

Optimasi Parameter Gravitasi *Shot Peening* Terhadap Kekasaran, Kekerasan dan Struktur Mikro ST 45 dengan Metode Taguchi

Trio Nur Wibowo¹, Hartono², Bambang Sugiantoro^{3*}

^{1,3}Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo

²Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo

^{1,2,3}Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo, Jln. Semangir No. 1 Purwokerto, 53132, Indonesia

E-mail: trionw@gmail.com¹, hartono.fahmi@gmail.com², biotech.machining@gmail.com³

Info Naskah:

Naskah masuk: 16 Desember 2020

Direvisi: 12 Maret 2021

Diterima: 18 Maret 2021

Abstrak

Shot peening merupakan metode perlakuan permukaan pada suhu rendah dengan menembakan bola-bola baja yang diatur tekanan dan kecepatannya secara kontinyu sampai dihasilkan deformasi plastis. Parameter optimal proses shot peening diujikan dengan sebaran taguchi. Faktor dan level yang digunakan adalah waktu proses, jarak tembak dan tekanan udara yang digunakan pada proses *shot peening*. Pengamatan dilakukan dengan melihat perubahan kekasaran permukaan, reduksi ketebalan, tingkat kekerasan, keausan dan perubahan mikrostruktur material baja ST 45. Berdasarkan percobaan, factor paling berpengaruh terhadap nilai kekerasan permukaan adalah tekanan dengan kontribusi 43,42%. Kekerasan terbesar 240,39 HVN didapat pada waktu 10 menit, jarak 10 cm dan tekanan 9 kg/cm². Hasil pengujian keausan permukaan dengan nilai terkecil 0,00039 mm³/kg.m didapat pada waktu 5 menit, jarak 10 cm dan tekanan 7 kg/cm². Hasil uji struktur mikro menunjukkan perubahan ukuran butir struktur mikro material menjadi lebih pipih dan kecil, metode gravitasi *shot peening* meningkatkan sifat mekanis material ST 45.

Keywords:

shot peening;
st 45;
wear;
hardness;
microstructure.

Abstract

Shot peening is a surface treatment method at low temperature by shooting steel balls that are continuously adjusted for pressure and speed until plastic deformation is produced. The optimal parameter of the shot peening process was tested with the taguchi distribution. The factors and levels used are processing time, shooting distance and air pressure used in the shot peening process. Observations were made by looking at changes in surface roughness, thickness reduction, hardness levels, wear and changes in the microstructure of ST 45 steel material. The greatest hardness of 240.39 HVN was obtained at 10 minutes, a distance of 10 cm and a pressure of 9 kg / cm². The results of the surface wear test with the smallest value of 0.00039 mm³ / kg.m were obtained at 5 minutes, a distance of 10 cm and a pressure of 7 kg / cm². The results of the microstructure test showed that the change in the grain size of the microstructure of the material became flatter and smaller, the gravity shot peening method improved the mechanical properties of the ST 45 material.

***Penulis korespondensi:**

Bambang Sugiantoro

E-mail: biotech.machining@gmail.com

1. Pendahuluan

Material ST 45 banyak digunakan pada keperluan industri seperti pada industri mesin seperti roda gigi, poros, dan sebagainya. Penggunaan material ST 45 menjadi pilihan dan diminati konsumen karena materialnya yang mudah didapat, harga murah, kuat dan kaku pada konstruksi. Selain kelebihan yang dimiliki ST 45 juga memiliki kekurangan adalah tidak tahan terhadap serangan goresan atau aus dan karat sehingga tidak cocok digunakan pada lingkungan yang korosif kecuali diberi perlakuan perlindungan. Salah satu metode untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik suatu material salah satunya *steel ball peening*. Metode *steel ball peening* dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, dan korosi serta ketahanan leleh suatu material. Penerapan shot peening (*steel ball peening*) dilakukan untuk menghasilkan tegangan sisa di permukaan material dengan memberi tekanan pada permukaan sehingga terjadi perubahan fisis lapisan permukaan, dan perubahan bentuk kristal [1]. Perubahan struktur setelah *shot peening* fasa austenit berubah menjadi martensite. [2]. Parameter yang diaplikasikan efektif meningkatkan kekerasan permukaan [3].

Parameter proses *shot peening* dengan variasi seperti jarak, waktu proses, tekanan, jarak penembakan, bola baja, sudut penembakan dan faktor lainnya menunjukkan pengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik [3], meningkatkan ketahanan terhadap keausan [4], dan kekerasan meningkat signifikan, [5].

Berdasarkan penggunaan faktor yang optimal pada penelitian sebelumnya maka untuk optimasi proses *shot peening* yang diteliti menggunakan variasi jarak 50, 100, dan 150 mm, variasi waktu 5, 10, 20 menit, variasi tekanan udara 5, 7, 9 kg/cm² dan menggunakan bola baja 0,8 mm dengan pengujian terhadap sifat kekerasan, kekasaran, keausan, dan struktur mikro pada material ST 45. Proses *shot peening* dapat dilakukan dengan beberapa parameter yang berpengaruh seperti variasi ukuran bola baja, tekanan penembakan, jarak antara *nozzel* dengan benda uji, waktu *shot peening* dan beberapa parameter yang lain, [6].

Pada penelitian metode yang digunakan adalah metode gravitasi shot peening. Faktor yang digunakan yaitu jarak, waktu dan tekanan. Pemilihan faktor didasarkan hasil optimal penelitian sebelumnya dan kajian literatur.

Faktor dan level yang ditentukan pada proses perlakuan *shot peening* akan digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak, waktu dan tekanan proses *shot peening* terhadap kekasaran permukaan. Uji kekerasan digunakan untuk mendeteksi perubahan ketahanan gores, dan uji keausan untuk menguji specimen perlakuan terhadap abrasif. Pengujian struktur mikro untuk mengetahui fasa dan karakteristik material hasil,[7].

2. Metode

2.1 Material

Bahan dan dimensi Spesimen : Plat tebal 3 mm, 20 x 20 cm, dari baja ST 45. Tingkat kehalusan: specimen diampas bertahap dari 400-2000, Setelah dihaluskan dengan amplas, di *finishing* menggunakan *autusol metal*

polish untuk menghilangkan goresan dan kekasaran yang merata.

2.2. Perlakuan Shot Peening

Perlakuan proses *shot peening* pada ST 45 menggunakan variasi jarak penembakan [5, 10 dan 15 cm], variasi variasi waktu [5, 10, dan 20 menit], variasi tekanan [5, 7, dan 9 kg/cm²]. Dimensi dan bahan bola baja 0,8 mm, dengan posisi specimen diletakan tegak lurus dengan *shot gun* (90°). Desain eksperimen menggunakan metode taguchi dengan 3 faktor 3 level, seperti pada Tabel 1. Sebaran eksperimen menggunakan Metode Taguchi L9 (3³), ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Faktor dan level

Parameter/Satuan	Faktor	Level		
		1	2	3
Waktu (menit)	A	5	10	20
Jarak (cm)	B	5	10	15
Tekanan (Kg/cm ²)	C	5	7	9

Tabel 2. Matrik Ortogonal Metode Taguchi L9 (3³)

No	Kode Spesimen	Waktu (menit)	Jarak (cm)	Tekanan (kg/cm ²)
1	SP5A	5	5	5
2	SP5B	5	10	7
3	SP5C	5	15	9
4	SP10A	10	5	7
5	SP10B	10	10	9
6	SP10C	10	15	5
7	SP20A	20	5	9
8	SP20B	20	10	5
9	SP20C	20	15	7

2.3. Pengujian specimen

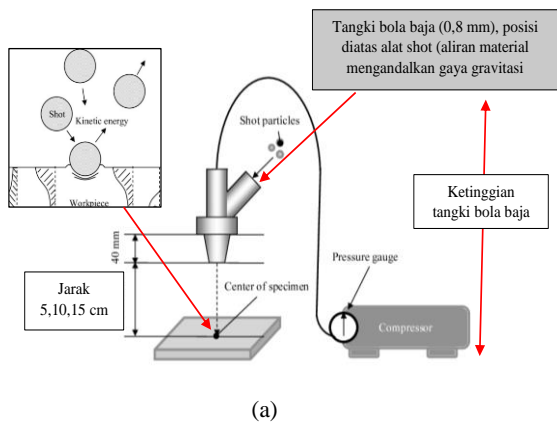
Pengujian specimen meliputi uji kekasaran, kekerasan dan mikrostruktur di Lab. Metalurgi Universitas Gajah Mada (UGM). Metode uji dan posisi pada specimen sebagai berikut:

a) Pengujian Kekasaran Permukaan

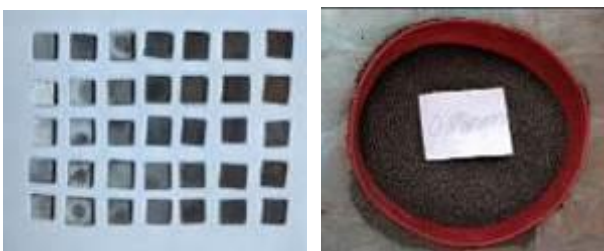
Pengujian kekasaran permukaan menggunakan *contact stylus profilometer* (*Surfcom 120A, Advanced Metrology System, UK*). Setiap permukaan specimen *shot peening* dilakukan 1 kali pengambilan data kekasaran permukaan.

b) Pengujian Kekerasan Permukaan

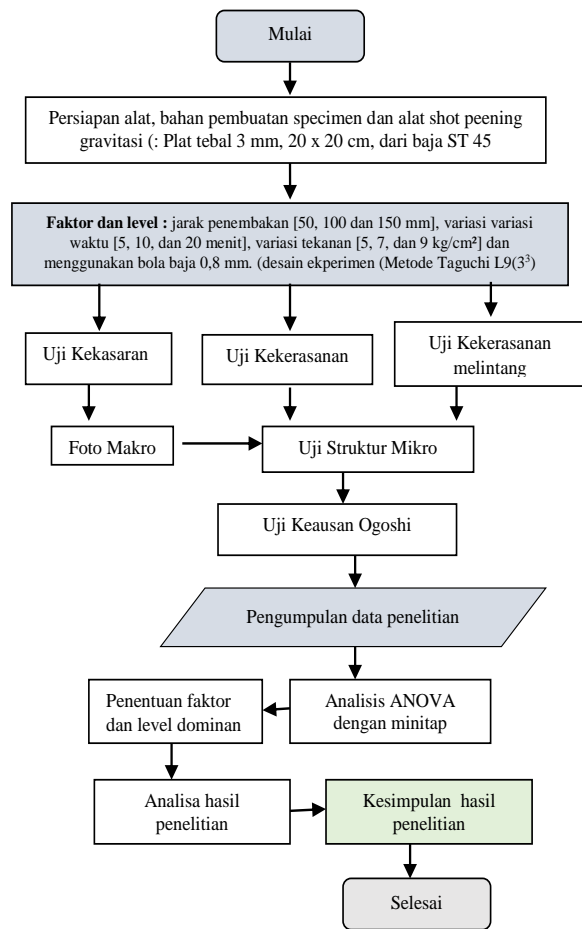
Pengujian kekerasan *Vickers* dan indentor piramida intan. Properti pengujian *load* 200 gr, *load time* 10 detik, jarak antar titik injakan berjarak 5 kali diagonal posisi indentor. Pengujian kekerasan dilakukan 3 pengambilan data.



Gambar 1. (a), (b) *Set up* Eksperimen



Gambar 2. Specimen Dengan Taguchi, Raw Material Dan Specimen Kontrol



Gambar 3. *Flow chart* penelitian

c) Pengujian Kekerasan Melintang

Pengujian kekerasan melintang menggunakan uji *Vickers* dengan *load* 200 gr, *load time* 10 detik, jarak antar titik berjarak 5 kali diagonal indenter. Pengujian dilakukan 3 kali pada penampang permukaan melintang yaitu Uji 1 berjarak 0,05 mm dari tepi, uji 2 berjarak 0,25 mm dari tepi dan uji 3 berjarak 0,45 mm dari tepi batas spesimen.

d) Pengujian Keausan

Pengujian keausan spesimen menggunakan mesin *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine* (Type OAT-U) dengan metode *Ogoshi*. spesimen mendapat beban gesekan dari *disc* berdiameter 38 mm yang berputar (*revolving disc*) selama 1 menit. Kontak antar permukaan antara *disc* dan permukaan spesimen akan menghasilkan jejak bekas gesekan, besar jejakan tersebut yang kemudian dijadikan dasar penentuan nilai keausan. Kemudian spesimen diamati dan difoto dengan mikroskop optik dan optilab yang dihubungkan dengan komputer. Pengujian keausan dilakukan 3 pengambilan data.

e) Pengujian Foto Makro

Pengujian foto makro dilakukan untuk mengetahui kekasaran pada permukaan spesimen akibat perlakuan *shot peening* dengan jarak dekat dengan perbesaran 10x. Sebelum dilakukan pengujian kekasaran permukaan. Pengujian foto makro dilakukan 3 pengambilan data.

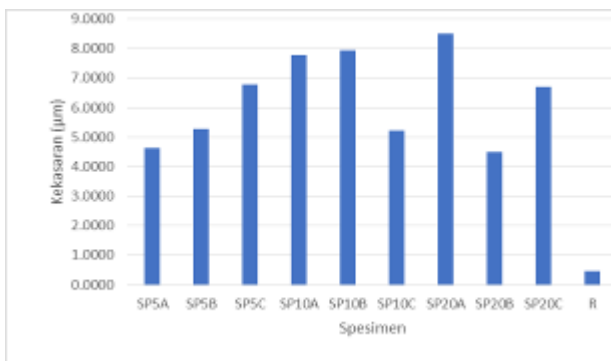
f) Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dari arah penampang melintang, Spesimen dietsa menggunakan campuran 2,5% HNO_3 karena spesimen berbahan logam baja. Kemudian spesimen diamati dan difoto dengan mikroskop optik dan optilab yang dihubungkan dengan komputer. Pengujian struktur mikro dilakukan 3 pengambilan data.

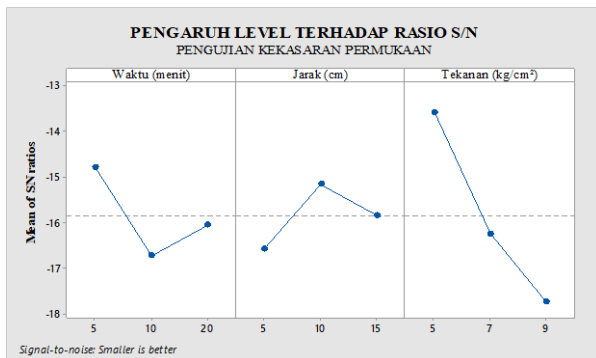
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian kekasaran

Hasil penelitian Baja ST 45 *shot peening* menghasilkan kekasaran yang sangat baik dengan nilai terkecil 4,4880 μm pada waktu 20 menit, jarak 10 cm dan tekanan 5 kg/cm^2 dan terbesar 8,5150 μm pada waktu 20 menit, jarak 5 cm dan tekanan 9 kg/cm^2 . Data hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen mengalami kenaikan nilai kekasaran permukaan disebabkan karena adanya *several plastic deformation* (SPD), yaitu berubahnya bentuk atau ukuran pada objek yang diakibatkan oleh sebuah gaya, hal ini merupakan efek dari indentasi atau tumbukan pada permukaan spesimen akibat proses *shot peening*, yaitu dengan penembakan bola-bola baja dengan kecepatan dan tekanan tinggi ke permukaan spesimen uji. Korelasi perlakuan dan kekasaran permukaan ditunjukkan gambar 4.



Gambar 4. Data Hubungan Jenis Perlakuan Dengan Nilai Kekasaran Permukaan



Gambar 5. Pengaruh Level Terhadap Rasio S/N Pengujian Kekasaran

Tumbukan bola baja pada permukaan spesimen uji menyebabkan terbentuknya lubang atau cekungan yang menyebabkan ketidak rataan permukaan spesimen uji sehingga nilai kekasaran permukaan mengalami kenaikan atau membuat permukaan material menjadi lebih kasar. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [7-10].

Pada spesimen dengan jarak 10 cm terjadi penurunan rata-rata nilai kekasaran disebabkan oleh penghalusan butiran di permukaan spesimen. Setelah diberi perlakuan *shot peening*, permukaan spesimen uji mengalami *deformasi plastis* yang bersifat *irreversible*. Permukaan spesimen tertekan akibat adanya tumbukan oleh material abrasif (*steelball*) yang menyebabkan terbentuknya puncak

dan cekungan (lembah) permukaan spesimen. Semakin lama waktu dan panjang jarak penembakan pada proses *shot peening*, menyebabkan perbedaan puncak dan lembah semakin mengecil. Proses ini menyebabkan pengecilan dan penghalusan butiran pada permukaan spesimen.

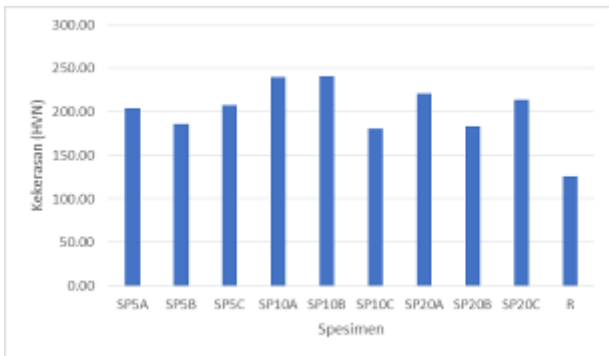
Grafik kekasaran pada gambar 5 dapat dilihat untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan optimal yaitu nilai paling rendah didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 10 menit, jarak 5 cm dan tekanan 9 kg/cm^2 . Nilai kekasaran permukaan tertinggi didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 5 menit, jarak 10 cm dan tekanan 5 kg/cm^2 . Grafik pengaruh level ditunjukkan gambar 5. Faktor paling berpengaruh terhadap rata-rata nilai kekasaran permukaan daerah hasil proses *shot peening* adalah tekanan dengan nilai kontribusi 72,60% dan kontribusi terkecil oleh waktu dengan kontribusi 9,86% didapat dengan menggunakan *software* minitab 18. Pengaruh level pada faktor terhadap rasio S/N pengujian kekasaran ditunjukkan pada gambar 5.

3.2. Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan

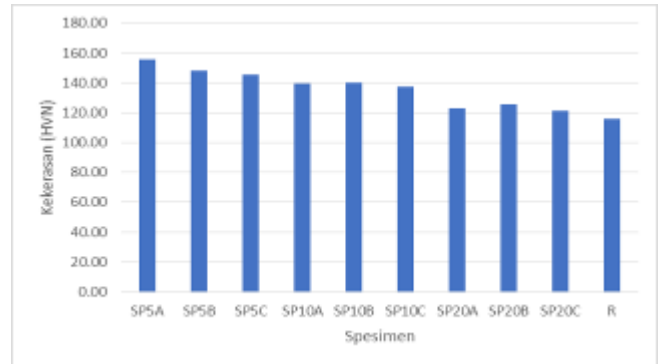
Nilai rata-rata kekerasan permukaan yang sangat rendah di angka terkecil 180,83 HVN didapat pada *shot peening* pada waktu 10 menit, jarak 15 cm dan tekanan 5 kg/cm^2 . Nilai tertinggi 240,39 didapat pada waktu 10 menit, jarak 10 cm dan tekanan 9 kg/cm^2 . Data uji kekerasan dapat dilihat pada gambar 6.

Grafik 6 menunjukkan bahwa spesimen mengalami kenaikan nilai kekerasan, ini disebabkan karena adanya peningkatan *deformasi plastis* yang terjadi pada permukaan spesimen setelah proses *shot peening* yang dapat menimbulkan kerapatan dislokasi. Saat dilakukan proses *shot peening*, *steelball* yang ditembakkan menumbuk dan memecah struktur permukaan spesimen menjadi ukuran butir yang lebih kecil. Semakin kecil ukuran butir material maka semakin besar nilai kekerasan mikro material tersebut. Nilai kekerasan maksimum terdapat pada spesimen dengan durasi *shot peening* 5 menit, setelah dilakukan proses *shot peening*, tercapai nilai kekerasan optimumnya. Laju pertambahan kekerasan material akan menurun seiring dengan peningkatan waktu *shot peening*, disebabkan karena efek dari gaya yang diberikan saat proses *shot peening* tidak mampu lagi untuk membuat kerapatan dislokasi yang lebih besar. Hasil penelitian ini sesuai penelitian [11-13].

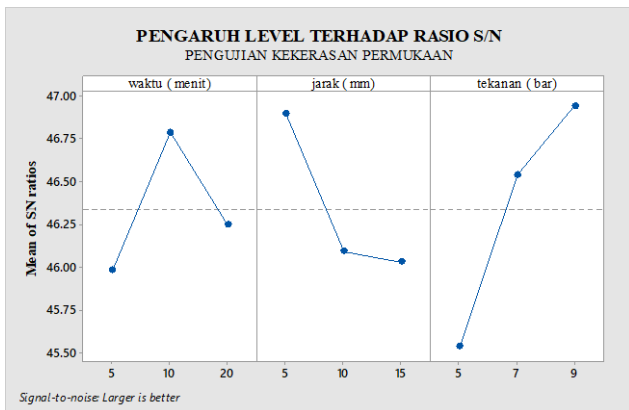
Faktor yang paling berpengaruh terhadap rata-rata nilai kekerasan permukaan adalah tekanan dengan nilai kontribusi 43,42% dan kontribusi terkecil dimiliki oleh waktu dengan kontribusi sebesar 16,96%. Sedangkan faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai S/N kekerasan permukaan adalah tekanan dengan nilai kontribusi 44,55% dan kontribusi jarak 19,66% dan kontribusi terkecil dimiliki oleh waktu dengan kontribusi sebesar 14,35% didapat dengan menggunakan *software* minitab 18. Pengaruh level pada faktor terhadap rasio S/N pengujian kekerasan permukaan spesimen ditunjukkan pada gambar 7.



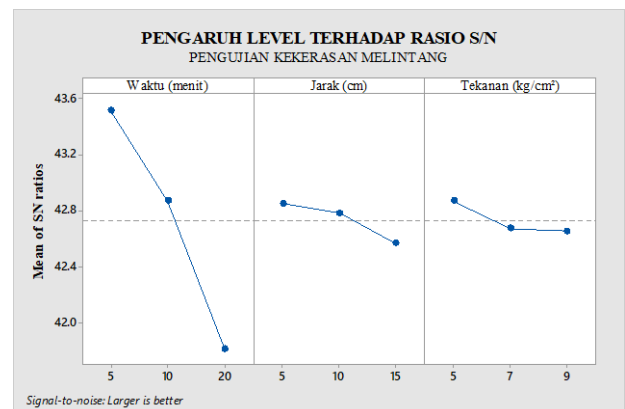
Gambar 6. Pengaruh level terhadap rasio S/N pengujian kekerasan



Gambar 8. Data Nilai Kekerasan Melintang



Gambar 7. Pengaruh Level Terhadap Rasio S/N Pengujian Kekerasan



Gambar 9. Pengaruh Level Terhadap Rasio S/N Pengujian Kekerasan Melintang

Dari gambar 7 dapat dilihat untuk mendapatkan nilai kekerasan permukaan optimal yaitu nilai paling tinggi didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 10 menit, jarak 5 cm dan tekanan 9 kg/cm². Dan untuk mendapatkan nilai kekerasan permukaan dengan nilai paling rendah didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 5 menit, jarak 15 cm dan tekanan 5 kg/cm².

3.3. Hasil Pengujian Kekerasan Melintang

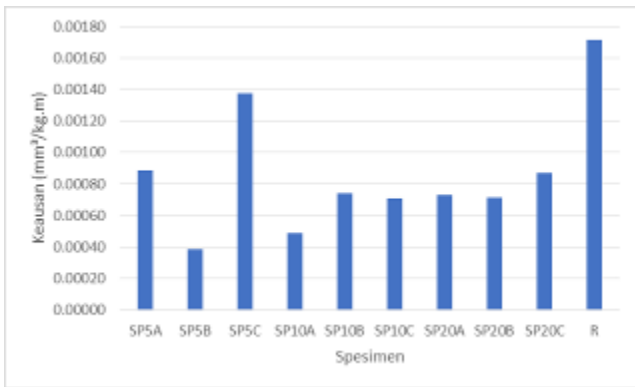
Nilai rata-rata kekerasan melintang di angka terkecil yaitu 121 HVN didapat pada *shot peening* pada waktu 20 menit, jarak 15 cm dan tekanan 7 kg/cm². Nilai tertinggi 155,90 HVN didapat pada waktu 5 menit, jarak 5 cm dan tekanan 5 kg/cm². Faktor paling berpengaruh terhadap rata-rata nilai kekerasan permukaan adalah waktu dengan nilai kontribusi 93,81% dan kontribusi terkecil dimiliki oleh tekanan dengan kontribusi sebesar 16,96% didapat dengan menggunakan *software* minitab 18.

Spesimen mengalami penurunan nilai kekasaran melintang, pada spesimen bagian permukaan bertambah keras akibat proses *shot peening*, dan semakin bertambahnya kedalaman kekerasan semakin menurun hal ini disebabkan karena semakin dalam kerapatan *deformasi plastis* semakin kecil serta adanya akibat kerusakan yg terjadi karena tumbukan bola baja yang terlalu lama. Parameter tekanan dan durasi *shot peening* berpengaruh terhadap kekasaran dan kekerasan permukaan, [15]. Pengaruh level pada faktor terhadap rasio S/N pengujian kekerasan melintang ditunjukkan pada gambar 8.

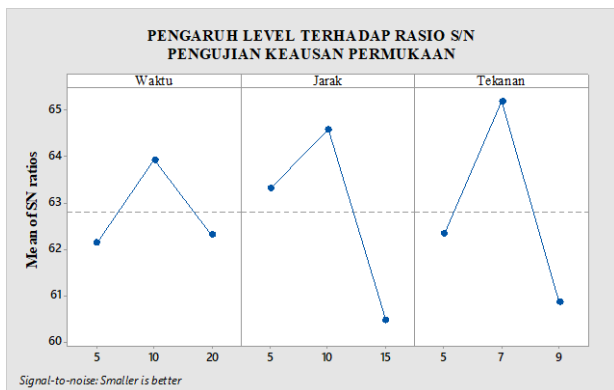
Nilai kekerasan melintang optimal yaitu nilai paling tinggi didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 5 menit, jarak 5 cm dan tekanan 5 kg/cm², sedangkan nilai kekerasan melintang dengan nilai paling rendah didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 20 menit, jarak 15 cm dan tekanan 9 kg/cm². Perlakuan tekanan udara mempengaruhi kecepatan tembakan, yang mengakibatkan perubahan ketebalan dan kondisi permukaan, [16], merubah profil material, [17], dan deformasi plastis lokal, [18].

3.4. Hasil Pengujian Keausan

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa spesimen mengalami penurunan nilai keausan pada waktu 10 menit jarak 10 cm dan tekanan 7 kg/kg/cm². Dengan semakin lama durasi *shot peening* yaitu durasi 20 menit semakin jauh yaitu jarak 15 cm dan semakin besar tekanan yaitu 9 kg/cm² terjadi kenaikan nilai keausan, dikarenakan kerusakan permukaan yang terjadi akibat durasi *shot peening* yang terlalu lama dengan tekanan udara yang tinggi dan jarak yang jauh. Hasil penelitian ini sesuai penelitian [14]. Karakteristik yang terjadi pada pengujian keausan memiliki kesamaan dengan karakteristik pengujian kekerasan. Kesamaan korelasi antara tingkat kekerasan dan keausan diatas dapat disimpulkan bahwa, semakin keras suatu permukaan tingkat keausannya akan semakin menurun. Tingkat keausan dan kekerasan specimen dengan perlakuan tekanan terlama dengan tekanan yang tinggi menyebabkan permukaan mengalami penurunan



Gambar 10. Data Nilai keausan permukaan



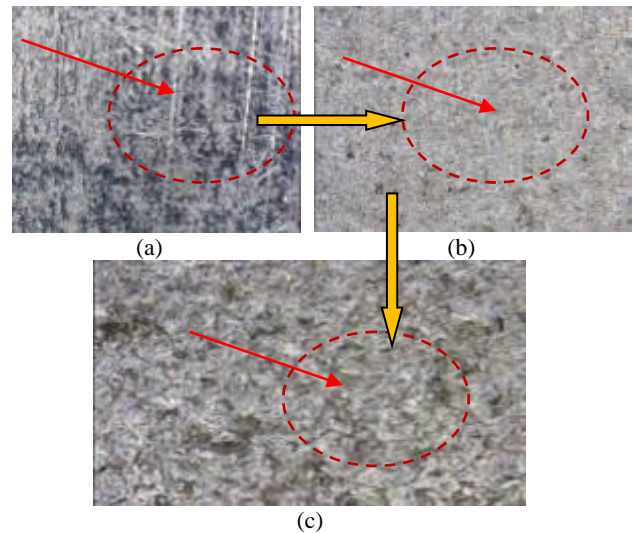
Gambar 11. Pengaruh Level Terhadap Rasio S/N Pengujian Keausan

Nilai keausan permukaan yang paling tinggi 0,00138 mm³/kg.m pada *shot peening* dengan waktu 5 menit, jarak 15 cm dan tekanan 9 kg/cm². Faktor yang paling berpengaruh terhadap rata-rata nilai keausan permukaan daerah hasil proses *shot peening* adalah jarak dengan nilai kontribusi 36,21% dan kontribusi terkecil dimiliki oleh waktu dengan kontribusi sebesar 13,74% didapat dengan menggunakan *software* minitab 18.

Nilai keausan optimal yaitu nilai paling rendah angka keausannya didapat dengan perlakuan *shot peening* dengan waktu 5 menit, jarak 15 cm dan tekanan 9 kg/cm². Nilai keausan teringgi pada perlakuan *shot peening* dengan waktu 10 menit, jarak 10 cm dan tekanan 7 kg/cm². Nilai keausan permukaan yang paling rendah 0,00039 mm³/kg.m dihasilkan pada *shot peening* dengan waktu 5 menit, jarak 10 cm dan tekanan 7 kg/cm². Perlakuan *shot peening* disamping meningkatkan kekerasan juga menaikkan ketahanan fatk, [19], perlakuan diatur agar tidak terjadi retak lokal material, akibat pembebanan terus menerus, [20-21].

3.5. Hasil Pengujian Foto Makro.

Pengujian foto makro spesimen *shot peening* ditunjukkan pada gambar 12.



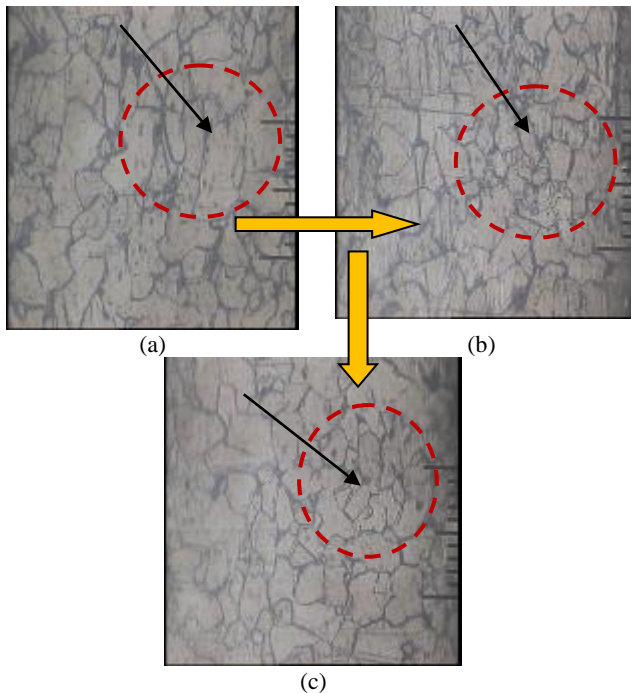
Gambar 12. (a). Hasil uji foto makro spesimen raw material baja ST 45, (b) Hasil uji foto makro spesimen SP20B, (c) Hasil uji foto makro spesimen SP20A

Pengujian foto makro digunakan untuk mengetahui dan membedakan secara visual pada hasil foto makro bahwa adanya deformasi akibat tumbukan proses *shot peening*. Pada hasil foto makro dapat dilihat spesimen raw memiliki permukaan halus atau kekasaran yang rendah dibuktikan dengan hasil kekasaran permukaan yaitu 0,4642 μm, pada spesimen SP20B memiliki permukaan yang halus secara visual dengan dibuktikan pada pengujian kekasaran permukaan 4,4880 μm, spesimen SP20A memiliki permukaan yang kasar secara visual dengan dibuktikan pada pengujian kekasaran permukaan 8,5150 μm.

3.6. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan pada tepi area permukaan yang terkena *shot peening*. Dimana pada area tersebut bentuk struktur mikro yang terkena langsung menyebabkan struktur mikro dibawah permukaan akan terlihat perbedaan bentuk dari struktur mikronya kemudian dianalisa seberapa dalam pengaruh *shot peening* pada spesimen ST 45 terhadap struktur mikro. Satu strip pada struktur mikro memiliki ukuran 5 μm. Data hasil pengujian struktur mikro spesimen *shot peening* ditunjukkan pada gambar 13.

Gambar 12 menunjukkan bentuk dan ukuran butir mikrostruktur spesimen ST 45 raw material dan setelah diberi perlakuan *shot peening*, spesimen raw material memiliki alur butir yang merata dengan ukuran butir yang besar. Sedangkan untuk spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* mengalami perubahan yaitu terjadi pengecilan ukuran butir pada permukaan spesimen yang terkena *shot peening*, hal ini terjadi karena tumbukan *steelball* yang bertekanan saat proses *shot peening* sehingga menimbulkan terjadinya pengecilan ukuran butir dan kerapatan dislokasi.



Gambar 13. (a) Bentuk mikrostruktur raw material ST 45, (b). Hasil struktur mikro spesimen SP10C, (c). Hasil struktur mikro spesimen SP10B

Perubahan mikrostruktur kurang merata, [22], kecepatan dan durasi berpengaruh terhadap ukuran butir, sampai terbentuk nano kristal [23]. Pengaruh variasi waktu, jarak dan tekanan pada proses *shot peening* menunjukkan semakin lama waktu penembakan, semakin jauh jarak serta semakin besar tekanan pada proses *shot peening* akan menyebabkan ukuran butir yang semakin halus hingga jarak yang semakin dalam dari permukaan yang di *shot peening*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data pengujian untuk mendapatkan optimasi hasil dari proses *shot peening* material baja ST 45 disimpulkan bahwa nilai kekasaran terkecil yaitu 4,4880 μm didapat pada waktu 20 menit, jarak 10 cm dan tekanan 5 kg/cm^2 dan. Faktor yang dominan adalah tekanan dengan nilai kontribusi 72,60%. Nilai kekerasan permukaan terbesar yaitu 240,39 HVN didapat pada waktu 10 menit, jarak 10 cm dan tekanan 9 kg/cm^2 . Faktor yang paling berpengaruh adalah tekanan dengan nilai kontribusi sebesar 43,42%. Nilai kekerasan melintang terbesar yaitu 155,90 HVN didapat pada waktu 5 menit jarak 5 cm tekanan 5 kg/cm^2 . Faktor yang paling berpengaruh adalah waktu dengan nilai kontribusi 93,81%, sedangkan nilai keausan permukaan terkecil yaitu 0,00039 $\text{mm}^3/\text{kg}\cdot\text{m}$ didapat pada waktu 5 menit, jarak 10 cm dan tekanan 7 kg/cm^2 . Faktor yang paling berpengaruh adalah jarak dengan nilai kontribusi sebesar 36,21%.

Pengujian struktur mikro dengan hasil terbaik didapat pada waktu 10 menit, jarak 10 cm dan tekanan 9 kg/cm^2 dibuktikan dengan pengecilan butiran struktur mikro dan hasil pengukuran kekerasan 240,39 HVN. Semakin besar tekanan dan semakin lama waktu *shot peening* maka nilai kekasaran dan nilai kekerasan akan semakin meningkat dan menurunkan nilai keausan. Sedangkan semakin jauh jarak

penembakan menimbulkan nilai kekasaran naik, nilai kekerasan dan keausan menurun.

Berdasarkan data penelitian, agar data karakteristik parameter diketahui secara presisi, perlu diuji kemampuan material terhadap korosi. Kecepatan tembak perlu diidentifikasi agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro, pengujian fatik atau uji kelelahan. Pengujian XRD dibutuhkan untuk mendeteksi kemungkinan terjadinya retak pada bagian dalam akibat penembakan dan tekanan shot peening. Proses *shot peening* membutuhkan metode untuk memisahkan antara bola baja yang sudah aus untuk menghasilkan hasil yang optimal.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kami sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) Kemendikbud yang telah mendanai penelitian TA 2020, dan kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi selama proses penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Widodo, DT., Rahardjo, R., et.al., "Modifikasi Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 316L dengan Menggunakan Proses Steel Ball Peening", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV*, 2015, Material 37.
- [2] Zheng Hua, Huiyuan Lia, et.al., "The Effect of Controlled Shot Peening on the Microstructure and Fatigue Behavior of Wet Copper-Based Powder Metallurgy Friction Plates", *Materials Research*. 2018, Vol. 21 (4), e20180027. .
- [3] Okan Unal, Remzi Varol, "Surface Severe Plastic Deformation of AISI 304 Via Conventional Shot Peening, Severe Shot Peening And Repeening", *Applied Surface Science*, 2015, Vol. 351:289-295.
- [4] Zhidan Zhou, Junchao Shang, et.al., "Synchronous Shot Peening Applied on HVOF for Improvement on Wear Resistance of Fe-based Amorphous Coating", *Coatings* 2020, Vol.10 No. 2, 187.
- [5] Erfan Maleki , Okan Unal, " Optimization of Shot Peening Effective Parameters on Surface Hardness Improvement", *Metals and Materials International*, 09 June 2020. .
- [6] Kazimierz Zaleski, Stanisław Bławucki, "Evaluation Of The Effectiveness Of The Shot Peening Process For Thin-Walled Parts Based On The Diameter Of Impressions Produced By The Impact Of Shot Media", *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2015, Vol.9, No. 26, p.77–82.
- [7] Umemoto, Mineru, "Nanocrystallization of Steels by Severe Plastic Deformation", *J. Materials Transactions*, 2013, Vol. 44(10): 1900-1911.
- [8] Yaqin, R.I., Iswanto, P.T., et.al, "Pengaruh Durasi Waktu Shot Peening Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan pada AISI 316L", *J.SENATIK*, 2017, Vol 3, p 16-20.
- [9] Sunardi, Iswanto, Mudjijana, "Pengaruh Waktu Shot Peening Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Stainless Steel AISI 304", *J. Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, 2013, p 142-145.
- [10] Trung, P.Q., Khun, NW., et.al, "Effects of shot peening pressure, media type and double shot peening on the microstructure, mechanical and tribological properties of low-alloy steel", *J.Surf. Topogr. Metrol. Prop.*, 2016, Vol. N0. 4, p 1-15.

- [11] Mohammed Chaib, Abdelkader Megueni, et.al., “Experimental study of the shot peening treatment effect on austenitic stainless steel “. *Int.J. Materials and Product Technology*, 2016, Vol. 53, Nos 3/4, p298-313.
- [12] Fargas, G., Roa, et.al, “Effect of shot peening on metastable austenitic stainless Steels”, *J. Materials Science and Engineering A*, 2015, 12 August, Vol. 641, pp.290–296
- [13] 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.
- [14] Wibowo, TN., Iswanto, PT., Priyambodo, BH., dan Amin, N., 2014, “Pengaruh Variasi Waktu Shot Peening Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan pada Material Implan AISI 304”, *Rotor*, S1: 70-73.
- [15] Okan Unal, “*Optimization of shot peening parameters by response surface methodology*”, *J.Surface and Coatings Technology*, Volume 305, 15 November 2016, Pages 99-109.
- [16] A. Gariépy H.Y., Miao M.Lévesque, “*Simulation Of The Shot Peening Process With Variable Shot Diameters And Impacting Velocities*”, *J. Advances in Engineering Software* , Volume 114, December 2017, Pages 121-133.
- [17] Rajesh Purohit, C.S.Verma, et.al, “Simulation of shot peening process”, *Material Today: Proceeding*, Volume 4, Issue 2, Part A, 2017, Pages 1244-1251.
- [18] D. Gallitelli, V. Boyer., et.al, “Simulation of shot peening: from process parameters to residual stress fields in a structure”, *J. Rendus Mecanique C. R. Méc.*, 2016, Vol. 344 (4), pp. 355-374.
- [19] Yunan Prawoto, P.G. Mazein, et.al, “Analytical and Experimental Approaches to Shot Peening”, *International Journal Of Applied Technology Research*, 2020, , VOL. 1, NO. 1, pp. 1-22, <https://ijatr.polban.ac.id/ijatr>.
- [20] Amrita Bag, Dorian Delbergue, et.al, “*Effect of different shot peening conditions on the fatigue life of 300 M steel submitted to high stress amplitudes*”, *International Journal of Fatigue*, Vol_130, January 2020, 105274.
- [21] R. Seddik, A. Bahloul, et.al, “A simple methodology to optimize shot-peening process parameters using finite element simulations”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, Vol. 90, pages 2345–2361.
- [22] E.Nordin, B.Alfredsson, “*Measuring Shot Peening Media Velocity By Indent Size Comparison*”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 235, September 2016, Pages 143-14.
- [23] Mohammed Chaib, Abdel kader Megueni, et.al, “Experimental study of the shot peening treatment effect on austenitic stainless steel”, *J. 2016, International Journal of Materials and Product Technology*, 2016, Vol. 53(3/4):298.