

PERBAIKAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO LOGAM KUNINGAN SEBAGAI BAHAN PROPELLER DENGAN METODE *SHOT PEENING*

Margono¹, Nugroho Tri Atmoko², Rizqi Ilmal Yaqin³, Bambang Hari Priyambodo^{4*}

^{1,2,4}Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

³Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

Email: ⁴bambanghp@sttw.ac.id

Abstrak

Logam kuningan banyak digunakan sebagai bahan peralatan pendukung, salah satunya sebagai *propeller*. *Propeller* sendiri adalah salah satu komponen dari perahu yang berputar dan menghasilkan energi dorong. Penggunaan *propeller* secara terus menerus mengakibatkan degradasi atau penurunan kualitas dan umur pakainya. Degradasi pada *propeller* dipengaruhi oleh kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan korosi terhadap lingkungan kerjanya. Untuk meningkatkan kualitas *propeller* dilakukan perlakuan *shot peening* pada permukaannya. *Shot peening* adalah proses penembakan secara kontinu dengan partikel halus berupa bola baja pada permukaan benda. *Shot peening* dapat meningkatkan kerapatan struktur mikro dan menghasilkan *compressive residual stress* yang menyebabkan kekerasan permukaan juga meningkat. *Shot peening* dilakukan dengan variasi durasi 2, 4, 6, 8, dan 10 menit, jarak tembak 100 mm, dan tekanan tembak 7 Bar. Partikel bola baja yang digunakan mempunyai kekerasan 40-50 HRC dan berdiameter 0,5 mm. Hasil uji kekerasan diperoleh peningkatan kekerasan permukaan spesimen berdurasi 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 menit masing-masing sebesar 189, 294, 302, 324, 330, dan 341 HV. Struktur mikro spesimen setelah dilakukan *shot peening* terlihat lebih rapat dan padat. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 341 HV atau terjadi peningkatan sebesar 80% dibandingkan *raw material*.

Kata Kunci: Logam Kuningan, Kekerasan, Propeller, *Shot peening*

Abstract

Brass metal is widely used as a supporting equipment material, one of which is a propeller. The propeller itself is one component of the boat that rotates and produces thrust energy. The continuous use of propellers results in degradation or a decrease in quality and service life. The degradation of the propeller is affected by the hardness, toughness, and corrosion resistance of the working environment. To improve the quality of the propeller, shot peening treatment was carried out on its surface. Shot peening is a continuous shooting process with fine particles in the form of steel balls on the surface of the object. Shot peening can increase the density of the microstructure and produce compressive residual stress which causes the surface hardness to also increase. Shot peening is carried out with variations in duration of 2, 4, 6, 8, and 10 minutes, 100 mm shooting range, and 7 Bar firing pressure. The steel ball particles used have a hardness of 40-50 HRC and a diameter of 5 mm. The results of the hardness test showed an increase in the surface hardness of the specimens for a duration of 2, 4, 6, 8, and 10 minutes, respectively 189, 294, 302, 324, 330, dan 341 HV. The microstructure of the specimen after shot peening looks tighter and denser. The highest hardness value is 341 HV or an increase of 80% compared to raw material.

Keywords: Brass, Shot peening, Hardness, Propeller

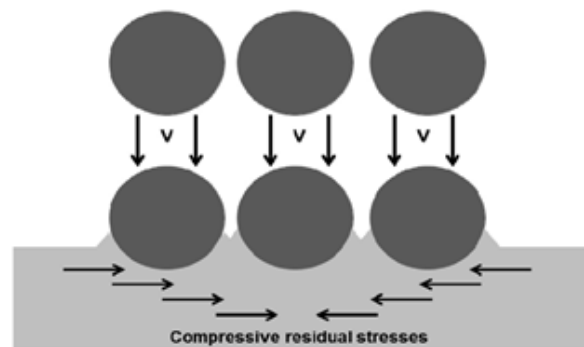
I. PENDAHULUAN

Kapal menjadi sarana utama untuk mendukung aktifitas nelayan dalam mencari ikan. sehingga kapal penangkap ikan memiliki fungsi penting yaitu sebagai sarana untuk menangkap ikan di perairan. Bagi negara yang memiliki jumlah perairan $\frac{3}{4}$ dari luasan negara atau sekitar 5,9 km² (Lasabuda, 2013) dari luasan negara dan memiliki jumlah sumber daya perairan yang sangat besar maka pemanfaatan kapal penangkap ikan guna pemanfaatan sumber daya perairan perlu dikembangkan. Kapal penangkap ikan menjadi salah satu armada penting dalam mengantarkan nelayan menuju ke daerah penangkapan atau *fishing ground* (Azis et al., 2017). Kapal penangkap ikan dapat bergerak karena memiliki sistem propulsi untuk menggerakkan kapal menuju tempat yang dituju. Komponen utama yang berada di sistem propulsi adalah mesin diesel, poros, bantalan, gearbox dan *propeller* (Salam et al., 2017). *Propeller* pada kapal penangkap ikan merupakan salah satu komponen pada sistem propulsi yang sangat penting karena berfungsi untuk menentukan sistem propulsi itu bergerak dengan kecepatan tertentu di laut (Kondo et al., 2012). Namun demikian, kapal penangkap ikan mempunyai komponen berupa *propeller* yang sering mengalami kerusakan pada saat beroperasi di lingkungan korosif (air laut). Disisi lain, lingkungan air laut merupakan lingkungan yang sangat korosif. Dimana adanya senyawa-senyawa yang dapat mempercepat terjadinya korosi. Sehingga perlu adanya bahan yang dapat mengendalikan laju korosi agar *propeller* dapat bekerja dengan baik pada lingkungannya. Komponen *propeller* kapal dalam beroperasi harus mampu menahan beban aksial dan memiliki ketahanan korosi yang tinggi (Priyambodo et al., 2020). Selain itu, pada saat kapal bergerak, *propeller* pada kapal memberikan momentum pada fluida yang ada diperairan sehingga dapat menyebabkan gaya dorong. Gaya dorong yang dihasilkan *propeller* inilah yang menyebabkan kapal dapat bergerak sesuai dengan arah putar *propeller*. Oleh karena itu perancangan pembuatan *propeller* pada kapal penangkap ikan harus dapat memperhitungkan kekuatan dari bahan dan ketahanan terhadap lingkungan air laut.

Propeller pada umumnya terbuat dari logam paduan dengan unsur utama tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang biasa disebut sebagai logam kuningan. Logam dengan matrik tembaga ini mempunyai sifat mampu cor, mampu tempa dan mempunyai ketahanan korosi yang baik (Priyambodo et al., 2017). Terlebih bahan kuningan memiliki sifat ketahanan korosi pada lingkungan air laut

membentuk pelindung tipis yang menghalangi rekasi korosi cepat terjadi. Selain itu, bahan baku kuningan ini juga mudah ditemukan di sekitar kita. Namun demikian, sifat logam kuningan perlu dioptimalkan lagi agar diperoleh sifat yang lebih unggul (Maleki et al., 2021; Priyambodo et al., 2018). Pengoptimalan bahan kuningan dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan perlakuan panas dan perlakuan permukaan. Namun untuk cara perbaikan dengan perlakuan panas memiliki kekurangan yaitu tidak semua bahan dapat diberikan perlakuan, sedangkan untuk perlakuan permukaan hampir semua bahan dapat diberikannya.

Shot peening merupakan salah satu perlakuan permukaan bahan yang tergolong murah sehingga banyak digunakan dalam dunia manufaktur untuk melakukan *finishing* pada produk atau memperbaiki sifat bahan. *Shot peening* merupakan perlakuan permukaan pada suatu bahan dengan menggunakan bola-bola kecil baja yang di tembakan dengan kecepatan tinggi yang terkontrol ke permukaan bahan sehingga menghasilkan deformasi plastis dan menyebabkan dampak *residual stress* pada bahan (Margono et al., 2021; Wang et al., 2020). Dampak dari *shot peening* menghasilkan perubahan dari permukaan hingga ke sub permukaan. Perlakuan permukaan *shot peening* memberikan pengaruh sifat mekanik dan fisis pada bahan yaitu meningkatkan kekerasan dan merapatkan butiran di permukaan (Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2020; Zhan et al., 2012). Gambar 1 menunjukkan skematik mekanisme penembakan *shot peening* yang dapat memberikan dampak *residual stress* pada sub permukaan. Perlakuan permukaan *shot peening* merupakan modifikasi sifat mekanis permukaan dari bahan yang cukup signifikan hasilnya (Llaneza & Belzunce, 2015).



Gambar 1. Ilustrasi skematik bola *shot peening* yang di tembakan di permukaan bahan

Beberapa penelitian tentang penggunaan *shot peening* untuk mengoptimalkan sifat fisik dan mekanik dari bahan sudah banyak dilakukan. salah

satunya yaitu tentang variasi parameter *shot peening* telah dilakukan. Hasilnya yaitu kenaikan nilai intensitas almen *shot peening* pada permukaan logam memiliki hasil dapat menaikkan kekerasan bahan pada daerah permukaannya (Astarace et al., 2020). Selain itu, penelitian pengaruh durasi *shot peening* terhadap suatu bahan berdampak pada nilai kekerasannya juga. Durasi yang optimal dapat meningkatkan kekerasan di permukaan logam (Liu & Chi, 2019; Sakamoto et al., 2015). Selain durasi, parameter lainnya juga sudah dilakukan penelitian yaitu tentang perbedaan ukuran butiran *shot peening*. Hasilnya yaitu adanya pengaruh ukuran butiran keramik *shot peening* yang ditembakkan dapat meningkatkan kekerasan permukaan bahan (Priyambodo et al., 2022; Benedetti et al., 2015). Disisi lain, penggunaan jarak tembak antara nozzle dan spesimen saat dilakukan *shot peening* memiliki pengaruh dari hasilnya. Hasil penelitiannya yaitu jarak tembak *shot peening* yang semakin dekat memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari pada jarak tembak yang jauh (Iswanto et al., 2020). Berdasarkan dari beberapa penelitian dengan parameter *shot peening*, maka dapat dikatakan parameter-parameter *shot peening* dapat memperbaiki kekerasan permukaan dari bahan.

Penggunaan perlakuan *shot peening* sudah banyak digunakan pada dunia otomotif. Namun, penggunaan pada dunia industri perkapalan terutama pada manufaktur *propeller* masih banyak belum dilakukan. Padahal penggunaan *shot peening* sangat berpotensi untuk modifikasi permukaan bahan guna meningkatkan kekuatan bahan di permukaan dan ketahanan korosinya di lingkungan air laut. Khusus penggunaan *shot peening* dapat juga digunakan untuk meningkatkan kekerasan bahan dipermukaan sehingga dapat dikatakan dapat menaikkan sifat mekanik dari bahan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kekerasan dan stuktur mikro pada logam kuningan yang digunakan untuk pembuatan propeller dengan metode *shot peening*. *Shot peening* adalah metode untuk menciptakan tegangan sisa tekan pada permukaan logam dengan cara menembakkan partikel-partikel logam berukuran kecil secara kontinyu dan terukur. *Shot peening* dilakukan dengan menembakkan bola-bola baja yang mempunyai kekerasan 40-50 HRC, berdiameter 0,5 mm, jarak tembak 100 mm, dan tekanan tembak 7 Bar. Variasi durasi dilakukan selama 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 menit. Spesimen hasil proses *shot peening* diuji kekerasan permukaannya dan diamati struktur mikronya. Penelitian ini diharapkan terciptanya material kuningan baru sebagai bahan dasar *propeller* yang mempunyai sifat mekanis dan fisis

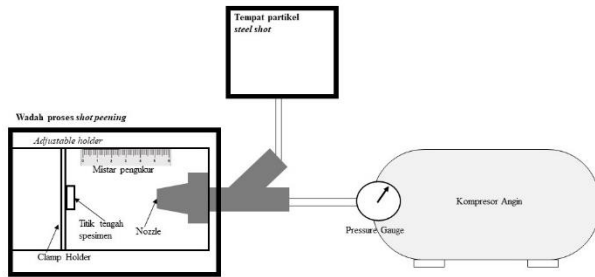
lebih baik, sehingga memiliki umur pakai lebih lama. Bentuk kontribusi penelitian ini adalah sebagai pengembangan modifikasi sifat bahan terkhusus pada sifat kekerasan permukaan sehingga dapat meningkatkan kekuatan bahan dan umur lelah bahan kuningan yang diaplikasikan sebagai propeller. Penggunaan perlakuan permukaan *shot peening* sangat penting untuk pengembangan dunia manufaktur dalam meningkatkan umur pakai *propeller* guna mensejahterakan masyarakat nelayan di Indonesia.

II. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuningan secara komersil dipasaran. Pembentukan bahan kuningan dilakukan dengan pengecoran cetakan pasir (*sand casting*) dengan pola berbentuk silinder berdiameter 30 mm dan panjang 150 mm. Hasil cetakan logam kuningan dilakukan proses pemotongan hingga diperoleh dimensi spesimen berdiameter 30 mm dan tebal 3 mm. Permukaan spesimen dihaluskan dengan kertas ampelas grit 200, 400, 600, 1000 dan 2000 secara bertahap. Proses pengampelasannya menggunakan bantuan mesin orbital sander yang didesain khusus untuk proses pengampelasan permukaan spesimen.

Proses *shot peening* pada penelitian ini dengan variasi durasi penembakan yaitu 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 menit dengan mengatur tekanan kompresor sebesar 7 Bar. Proses penembakan menggunakan *gun* yang dikaitkan dengan tuas sehingga bola baja terus keluar dan bertubrukan dengan spesimen. Penggunaan timer secara manual oleh peneliti guna mengatur durasi dari *shot peening* yang keluar. Sehingga mesin akan berhenti ketika sudah menunjukkan waktu yang ditentukan. Sedangkan untuk pengaturan tekanan menggunakan pengaturan tuas dengan pengkondisian mesin kompresor sehingga dapat menunjukkan tekanan yang diharapkan pada selang yang diberikan *pressure gauge*. Partikel yang digunakan yaitu bola baja berukuran 0,5 mm (Nomor mesh 35) dengan kode S170 memiliki kekerasan 40-50 HRC berdasarkan spesifikasi produk penjualan. Nilai kekerasan tersebut berdasarkan spesifikasi yang didapatkan saat membeli. Jarak tembak antara nozzle dengan permukaan spesimen berjarak 100 mm. Penggunaan jarak yang tetap pada proses *shot peening* menggunakan pengukuran kemudian spesimen diset menggunakan holder sehingga spesimen tidak akan bergerak dan tetap dengan jaraknya. Sedangkan *gun* dipasang di mulut bak untuk menjadi acuan pengukuran jarak. Skematik proses *shot peening* pada permukaan bahan dapat ditunjukkan pada Gambar 2 (Wibowo et al., 2016; Yaqin et al., 2017).

Penembakan partikel bola baja dibantu dengan tekanan angin. Partikel bola ditempatkan berada di atas sehingga turun ke bawah menggunakan gaya gravitasi. Untuk penggunaan partikel digunakan untuk sekali pemakaian tanpa penggunaan berulang.



Gambar 2. Skematik proses perlakuan *shot peening* pada spesimen

Pengujian kekerasan dengan metode *Micro Hardness Vickers* dengan beban indentasi 10 gram force selama 10 detik sesuai ASTM E384-89. Data yang diambil pada pengujian pengulangan sebanyak 5 kali pengulangan. Persiapan spesimen pengujian kekerasan melintang dilakukan dengan cara pemotongan secara melintang pada spesimen sehingga spesimen dapat diukur kekerasannya untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan *shot peening*. Pemotongan melintang dimulai dari bagian permukaan yang terkena *shot peening* sampai dengan bagian yang paling jauh terkena *shot peening*. Pengujian kekerasan melintang dilakukan dari permukaan yang terkena *shot peening* berjarak dari permukaan sebesar 25 μm . Selanjutnya pengukuran dilakukan setiap 25 μm berikutnya hingga jarak 200 μm . Sebelum pengujian kekerasan melintang proses pertama yaitu bahan diberikan ke resin dan dipotong menjadi dua bagian pada bagian yang terkena langsung oleh *shot peening* sebagai titik tengah. Setelah itu spesimen diampelas hingga mengkilap dan diberikan metal polish. Setelah itu spesimen dilakukan pengujian.

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan *optical microscope*. Pengujian struktur mikro yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada spesimen yang terbentuk setelah di lakukan perlakuan. Spesimen pengujian struktur mikro dipotong melintang dan spesimen dihaluskan kemudian diberikan autosol serta dibersihkan dengan kain hingga permukaan sampai bersih tanpa adanya goresan. Permukaan spesimen yang sudah halus dilakukan etsa untuk mengamati struktur mikronya. Perbandingan larutan etsa bahan kuningan yaitu HNO_3 65% dan Alkohol 95% dengan perbandingan 1:39. Proses etsa dilakukan selama 5 detik, kemudian dibilas dengan air bersih dan dikeringkan di udara terbuka. Spesimen

struktur mikro diamati dengan mikroskop yang terhubung komputer dengan perbesaran yang sudah ditentukan. Pengujian pada penelitian ini dibatasi karena sebagai penelitian awal dan sebagai acuan dari penelitian nantinya

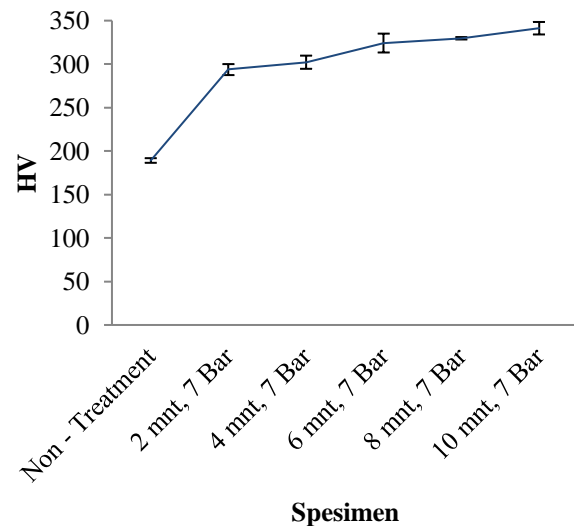
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji komposisi kimia spesimen yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel. 1. Pengujian ini dilakukan pada bahan komersil dari *propeller* yang sering digunakan oleh nelayan di market bebas. Pengujian komposisi bahan dilakukan dengan OES. Berdasarkan hasil tersebut komposisi penyusun utamanya adalah Cu35%Zn. Hal tersebut menyatakan bahwa paduan Cu dan Zn adalah logam kuningan. Paduan kuningan dengan komposisi Cu-Zn mempunyai ketangguhan yang tinggi dan mampu menahan tegangan. Komposisi lebih dari 40%Zn akan menyebabkan penurunan kekuatan dan seng akan mudah menguap saat dilebur (Taufikurrahman et al., 2005).

Tabel 1. Komposisi Kimia Kuningan Cu-35wt%Zn

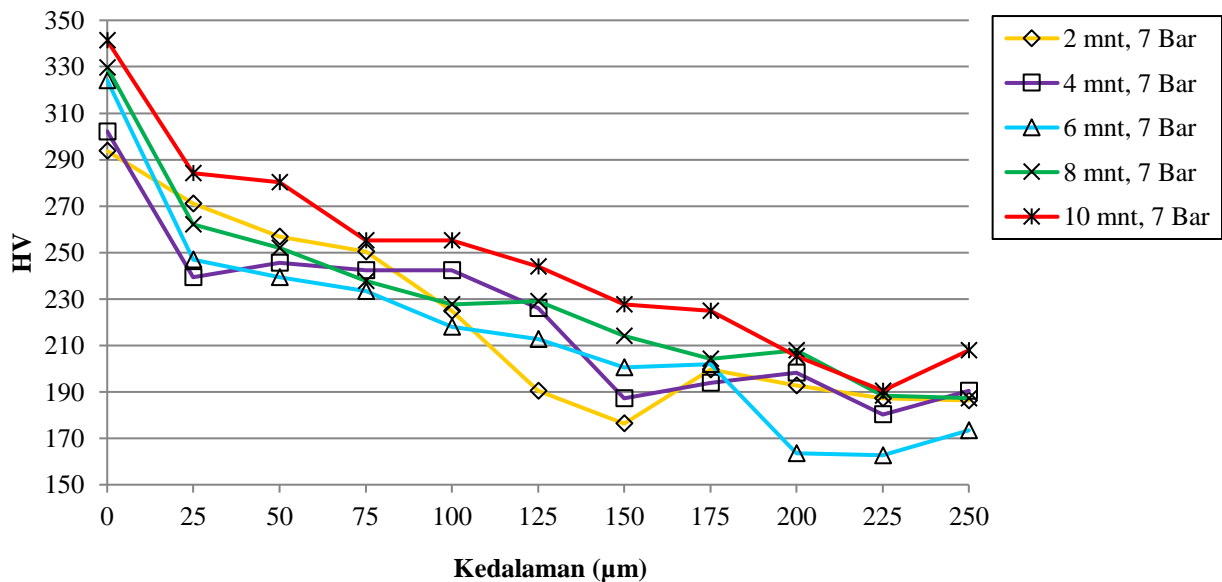
Cu	Zn	Pb	Sn	Mn	Fe	Others
59.00	34.80	2.15	1.17	0.09	0.06	<2.73

Kekerasan permukaan



Gambar 3. Perbandingan Kekerasan Permukaan Kuningan Non-Treatment dan Shot peening

Pengaruh durasi *shot peening* terhadap kekerasan permukaan spesimen disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. Spesimen *non-treatment* (durasi 0 menit) mempunyai kekerasan sebesar 189 HV. Spesimen yang dilakukan proses *shot peening* mengalami peningkatan kekerasan



Gambar 4. Kekerasan Penampang Melintang Kuningan dengan Proses *Shot Peening*

permukaannya. Semakin bertambah durasi shot peening, menyebabkan kekerasan permukaan juga semakin meningkat. Nilai kekerasan permukaan tertinggi terjadi pada spesimen *shot peening* berdurasi 10 menit yaitu sebesar 341 HV. Apabila dibandingkan dengan spesimen *non-treatment*, nilai kekerasan permukaan terjadi peningkatan sekitar 80%. berdasarkan penilaian dan beberapa kajian yang didapatkan semakin lama perlakuan shot peening dapat memungkinkan ada pada titik yang jenuh sehingga pada penelitian selanjutnya perlu penambahan waktu shot peening sehingga dapat mengetahui nilai kekerasan puncak pada rentang waktu yang nantinya akan diketahui.

Shot peening menyebabkan terjadinya tumbukan bola baja pada permukaan spesimen yang mengakibatkan dislokasi plastis pada permukaan. Semakin besar dislokasi plastis yang diberikan pada *shot peening* maka menyebabkan bertambahnya dislokasi di permukaan spesimen. Banyaknya dislokasi pada suatu daerah membentuk interaksi antar dislokasi terdekat lainnya. Interaksi antar dislokasi yang tinggi menyebabkan kerapatan dislokasi terutama pada batas butir. Berdasarkan hal tersebut butir akan semakin halus dan saling menghambat interaksi dislokasinya. Fenomena ini menimbulkan efek pengerasan regangan atau yang sering disebut dengan *strain hardening* (Bag et al., 2020; Sherafatnia et al., 2018). Kekerasan spesimen setelah dilakukan *shot peening* terjadi peningkatan karena pada permukaan terbentuk struktur mikro yang lebih padat. Hal tersebut mengakibatkan semakin sulit terjadinya dislokasi antar butir sehingga pada permukaan logam lebih mampu

menahan dislokasi plastis. Kemampuan menahan deformasi plastis inilah yang menyebabkan peningkatan kekerasan. *Shot peening* juga dapat menciptakan *compressive residual stress*, dimana tegangan sisa tekan ini dapat meningkatkan kekerasan permukaan spesimen. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Slamet dkk. (2018) yang menyatakan bahwa logam dengan butir relatif kecil akan bersifat lebih keras dan kuat dibandingkan material dengan butir besar (Slamet et al., 2018). Ukuran butir kecil memiliki area batas butir yang lebih luas untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Nilai kekerasan yang tinggi akan berdampak pada menurunnya keuletan dan ketangguhan material.

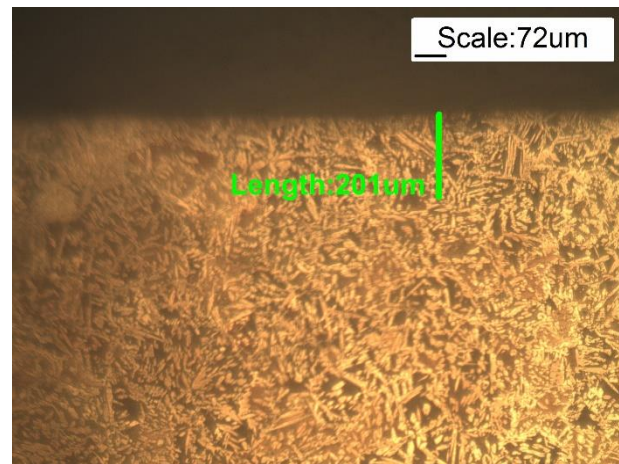
Kekerasan penampang melintang

Pengaruh kedalaman *Shot peening* disajikan dalam grafik pada Gambar 4. Pengujian kekerasan melintang dilakukan dari permukaan yang dilakukan *shot peening* berjarak 25 µm. Selanjutnya pengukuran dilakukan setiap 25 µm hingga jarak 200µm. Penurunan kekerasan terjadi seiring dengan semakin dalam jarak dari permukaan yang diberi perlakuan *shot peening*. Tekanan *shot peening* yang diterima pada bagian permukaan lebih besar dan berangsur-angsur semakin mengecil pada bagian yang lebih dalam. Hal ini berakibat pada nilai kekerasan yang semakin menurun pada area yang lebih dalam. *Shot peening* berpengaruh terhadap kekerasan penampang melintang sampai kedalaman 200 µm dari permukaan spesimen. Apabila diamati lebih cermat terhadap nilai kekerasannya, pada kedalaman 200 µm nilai

kekerasannya sudah kembali seperti nilai kekerasan spesimen *non-treatment*. Hal ini juga menyatakan bahwa pengaruh tekanan dari *shot peening* terjadi sampai kedalaman 200 μm . Nilai kekerasan pada kedalaman 200 μm dan setelahnya sudah kembali seperti nilai kekerasan spesimen *non-treatment*. Nilai kekerasan yang berbeda pada sub permukaan dari bahan terjadi karena adanya tegangan sisa yang dipengaruhi oleh tembakan dari bola-bola *shot peening*. Sesuai dengan skematik pada Gambar 1. Tegangan sisa ini lah yang berdampak pada perubahan-perubahan yang terjadi pada permukaan dan sub permukaan dari bahan yang diberikan perlakuan oleh *shot peening* (Majzoubi & Abbasi, 2017). Deformasi plastis maupun tegangan sisa tekan yang dihasilkan *shot peening* terbentuk pada lapisan permukaan sedalam sekitar 200 μm .

Struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro akibat proses *shot peening*. Gambar 5. Menampilkan penampang melintang spesimen yang telah dilakukan proses *shot peening* pada permukaannya. Spesimen yang diamati adalah spesimen *shot peening* dengan parameter hasil uji kekerasan terbaik yaitu berdurasi 10 menit. Hasil *shot peening* pada permukaan spesimen terlihat perubahan struktur mikronya hingga kedalam kurang lebih 200 μm . Struktur mikro permukaan spesimen terlihat lebih padat dan halus (Priyambodo, et al., 2022; Priyambodo et al., 2021). Semakin lebih dalam jarak dari permukaannya, struktur mikro terlihat lebih kasar. Hal tersebut terkonfirmasi dengan hasil uji kekerasan permukaan penampang melintang, dimana kekerasan hingga kedalaman 200 μm lebih tinggi dibandingkan kekerasan raw material. Kekerasan permukaan setelah kedalaman 200 μm cenderung menurun dan stabil mendekati kekerasan raw material.



Gambar 5. Struktur mikro penampang melintang kuningan setelah dilakukan *shot peening*

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisa data dan pembahasan didapatkan bahwa perlakuan permukaan *Shot peening* dapat memperbaiki sifat kekerasan dan struktur mikro kuningan. Semakin bertambah durasi *shot peening*, menyebabkan bertambah pula nilai kekerasan permukaan kuningan. Kekerasan permukaan kuningan setelah dilakukan *shot peening* meningkat menjadi 341 HV atau sekitar 80% dibandingkan kuningan *non-treatment*. Struktur mikro pada permukaan kuningan setelah dilakukan *shot peening* terbentuk struktur yang rapat karena terdeformasi plastis hingga sedalam 200 μm . Dampak dari penelitian ini yaitu sebagai pengembangan modifikasi sifat bahan terkhusus pada sifat kekerasan permukaan sehingga dapat meningkatkan kekuatan bahan dan umur lelah bahan kuningan yang diaplikasikan sebagai propeller.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memberikan parameter tambahan agar diperoleh nilai yang lebih optimal dari hasil pengujian serta ditambahkan lagi pengujian korosi sehingga bahan dapat diaplikasikan langsung terhadap lingkungan nyata terutama pada lingkungan air laut.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi atas Pendanaan Penelitian Program Kompetitif Nasional dan Penugasan di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 sehingga terselesaikannya penelitian ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, & E92. (2017). *Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials*. *i*, 1–27. <https://doi.org/10.1520/E0092-17.2>
- Azis, Muh. A., Iskandar, B. H., & Novita, Y. (2017). Kajian Desain Kapal Purse Seine Tradisional Di Kabupaten Pinrang (Study Kasus Km. Cahaya Arafah). *ALBACORE*, *1*(1), 69–76.
- Bag, A., Delbergue, D., Ajaja, J., Bocher, P., Lévesque, M., & Brochu, M. (2020). Effect of different *shot peening* conditions on the fatigue life of 300 M steel submitted to high stress amplitudes. *International Journal of Fatigue*, *130*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105274>
- B. H. Priyambodo, Suhartoyo, & Slamet, S. (2020). Increased Corrosion Resistance on Cu35%Zn Surface by *Shot peening* Process. *Journal of Physics: Conference Series*, *1430*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1430/1/012055>
- Heydari Astaræe, A., Bagherifard, S., Bradanini, A., Duó, P., Henze, S., Taylor, B., & Guagliano, M. (2020). Application of *shot peening* to case-hardened steel gears: the effect of gradient material properties and component geometry. *Surface and Coatings Technology*, *398*, 126084. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126084>
- Iswanto, P. T., Yaqin, R. I., Akhyar, & Sadida, H. M. (2020). Influence of *shot peening* on surface properties and corrosion resistance of implant material AISI 316L. *Metalurgija*, *59*(3), 309–312.
- Kondo, Y., Siahaya, Y., & Leonard, J. (2012). Analisis Investasi Pada Industri Pengecoran Propeller Kapal (Studi Kasus: Cv. Antero Jaya Sakti). *Jurnal Mekanikal*, *3*(1), 231–239.
- Lasabuda, R. (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, *1*(2), 92–101.
- Liu, L., & Chi, R. (2019). Effect of microstructure on high cycle fatigue behavior of brass processed by laser shock peening. *Materials Science and Engineering A*, *740–741*, 342–352. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.10.108>
- Llaneza, V., & Belzunce, F. J. (2015). Study of the effects produced by *shot peening* on the surface of quenched and tempered steels: Roughness, residual stresses and work hardening. *Applied Surface Science*, *356*, 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.08.110>
- Majzoobi, G. H., & Abbasi, F. (2017). On the effect of shot-peening on fretting fatigue of Al7075-T6 under cyclic normal contact loading. *Surface and Coatings Technology*, *328*, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.08.067>
- Maleki, E., Unal, O., Reza Kashyzadeh, K., Bagherifard, S., & Guagliano, M. (2021). A systematic study on the effects of *shot peening* on a mild carbon steel: Microstructure, mechanical properties, and axial fatigue strength of smooth and notched specimens. *Applied Surface Science Advances*, *4*(October 2020), 100071. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100071>
- Margono, Priyambodo, B. H., & Yaqin, R. I. (2021). *Shot peening* on AISI 304 by Various Sizes of Steel Ball Particles to Reduce Corrosion Rates. *The Journal of Corrosion Science and Engineering*, *23*, 1–8.
- M. Benedetti, V. Fontanari, B. Winiarski, P.J. Withers, M. Allahkarami, and J. C. H. (2015). Fatigue Behavior of Shot Peened Notched Specimens: Effect of the Residual Stress Field Ahead of the Notch Root. *Procedia Engineering*, *109*, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.210>
- Priyambodo, B. H., Margono, & Nugroho, K. C. (2022). Corrosion Protection on AISI 304 by *Shot peening* Treatment with Variation of Particle Size and Shooting Pressure. *Materials Science Forum*, *1051*, 153–159. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1051.153>
- Priyambodo, B. H., Margono, Nugroho, K. C., Atmoko, N. T., & Yaqin, R. I. (2022). Effect of Oil Quenching and *Shot peening* to Improve Hardness Behavior of S45C Carbon Steel. *Materials Science Forum*, *1067*, 27–33. <https://doi.org/10.4028/p-dt2v5c>
- Priyambodo, B. H., Slamet, S., Suhartoyo, & Sriyanto. (2018). Peningkatan Ketahanan Korosi Pada Permukaan Cu40zn Dengan Proses *Shot peening* Variasi Tekanan Tembak. *Prosiding SNATIF Ke -5*, 655–660.
- Priyambodo, B. H., Suhartoyo, & Slamet, S. (2017). Studi Pengaruh *Shot peening* Pada Permukaan Cu35Zn Terhadap Ketahanan.

- Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017*, 153–160.
- Priyambodo, B. H., Yaqin, R. I., Margono, & Nugroho, K. C. (2021). Pengaruh Perlakuan Annealing Dan Shot Peening Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon JIS S45C. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 7(2), 138–144.
- Sakamoto, J., Lee, Y. S., & Cheong, S. K. (2015). Effect of surface flaw on fatigue strength of shot-peened medium-carbon steel. *Engineering Fracture Mechanics*, 133, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2014.11.005>
- Salam, H. A. H., Mulyatno, I. P., & Iqbal, M. (2017). Analisa Kelelahan Propeller Kapal Ikan PVC Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1), 243–252.
- Sherafatnia, K., Farrahi, G. H., & Mahmoudi, A. H. (2018). Effect of initial surface treatment on *shot peening* residual stress field: Analytical approach with experimental verification. *International Journal of Mechanical Sciences*, 137, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.01.022>
- Slamet, S., Priyambodo, B. H., Suhartoyo, & Yaqin, R. I. (2018). Pengaruh Durasi Waktu *Shot peening* Pada Permukaan Logam Kuningan Terhadap Ketahanan Korosi. *Prosiding SNATIF Ke -5*, 661–666.
- Taufikurrahman, Safei, & Hardianto, I. (2005). Analisa Sifat Mekanik Bahan Paduan Tembaga-Seng Sebagai Alternatif Pengganti Bantalan Gelinding pada Lori Pengangkut Buah Sawit. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 77–84.
- Wang, Y., Xie, H., Zhou, Z., Li, X., Wu, W., & Gong, J. (2020). Effect of *shot peening* coverage on hydrogen embrittlement of a ferrite-pearlite steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(11), 7169–7184. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.021>
- Wibowo, T. N., Iswanto, P. T., Priyambodo, B. H., & Amin, N. (2016). Pengaruh Variasi Waktu *Shot peening* Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan pada Material Implan AISI 304. *Jurnal ROTOR, Edisi Khusus*(2), 70–73.
- Yaqin, R. I., Iswanto, P. T., Priyambodo, B. H., & Kondi Maliwemu, E. U. (2017). Pengaruh durasi *shot peening* terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan pada AISI 316L. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Kedirgantaraan (SENATIK), III*, 0–4. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.28989/senatik.v3i0.120>
- Zhang, J., Jian, Y., Zhao, X., Meng, D., Pan, F., & Han, Q. (2020). The tribological behavior of a surface-nanocrystallized magnesium alloy AZ31 sheet after ultrasonic *shot peening* treatment. *Journal of Magnesium and Alloys*, 9, 1187–1200. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2020.11.012>
- Zhang, Q., Duan, B., Zhang, Z., Wang, J., & Si, C. (2021). Effect of ultrasonic *shot peening* on microstructure evolution and corrosion resistance of selective laser melted Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1090–1099. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.091>
- Zhan, K., Jiang, C. H., Wu, X. Y., & Ji, V. (2012). Surface layer characteristics of S30432 austenite stainless steel after *shot peening*. *Materials Transactions*, 53(5), 1002–1006. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2011390>