



PEMANFAATAN DAN REKAYASA LIMBAH PISTON DENGAN METODE SHOT PEENING SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PROPELER PERAHU NELAYAN

UTILIZATION AND ENGINEERING OF PISTON WASTE BY SHOT PEENING METHOD AS ALTERNATIVE MATERIAL FOR FISHING VESSEL PROPELLERS

Bambang Hari Priyambodo^{1*}, Rizqi Ilmal Yaqin², Rauuf Nur Fattah³, Sugeng Slamet⁴

¹Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
Blimbing Sari, Caturtunggal, Sleman, Yogyakarta, 5528, Indonesia

²Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai, Dumai, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus, Indonesia

*Korespondensi: bambang.hari.p@ugm.ac.id (B H Priyambodo)

Diterima 12 Spetember 2024 – Disetujui 27 Oktober 2024

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah piston bekas sebagai bahan alternatif pembuatan propeler perahu nelayan. Rekayasa teknik dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanisnya dengan perlakuan shot peening. Shot peening adalah metode perlakuan permukaan dengan cara menembakkan partikel bola baja berukuran kecil secara terkendali. Dalam penelitian ini piston bekas didaur ulang dan dijadikan bahan dasar propeler, kemudian dilakukan shot peening dengan tekanan 8 bar dengan variasi durasi tembak selama 5, 10, 15, dan 20 menit. Pengujian meliputi uji komposisi kimia spesimen, uji tarik, dan pengamatan struktur mikro. Uji tarik untuk menentukan kekuatan mekanis, sedangkan pengamatan struktur mikro untuk mengidentifikasi perubahan struktur permukaan. Hasil uji komposisi kimia menyatakan bahwa piston daur ulang adalah AL-Si-Cu. Sedangkan, hasil uji tarik menunjukkan bahwa semakin lama durasi shot peening, kekuatan tarik material mengalami peningkatan signifikan. Shot peening durasi 20 menit memberikan kekuatan tertinggi. Peningkatan kekuatan tarik sebesar 43% atau 113 MPa dibandingkan dengan spesimen non-treatment. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa proses shot peening menciptakan lapisan permukaan yang lebih rapat, sehingga kekuatan tarik dapat meningkat. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri propeler untuk meningkatkan efisiensi serta keberlanjutan produksi.

KATA KUNCI: Limbah piston, propeler, shot peening

ABSTRACT. This study aims to evaluate the utilization of used piston waste as an alternative material for making fishing boat propellers. Engineering is carried out to improve its mechanical properties by shot peening treatment. Shot peening is a surface treatment method by shooting small steel ball particles in a controlled manner. In this study, used pistons were recycled and used as the basic material for propellers, then shot peening was carried out with a pressure of 8 bar with variations in shooting duration for 5, 10, 15, and 20 minutes. Testing includes testing the chemical composition of the specimen, tensile testing, and observing the micro structure. Tensile testing is to determine mechanical strength, while macro photography is to identify changes in surface structure. The results of the chemical composition test state that the recycled piston is AL-Si-Cu. Meanwhile, the results of the tensile test show that the longer the shot peening duration, the tensile strength of the material increases significantly. Shot peening with a duration of 20 minutes gives the highest strength. The increase in tensile strength is 43% or 113 MPa compared to the non-treatment specimen. Micro structure observations show that the shot peening process creates a denser surface layer, so that tensile strength can be increased. This research is expected to be a reference for the propeller industry to increase production efficiency and sustainability.

KEYWORDS: Piston waste, propeller, shot peening

1. Pendahuluan

Perikanan merupakan salah satu sektor penting bagi ketahanan pangan dan perekonomian Indonesia, terutama di wilayah pesisir. Nelayan sebagai aktor utama dalam sektor ini memainkan peran yang

signifikan dalam menyediakan sumber daya laut untuk konsumsi domestik dan ekspor. Kegiatan penangkapan ikan yang mereka lakukan bergantung pada sarana transportasi yang efektif, salah satunya adalah perahu. Perahu nelayan menjadi elemen vital dalam usaha penangkapan ikan, terutama dalam skala kecil dan menengah. Salah satu komponen terpenting untuk mendukung kinerja perahu nelayan adalah propeler. Propeler pada perahu nelayan berfungsi sebagai alat yang mengubah energi putar dari mesin menjadi daya dorong yang membuat perahu dapat bergerak di atas air. Efisiensi dari propeler sangat mempengaruhi kinerja perahu, mulai dari kecepatan, manuver, hingga konsumsi bahan bakar. Dalam konteks perikanan, propeler yang baik dapat membantu nelayan mencapai area tangkapan yang lebih luas dan dalam waktu yang lebih singkat, sehingga meningkatkan produktivitas mereka di laut.

Studi yang dilakukan dalam dekade terakhir menunjukkan bahwa penggunaan teknologi perkapalan, termasuk propeler, dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi penangkapan ikan dan mengurangi konsumsi energi. Menurut penelitian yang dipublikasikan oleh *International Journal Of Marine Engineering And Applications* (Mohammad & Abi., 2024), inovasi dalam desain propeler dapat mengurangi hambatan di dalam air dan meningkatkan kecepatan perahu nelayan, bahkan pada mesin dengan daya rendah. Penelitian lain yang dipublikasikan oleh (Mina et al., 2022) menyebutkan bahwa penggunaan mesin dan propeler yang lebih efisien mampu mengurangi konsumsi bahan bakar serta memberikan dampak ekonomi positif bagi nelayan kecil. Selain itu, aspek keberlanjutan dalam perikanan juga semakin diperhatikan. Seiring dengan tantangan dalam pengelolaan sumber daya ikan, penggunaan teknologi ramah lingkungan menjadi fokus utama untuk memastikan keberlanjutan sektor ini. Modernisasi peralatan perikanan, termasuk propeler yang efisien, tidak hanya membantu meningkatkan hasil tangkapan, tetapi juga berkontribusi pada upaya pengurangan emisi karbon di sektor perikanan. Oleh karena itu, propeler tidak hanya berfungsi sebagai komponen teknis yang mendukung mobilitas perahu, tetapi juga merupakan bagian dari strategi besar untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan perikanan di Indonesia.

Pengembangan teknologi propeler modern, inovasi dalam penggunaan material alternatif untuk pembuatan propeler kapal juga mendapat perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu pendekatan yang menarik adalah pemanfaatan piston bekas sebagai bahan dasar untuk membuat propeler. Piston, yang biasanya digunakan dalam mesin pembakaran internal, umumnya terbuat dari material yang kuat dan tahan terhadap tekanan tinggi, seperti paduan aluminium. Sifat-sifat ini menjadikannya bahan yang berpotensi untuk digunakan dalam pembuatan propeler, khususnya dalam konteks perahu nelayan. Penelitian tentang pemanfaatan piston bekas untuk propeler telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Sebuah studi oleh (Setiawan et al., 2016) yang dipublikasikan dalam *Journal of Mechanical Engineering and Technology* menemukan bahwa propeler yang dibuat dari piston bekas dapat menunjukkan efisiensi yang sebanding dengan propeler komersial yang dibuat dari bahan konvensional seperti baja atau paduan aluminium baru. Studi ini juga menunjukkan bahwa pemanfaatan bahan daur ulang, seperti piston bekas, dapat mengurangi biaya produksi propeler hingga 40%, yang tentu saja sangat menguntungkan bagi nelayan skala kecil yang sering terbebani oleh biaya peralatan yang mahal.

Selain efisiensi biaya, penggunaan piston bekas juga menawarkan solusi berkelanjutan yang ramah lingkungan. Dengan mendaur ulang komponen mekanis yang tidak lagi terpakai, inisiatif ini membantu mengurangi limbah industri dan memberikan manfaat ekonomi melalui pengurangan kebutuhan material baru. Penelitian oleh (Pratama et al., 2018) dalam *Materials Science Journal* mendukung gagasan ini dengan menekankan bahwa bahan daur ulang seperti piston bekas memiliki karakteristik kekuatan dan daya tahan yang dapat dioptimalkan melalui proses peleburan dan pengecoran ulang. Mereka menemukan bahwa properti mekanis seperti ketahanan aus dan kekuatan tarik tetap memadai untuk aplikasi propeler perahu, menjadikannya alternatif yang layak untuk bahan-bahan tradisional. Dengan demikian, pendekatan ini bukan hanya memperkaya pilihan teknologi yang tersedia bagi nelayan, tetapi juga mendorong upaya keberlanjutan dalam industri perikanan.

Pemanfaatan material bekas seperti piston tidak hanya mengurangi limbah, tetapi juga menciptakan solusi ekonomis yang dapat meningkatkan produktivitas nelayan dalam jangka panjang.

Setelah piston bekas diolah menjadi bahan dasar propeler, proses lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanis material, seperti kekuatan, ketahanan aus, dan umur pakai propeler. Salah satu metode yang terbukti efektif dalam memperkuat material logam adalah metode shot peening. Shot peening adalah proses mekanis pada permukaan logam yang ditembak dengan partikel bola baja kecil berkecepatan tinggi, menciptakan tegangan sisa kompresif pada permukaan material (Priyambodo & Slamet, 2020). Proses ini memperbaiki ketahanan kelelahan material dan memperkuat lapisan luar logam, membuatnya lebih tahan terhadap retak dan deformasi (Priyambodo *et al.* 2024)

Penelitian yang mempelajari penggunaan shot peening dengan variasi durasi tembak pada propeler berbahan piston bekas telah menunjukkan bahwa durasi tembak berpengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat mekanis. Variasi durasi tembak pada shot peening menghasilkan perbedaan pada tingkat kedalaman tegangan sisa dan kekasaran permukaan. Penelitian (Slamet *et al.*, 2018) menemukan bahwa durasi tembak optimal sekitar 15-20 menit menghasilkan peningkatan kekerasan dan ketahanan korosi. Metode shot peening pada propeler berbahan piston bekas tidak hanya meningkatkan kekuatan tarik, tetapi juga memperbaiki ketahanan aus propeler. Durasi tembak yang lebih lama menghasilkan lapisan permukaan yang lebih keras, tetapi juga dapat menyebabkan peningkatan kekasaran yang berlebihan. Oleh karena itu, variasi durasi tembak harus disesuaikan agar menghasilkan keseimbangan antara kekuatan dan kehalusan permukaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi limbah piston bekas sebagai bahan alternatif propeler perahu nelayan. Metode shot peening diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis dan performa propeler yang dihasilkan. Pendekatan inovatif ini tidak hanya menawarkan cara untuk mendaur ulang limbah industri secara efisien, tetapi juga berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan konsumsi bahan baku dan biaya produksi dalam sektor perikanan. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membuka peluang baru dalam desain propeler perahu nelayan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

2. Metode

2.1. Bahan dan Alat

Limbah piston bekas yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari bengkel otomotif lokal, yang ditunjukkan pada Gambar 1. Piston-piston ini dipilih karena komposisi materialnya umumnya terbuat dari paduan aluminium, yang memiliki karakteristik kuat, ringan, dan tahan korosi. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tungku peleburan, cetakan pasir, spektrometer untuk uji komposisi unsur kimia spesimen, mesin *shot peening*, mesin uji tarik (*tensile test*), serta mikroskop optik untuk analisis struktur mikro permukaan.



Gambar 1. Limbah piston bekas

2.2. *Persiapan Spesimen*

Limbah piston bekas dibersihkan dari kotoran, minyak, dan residu lain dengan larutan pembersih. Setelah dibersihkan, piston dilebur di dalam tungku yang ditunjukkan pada Gambar 2 dengan suhu 860 °C dan dicetak dengan metode *sand casting*. Aluminium hasil cetakan dipotong menjadi ukuran standar sesuai dengan spesifikasi pengujian komposisi kimia, tarik dan struktur mikro. Spesimen yang dipotong kemudian dikategorikan menjadi beberapa kelompok berdasarkan variasi perlakuan durasi *shot peening*, yaitu *non-treatment*, 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit.



Gambar 2. Tungku pelebur piston bekas

2.3. *Pengujian Komposisi Kimia*

Bahan yang diuji dalam penelitian ini adalah limbah piston bekas yang telah dibersihkan dari kotoran, minyak, dan residu lain. Spesimen dipotong menjadi ukuran 20x10x5 mm untuk pengujian komposisi kimia dengan spektrometer. Proses pemotongan dilakukan menggunakan alat pemotong presisi untuk memastikan tidak ada kontaminasi selama proses pemotongan.

2.4. *Shot peening*

Shot peening dilakukan dengan bola baja berdiameter 0,5 mm dan tekanan udara sebesar 8 Bar. Variasi durasi *shot peening* ditentukan untuk setiap spesimen, yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Perlakuan ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan permukaan bahan dengan cara menciptakan tegangan sisa tekan di permukaan spesimen.

2.5. *Pengujian Tarik*

Spesimen diuji menggunakan uji tarik untuk mengukur kekuatan tarik maksimal yang dapat dicapai oleh material setelah diberi perlakuan *shot peening*. Uji ini dilakukan sesuai dengan standar ASTM E8/E8M untuk paduan aluminium. Pengujian dilakukan setiap spesimen untuk mendapatkan hasil yang representatif. Nilai kekuatan tarik dari masing-masing spesimen kemudian dianalisis untuk melihat pengaruh durasi *shot peening* terhadap peningkatan kekuatan tarik spesimen.

2.6. *Analisis Struktur Mikro*

Analisis struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk melihat perubahan struktur pada permukaan material setelah proses *shot peening*. Pengamatan ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan fasa dan distribusi butir kristal yang diakibatkan oleh tegangan sisa kompresif dari perlakuan *shot peening*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Komposisi

Sebelum dilakukan proses *shot peening* pada spesimen, dilakukan uji komposisi guna untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam hasil peleburan material limbah piston. Berikut hasil uji komposisi dapat dilihat pada Tabel 1.

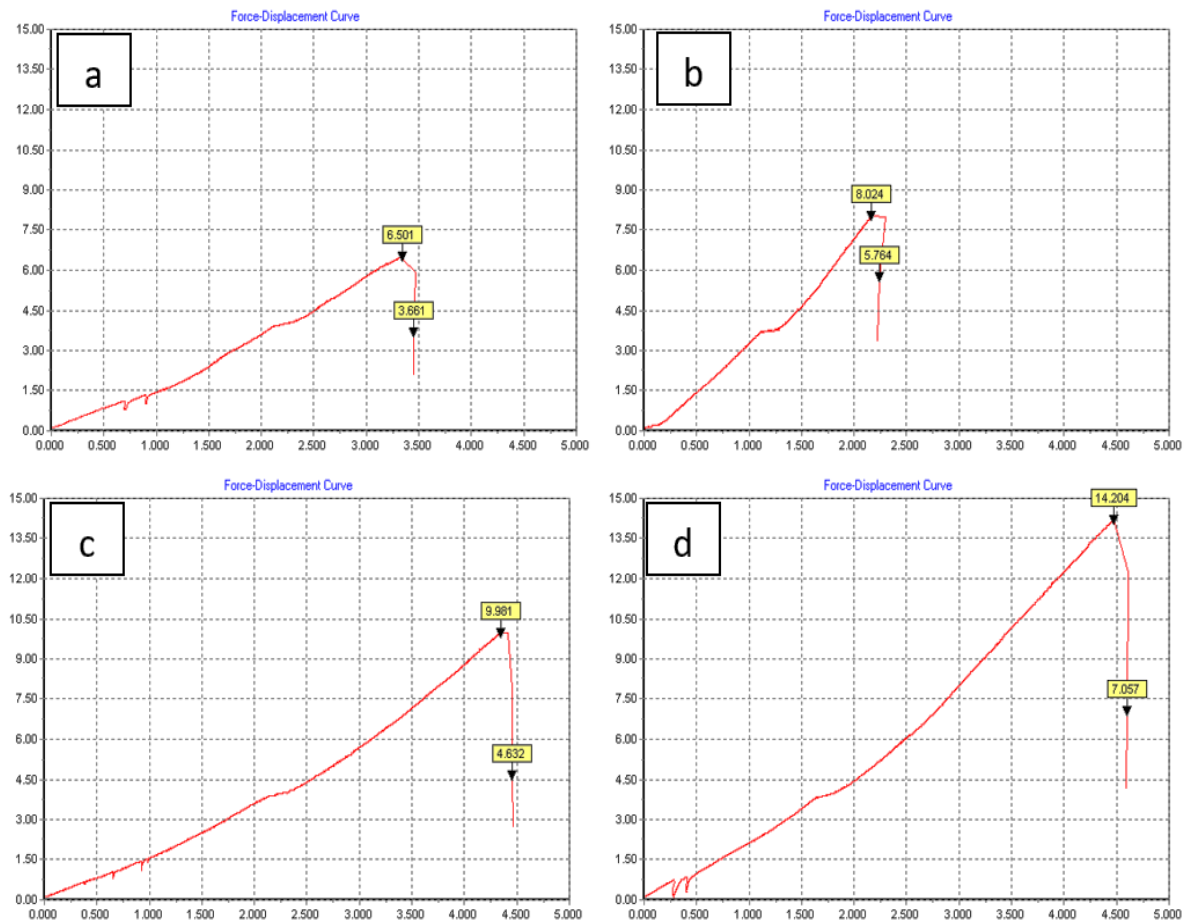
Tabel 1. Komposisi kimia piston daur ulang

No.	Material Penyusun	Pengujian (%)			Kandungan rata-rata (%)
		I	II	III	
1	Si	12,34	12,31	12,61	12,42
2	Fe	0,45	0,405	0,423	0,426
3	Cu	1,41	1,412	1,519	1,447
4	Mn	0,177	0,175	0,177	0,176
5	Mg	0,99	1,029	0,967	0,995
6	Cr	0,03	0,028	0,029	0,029
7	Ni	0,826	0,81	0,819	0,818
8	Zn	0,117	0,113	0,108	0,113
9	Ti	0,036	0,035	0,038	0,036
10	Pb	<0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040
11	Sn	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
12	V	0,11	0,11	0,12	0,011
13	Sr	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
14	Zr	0,011	0,011	0,012	0,011
15	Co	0,0088	0,008	0,0076	0,0082
16	Ca	0,003	0,0027	0,0034	0,003
17	Al	83,58	83,64	83,27	83,49

Dari data pengujian Tabel 1 menunjukkan bahwa 3 unsur terbesar yang terkandung dalam material daur ulang limbah piston sepeda motor tersebut antara lain Aluminium (Al), Silikon (Si), dan tembaga (Cu). Dengan persentase masing-masing adalah: Al 83,49%, Si 12,42%, dan Cu 1,447%. Kandungan silikon rata-rata sebesar 12,42% menunjukkan peran pentingnya dalam peningkatan ketahanan aus dan kekuatan material. Silikon berfungsi meningkatkan kekerasan material dan juga memberikan stabilitas termal yang lebih baik. Kandungan tembaga rata-rata 1,447% berperan dalam meningkatkan kekuatan dan kekerasan material melalui penguatan larutan padat. Tembaga juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi, sehingga menambah daya tahan material terhadap lingkungan kerja.

3.2. Hasil Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian mekanik yang penting untuk menentukan sifat-sifat material, terutama kekuatan dan ketangguhannya saat menerima beban tarik. Pada proses pembuatan atau penggunaan material seperti piston daur ulang, uji tarik diperlukan untuk mengetahui sejauh mana material mampu bertahan saat diberikan gaya tarik sebelum akhirnya mengalami kerusakan atau patah. Hasil uji tarik spesimen *shot peening* dengan variasi durasi tembak disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji tarik spesimen shot peening variasi durasi a) 5 menit, b) 10 menit, c) 15 menit, dan d) 20 menit

Hasil uji tarik yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin lama durasi *shot peening*, semakin besar peningkatan kekuatan tarik material. Nilai tegangan tarik yang dihitung berdasarkan gaya tarik hasil pengujian dalam satuan KN dibagi luas penampang spesimen sebesar 125 mm². Pada spesimen dengan durasi *shot peening* 5 menit, tegangan tarik material tercatat sebesar 64 MPa. Peningkatan durasi *shot peening* menjadi 10 menit menghasilkan tegangan tarik sebesar 52 MPa, pada 15 menit mencapai nilai sebesar 80 Mpa, dan nilai tertinggi tercapai pada 20 menit sebesar 113 Mpa. Peningkatan tegangan tarik ini erat kaitannya dengan perubahan struktur mikro pada permukaan material akibat perlakuan *shot peening*. *Shot peening* bekerja dengan menciptakan tegangan sisa kompresif pada permukaan material melalui tumbukan partikel bola baja kecil berkecepatan tinggi. Tegangan sisa ini mampu meningkatkan ketahanan material terhadap inisiasi dan propagasi retak, yang sering kali menjadi penyebab utama kegagalan material di bawah beban tarik. Proses ini juga memperkuat permukaan dengan menghaluskan butir kristal pada lapisan luar material, yang berkontribusi langsung pada peningkatan kekuatan tarik. Menurut (Li et al., 2019), *shot peening* menyebabkan dekomposisi fasa dan memicu pembentukan struktur mikro yang lebih halus di permukaan, yang secara efektif meningkatkan kekuatan dan ketangguhan material. Selain itu, penelitian lain oleh (Kumar et al., 2020) menunjukkan bahwa peningkatan durasi *shot peening* dapat lebih lanjut meningkatkan densitas dislokasi pada permukaan material. Hal ini berkorelasi dengan peningkatan kekuatan material karena dislokasi berperan sebagai hambatan bagi pergerakan retak di bawah tegangan mekanis. Hasil ini mendukung pengamatan dalam penelitian ini, di mana kekuatan tarik terus meningkat seiring bertambahnya durasi *shot peening*.

Pada durasi 20 menit, kekuatan tarik tertinggi tercapai, yang menunjukkan bahwa material dapat menahan deformasi yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan. Namun, terdapat risiko potensi

deformasi plastis berlebihan pada permukaan material jika durasi *shot peening* terus diperpanjang. Menurut kajian oleh (Wang *et al.*, 2021), durasi *shot peening* yang terlalu lama dapat menyebabkan over-peening, yaitu fenomena di mana material mengalami deformasi berlebihan sehingga mengurangi ketahanan fatik. Over-peening juga dapat menyebabkan kerusakan mikrostruktur di permukaan material, yang justru dapat mengurangi ketangguhan dan menyebabkan retak mikro. Lebih lanjut, (Xu *et al.*, 2021) dalam studi mereka menyatakan bahwa ada batas optimal untuk durasi *shot peening*. Mereka menemukan bahwa *shot peening* yang dilakukan dalam durasi sedang memberikan hasil terbaik dalam hal keseimbangan antara peningkatan kekuatan tarik dan ketangguhan material. Dalam konteks penelitian ini, durasi *shot peening* 20 menit tampaknya mendekati durasi optimal untuk peningkatan kekuatan tarik, tetapi penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan apakah durasi ini tetap mempertahankan sifat-sifat mekanis lainnya, seperti ketahanan fatik dan korosi. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan studi oleh (Zhang *et al.*, 2020), yang menunjukkan bahwa *shot peening* pada paduan aluminium mampu meningkatkan kekuatan tarik hingga 25% dibandingkan spesimen *non-treatment*. Efek peningkatan ini semakin terlihat pada durasi *shot peening* yang lebih lama, karena semakin banyak energi kinetik yang terserap oleh permukaan material, memperbaiki sifat mekanis di lapisan luar yang paling rentan terhadap beban tarik.

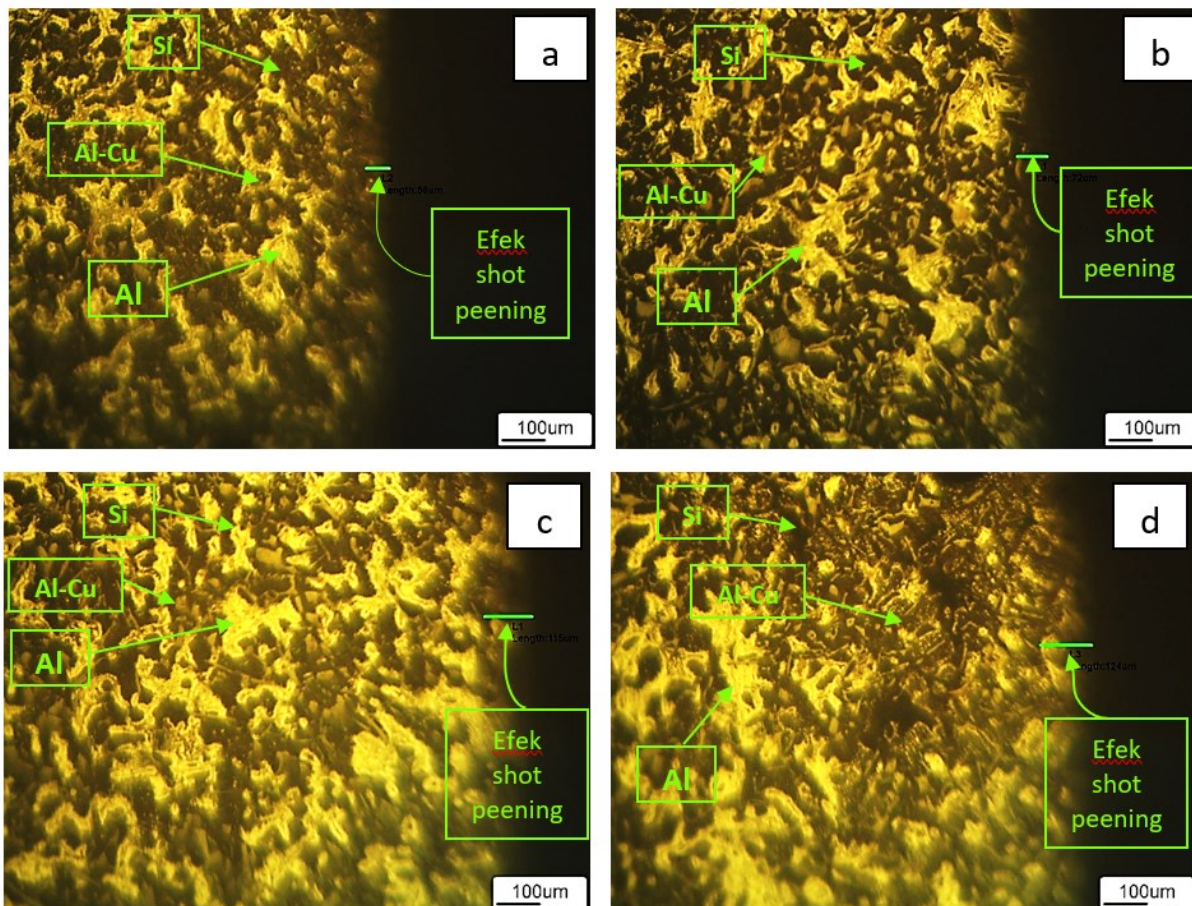
Secara keseluruhan, peningkatan kekuatan tarik signifikan dengan bertambahnya durasi *shot peening*. Hal ini menunjukkan bahwa *shot peening* secara efektif dapat meningkatkan performa material yang terbuat dari limbah piston bekas, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan mekanis tinggi seperti propeler perahu nelayan. Meskipun begitu, perlu dipertimbangkan bahwa durasi yang terlalu panjang mungkin tidak selalu menguntungkan, karena potensi terjadinya degradasi sifat mekanis lainnya, seperti yang diungkapkan oleh (Peng *et al.*, 2020), yang menyebutkan bahwa durasi yang optimal harus dipilih untuk mencegah kerusakan permukaan yang disebabkan oleh over-peening.

3.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro merupakan langkah penting dalam analisis material karena memberikan gambaran mendetail tentang susunan dan perilaku unsur-unsur penyusun material pada skala mikroskopis. Melalui pengamatan ini, dapat diketahui distribusi, bentuk, ukuran, dan jenis fasa yang ada dalam material. Hal ini sangat penting karena sifat-sifat mekanis material, seperti kekuatan tarik, keuletan, dan ketahanan aus, sangat dipengaruhi oleh struktur mikro. Struktur mikro masing-masing spesimen *shot peening* variasi durasi tembak disajikan pada Gambar 4.

Pada spesimen dengan durasi *shot peening* 5 menit, tampak bahwa permukaan material memiliki struktur butiran kristal yang relatif kasar dengan beberapa retak mikro yang mulai terbentuk. Struktur ini mengindikasikan bahwa meskipun *shot peening* telah mempengaruhi permukaan, dampaknya belum cukup signifikan untuk menghasilkan perubahan substansial pada sifat mekanis. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh (Chen *et al.*, 2022), yang menunjukkan bahwa durasi *shot peening* yang singkat hanya memberikan efek minimal pada peningkatan kekuatan tarik dan struktur mikro paduan aluminium. Pada spesimen dengan durasi *shot peening* 10 menit, terdapat peningkatan yang jelas dalam densitas dislokasi dan ukuran butiran kristal yang lebih kecil. Pembentukan tegangan sisa kompresif yang lebih besar selama proses ini mengakibatkan pengecilan ukuran butiran kristal. Fenomena ini merupakan indikasi dari proses penyempitan struktur mikro dan perbaikan integritas permukaan. Hal ini sesuai dengan temuan (Zhang *et al.*, 2023), yang menyatakan bahwa *shot peening* dengan durasi menengah mengoptimalkan struktur mikro dengan meningkatkan homogenitas dan mengurangi cacat permukaan. Pada durasi *shot peening* 15 menit, struktur mikro menunjukkan perbaikan lebih lanjut dengan ukuran butiran kristal yang lebih kecil dan distribusi dislokasi yang lebih merata. Pembentukan tegangan sisa kompresif pada tahap ini sudah cukup optimal, sesuai dengan hasil uji tarik yang menunjukkan peningkatan kekuatan tarik. Liu *et al.*, 2023) mengonfirmasi bahwa durasi *shot peening* 15 menit memberikan keseimbangan optimal antara peningkatan kekuatan tarik dan perbaikan struktur mikro, dengan tampilan struktur yang lebih halus dan homogen. Pada durasi *shot*

peening 20 menit, struktur mikro menunjukkan hasil yang paling baik dengan kekuatan tarik tertinggi. Ukuran butiran kristal tetap sangat kecil dan distribusi dislokasi tinggi (Margono *et al.*, 2023). Peningkatan kekuatan tarik menunjukkan bahwa tegangan sisa kompresif yang dihasilkan cukup signifikan. Penelitian oleh (Yang *et al.*, 2023) mendukung temuan ini, mencatat bahwa pada durasi *shot peening* yang lebih lama, meskipun ada risiko over-peening, manfaat peningkatan kekuatan tarik masih dapat dicapai jika dilakukan dengan hati-hati. Secara keseluruhan, pengamatan struktur mikro mendukung hasil uji tarik yang menunjukkan bahwa durasi *shot peening* 20 menit memberikan kekuatan tarik tertinggi, dengan struktur mikro yang halus. Namun, penting untuk memantau dan menghindari efek potensial dari deformasi plastis berlebihan pada durasi ini.



Gambar 4. Struktur mikro spesimen shot peening variasi durasi a) 5 menit, b) 10 menit, c) 15 menit, dan d) 20 menit

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa limbah piston yang diperlakukan dengan metode shot peening memiliki potensi sebagai bahan alternatif propeler perahu nelayan. Perlakuan shot peening mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan material melalui peningkatan kekuatan tarik serta perubahan pada struktur mikro material. Shot peening dengan tekanan 8 Bar dan durasi 20 menit dapat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 43% atau 113 MPa dibandingkan dengan spesimen non-treatment. Hasil ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut dengan variasi durasi dan parameter shot peening. Secara keseluruhan, penggunaan limbah piston daur ulang ini memberikan solusi inovatif dan berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan bahan material propeler, sekaligus mengurangi dampak lingkungan akibat limbah otomotif. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan teknologi material alternatif di sektor maritim, khususnya bagi nelayan tradisional.

Daftar Pustaka

- Chen, H., Liu, X., Wang, Y., & Zhang, S. (2022). *Effect of Short Duration Shot peening on Mechanical Properties and Microstructure of Aluminum Alloys*. Materials Science and Engineering A, 815, 141306.
- Kumar, R., Singh, V., & Kalsi, N. S. (2020). *Influence of Shot peening Duration on Surface Integrity and Mechanical Properties of Aluminum Alloys*. International Journal of Surface Engineering and Materials Technology, 10(2), 98-105.
- Li, J., Liu, S., Zhang, X., Wang, Y. (2019). *Effect of Shot peening on the Microstructure and Mechanical Properties of High-Strength Steel*. Journal of Materials Science & Technology, 35(7), 1189-1197.
- Liu, X., Zhao, Y., & Feng, P. (2023). *Influence of Shot peening Duration on Tensile Strength and Microstructure of Alloy Materials*. Journal of Mechanical Engineering Research, 47(2), 152-165.
- Margono, M., Pasmawati, Y., Atmoko, N. T., Yaqin, R. I., Priyambodo, B. H. (2023). *Perbaikan Kekerasan dan Struktur Mikro Logam Kuningan sebagai Bahan Propeller dengan Metode Shot peening*. JTT (Jurnal Teknologi Terapan) 9 (2), 120-127.
- Mina T., Manuel, V., Carlos, G. S., (2022). Towards Fuel Consumption Reduction Based on the Optimum Contra-Rotating Propeller. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11):1657.
- Mohammad, A. J., & Abi, P. (2024). Interaction Analysis Hull And Propeller And Improvement Of Efficiency Propeller On Fishing Vessels. *International Journal Of Marine Engineering And Applications*, Vol. 1 No. 1.
- Peng, Q., Zhou, X., Liu, J. (2020). *Analysis of Over-Peening Effects on Fatigue Performance of Aluminum Alloys*. International Journal of Fatigue, 141, 105884.
- Pratama, H. (2018). *Mechanical Properties of Recycled Piston Materials for Marine Propellers*. Materials Science Journal, 12(2), 89-95.
- Priyambodo, B. H. & Slamet, S. (2020). *Increased Corrosion Resistance On Cu35% Zn Surface By Shot peening Process*. Journal Of Physics: Conference Series 1430 (1), 012055.
- Priyambodo, B. H., Margono, M., Atmoko, N. T., Suhartoyo, Yaqin, R. I. (2024). *Improvement Of Hardness And Micro Structure Of Cu-Zn As A Propeller Material By Shot peening Method*. AIP Conference Proceedings 2952 (1).
- Setiawan, D. (2016). *Recycling Piston Scrap for Efficient Boat Propeller Production: A Cost-Effective Solution for Small-Scale Fisheries*. Journal of Mechanical Engineering and Technology, 5(3), 140-149.
- Slamet, S., Priyambodo, B. H., Suhartoyo, Yaqin, R. I. (2018). *Pengaruh Durasi Waktu Shot peening Pada Permukaan Logam Kuningan Terhadap Ketahanan Korosi*. Snatif 5 (1)
- Wang, H., Li, G., Zhao, X. (2021). *Effect of Shot peening Parameters on The Mechanical Properties and Microstructure of Aluminum Alloy*. Journal of Materials Processing Technology, 293, 117085.
- Xu, W., Zhang, Q., Li, F. (2021). *Optimal Shot peening Parameters for Improving Fatigue Life and Mechanical Properties of Aluminum Alloys*. Surface and Coatings Technology, 413, 127102.
- Zhang, W., Li, J., & Huang, Q. (2023). *Optimizing Shot peening Duration for Improved Surface Integrity and Microstructure Refinement*. Journal of Surface Engineering and Materials, 29(4), 450-462.
- Zhang, Y., Li, X., Wang, J., Li, Y. (2020). *Influence of Shot peening on The Mechanical Properties and Surface Integrity of Aluminum Alloys*. Materials Science and Engineering A, 781, 139263.

