

## PENGARUH PERLAKUAN ANNEALING DAN SHOOT PEENING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA KARBON JIS S45C

Bambang Hari Priyambodo<sup>1</sup>, Rizqi Ilmal Yaqin<sup>2</sup>, Margono<sup>1</sup>, Kacuk Cikal Nugroho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

Email: <sup>1</sup>bambang.hari.priyambodo@gmail.com

### Abstrak

Dunia industri saat ini berkembang pesat. Kebutuhan JIS S45C sebagai baja struktural semakin meningkat yang digunakan untuk pembuatan komponen mesin. Upaya untuk meningkatkan sifat mekanik baja dapat menggunakan perlakuan panas dan perlakuan permukaan. Salah satu perlakuan permukaan yang sering digunakan dalam dunia industri adalah shot peening. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan annealing dan shot peening pada baja S45C. Pengaruh perlakuan ditunjukkan dengan perubahan hasil pengujian kekerasan baik melintang serta kekerasan permukaan dan struktur mikro hasil perlakuan. Hasilnya adalah adanya perubahan dari nilai kekerasan dan perubahan struktur mikro pada JIS S45C dari pengaruh perlakuan *annealing* dan *shot peening*. Kekerasan tertinggi pada perlakuan panas *annealing* dan perlakuan 15 menit *shot peening* sebesar 251,88 kgf/mm<sup>2</sup>. Perlakuan shot peening menyebabkan butiran menjadi lebih halus dari permukaan ke bawah permukaan tergantung pada jarak dari permukaan ke kedalaman permukaan. Perubahan tersebut menyebabkan permukaan dan sub permukaan baja karbon JIS S45C mengalami kenaikan sifat mekanik.

**Kata Kunci:** *Annealing, Shot Peening, Kekerasan, Struktur Mikro*

### Abstract

*The industrial world is currently growing rapidly. The need for JIS S45C as a structural steel is increasing which is used to manufacture machine components. Efforts to improve the mechanical properties of steel can use heat treatment and surface treatment. One of the surface treatments that is often used in the industrial world is shot peening. This study aims to determine the effect of annealing and shot peening treatment on S45C steel. The effect of treatment is indicated by changes in the results of both transverse and surface hardness tests and the microstructure of the treatment results. The result is a change in the value of hardness and microstructure changes in JIS S45C from the effect of annealing and shot peening treatments. The highest hardness in the annealing heat treatment and the 15 minute shot peening treatment was 252.08 kgf/mm<sup>2</sup>. The shot peening treatment causes the grains to become finer from the surface to the subsurface depending on the distance from the surface to the surface depth. These changes cause the surface and subsurface of JIS S45C carbon steel to increase in mechanical properties.*

**Keywords:** *Annealing, Shot Peening, Hardness, Microstructure*

## I. PENDAHULUAN

Dunia Industri pada jaman sekarang memiliki perkembangan yang pesat. Kebutuhan bahan logam juga meningkat dengan kebutuhan produksi terutama di dunia manufaktur. Salah satu kebutuhan logam yang dibutuhkan di industri manufaktur adalah logam baja karbon. Peranan baja karbon dalam dunia industri sangat penting dalam pembuatan komponen mesin yang memerlukan sifat keuletan dan kekerasan yang tinggi. Sifat mekanis tersebut sangat dipengaruhi oleh bentuk dari struktur mikro yang dimiliki baja karbon tersebut. Pengaruh bentuk struktur mikro sendiri di pengaruhi oleh jumlah kandungan karbon yang dimiliki. Dilihat dari jumlah kadar karbon, baja karbon dibagi menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi (Hidayat et al., 2016). Baja karbon sedang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan pembuatan komponen mesin. Hal tersebut dikarenakan baja karbon sedang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan baja karbon yang lain, diantaranya memiliki kekuatan yang cukup besar dalam menahan beban tarik, kekerasan yang tinggi (Purnomo et al., 2019), mudah dibentuk dan harganya relatif murah dibandingkan dengan baja karbon lainnya.

JIS S45C atau biasanya disebut dengan baja struktural merupakan baja karbon sedang yang banyak digunakan di dunia industri sebagai alat-alat perkakas, poros engkol, roda gigi dan komponen mesin lainnya (Handoyo, 2015). Hal tersebut dikarenakan memiliki kandungan kadar karbon 0,51% sehingga baja karbon JIS S45C memiliki sifat mekanik yang baik namun untuk sifat ketahanan kegagalan pembebanan siklik (*fatigue*) masih kurang (Ktari et al., 2011). Kegagalan pembebanan siklik terjadi pada permukaan suatu komponen (Sakamoto et al., 2015). Sehingga perbaikan sifat kekerasan pada permukaan bahan merupakan tindakan untuk meningkatkan sifat kegagalan karena pembebanan siklik pada baja karbon JIS S45C. upaya dalam meningkatkan sifat mekanik dari baja karbon tersebut diperlukan perlakuan secara panas dan mekanik.

Heat Treatment atau perlakuan panas pada dunia industri adalah salah satu proses yang cukup berpengaruh untuk menentukan sifat fisis maupun sifat mekanis dari sebuah bahan terutama baja karbon. Salah satu proses perlakuan panas yang sering digunakan yaitu annealing. Annealing merupakan proses perlakuan panas yang melunakkan bahan yang menghasilkan perlit kasar dengan cara pemanasan sampai suhu austenisasi dan mendinginkan belahan-lahan dalam furnace

(Trihutomo, 2014). Perlakuan annealing pada baja karbon menunjukkan adanya kenaikan sifat mekanik dibandingkan dengan raw material nya (Sari, 2016). Perlakuan annealing pada baja karbon sedang menunjukkan penurunan kekerasan dan perubahan sifat mekanik yang lebih baik dari pada perlakuan quenching dan normalizing (Sari, 2016). Sedangkan dengan jenis baja karbon yang berbeda annealing tetap dapat menurunkan kekerasannya (Hasanah & Rahman, 2020). Pengaruh kenaikan suhu dan waktu tahan annealing meningkatkan nilai kekerasan baja karbon (Istiqbaliah & Rhoiman, 2017). Annealing juga dapat menaikkan sifat mekanik (ketangguhan) lainnya walaupun dapat menurun kekerasan dikarenakan perubahan struktur mikro pada bahan tersebut (Iywani & Prayitno, 2018). Sehingga untuk memperbaiki kekerasan permukaan diperlukan perlakuannya lainnya.

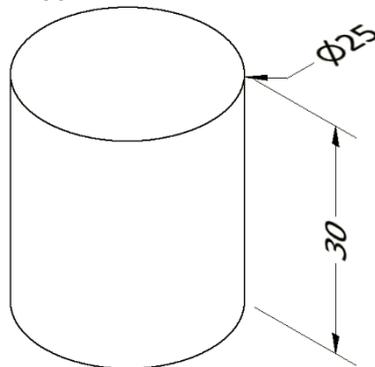
Metode penguatan pada bahan juga dapat dilakukan dengan metode perlakuan permukaan. Shot peening merupakan perlakuan permukaan pada suatu bahan dengan menggunakan bola-bola kecil baja yang di tembakan dengan kecepatan tinggi yang terkontrol ke permukaan bahan sehingga menghasilkan deformasi plastis dan menyebabkan dampak residual stress pada bahan (Benedetti et al., 2015). Perlakuan permukaan shot peening memberikan pengaruh sifat mekanik dan fisis pada bahan yaitu meningkatkan kekerasan dan merapatkan butiran di permukaan (Priyambodo et al., 2018; Slamet et al., 2018; Wibowo & Hartono, 2019). Beberapa variasi parameter shot peening telah dilakukan salah satunya yaitu Kenaikan nilai intensitas almen shot peening pada permukaan logam dapat menaikkan kekerasan permukaannya (Sambodo & Setianingrum, 2015). Selain itu pengaruh durasi shot peening juga dapat meningkatkan kekerasan di permukaan logam (Azar et al., 2010). Pengaruh ukuran butiran keramik shot peening yang ditembakkan dapat meningkatkan kekerasan permukaan bahan (Ahmed et al., 2015). Jarak tembak shot peening yang semakin dekat memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari pada jarak tembak yang jauh (Iswanto et al., 2018). Beberapa penelitian dengan parameter shot peening dapat memperbaiki kekerasan permukaan dari bahan.

Berdasarkan diatas perlakuan terhadap baja karbon sedang JIS S45C perlu dilakukan dengan perlakuan panas dan shot peening untuk meningkatkan kelemahannya. Baja karbon yang dilakukan hanya perlakuan panas akan dapat menurunkan kekerasan sehingga ketahanan bahan terhadap kegagalan masih relatif tinggi. Selain itu, kelemahan baja karbon JIS S45C salah satunya yaitu

kekerasan permukaan yang masih lebih kecil dari pada baja paduan lainnya, sehingga perlu ditingkatkan dengan menggunakan perlakuan shoot peening. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa pengaruh dari perlakuan panas annealing dan shot peening dengan variasi durasi waktu penembakan terhadap kekerasan dan struktur mikro dari baja JIS S45C.

## II. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja karbon JIS S45SC dengan komposisi kimia (Wt%) seperti yang ditunjukkan di Tabel 1. Komposisi kimia spesimen sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan penelitian sebelumnya (Rifai et al., 2016). Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan pemotongan dengan gerinda potong dan dilanjutkan proses permesinan untuk merapihnya sehingga baja karbon siap dilakukan perlakuan dengan dimensi diameter 25mm dan ketebalan 30 mm sesuai Gambar 1. spesimen yang sudah jadi diratakan menggunakan kikir.



Gambar 1. Spesimen uji pada perlakuan *annealing* dan *shot peening*

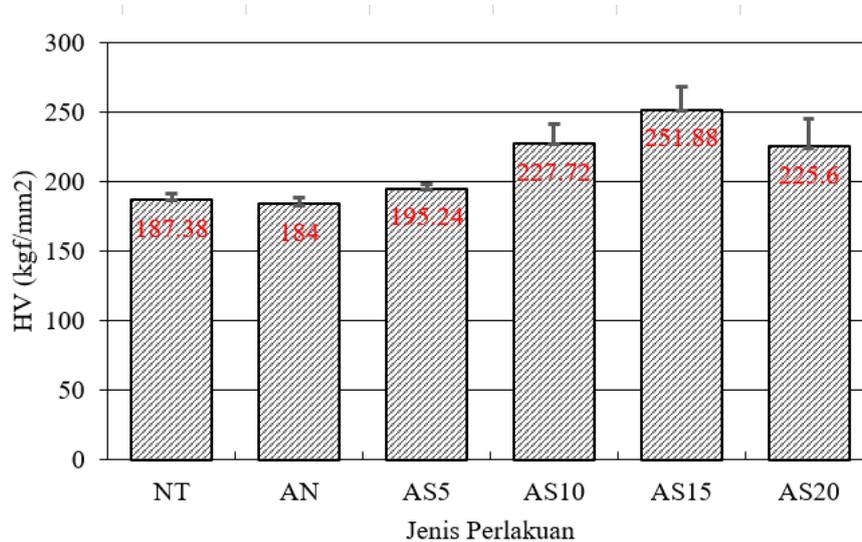
Tabel 1. Komposisi kimia pada baja karbon JIS S45C

C	Mn	S	Si
0,42-0,50	0,50-0,80	0,035 maks	0,17-0,37
Ni	Cr	P	
0,25 maks	0,25 maks	0,035 maks	

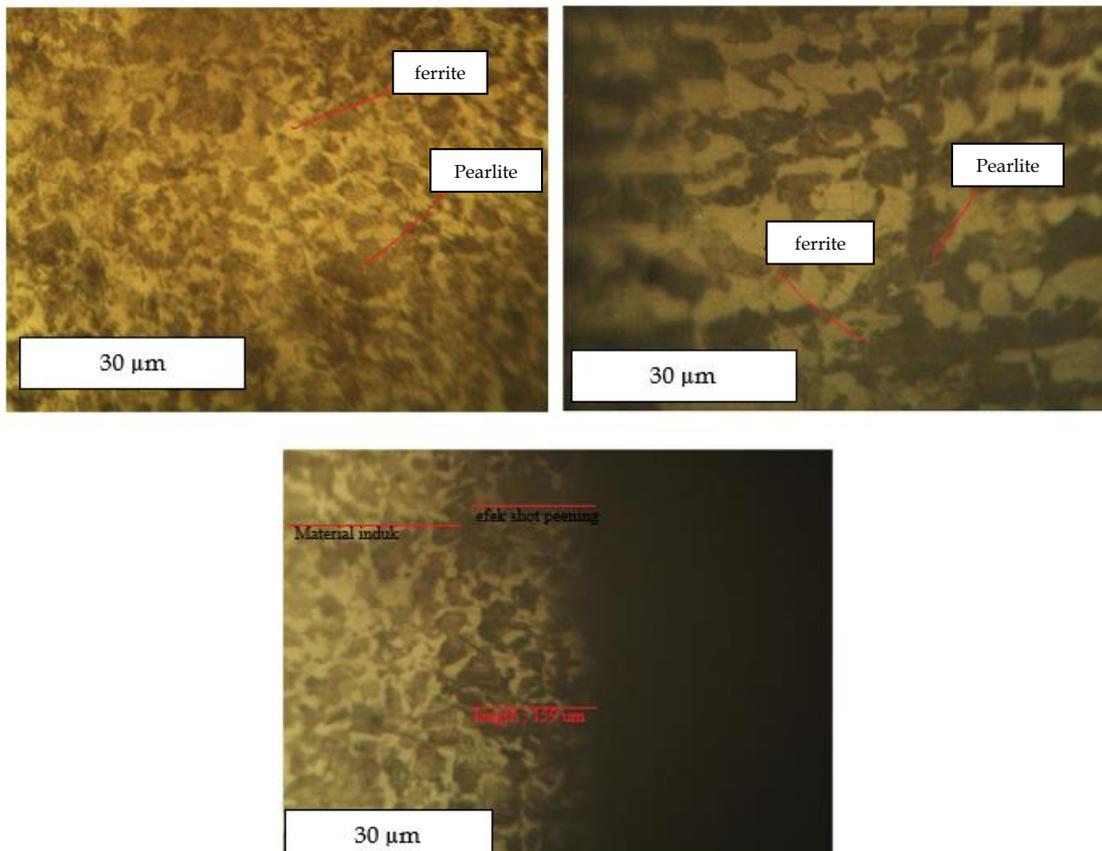
Sebelum dilakukan proses perlakuan spesimen S45C dihaluskan dengan menggunakan kertas amplas grade #100, #240, #360, #500, #800, #1000, #2000 dan #5000 secara bergantian. Proses amplas dilakukan untuk menghilangkan kotoran yang ada di permukaan spesimen. Spesimen sebelum dilakukan perlakuan panas annealing spesimen di poles lagi dan di bersihkan secara udara terbuka. Tungku furnace di atur hingga ke suhu 900°C dengan di tahan pada suhu tersebut selama 15 menit. Pendinginan pada tungku pemanas secara annealing dengan waktu sekitar 24 jam. Setelah itu spesimen diambil dari tungku pemanas. Proses perlakuan shot

peening dilakukan dengan tekanan 7 bar dan jarak antara torch gun-shot peening dengan permukaan 100 mm. Pemilihan parameter tersebut merupakan jarak yang optimum yang pernah di uji coba. Sedangkan jenis butiran shot peening yaitu bola baja S230 dengan ukuran diameter bola baja 0,85 mm yang digunakan. Proses perlakuan shot peening dilakukan dengan variasi waktu sekitar 5, 10, 15 dan 20 menit. Spesimen yang telah di lakukan perlakuan dibersihkan dengan alkohol dan di bersihkan secara udara ruang sehingga kotoran karena perlakuan akan hilang. Jumlah spesimen yang digunakan yaitu 18 spesimen dengan setiap perlakuan memiliki 3 spesimen untuk digunakan proses pengujian. Kode yang digunakan pada setiap perlakuan yaitu untuk bahan non treatment (NT), annealing (AN), perlakuan annealing dengan shot peening durasi 5 menit (AS5), durasi 10 menit (AS10), durasi 15 menit (AS15) dan durasi 20 menit (AS20).

Pengujian kekerasan menggunakan micro hardness Vickers. Pengujian kekerasan permukaan dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E384 dengan pembebanan 1000 grf. 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. Preparasi spesimen dilakukan dengan memberikan resin kering. Pengujian kekerasan melintang dilakukan dari permukaan yang terkena shot peening dengan berjarak dari permukaan sebesar 10 $\mu$ m. Selanjutnya pengukuran dilakukan setiap 10 $\mu$ m berikutnya hingga jarak 200  $\mu$ m. 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 dan tanpa adanya goresan. Proses etsa dilakukan dengan standar ASTM E407-93 dengan larutan Nital. Komposisi larutan etsa nital yang digunakan yaitu campuran alkohol 20ml dan HNO<sub>3</sub> 1 ml. Proses etsa dilakukan selama 5 detik, kemudian dibilas dengan air bersih dan dikeringkan di udara terbuka. Spesimen struktur mikro diamati dengan menggunakan mikroskop yang digabungkan dengan komputer dengan perbesaran yang sudah ditentukan.



Gambar 3. Kekerasan permukaan pada setiap perlakuan

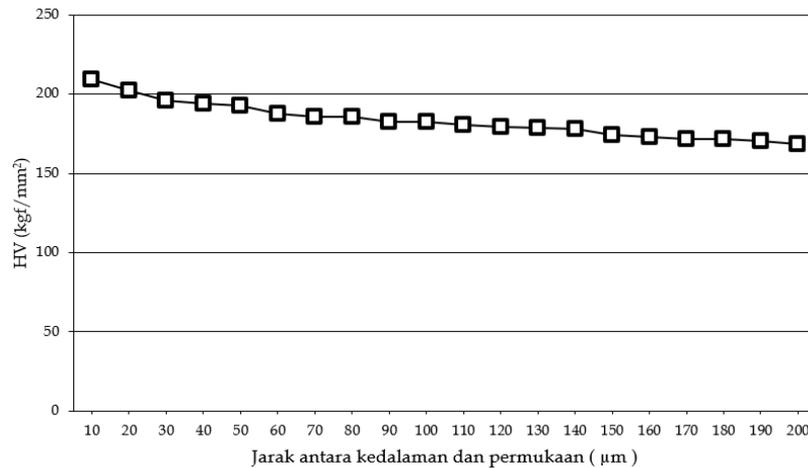


Gambar 2. Struktur mikro hasil a) tanpa perlakuan, b) *annealing* dan c) *shot peening*

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekerasan permukaan pada baja karbon JIS S45C menggunakan metode hardness Vickers dengan jenis perlakuan tanpa perlakuan (NT), perlakuan annealing (AN), dan perlakuan annealing dengan perlakuan shot peening dengan variasi waktu 5, 10, 15 dan 20 menit. Hasil dari pengujian kekerasan di tunjukkan pada Gambar 2.

Hasil dari pengujian kekerasan didapatkan pada spesimen NT 187,83 kgf/mm<sup>2</sup>, AN 184 kgf/mm<sup>2</sup>, AS5 195,24 kgf/mm<sup>2</sup>, AS10 227,72 kgf/mm<sup>2</sup>, AS15 251,88 kgf/mm<sup>2</sup> dan AS20 225,6 kgf/mm<sup>2</sup>. Kekerasan permukaan menurun setelah dilakukan perlakuan annealing. Selanjutnya kekerasan permukaan akan naik setelah dilakukan perlakuan shot peening. Penurunan nilai kekerasan pada annealing dikarenakan bahwa adanya proses



Gambar 4 . Kekerasan melintang hasil perlakuan *shot peening*

rekristalisasi yang diikuti dengan perubahan struktur baja. Proses rekristalisasi sendiri akan mengubah sifat struktur kisi yang terdeformasi digantikan oleh kisi baru tanpa regangan dengan melalui proses nukleasi atau pertumbuhan. Butiran yang ada pada inti akan membentuk di matriks yang telah ter deformasi. Besar kecilnya laju pertumbuhan tersebut tergantung dengan laju pendinginan perlakuan panas yang dilakukan. Proses perlakuan panas annealing menjadikan kekerasan sedikit menurun (Trihutomo, 2014). Proses rekristalisasi pada proses perlakuan panas annealing menjadikan perubahan fasa yaitu ferrite dan pearlite yang ditunjukkan Gambar 4a dan 4b. Bentuk fasa ferrite dan pearlite tersebut terbentuk secara merata dan seragam diseluruh spesimen. Selain itu perubahan ukuran butiran pada fasa setelah perlakuan annealing menyebabkan butiran akan lebih kasar dan akan membuat baja akan menjadi lebih lunak (Rohman et al., 2014).

Hasil dari pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Vickers pada perlakuan annealing dan shot peening pada variasi waktu 5, 10, 15 dan 20 menit ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil dari pengujian kekerasan permukaan adanya perubahan nilai kekerasannya setiap penambahan waktunya. Nilai kekerasan tertinggi pada durasi shot peening yaitu pada waktu 15 menit yaitu 251,88 kgf/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan tersebut menunjukkan bahwa ada peningkatan kekerasan sebesar 33% dari kekerasan annealing saja. Kenaikan kekerasan pada baja karbon S45C dikarenakan tingginya densitas dislokasi pada struktur mikro pada daerah sub layer dari permukaan hasil shot peening (Iswanto et al., 2020; R. I. Yaqin et al., 2021). Dislokasi struktur pada permukaan hasil shot peening sendiri diakibatkan adanya tumbukan bola baja. Bola baja dari hasil proses shot peening menjadikan dislokasi plastis

yang memberikan bertambahnya dislokasi di permukaan. Semakin banyaknya dislokasi yang terbentuk mengakibatkan terjadinya pembentukan interaksi antar dislokasi lainnya yang terdekat. Interaksi dislokasi tersebut yang menjadikan kerapatan dislokasi semakin tinggi. Kerapatan tertinggi dari dislokasi tersebut berada di batas butir dari bahan tersebut. Fenomena tersebut menjadikan butiran di bagian permukaan dan daerah yang mendekati permukaan akan semakin halus dan saling menghambat dislokasi (Priyambodo et al., 2019; Rizqi Ilmal Yaqin et al., 2017). Butiran yang berada di permukaan dan sub-permukaan yang halus kare shot peening ditunjukkan pada Gambar 4c. Fenomena tersebut menimbulkan pengaruh dari pengerasan regangan atau strain hardening pada bahan dengan perlakuan shot peening.

Pengaruh perlakuan shot peening mempengaruhi dari permukaan hingga ke dalam sub permukaan. Fenomena ini ditunjukkan oleh adanya pengujian kekerasan melintang yang ditunjukkan Gambar 3. Pengaruh residual stress dikarenakan adanya tumbukan dari bola baja shot peening pada permukaan bahan (Sakamoto et al., 2015). Semakin lama tumbukan pada bola baja shot peening maka semakin dalam juga semakin dalam. Tegangan sisa yang akan bekerja pada permukaan hingga ke sub permukaan akan semakin rendah seiring dengan jauhnya jarak dari permukaan tumbukan (Harada & Yakura, 2010).

#### IV. PENUTUP

##### Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan adanya pengaruh nilai kekerasan dan perubahan struktur mikro pada JIS S45C dari pengaruh perlakuan annealing dan

shot peening. Kekerasan tertinggi berada pada waktu shot peening 15 menit sebesar 251,88 kgf/mm<sup>2</sup>. Perlakuan shot peening menyebabkan butiran akan semakin halus dari permukaan menuju ke sub permukaan tergantung dari jarak permukaan ke kedalaman permukaan.

### Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu adanya penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat mekanis lainnya dari bahan S45C hasil perlakuan panas *annealing* dan *shot peening*. Sehingga kajian ini akan lebih dapat memantapkan dan menjadikan informasi bagi dunia industri dalam menentukan bahan guna pembuatan komponen.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih di tunjukkan kepada laboratorium di STT Warga Surakarta dalam pengambilan data dan seluruh pihak yang terkait yang tidak bisa di sebutkan satu persatu oleh penulis.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- 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>
- Benedetti, M., Fontanari, V., Winiarski, B., Withers, P. J., Allahkarami, M., & Hanan, J. C. (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>
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma "45" Bekasi*, 3(2), 97782.
- Harada, Y., & Yakura, R. (2010). Effect of shot peening on surface characteristics of carbon steel with different heat treatments. *AIP Conference Proceedings*, 1315, 745–750.  
<https://doi.org/10.1063/1.3552538>
- Hasanah, N., & Rahman, R. A. (2020). Analisa Pengaruh Jenis Perlakuan Panas Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Aisi 1050. *Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA) 2020*, 93–96.
- Hidayat, T., Hartono, P., & Sujatmiko. (2016). Analisa Pengaruh Suhu Pada Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis (Kekerasan) Baja S45C Pada Proses Hardening. *Jurnal Sains Dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 6(2), 31–35.
- Istiqbaliah, H., & Rhozman, F. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur Annealing Terhadap Kekerasan Sambungan Baja St 37. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(4), 10.  
<https://doi.org/10.22441/jtm.v5i4.1217>
- Iswanto, P. T., Akhyar, H., & Faqihudin, A. (2018). Effect of shot peening on microstructure, hardness, and corrosion resistance of AISI 316L. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 89(1), 19–26.  
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.6668>
- 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.
- Iywani, A. D., & Prayitno, D. (2018). Pengaruh Annealing Terhadap Nilai Ketangguhan Baja S45C Yang Telah Di-Hardening Dengan Media Pendingin Air. *Seminar Nasional Cendekiawan Ke*, 4(0), 487–490.
- Ktari, A., Haddar, N., & Ayedi, H. F. (2011). Fatigue fracture expertise of train engine crankshafts. *Engineering Failure Analysis*, 18(3), 1085–1093.  
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.02.007>
- 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. (2019). Studi Pengaruh Shot Peening Pada Permukaan Cu35zn Terhadap Ketahanan Korosi. *Prosiding SNATIF Ke-6*, 96–101.
- Purnomo, D. J., Jokosisworo, S., & Budiarto, U. (2019). Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(1), 49–58.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/22886>
- Rifai, D., Abdalla, A. N., Khamsah, N., Aizat, M.,

- & Fadzli, M. (2016). Subsurface defects evaluation using eddy current testing. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(9). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i9/88724>
- Rohman, H. F., Umardani, Y., Hardjuno, A. T., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2014). Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(3), 195–203.
- 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>
- Sambodo, W. A., & Setianingrum, E. (2015). Pengaruh Perlakuan Shot Peening Dan Electroplating Ni-Cr Pada Aisi 304 Terhadap Laju Korosi Dalam Larutan Synthetic Body Fluid ( Sbf ). *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2015, November*, 1–5.
- Sari, N. H. (2016). Perlakuan Panas pada Baja Karbon: Efek Media Pendingin Terhadap Sifat MEkanik dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(4), 263–267.
- 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.
- Trihutomo, P. (2014). Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Malang*, 22(1), 81–88.
- 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.
- 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. *Metalurgija*, 60(4), 249–252.
- Yaqin, Rizqi Ilmal, 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>