penelitian ini, dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan berikut:

$$HV = \frac{[2P \sin (136^\circ/2)]}{2} \quad (2)$$

atau

$$HV = \frac{1,8544P}{d^2}$$

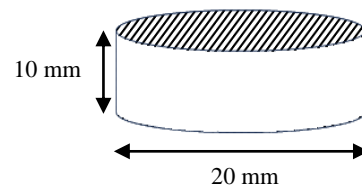
Keterangan:



Gambar 3. Bentuk Spesimen Kekerasan

2.5. Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan memahami bentuk struktur mikro pada baja yang diteliti. Pengujian metalografi pada penelitian ini akan dilakukan sebelum dan sesudah menerima proses *quenching*, dan kemudian akan diamati dan dianalisis dengan visual yang dihasilkan dari mikroskop optik. Struktur mikro yang terkandung dalam suatu material akan menentukan sifatnya, dan variasinya akan berubah tergantung pada perlakuan panas yang diberikan. Oleh karena itu, penting untuk mengamati struktur mikro pada suatu material melalui pengujian metalografi.



Gambar 4. Bentuk Spesimen Metalografi

2.6. Alat dan Bahan

Peralatan penelitian adalah alat yang digunakan untuk membuat spesimen dan mengumpulkan data.

Alat

1. Raw Material VCN 150
2. Ogoshi Wear Testing Machine
3. Mesin Bubut
4. Gerinda
5. Mesin Uji Kekerasan Vickers
6. Mikroskop Optik
7. Penggaris
8. Timbangan *Scientific*

Bahan

1. Baja VCN 150
2. *Aquadest*
3. Garam Dapur/ NaCl
4. Kertas Ampelas 200 grit, 400 grit, 600 grit, 800 grit, 1000 grit, 1200 grit, 1500 grit, 2000 grit, 2500 grit
5. Pasta Pemoles Logam (*Autosol*)

2.7. Tempat Penelitian

Spesimen keausan dibuat di Politeknik Negeri Semarang sebagai bagian dari proyek akhir ini. Pengujian keausan dilakukan di Lab. Bahan Teknik, Fakultas Teknik, DTMI UGM Yogyakarta, sedangkan pengujian kekerasan dan metalografi dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

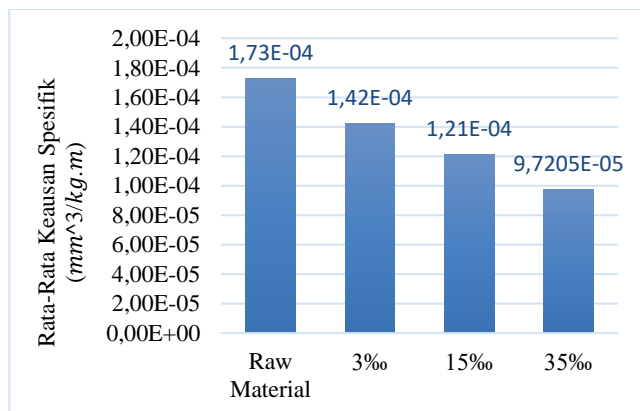
3.1. Hasil Pengujian Keausan

Pengujian ini dilakukan dengan alat *Universal Wear (Riken-Ogoshi)* yang memakai

radius *disc* (piringan) pengaus (*r*) sepanjang 13 mm dan tebal *disc* pengaus (*B*) dengan ketebalan 3 mm. Beban uji yang digunakan pada uji keausan adalah 6,36 kg dan jarak tempuh pengausan 66 mm dilakukan dengan standar ASTM G99 tentang *Wear Testing with a Pin on Disk* [12] pada tanggal 23 April 2024 bertempat di Laboratorium Teknik Bahan DTMI Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada (UGM) Yogyakarta, ketika dilakukan pengujian keausan besar jejak atau lebar gesekan akan diukur dengan struktur makro maka akan mendapatkan hasil pengujian keausan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Keausan

Spesimen	bo (mm)	Ws ($mm^3/kg.m$)	Rata-Rata Ws ($mm^3/kg.m$)	Standar Deviasi
Raw Material	1	1,3658	0,000175	0,000203
	2	1,2870	0,000146	
	3	1,4184	0,000196	
3%	1	1,3756	0,000178	0,000267
	2	1,1902	0,000115	
	3	1,2434	0,000132	
15%	1	1,2558	0,000136	0,000106
	2	1,1836	0,000113	
	3	1,1810	0,000113	
35%	1	1,1778	0,000112	0,000161
	2	1,1498	0,000104	
	3	1,0290	0,000074	

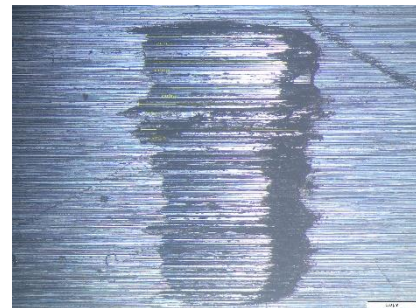


Gambar 5. Diagram nilai rata-rata keausan

Dari hasil pengujian keausan yang telah dilakukan pada baja VCN 150, didapatkan hasil yang ada pada Tabel 2 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai spesimen keausan tertinggi yaitu spesimen *raw material* memiliki nilai sebesar $0,000172 mm^3/kg.m$ dan nilai spesimen keausan terendah yaitu spesimen larutan

garam 35% memiliki nilai sebesar $0,000097 mm^3/kg.m$.

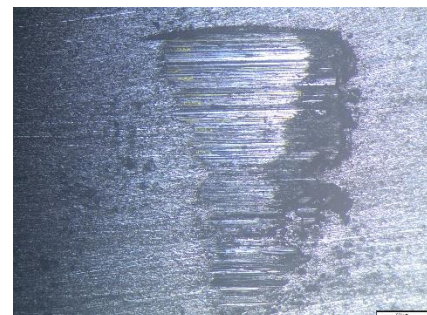
Perubahan nilai rata-rata keausan spesifik turun ketika diberi perlakuan panas proses *quenching* media pendingin larutan 3%, 15%, dan 35% yang ditunjukkan pada Gambar 5 mengalami penurunan nilai keausan. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai keausan maka semakin aus juga material tersebut. Sehingga nilai keausan yang paling tinggi sebesar $0,000172 mm^3/kg.m$ yang merupakan material spesimen yang cepat mengalami keausan. Nilai keausan juga dipengaruhi oleh kekerasan material; lebih keras material, nilai keausan yang dihasilkannya lebih rendah. Dapat ditunjukkan pada Gambar 6 hasil pengujian kekerasan, pada media pendingin larutan garam 35% yang mendapat nilai kekerasan tertinggi.



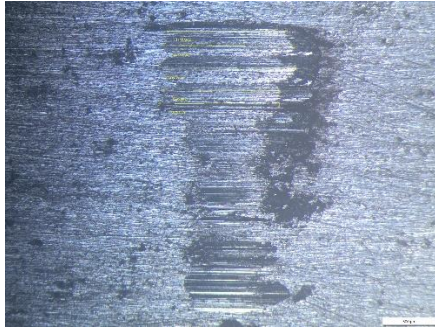
Gambar 6. Struktur Makro Uji Keausan pada *raw material*



Gambar 7. Struktur Makro Uji Keausan pada media pendingin larutan garam 3%



Gambar 8. Struktur Makro Uji Keausan pada media pendingin larutan garam 15%



Gambar 9. Struktur Makro Uji Keausan pada media pendingin larutan garam 35%

Dapat dilihat pada gambar 6 sampai gambar 9 menggunakan struktur makro untuk melihat dan mengukur lebar keausan (bo) pada spesimen yang sudah dilakukan pengujian keausan. Pada gambar 6 terlihat lebih besar gesekan yang terjadi pada spesimen dibandingkan dengan perlakuan proses *quenching* dengan variasi media pendingin larutan garam. Dengan melihat gambar struktur makro dapat ditentukan nilai keausan yang terjadi pada daerah yang mengalami gesekan.

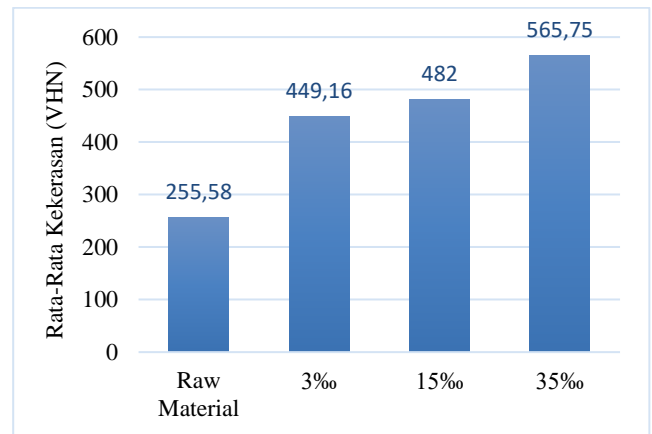
3.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian dilakukan dengan indenter bersudut 136° , pembebanan 1000 kgf, dan waktu indentasi 15 detik. Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada permukaan spesimen sebanyak 3 kali indentasi. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan standar ASTM E384 *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Materials* [13] yang dilakukan pada tanggal 19 April 2024 bertempat di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang, maka didapatkan hasil pengujian kekerasan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Variasi	Spesimen	Nilai kekerasan (VHN)	Rata-rata nilai kekerasan (VHN)
RAW	1	256,7	255,58
	2	253,7	
	3	255,0	
	4	257,0	
3%	1	448,0	449,16
	2	454,3	
	3	452,3	
	4	442,0	
15%	1	485,3	482,0
	2	480,3	

	3	480,3	
	4	482,0	
35%	1	573,0	565,8
	2	563,0	
	3	564,7	
	4	562,3	



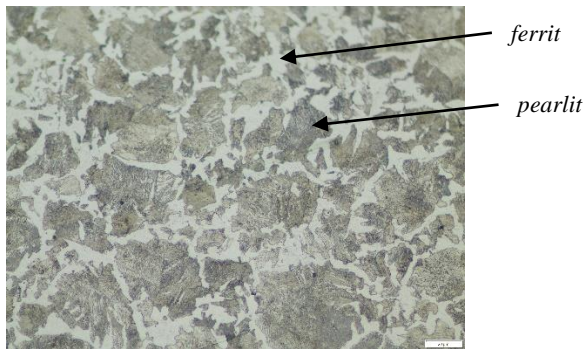
Gambar 10. Diagram hasil kekerasan *vickers*

Spesimen yang diquenching menggunakan media pendingin larutan garam memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan (*raw material*), sesuai dengan tabel 3. Hal ini disebabkan oleh penggunaan garam sebagai media pendingin *quenching* dapat membuat laju pendinginan lebih cepat yang menyebabkan mikro struktur *martensite* yang telah terbentuk lebih cepat dan banyak yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kekerasan baja [14]. Dari Gambar 10 memperlihatkan bahwa hasil pengujian kekerasan pada *raw material* memiliki nilai 255,58 VHN, kemudian setelah dilakukan proses *quenching* dengan larutan garam mengalami peningkatan sebesar 193,58 VHN dari 255,58 VHN ke 449,16 VHN dan media pendingin larutan garam 35% memiliki nilai 565,75 VHN yang dimana merupakan nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada penelitian ini. Dapat disimpulkan bahwa media pendingin larutan garam memiliki pengaruh untuk meningkatkan kekerasan material, semakin tinggi larutan garam dalam media *quenching* maka material tersebut semakin keras.

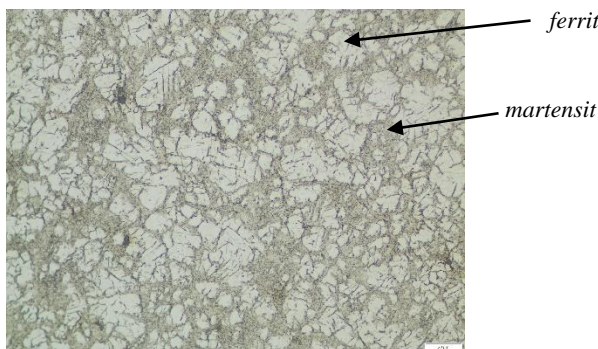
3.3. Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian ini akan dilakukan pada baja sebelum dan sesudah mendapat proses *quenching*, dan kemudian akan dilakukan pengamatan dan pengumpulan data menggunakan mikroskop optik. Selain itu, pada penelitian ini pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui fasa

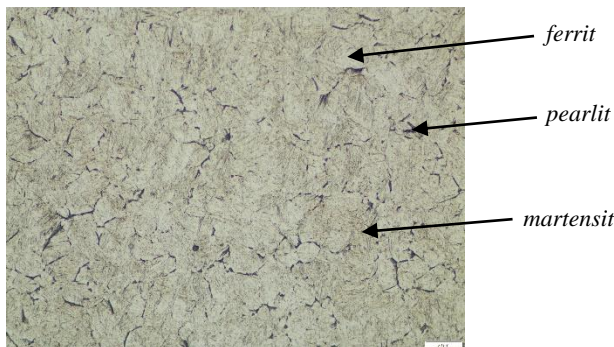
yang terjadi pada struktur mikro pada setiap variasi media pendingin *quenching*, kemudian dibandingkan dengan fasa *raw material*. Fasa pada struktur mikro akan berhubungan dengan sifat mekanis dari material tersebut.



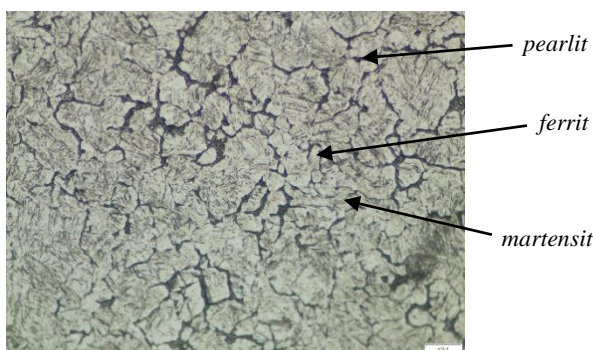
Gambar 11. Struktur mikro *raw material*



Gambar 12. Struktur mikro *quenching* media pendingin larutan garam 3‰



Gambar 13. Struktur mikro *quenching* media pendingin larutan garam 15‰



Gambar 14. Struktur mikro *quenching* media pendingin larutan garam 35‰

Berdasarkan hasil foto mikro pada Gambar 11 menunjukkan bahwa baja VCN 150/ *raw material* mempunyai fasa yang terlihat berupa *ferrit* dan *pearlit*. Keuletan yang tinggi adalah hasil dari fase ferit, yang disebabkan oleh kandungan karbon yang rendah pada baja. Gambar 11 menunjukkan struktur ferit berwarna hitam/gelap dan pearlit berwarna putih/terang. Struktur butiran baja VCN 150 yang diquenching dengan larutan garam yang berbeda terlihat sangat halus dan berserat. Struktur mikro baja yang didinginkan dengan 2,5-25,0% air garam atau air akan sebagian besar terdiri dari martensit berbentuk jarum dengan sedikit bainit [14]. Struktur martensit menjadi lebih halus ketika kadar garam lebih tinggi. Bukti seperti ini menunjukkan bahwa pendinginan terjadi lebih cepat ketika konsentrasi garam meningkat. Oleh karena itu, garam (NaCl) dapat digunakan sebagai media pendingin untuk mempercepat proses pendinginan. Hasilnya adalah peningkatan pembentukan struktur mikro martensit, yang dapat berdampak pada kekerasan baja tetapi juga membuatnya lebih rapuh.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa proses *quenching* mempengaruhi nilai pada pengujian keausan, kekerasan, dan perubahan struktur pada pengujian metalografi. Pada pengujian keausan mengalami penurunan nilai rata-rata keausan spesifik sebesar 18%, 30%, dan 44% dari raw material setelah mengalami proses *quenching*. Pada pengujian keausan yang memiliki nilai keausan terendah yaitu larutan garam 35‰ yang mendapatkan tahanan aus yang baik, sehingga dapat disimpulkan pada proses *quenching* mempengaruhi ketahanan aus pada baja VCN 150. Semakin tinggi nilai keausan maka semakin cepat juga keausan yang terjadi pada material. Nilai keausan juga dipengaruhi oleh kekerasan dari material, seperti pada penelitian ini nilai kekerasan tertinggi mengalami kenaikan sebesar 54,8% dari raw material yang membuat pada penelitian ini nilai keausan berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Berdasarkan pengujian metalografi, pada media pendingin larutan garam 3‰, 15‰, dan 35‰ terdapat fasa *martensite* yang disebabkan karena proses *quenching* dengan suhu austenisasi 850°C. Pada spesimen larutan garam 3‰ terdapat fasa *martensite* dan *pearlit* namun

persebaran fasa *pearlit* tidak banyak dan fasa *martensite* tidak mendominasi dibandingkan larutan garam 15% dan 35%. Semakin tinggi kandungan garam dalam media *quenching* dapat mempercepat proses pendinginan, hal ini dapat dilihat pada penelitian ini dengan munculnya struktur *martensite* yang semakin banyak dan halus pada kadar yang semakin tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yesus atas berkat dan penyertaannya saya bisa menyelesaikan penelitian ini. Saya menyadari bahwa penelitian tugas akhir kali ini tidak akan dapat selesai tanpa adanya saran, masukan dan bantuan dari berbagai pihak lainnya. Saya ingin berterimakasih kepada keluarga yang telah mendukung selama pembuatan tugas akhir ini dan juga kepada teman-teman teknik perkapalan 2020 yang telah membantu menemani saya selama proses penelitian. Semoga kiranya penelitian ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan berguna bagi pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. znanstveni časopis POMORSTVO, G. Vizentin, G. Vukelić, and M. Srok, "SCIENTIFIC JOURNAL OF MARITIME RESEARCH Common failures of ship propulsion shafts ARTICLE INFO," 2017. [Online]. Available: <http://shipmanagementinternational.com/wp-content/uploads/>
- [2] A. H. Staf, P. Program, S. Teknika, A. Maritim, and N. Cilacap, "ANALISA PENYEBAB KEAUSAN POROS BALING BALING KAPAL," 2019.
- [3] S. Raadnui, "Slurry - erosive wear and wear product analysis using a SS430 propeller," *Wear*, vol. 476, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.wear.2021.203659.
- [4] S. Febriary Khristyson, S. Djazuli Said, M. Abdul Wahid, and S. Khoeron, "KEAUSAN POROS PROPELLER YANG BERLEBIHAN AKIBAT," *Jurnal INOVTEK POLBENG*, vol. 11, no. 1, pp. 67–73, Jun. 2021.
- [5] A. Agung Ramadhan, E. Dwi Kurniawan, Darti, and R. Hermawan, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha Pengaruh Variasi Media Pendingin Quenching Terhadap Kekerasan Baja Aisi 1045 Effect of Variation of Quenching Cooling Media on the Hardness of Aisi 1045 Steel," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 11, no. 1, pp. 124–130, 2023, doi: 10.23887/jptm.v11i1.58757.
- [6] J. Hasil Karya Ilmiah *et al.*, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Kekuatan Tekuk, Kekuatan Puntir, dan Kekerasan Baja S45C dengan Variasi Temperatur Quenching," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [7] H. F. Haris and Budiarto, "Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan, dan Kuat Tarik Pada Baja VCN 150," *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, vol. 7, no. 2, Jun. 2023, doi: 10.31289/jmemme.v7i2.9472.
- [8] A. Aji Prabowo and Sunyoto, "PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES QUENCHING TERHADAP KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN KEKUATAN BENDING BAJA AISI 1010," *Journal Of Mechanical Engineering Learning*, vol. 9, no. 1, pp. 32–37, Jul. 2020, Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jmel>
- [9] B. Bandanadjaja, C. Ruskandi, and I. Pramudia, "PERLAKUAN PANAS MATERIAL AISI 4340 UNTUK MENGHASILKAN DUAL PHASE STEEL FERRIT-BAINIT," *Jurnal POLMAN Bandung*, pp. 16–19, 2016, Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: http://repository.polman-bandung.ac.id/file_publicasi/337530304_Beny%20Bandanadjaja_Perlakuan%20Panas%20Material%20AISI%204340.pdf
- [10] G. D. Haryadi, A. Fredy Utomo, I. Made, and W. Ekaputra, "Pengaruh Variasi Temperatur Quenching dan Media

Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan
Baja AISI 1045,” 2021. [Online].
Available:
<https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>

- [11] S. H. Suryo and B. Yudianto, “Pengaruh Kekuatan Bahan pada Track Shoe Excavator Menggunakan Pengujian Abrasive Wear dengan Metode Ogoshi Universal High Speed Testing,” pp. 5–15, Jan. 2018, [Online]. Available: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi>
- [12] “ASTM G99 ‘Standard Test Method for Wear and Friction Testing with a Pin-on-Disk or Ball-on-Disk Apparatus’”, doi: 10.1520/G0099.
- [13] “‘ASTM E384 ‘Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Materials’””, doi: 10.1520/E0384.
- [14] C. Yunaidi, “Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Garam Pada Proses Quenching Baja Karbon Sedang S45C,” *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, vol. 1, no. 3, pp. 70–76, Dec. 2016.