

## Gabungan Quenching-Variasi Tekanan Shot peening Terhadap Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Permukaan Baja S45C

Bambang Hari Priyambodo<sup>1\*</sup>, Margono<sup>2</sup>, Rizqi Ilmal Yaqin<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah

<sup>3</sup>Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai, Jalan Wan Amir No. 1 Pangkalan Sesai, Dumai Barat, Kota Dumai, Prov. Riau

\*Penulis korespondensi: [bambanghp@sttw.ac.id](mailto:bambanghp@sttw.ac.id)

Histori artikel: diserahkan 16 Agustus 2022, direviu 25 September 2022, direvisi 30 September 2022

### ABSTRACT

*The combination of Quenching and Shot peening (SP) heat treatment is rarely carried out, especially the use of this treatment can improve the mechanical properties of medium carbon steel (S45C). This study aims to analyze the microstructure and hardness of S45C steel with the combined effect of Quenching heat treatment with shot peening with variations in compressor air pressure. Commercial S45C steel is quenched with a heating temperature of 910oC and held for 15 minutes. In comparison, the SP process is carried out after the quenching process with variations in air pressure, namely 4, 5, 6, and 7 bar. Analysis of the combined results of Quenching and SP processes using hardness and microstructure. The investigation analysis results obtained specimens with the highest surface hardness in the quenching and SP treatment of 899.44 HV. The impact of SP on the surface up to a distance of 120 m from the surface. The highest hardness was in the Quenching and SP treatment with a pressure of 7 bar. The results of this study are used as parameter contributions in the area of surface treatment and heat treatment of carbon steel to be developed in the automotive industry.*

**Keywords:** *Quenching, microstructure, S45C, surface hardness*

**DOI :** <https://10.18196/jqt.v4i1.16170>

**WEB :** <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/16170>

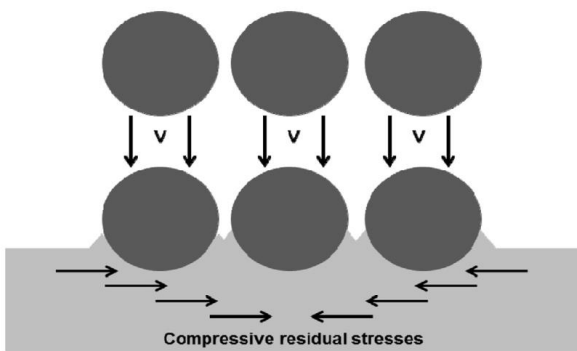
### PENDAHULUAN

Perlakuan panas merupakan proses memberikan sifat atau properti tertentu yang diinginkan pada logam yang berhubungan dengan pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan masih padat (Ahaneku *et al.*, 2013). Logam yang diberikan perlakuan panas akan mengalami transformasi fase, perubahan mikrostruktur dan kristalografi (Sreeja *et al.*, 2016). Perlakuan panas pada baja bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan luluh, kekuatan tarik, keuletan dan ketahanan impak. Perlakuan panas pada baja perlu adanya pengontrolan pada proses pemanasan dan pendinginan (Adeleke *et al.*, 2019). Proses perlakuan panas dengan proses pendinginan banyak digunakan untuk aplikasi di dunia otomotif, perkapalan dan struktur. Salah satu proses perlakuan panas pada proses pendinginan yang digunakan yaitu *Quenching*. *Quenching* adalah proses perlakuan panas dalam meningkatkan sifat baja karbon dengan dipanaskan ke suhu tertentu

dalam keadaan padat serta didinginkan dengan dicelupkan ke media pendingin seperti air, oli dan media pendingin lainnya (Agboola *et al.*, 2020). Namun, Perlakuan panas *Quenching* masih dapat menyebabkan kerugian pada logam seperti kegetasan dan penurunan sifat *fatigue*-nya. Sehingga perlu ditingkatkan lagi dengan penambahan perlakuan permukaan pada logam.

*Shot peening* (SP) merupakan perlakuan permukaan bahan yang tergolong murah. Mekanisme SP yaitu menembakkan bola keramik atau logam berbentuk bulat dan kecil (antara 0,3 sampai dengan 1,6 mm) dengan didorong tekanan udara. Dampak SP menghasilkan deformasi plastis pada permukaan dan sub permukaan, sehingga menimbulkan tegangan sisa hasil SP di permukaan. Mekanisme bola SP yang berdampak tanganan sisa ditunjukkan pada Gambar 1. Perlakuan permukaan ini merupakan modifikasi sifat mekanis permukaan bahan secara signifikan (Llaneza & Belzunce, 2015). SP banyak diaplikasikan pada dunia industri otomotif dan industri penerbangan (Jebahi *et al.*,

2016; Miao *et al.*, 2010), sebagai contohnya digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis bahan yaitu kekerasan karena perubahan struktur logam pada permukaan dan sub permukaan (Maleki *et al.*, 2021). Skematik dari proses tembakan bola-bola SP ditunjukkan pada Gambar 1. Sebagai akibatnya, perlu mengontrol parameter *shot peening*, terutama parameter tekanan pada tembakan serta lama tembakan (Liu *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 1993), sesuai sifat mekanik dan permukaan bahan yang diperlakukan sehingga mendapatkan kombinasi terbaik dari dampak dari SP. Tekanan tembakan mempengaruhi dari energi almen pada perlakuan SP. Walaupun SP merupakan teknologi yang relatif sudah tua, namun sampai saat ini, perusahaan belum dapat memanfaatkan secara optimal. Alasan belum optimalnya adalah kompleksitas proses yang tinggi karena parameter yang harus dikontrol secara bersamaan sehingga menciptakan keseimbangan yang optimal terhadap dampak SP.



GAMBAR 1. Ilustrasi skematik pada proses *shot peening*

Peningkatan sifat mekanik pada suatu logam dapat menggunakan dua metode yaitu perlakuan panas dan perlakuan permukaan. Salah satu penggunaan perlakuan panas dalam meningkatkan sifat mekanik logam yaitu Quenching. Penelitian Ikubanni (P. P. Ikubanni *et al.*, 2017) menghasilkan bahwa Quenching pada proses perlakuan panas pada baja karbon sedang dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Peningkatan sifat mekanik yang dapat ditingkatkan antara lain kekerasan, kekuatan Tarik dan bending. Peningkatan sifat mekanis disebabkan adanya perubahan mikrostruktur pada logam Quenching (Adeleke *et al.*, 2019; Ahaneku *et al.*, 2013; Atmoko *et al.*, 2021; A. A. Ikubanni *et al.*, 2018). Selain itu Salman (Salman *et al.*, 2018) melaporkan bahwa media air pada proses quenching dapat meningkatkan sifat mekanik AISI 1030 seperti kekuatan Tarik, Kekerasan Bahan dan perubahan ukuran fase dengan mikrostruktur. Selain itu proses Quenching dengan media yang

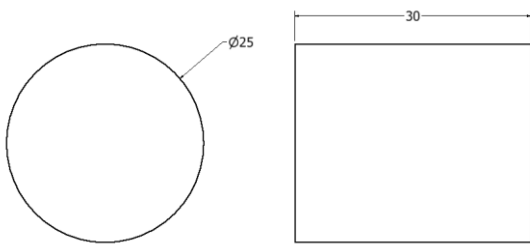
berbeda suhunya juga mempengaruhi sifat mekanisnya (Atmoko *et al.*, 2021; Margono *et al.*, 2021). Namun, perlunya proses penguatan logam untuk meningkatkan hasil dari proses quenching. Salah satunya yaitu dengan proses shot peening. Penelitian Iswanto (Iswanto *et al.*, 2017, 2020) menyatakan bahwa adanya pengaruh shot peening pada sifat permukaan dan kekerasan permukaan pada baja tahan karat. Semakin lama durasi shot peening maka akan semakin tinggi kekerasannya. Hal ini dibuktikan juga dengan distribusi kekerasan yang berbeda pada setiap permukaannya pengaruh dari perlakuan shot peening (Prihandoko *et al.*, 2016; Yaqin *et al.*, 2021). Disisi lain, dampak perubahan sifat mekanis logam dapat dipengaruhi dengan parameter control shot peening seperti tekanan, durasi, ukuran bola baja dan intensitas almennya (Iswanto *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2020; Wibowo & Hartono, 2019; Yaqin *et al.*, 2017). Salah satu yang harus diperhatikan yaitu parameter perubahan tekanan udara dalam proses. Hal ini dikarenakan dapat mempengaruhi energi tumbukan dari SP yang berdampak pada struktur mikro (Priyambodo *et al.*, 2020). Disisi lain, gabungan antara proses perlakuan panas dan SP dapat meningkatkan kekuatan sifat mekanik logam (Kubit *et al.*, 2016; Li & Liu, 2018; Zhang *et al.*, 2016). Baja karbon yang diberikan perlakuan panas (annealing) kemudian diberikan perlakuan shot peening dengan variasi tekanan dapat memperbaiki sifat mekanisnya (Priyambodo *et al.*, 2021). Beberapa penelitian tersebut belum banyak mengkaji perubahan sifat mekanik dari Quenching yang meningkatkan kekerasan dan penambahan perlakuan shot peening yang dapat memperbaiki pada permukaan.

Penelitian tentang quenching pada baja karbon telah dilakukan serta penelitian shot peening telah banyak dilakukan, namun gabungan dari keduanya masih belum dikaji lagi untuk mengetahui pengaruhnya. Selain itu, parameter shot peening seperti tekanan perlu lagi dikaji untuk mengetahui pengaruh pada baja karbon. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini yaitu investigasi pengaruh tekanan udara pada penembakan shot peening pada baja karbon (S45C) yang dilakukan perlakuan quenching. Penelitian ini dilakukan untuk berkontribusi pada area penelitian shot peening yang berkembang dengan gabungan perlakuan quenching. Sehingga dapat menjadi pengetahuan tentang perlakuan tersebut pada sifat mekanis baja karbon.

## METODE

### Bahan

Penelitian ini menggunakan sample baja karbon sedang komersil S45C yang biasa digunakan untuk komponen otomotif. Gambar 2 menunjukkan sampel dengan bentuk rolling bar dengan diameter 25mm yang memiliki komposisi kimia sesuai pada Tabel 1. Proses preparasi spesimen dilakukan dengan pemotongan menggunakan gerinda dengan ukuran diameter 25 mm dan tinggi 30 mm sesuai Gambar 2. Kemudian spesimen dilakukan permesinan untuk merapikan dan diratakan menggunakan kikir. Setelah rata, spesimen dihaluskan dengan menggunakan kertas amplas dengan grit #100 hingga #5000 secara berurutan. Proses amplas dilakukan untuk menghilangkan sisa-sisa kotoran yang tidak terkikis sehingga dapat memaksimalkan proses perlakuan panas dan *shot peening*. Spesimen yang tidak diberikan perlakuan (NT) dipersiapkan dan dibersihkan dari kotoran.



GAMBAR 2. Spesimen uji perlakuan Quenching dan shot peening

### Perlakuan Quenching

Spesimen S45C dibersihkan dari kotoran yang menempel sebelum diberikan perlakuan panas Quenching (QC). Perlakuan panas Quenching dipanaskan pada suhu austenisasi pada 900°C serta di tahan pada tungku selama 15 menit. Kemudian dilakukan pendinginan dengan oli hingga suhu kamar. Spesimen yang telah dilakukan Quenching kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel sehingga tidak mengganggu dari perlakuan selanjutnya.

### Perlakuan Shot peening

Proses shot peening (SP) dilakukan pada spesimen hanya pada satu sisi. Perlakuan dilakukan setelah dilakukan proses perlakuan panas Quenching. Perlakuan SP menggunakan bola baja no S-230 dengan ukuran 0,5 hingga 0,85 mm dengan kekerasan 40-66 HRC. Proses SP dilakukan pada jarak 100 mm antara torch guns-shot dengan

permukaan sisi pada spesimen. Lama proses SP dilakukan pada kurun waktu 20 menit. Pemilihan parameter tersebut merupakan parameter yang optimum berdasarkan penelitian sebelumnya (Azar et al., 2010; Priyambodo et al., 2021). Variasi tekanan udara kompresor yang digunakan antara lain 4 (QC+SP4), 5 (QC+SP5), 6 (QC+SP6) dan 7 (QC+SP7) bar. Setelah dilakukan perlakuan SP maka spesimen dibersihkan dengan alkohol dan di bersihkan dan dikeringkan di udara ruang sehingga kotoran sisa perlakuan SP hilang. Jumlah specimen yang digunakan yaitu sebanyak 6 spesimen.

### Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan micro hardness Vickers (Time, HVS-1000Z). Pengujian kekerasan sampel dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E384 dengan pembebanan 9,8 N dengan waktu tahan 10 detik. Data yang diambil yaitu kekerasan permukaan hasil perlakuan Tanpa Perlakuan, Quenching, Quenching-Shot peening dan kekerasan melintang pengaruh dari SP. Data kekerasan permukaan dilakukan dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Preparasi pengujian kekerasan permukaan cukup dapat menggunakan alkohol untuk membersihkan bagian permukaan. Preparasi kekerasan melintang dilakukan dengan memotong melintang area yang terkena dampak dari SP. Jarak pengukuran antara permukaan yaitu 10  $\mu\text{m}$ . Pengukuran selanjutnya diberikan jarak 10  $\mu\text{m}$  hingga pada jarak 200  $\mu\text{m}$ . Pengujian melintang dilakukan untuk mengetahui pengaruh SP pada setiap sub permukaannya.

### Mikrostruktur

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui dari perubahan struktur mikro hasil perlakuan panas dan pengaruh SP terhadap sub permukaan dari spesimen. Pengujian struktur mikro menggunakan Optical Micoscope (Euromex IM.2153-PLM) dengan perbesaran 200x dan 500x. Preparasi pengujian struktur mikro perlakuan Quenching dengan cara membersihkan dan menghaluskan permukaan uji dengan memberikan autosol hingga tanpa adanya goresan. Sedangkan permukaan melintang pengaruh SP, diberikan resin untuk membantu meratakan bagian yang melintang. Proses etsa dilakukan sesuai dengan standar ASTM E407-93 dengan lauratan nital. Komposisi larutan natal yang digunakan yaitu 1:20 antara alkohol dan  $\text{HNO}_3$ . Proses etsa dilakukan dengan mencelupkan sisi atas didalam larutan etsa selama 5 detik dan dibersihkan dengan air bersih serta dikeringkan di udara.

TABEL 1. Komposisi kimia pada sampel S45C

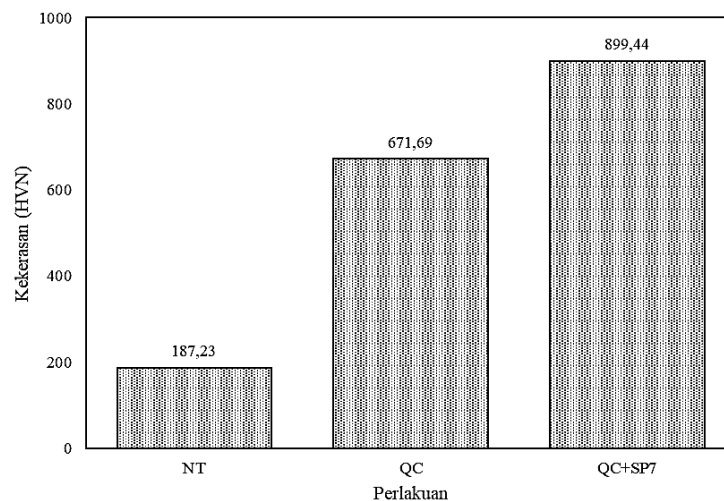
Unsur	C	Mn	Si	S	Cr	Ni	Fe
wt%	0,39-0,50	0,55-0,70	0,15-0,35	0,004	0,34	0,02	Balance

## HASIL DAN PEMBAHASAN

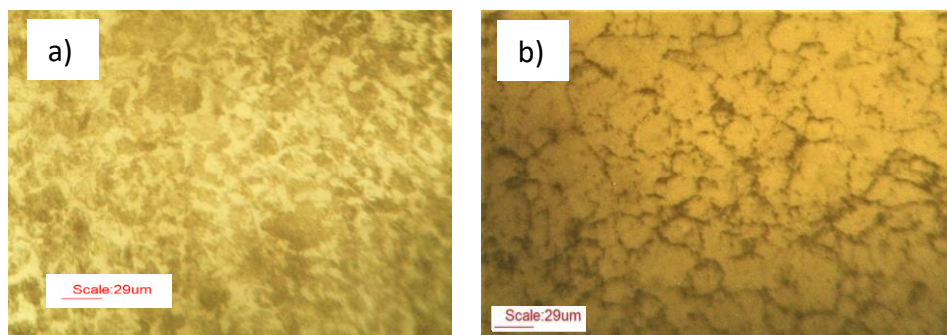
### Kekerasan Permukaan

Hasil pengujian kekerasan permukaan pada spesimen S45C menggunakan metode Hardness Vickers. Hasil pengujian kekerasan permukaan pada spesimen dengan variasi perlakuan ditunjukkan pada Gambar 3. Spesimen tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan permukaan 187,23 HV, sedangkan perlakuan quenching sebesar 671,69 HV dan perlakuan gabungan quenching dan SP sebesar 899,4 HV. Perbaikan perlakuan dengan cara penggabungan perlakuan quenching dan SP pada spesimen dapat meningkatkan kekerasan permukaan. Kekerasan permukaan meningkat dikarenakan pada proses quenching termasuk proses pengerasan dengan perubahan fasa. Hasil identifikasi bahwa kekerasan naik dikarenakan terbentuknya fase martensite pada

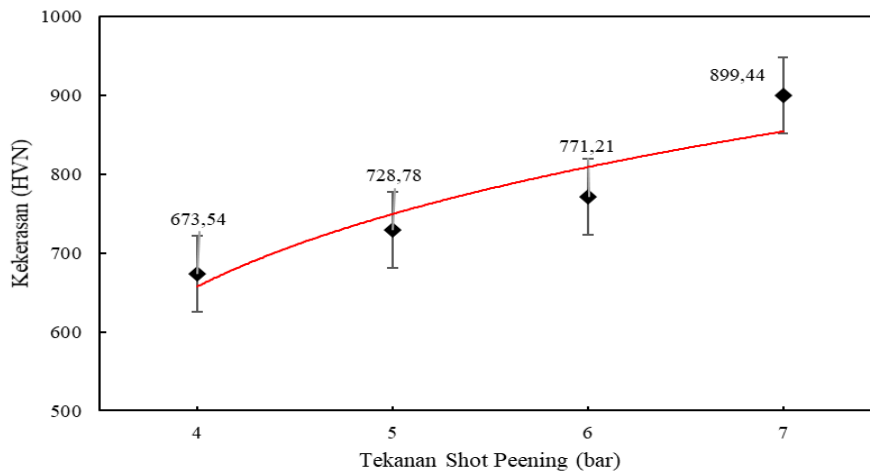
spesimen dengan perlakuan quenching (Nishibata & Kojima, 2013). Spesimen tanpa perlakuan S45C memiliki fasa berupa ferrite, setelah dilakukan proses pemanasan di suhu austenisasi maka fasa berubah menjadi austenite. Kemudian dilakukan proses pendinginan secara cepat sehingga akan terjadi perubahan fasa menjadi martensite (Arlingga et al., 2021). Fasa martensite terbentuk karena fasa tersebut merupakan fasa metastabil. Secara utuh, perbedaan fasa pada spesimen tanpa perlakuan dengan spesimen dengan perlakuan ditunjukkan pada Gambar 4. Spesimen yang memiliki kekerasan permukaan terbesar merupakan spesimen dengan gabungan perlakuan quenching dan SP. Fasa martensite yang sudah memiliki kekerasan yang besar di perkecil ukuran butiran tersebut sehingga ukuran butiran akan semakin kecil dan halus. Dampak dari semakin halus ukuran butiran membuat kekerasan permukaan yang terkena dampak SP akan semakin naik (Liu et al., 2017).



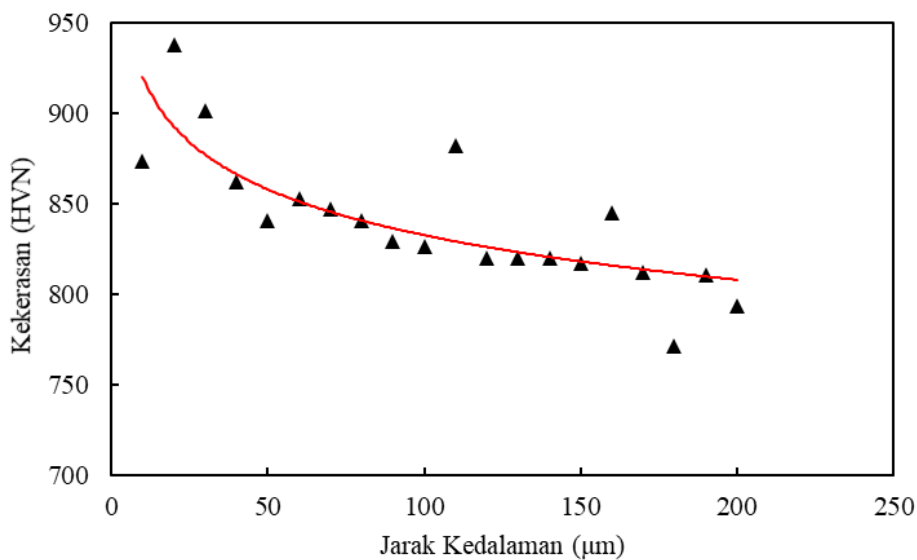
GAMBAR 3. Kekerasan permukaan pada berbagai perlakuan pada spesimen



GAMBAR 4. Struktur mikro pada spesimen a) tanpa perlakuan dan b) perlakuan quenching



GAMBAR 5. Kekerasan permukaan pada sisi dampak SP dengan perbedaan tekanan udara



GAMBAR 6. Distribusi kekerasan setelah perlakuan SP

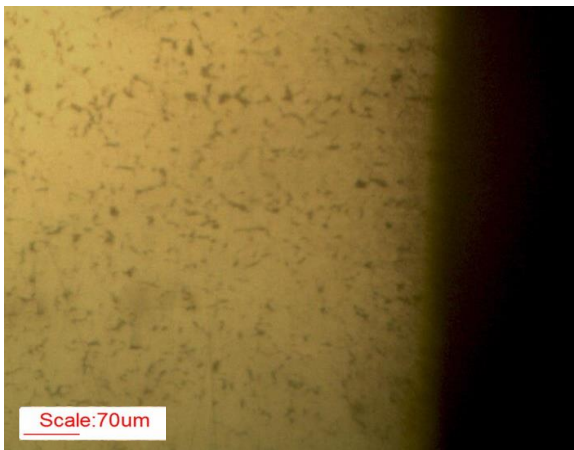
Gambar 5 menunjukkan kekerasan mikro Vickers pada permukaan dampak dari shot peening dengan tekanan udara tembak yang berbeda. Berdasarkan gambar dapat dilihat kekerasan permukaan sampel meningkat secara signifikan dengan kenaikan tekanan udara SP. Ketika tekanan tembakan 4 bar, 5 bar, 6 bar dan 7 bar memiliki kekerasan mikro di permukaan secara berturut-turut yaitu 673,54 HV, 728,78 HV, 771,21 HV dan 899,44 HV. Jika dibandingkan dengan perlakuan quenching, hasil kekerasan meningkat secara berturut-turut sebesar 0,28%; 8,50%; 14,82% dan 33,91%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan udara SP maka semakin tinggi pula kekerasan permukaan spesimen. Hal ini disebabkan oleh deformasi plastis permukaan yang disebabkan oleh shot peening. Sehingga menghasilkan kehalusan butiran permukaan yang pada akhirnya

lapisan pengerasan kerja terbentuk (Majzooobi & Abbasi, 2017; Qu et al., 2021).

*Efek Pengaruh Shot Peening*

Kekerasan sampel setelah perlakuan SP dari permukaan hingga sub permukaan 200µm ditunjukkan pada Gambar 5. Perbedaan kekerasan permukaan yang di bahas sebelumnya memberikan perbedaan yang signifikan. Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan kekerasan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari permukaan. Pada permukaan dan 20 µm permukaan spesimen memiliki kekerasan cenderung tinggi hingga 900 HVN. Sedangkan pada jarak antara 120 µm dari permukaan memiliki kecenderungan sama nilai kekerasannya. Kecenderungan nilai kekerasan yang sama pada sub permukaan yang dalam sama dengan penelitian sebelumnya (Wu et al., 2021, 2022). Dampak dari SP pada spesimen yang telah

diberikan perlakuan quenching memiliki kedalaman pengaruh pada 120  $\mu\text{m}$  dari permukaan. Namun, setelah kedalaman tersebut ( $>120 \mu\text{m}$ ) pengerasan cenderung tidak memiliki terjadi lagi atau memiliki kekerasan yang konstan (Azar et al., 2010). Pengaruh kekerasan memiliki hubungan yang erat dengan gambar struktur mikro secara melintang. Gambar 7 menunjukkan bahwa adanya kerapatan butiran spesimen S45C setelah diberi perlakuan SP. Gambar struktur mikro secara melintang menjelaskan kehalusan butir terjadi di permukaan hingga di seub permukaan sekitar 120  $\mu\text{m}$ . Kehalusan butir menyebabkan kerapatan dislokasi pada lapisan luar yang muncul dikarenakan perlakuan SP sehingga menimbulkan kekerasan permukaan (Ahmed et al., 2015)



GAMBAR 7. Metallography spesimen S45C pengaruh SP

## KESIMPULAN

Gabungan perlakuan quenching dan SP diterapkan pada baja karbon sedang S45C dengan variasi tekanan udara SP setelah perlakuan quenching. Perlakuan ini mempengaruhi hasil dari perubahan kekerasan permukaan yang di konfirmasi dampak SP dengan kekerasan dan struktur mikro melintang pada spesimen. Spesimen yang memiliki kekerasan permukaan tertinggi pada perlakuan quenching dan SP. Dampak dari SP pada permukaan hingga pada jarak 120  $\mu\text{m}$  dari permukaan. Temuan pada penelitian dan hasil eksperimen ini menjadi publikasi dan informasi tentang gabungan perlakuan panas quenching dan SP yang dapat di aplikasikan di dunia industri otomotif. Berdasarkan temuan yang didapat perlunya pengembangan tentang pengujian kelelahan dan pengujian aplikatif lainnya untuk memperkuat temuan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., Orhadahwe, T. A., Aweda, J. O., Odusote, J. K., & Agboola, O. O. 2019. Microstructural assessment of AISI 1021 steel under rapid cyclic heat treatment process. *Results in Engineering*, 4, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100044>
- Agboola, O. O., Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adediran, A. A., Adesina, O. S., Aliyu, S. J., & Olabamiji, T. S. 2020. Optimization of heat treatment parameters of medium carbon steel quenched in different media using Taguchi method and grey relational analysis. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04444>
- Ahaneku, I. E., Kamal, A. R., & Ogunjirin, O. A. 2013. Effects of Heat Treatment on the Properties of Mild Steel Using Different Quenchants. *Frontiers in Science*, 2(6), 153–158. <https://doi.org/10.5923/j.fs.20120206.04>
- Ahmed, A. A., Mhaede, M., Basha, M., Wollmann, M., & Wagner, L. 2015. The effect of *shot peening* parameters and hydroxyapatite coating on surface properties and corrosion behavior of medical grade AISI 316L stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 280, 347–358. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.09.026>
- Arlingga, A. S., Somawardi, & Sugianto. 2021. Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan Baja S45C Pada Proses Hardening-Tempering. *SJoME*, 3(1), 31–38.
- Atmoko, N. T., Margono, & Priyambodo, B. H. 2021. Analisa Jenis Fluida Pendingin Proses *Quenching* pada Besi Cor Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro. *Rotasi*, 23(3), 26–30.
- Azar, V., Hashemi, B., Yazdi, R., & Mahboobeh. 2010. The effect of *shot peening* on fatigue and corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution. *Surface and Coatings Technology*, 204(21–22), 3546–3551. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.04.015>
- Ikubanni, A. A., Adediran, P. P., Agboola, A. A., Olabamiji, O. O., Ogunsola, T. S., & Ibeawuchi, O. J. 2018. Tensile Strength and Micro-Structural Behaviour of Medium Carbon Steel Quenched in Some Selected Media. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(10), 2148–2156.
- Ikubanni, P. P., Adediran, A. A., Adeleke, A. A., Ajao, K. R., & Agboola, O. O. 2017. Mechanical properties improvement evaluation of medium carbon steels quenched in different media. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 32, 1–10.

- <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JER.A.32.1>
- Iswanto, P. T., Malau, V., Priyambodo, B. H., Wibowo, T. N., & Amin, N. 2017. Effect of shot-peening on hardness and pitting corrosion rate on load-bearing implant material AISI 304. *Materials Science Forum*, 901 MSF, 91–96. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.901.91>
- 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.
- Jebahi, M., Gakwaya, A., Lévesque, J., Mechri, O., & Ba, K. 2016. Robust methodology to simulate real *shot peening* process using discrete-continuum coupling method. *International Journal of Mechanical Sciences*, 107, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2016.01.005>
- Kubit, A., Bucior, M., Zielecki, W., & Stachowicz, F. 2016. The impact of heat treatment and *shot peening* on the fatigue strength of 51CrV4 steel. *Procedia Structural Integrity*, 2, 3330–3336. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.415>
- Lin, Q., Liu, H., Zhu, C., Chen, D., & Zhou, S. 2020. Effects of different *shot peening* parameters on residual stress, surface roughness and cell size. *Surface and Coatings Technology*, 398. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126054>
- Liu, Y. G., Li, H. M., & Li, M. Q. 2020. Roles for shot dimension, air pressure and duration in the fabrication of nanocrystalline surface layer in TC17 alloy via high energy *shot peening*. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.019>
- Liu, Y. G., Li, M. Q., & Liu, H. J. 2017. Nanostructure and surface roughness in the processed surface layer of Ti-6Al-4V via *shot peening*. *Materials Characterization*, 123, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2016.11.020>
- Li, W., & Liu, B. 2018. Experimental investigation on the effect of *shot peening* on contact fatigue strength for carburized and quenched gears. *International Journal of Fatigue*, 106, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.09.015>
- 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>
- Majzoubi, 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. <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.
- Miao, H. Y., Demers, D., Larose, S., Perron, C., & Lévesque, M. 2010. Experimental study of *shot peening* and stress peen forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(15), 2089–2102. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.016>
- Nishibata, T., & Kojima, N. 2013. Effect of *quenching* rate on hardness and microstructure of hot-stamped steel. *Journal of Alloys and Compounds*, 577(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.12.154>
- Prihandoko, P., Saputra, Y. R., Sriani, T., Sunardi, & Prihandana, G. S. 2016. Effect of Time Variation on *Shot peening* Process to the Surface Properties of SS-316L Osteosynthesis Plate. *Applied Mechanics and Materials*, 842, 430–434. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AM.M.842.430>
- Priyambodo, B. H., 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>
- Priyambodo, B. H., Yaqin, R. I., & Nugroho, K. C. 2021. Pengaruh Perlakuan Annealing dan Shoot Peening Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon JIS S45C. *Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 138–144.
- Qu, S., Duan, C., Hu, X., Jia, S., & Li, X. 2021. Effect of *shot peening* on microstructure and contact fatigue crack growth mechanism of shaft steel. *Materials Chemistry and Physics*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.12.5116>
- Salman, K. D., Bassam, A. A., & Frhan, I. N. 2018. Effect of *Quenching* Media on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel 1030. *Engineering Sciences*, 26(2), 214–222.

- Sreeja, V., Dinesh, P., & Patil, S. B. 2016. Study of Mechanical Properties of Steel Quenched in a Blend of Biodegradable Oils with Quench Accelerators. *IJLTEMAS*, 5(5), 20–24. [www.ijltemas.in](http://www.ijltemas.in)
- Wibowo, T. N., & Hartono, W. 2019. Pengaruh Variasi Waktu *Shot peening* pada Material ST 37 Terhadap Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Effect of *Shot peening* Time Variation on ST Material 37 Against Surface Hardness and Micro Structure *Shot peening* Proses *shot peening* pada penelitian i. Prosiding Seminar Nasional Unimus 2, 431–437.
- Wu, J., Wei, P., Liu, H., Zhang, B., & Tao, G. 2021. Effect of *shot peening* intensity on surface integrity of 18CrNiMo7-6 steel. *Surface and Coatings Technology*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127194>
- Wu, J., Wei, P., Liu, H., Zhang, X., He, Z., & Deng, G. 2022. Evaluation of pre-*shot peening* on improvement of carburizing heat treatment of AISI 9310 gear steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2784–2796. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.163>
- Xiao, Z. M., Fok, W. C., & Lwin, D. T. 1993. Effects of air-blast pressure and exposure time on the shot-peening process. In *Journal of Materials Processing Technology* (Vol. 39).
- Yaqin, R. I., Iswanto, P. T., & Maliwemu, E. U. K. 2021. *Shot peening* effect on surface properties and pitting corrosion resistance of biomedical structural steel aisi 316l. *Metallurgija*, 60(4), 249–252.
- 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., Li, W., Wang, H., Song, Q., Lu, L., Wang, W., & Liu, Z. 2016. A comparison of the effects of traditional *shot peening* and micro-*shot peening* on the scuffing resistance of carburized and quenched gear steel. *Wear*, 368–369, 253–257. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.09.029>