

PENGARUH SUDUT LENGKUNGAN *SHOTPEENING* TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KOROSI AISI 316L *STAINLESS STEEL*

Rohmad Darmawan, Teguh Dwi Widodo, Rudianto Raharjo

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono XI No. 369A, Malang 65145, Indonesia

E-mail: rohmaddarmawan14@gmail.com

Abstrak

Stainless steel (SS) sangat sering digunakan pada ilmu biomedik karena mempunyai ketahanan korosi yang tinggi dan sangat cocok untuk bahan implan. Salah satu logam yang dapat digunakan dalam penyambungan tulang patah adalah SS AISI 316L. Shot peening merupakan metode perlakuan permukaan dengan bola-bola baja dengan kecepatan tinggi secara terus menerus, sehingga menghasilkan deformasi plastis, pengerasan regangan dan tegangan sisa tekan pada material yang akan meningkatkan sifat mekanik material. Sudut lengkungan akan mengakibatkan material mengalami tegangan tarik dan tegangan tekan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh sudut lengkungan dari Stainless steel 316L yang masih dalam keadaan elastis dengan variasi sudut lengkungan 2°, 4° dan 6° terhadap kekerasan dan laju korosi dengan metode shot peening. Proses shot peening pada permukaan spesimen SS AISI 316L dengan variasi sudut lengkungan 2°, 4° dan 6°, material menggunakan bola baja berukuran 4 mm, tekanan yang digunakan 7 bar, waktu yang digunakan 10 menit, dan jarak tembak dengan permukaan benda uji 10 cm. Material SS 316L setelah dilengkungkan dan di shot peening kemudian diuji kekerasan dan laju korosinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut lengkungan SS AISI 316L dapat meningkatkan kekerasan. Kekerasan tertinggi pada sudut 2°, 4° dan 6° masing-masing 277.8 HV, 280.6 HV, dan 289.6 HV. Nilai laju korosi semakin menurun membuat ketahanan korosinya meningkat. Ketahanan korosi meningkat dibandingkan dengan raw tanpa perlakuan shot peening dengan nilai laju korosi 0.16575 mmpy, peningkatan tertinggi sesuai sudut lengkungan 2°, 4° dan 6° masing-masing adalah 0.0040255 mmpy, 0.00068076 mmpy, 0.000375045 mmpy.

Kata Kunci: Shot peening, sudut lengkungan, perlakuan permukaan, stainless steel AISI 316L

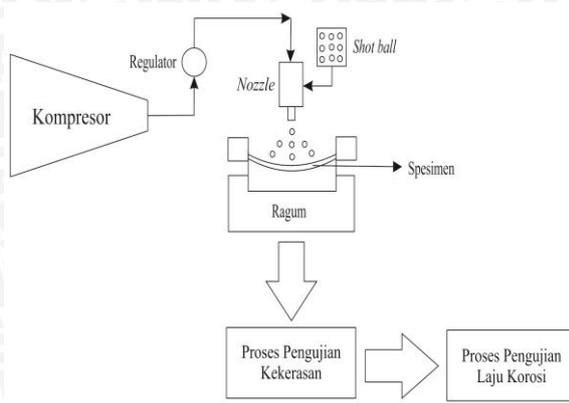
PENDAHULUAN

Salah satu logam yang digunakan sebagai alat bantu penyambung tulang patah adalah *stainless steel* AISI 316L. Peningkatan sifat mekanik dan kualitas permukaan pada bahan plat penyambung tulang perlu terus dilakukan untuk memperoleh material yang lebih baik.

Material *stainless steel* AISI 316L termasuk material yang mempunyai sifat tidak dapat diberi perlakuan panas sehingga cara meningkatkan sifat mekanisnya dengan perlakuan mekanik (Dieter, 1988). Perlakuan mekanik pada permukaan material antara lain: *shot peening*, *sandblasting*, *sliding wear*, dan *high pressure torsion*. *Shot peening* merupakan metode perlakuan permukaan dengan menembakan butiran material bola-bola baja dengan tekanan tinggi pada permukaan material logam secara berulang-ulang dan *progressive*, sehingga mengha-

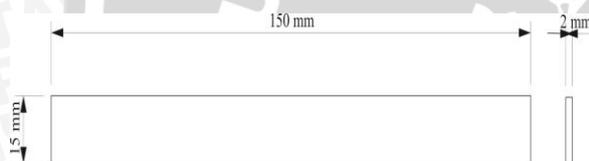
silkan permukaan logam menjadi lebih kasar dan rata, deformasi plastis, pengerasan regangan, menutup porositas, meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan tegangan sisa tekan pada permukaan material yang akan meningkatkan sifat mekanik material. Sudut lengkungan akan mengakibatkan material mengalami tegangan tarik dan tegangan tekan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut lengkungan AISI 316L terhadap kekerasan dan laju korosi dengan metode *shot peening*.

METODE PENELITIAN



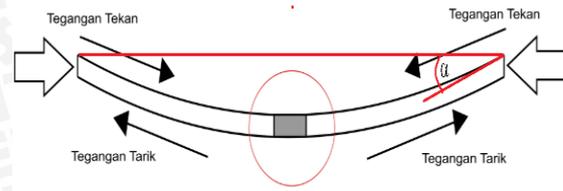
Gambar 1. Skema Penelitian

Proses pembuatan spesimen uji SS 316L dengan memotongnya menggunakan gergaji tangan sehingga dihasilkan dua puluh satu spesimen berukuran panjang 150 mm, lebar 15mm, dan tebal 2 mm, selanjutnya semua permukaan spesimen dibersihkan dengan menggunakan ampelas ukuran 1000 mesh.



Gambar 2. Dimensi spesimen SS 316L

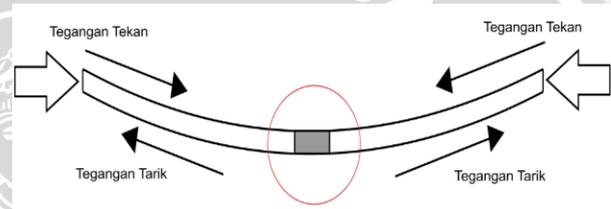
Proses *shot peening* menggunakan enam belas dari dua puluh satu spesimen yang sudah dibersihkan permukaannya. Pada proses *shot peening* spesimen diletakkan pada ragum kemudian ragum menjepit spesimen sampai membentuk sudut lengkungan dari material yaitu $2,4^\circ$ dan 6° . *Shot gun* yang berfungsi sebagai *nozzle* dengan jarak 10 cm, material tembak menggunakan bola baja (*steel ball*) dengan diameter 0,4 mm, besar tekanan kerja pada kompresor saat proses *shot peening* dipertahankan antara 7 bar dengan membuka penuh katub *nozzle*, dan menggunakan durasi waktu selama 10 menit saat proses penembakan bola-bola pada spesimen.



Gambar 3. Pembuatan sudut lengkungan



Gambar 4. Alat Proses pembuatan sudut lengkungan SS 316L



Gambar 5. Analisa tegangan yang terjadi akibat pelengkungan



Gambar 6. Alat Proses pengerjaan *shot peening*

Pengujian kekerasan permukaan spesimen tanpa perlakuan dan spesimen yang telah diberi per-lakuan *shot peening* diuji dengan metode indentasi mikro Vickers dengan menggunakan alat uji Digital Micro Vickers Hardness Tester TH712 beban yang

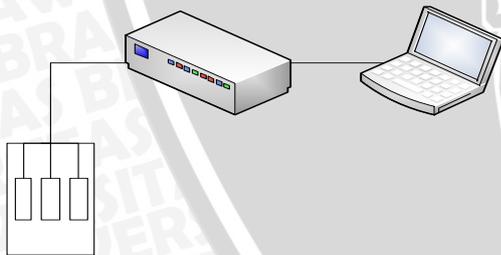
digunakan dalam pengujian 100 gf dengan *load time* 15 detik. Pengambilan data pengujian kekerasan diambil delapan titik di belahan spesimen yang di *shot peening*, data yang diambil hasil dari diameter injakan yaitu (diameter horisontal) dan (diameter vertikal). Nilai kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$HV = \frac{1,854 F}{d^2}$$

Dimana :

- HV = Angka Kekerasan Vickers
- F = Beban yang diberikan (kgf)
- d = Panjang diagonal rata-rata hasil Indentasi (mm)

Pengujian laju korosi menggunakan lima belas spesimen yang telah di *shot peening* dengan variasi sudut lengkungan yang telah di tentukan. Definisi korosi adalah proses degradasi/perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Pengujian laju korosi menggunakan larutan NaCl 3,5%. Tes laboratorium merupakan pengujian korosi dengan jalan membuat suatu simulasi terhadap kondisi lingkungan penyebab korosi. Simulasi ini dibuat untuk memperoleh parameter – parameter yang dapat diukur sehingga perilaku korosi yang diamati dapat diperkirakan.



Gambar 7. Skema Instalasi Pengujian Korosi



Gambar 8. Alat Pengujian Laju Korosi

Pengujian korosi didalam laboratorium umumnya didekati dengan sel korosi basah sederhana. Walaupun dapat terjadi korosi secara kering, akan tetapi prinsip dasar dari korosinya adalah tetap yaitu pertukaran ion – ion. Dalam sel korosi basah rapat arus yang diberikan melalui sumber arus DC, secara empiris merupakan analogi besarnya korosi yang dari kondisi lingkungan penyebab korosi dan rapat arus yang dihasilkan dari beda potensial menyatakan laju dari korosinya. Sehingga untuk mengetahui perbandingan kekuatan antara suatu bahan dengan bahan yang lain, secara empiris dapat diketahui dengan membandingkan besarnya laju korosi yang dapat ditimbulkan, yaitu merupakan perbandingan dari kenaikan arus dari beda potensial yang diberikan. Pada penelitian ini akan ditentukan laju korosi terhadap logam dengan menggunakan alat potensiosat Autolab PGSTAT302N dengan perangkat lunak nova 1.6. Berdasarkan hukum faraday yang berbunyi massa yang terbentuk berbanding lurus dengan muatan listrik yang diperlukan, terdapat hubungan antara laju pelepasan massa dengan hukum faraday. Muatan arus di korosi biasanya disebut dengan arus korosi (i_{corr}) Pada massa yang terlepas terjadi perpindahan elektron antar logam, sehingga massa yang terlepas dapat ditentukan dengan rumus :

$$W = \frac{i t e}{96500}$$

Keterangan:

- i = Arus listrik (Ampere)
- F = Tetapan Faraday = 96.500 C
- e = Massa ekuivalen (Ar/valensi)
- W = Massa yang terlepas (gr)
- t = waktu (detik)

Jika persamaan dibagi dengan massa jenis material dan luas permukaan A (cm^2), sehingga *Corrosion Rate* menjadi:

$$CR_{(cm/s)} = \frac{I_{corr} \times e}{d F}$$

Keterangan:

- CR = *Corrosion rate* (cm/s)
- I_{corr} = *Corrosion current density* ($\mu A/cm^2$)
- d = massa jenis material material (gr/cm^3)

Dimana *Corrosion Rate* ($CR_{(cm/s)}$) diatas dalam jarak per waktu dan d dapat



dirubah menjadi *mils per year* yang dapat dilihat dalam persamaan dibawah ini:

$$CR_{(mpy)} = \frac{I_{corr} \left(\frac{\mu A}{cm^2} \right) \times e}{d \left(\frac{gr}{cm^3} \right) 96500 \left(\frac{C}{mol} \right) 1cm^2} \frac{1C}{10^6 \mu A} \frac{3600s}{1jam}$$

$$\frac{24jam}{1hari} \frac{365hari}{1tahun} \frac{1inc}{2,54cm} \frac{1000mil}{1inc}$$

$$CR_{(mpy)} = \frac{0,129 \times I_{corr} \times e}{d}$$

Tabel 1. Relationship Between Various Commonly Used Units of Corrosion Rates and Their Expressions

	mA/cm ²	mm/year	mpy	g/(m ² × day)
mA/cm ²	1	3.28M	129M	8.95M
		nd	nd	n
mmpy	0.306nd	1	39.4	2.74d
	M			
mpy	0.00777nd	0.0254	1	0.0694d
	M			
g/m ² /day	0.112n	0.365	14.4	1
	M	d	d	

Keterangan:

- n = Number of eletrons freed by he corrosion reaction
- M = Atomic mass
- d = Density (gr/cm³)

Dari persamaan diatas kita dapat mengetahui laju pelepasan massa dengan menggunakan muatan listrik berdasarkan hukum faraday. Dengan begitu kita dapat mengetahui efisiensi korosi berdasarkan banyaknya massa yang terlepas dengan muatan arus yang dibutuhkan.

DATA DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian Laju Korosi

Setelah proses *shotpeening* dilakukan tahap selanjutnya adalah pengujian laju korosi. Dari hasil pengujian laju korosi yang telah dilakukan terhadap *stainless steel 316L* dalam larutan NaCl 3,5 % dengan variasi sudut lengkungan, di peroleh data sebagai berikut :

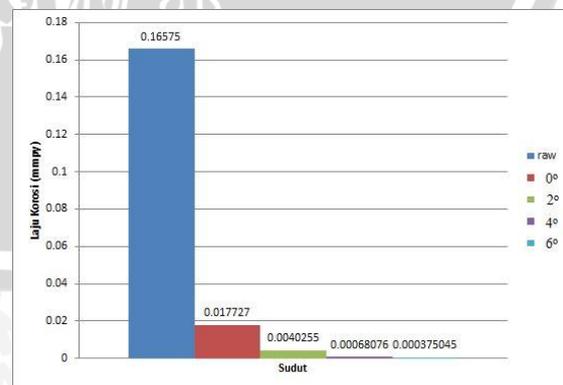
Tabel 2. Data hasil laju korosi

xz	Current Density (A/cm ²)	Laju Korosi	Corroton Rate (mpy)
raw	0.000029692	0.31986	0.16575
	1.0805E-06	0.01164	
0	2.3417E-06	0.025226	0.017727
	9.4945E-07	0.010228	
2	6.4155E-07	0.0069111	0.0040255
	1.0582E-07	0.0011399	
4	4.6991E-08	0.00050621	0.00068076
	7.9397E-08	0.00085531	
6	3.5827E-08	0.00038595	0.000375045
	3.3803E-08	0.00036414	

Analisis Hasil Laju Korosi

Faktor yang dapat mempengaruhi laju dari korosi secara elektrokimia adalah anoda, katoda, elektrolit dan hubungan arus listrik. Didalam proses tersebut terjadi perpindahan elektron antara anoda dan katoda. Karena elektron yang bermuatan negatif sehingga dapat menimbulkan arus listrik. Karena melibatkan arus listrik, sehingga reaksi dari elektrokimia tersebut dipengaruhi oleh potensial listriknya.

Anoda akan mengalirkan elektron melalui konduktor menuju ke katoda, dan selanjutnya elektron akan bereaksi dengan ion positif pada permukaan logam. Anoda yang telah kehilangan elektronnya akan kelebihan muatan positifnya, sehingga ion positif tersebut akan bereaksi dengan ion negatif pada larutan elektrolit dan membentuk korosi.



Gambar 9. Grafik Hubungan Sudut Lengkungan *Stainless Stee 316L* Terhadap Laju Korosi pada Spesimen.



Gambar diatas menunjukkan ketahanan korosi dari *AISI 316L Stainless steel* meningkat akibat proses *Shot peening*. Hal ini dikarenakan menurunnya tegangan sisa dari *AISI 316L Stainless steel*. Pada gambar diatas juga memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya besar sudut lengkungan akan menyebabkan nilai laju korosi dari *Stainless steel 316L* semakin kecil. Tegangan sisa dari proses *shot peening* menyebabkan turunnya ketahanan korosi, dengan dilakukan penambahan sudut lengkungan pada *AISI 316L Stainless steel* akan menurunkan tegangan sisa akibat proses *shot peening* dan juga akan memperbaiki butiran pada permukaan yang dikenai *shot peening* sehingga ketahanan korosinya meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Bagherifard, 2011) yang menyatakan hasil dari penelitian menunjukkan bahwa *Shot peening* yang dilakukan pada *Stainless Steel 316L* dapat mengurangi tegangan sisa yang akan meningkatkan ketahanan korosinya.

Pada raw tanpa perlakuan *shot peening* diperoleh nilai laju korosi rata rata 0.16575 mmpy. Pada sudut 0° (datar) diperoleh nilai laju korosi rata-rata 0.017727 mmpy. Pada sudut sudut 2° di peroleh nilai laju korosi rata- rata dengan nilai sebesar 0.0040255 mmpy. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan yang di dapatkan pada sudut 4° yaitu 0.00068076 mmpy dan juga lebih tinggi dari sudut 6° yaitu 0.000375045 mmpy. Penurunan nilai laju korosi ini dimungkinkan karena adanya pengurangan tegangan sisa akibat dari proses *shot peening*. Tegangan sisa pada spesimen dapat berkurang dengan adanya penambahan lengkungan pada proses *shot peening*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Starker, 2014) yang mengatakan bahwa *bending* pada material saat *shot peening* akan menurunkan tegangan sisa dari proses *shot peening*.

Hal ini sesuai dengan pengujian sebelumnya bahwa *shot peening* akan membuat tegangan sisa yang akan di minimalkan oleh sudut lengkungan saat proses *shot peening*. Dengan hal ini maka lengkungan pada material *shot peening* dapat meningkatkan ketahanan korosinya.

Data Hasil Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

Setelah proses *shotpeening* dilakukan tahap selanjutnya adalah pengujian kekerasan dengan *Micro Vickers*. Dari hasil pengujian kekerasan permukaan yang telah dilakukan terhadap *Stainless steel 316L* dengan variasi sudut lengkungan, di peroleh data sebagai berikut :

Tabel 3. Data hasil Pengujian kekerasan *Micro Vickers* pada sudut 2°

No	Spesimen	Sudut	HV
1	A	2°	277.8
2			266.3
3			262.8
4			256.1
5			258.4
6			252.1
7			250
8			249.2

Tabel 4. Data hasil Pengujian kekerasan *Micro Vickers* pada sudut 4°

No	Spesimen	Sudut	HV
1	B	4°	280.6
2			276.9
3			267.2
4			258.3
5			253.2
6			257.9
7			255.3
8			252.9

Tabel 5. Data hasil Pengujian kekerasan *Micro Vickers* pada sudut 6°

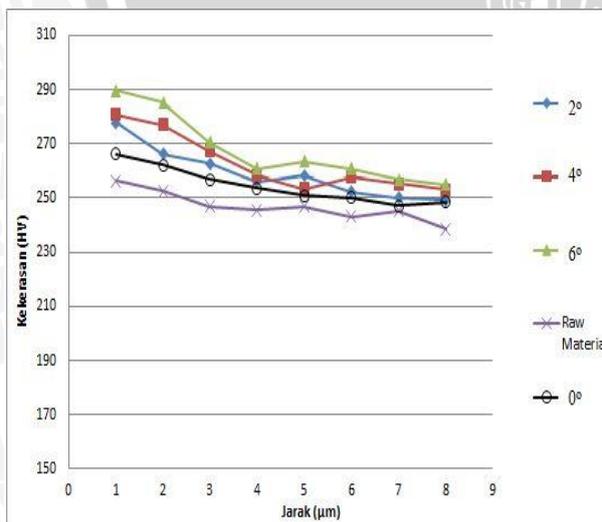
No	Spesimen	Sudut	HV
1	C	6°	289.6
2			285.3
3			270.6
4			260.8
5			263.4
6			260.8
7			256.7
8			254.9

Tabel 6. Data hasil Pengujian kekerasan *Micro Vickers* pada Raw Material

No	Spesimen	Sudut	HV
1	Raw		256.2
2			252.4
3			246.8
4			245.6
5			246.8
6			243.1
7			245.2
8			238.5

Tabel 7. Data hasil Pengujian kekerasan *Micro Vickers* pada sudut 0°(datar)

No	Spesimen	Sudut	HV
1	0	0°	266.2
2			262.3
3			256.8
4			253.6
5			250.8
6			250.1
7			247.2
8			248.5



Gambar 10. Grafik Hubungan Sudut Lengkungan *Stainless Steel 316L* Terhadap Distribusi Kekerasan pada Spesimen

Gambar diatas memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan

akibat proses *shot peening*. Hal ini diakibatkan oleh perbaikan butir pada *AISI 316L Stainless steel*. Dengan ditambahkan lengkungan kenaikan nilai kekerasan tidak terlalu signifikan. Meningkatnya besar sudut lengkungan menyebabkan distribusi kekerasan dari *Stainless steel 316L* tidak terlalu meningkat. Naiknya kekerasan pada permukaan material yang dikenai *shot peening* di karenakan perbaikan butiran yang terjadi akibat *shot peening*. Kecenderungan naiknya kekerasan terhadap jarak dari pengambilan data disebabkan oleh perbaikan butiran yang terjadi di permukaan yang di kenai *shot peening* sampai pada jarak keempat, kemudian turun sampai mendekati raw material. Dengan jarak pengambilan data 20 µm.

Pada raw nilai distribusi kekerasan tertinggi pada permukaan yang di kenai *shot peening*, yaitu 256.2 HV. Pada sudut lengkungan 0° (datar) nilai distribusi kekerasan tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 266.2 HV. Pada sudut lengkungan 2° nilai distribusi kekerasan tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 277.8 HV. Pada sudut lengkungan 4° nilai tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 280.6 HV. Pada sudut lengkungan 6° nilai tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 289.6 HV. Hal ini dapat diakibatkan karena proses *shot peening* akan memperbaiki struktur butiran yang mengakibatkan nilai kekerasannya meningkat.

Hasil pengujian kekerasan sesuai dengan pengujian sebelumnya bahwa dengan memborbardirkan permukaan bola baja / bola *titanium* mengakibatkan struktur butiran permukaan akan lebih halus. Pengaruh dari proses *shot peening* dapat diketahui meningkatkan kekerasan dan kekasaran suatu bahan (Kyun, 2012). Pengerasan pada butir permukaan yang dihasilkan dari proses *shot peening* akan meningkatkan kekuatan dan umur lelah pada logam (Arifvianto, 2011). Sudut lengkungan juga dapat menurunkan

tegangannya dan memperbaiki struktur butirannya yang dapat meningkatkan kekerasannya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketahanan korosi dari *AISI 316L Stainless steel* meningkat akibat proses *Shot peening*. Hal ini dikarenakan menurunnya tegangan sisa dari *AISI 316L Stainless steel* yang disebabkan oleh lengkungan. Semakin besarnya sudut lengkungan akan menurunkan tegangan sisa dari *AISI 316L Stainless steel* dan meningkatkan ketahanan korosinya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada raw tanpa perlakuan *shot peening* diperoleh nilai laju korosi rata-rata 0.16575 mmpy. Pada sudut 0° (datar) diperoleh nilai laju korosi rata-rata 0.017727 mmpy. Pada sudut 2° diperoleh nilai laju korosi rata-rata dengan nilai sebesar 0.0040255 mmpy. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan yang di dapatkan pada sudut 4° yaitu 0.00068076 mmpy dan juga lebih tinggi dari sudut 6° yaitu 0.000375045 mmpy. Semakin kecil nilai laju korosi maka semakin baik ketahanan korosinya. Dari pengujian kekerasan didapatkan bahwa proses lengkungan material mengalami peningkatan kekerasan pada permukaan yang terkena *shot peening* sebesar 159,4% dari 256,2 VHN menjadi 415,6 VHN. Yang didapatkan dari variasi sudut lengkungan 6°.
2. Kekerasan pada *AISI 316L Stainless steel* meningkat akibat proses *Shot peening* yang menyebabkan perbaikan butir pada material. Namun kenaikan kekerasan tidak seberapa signifikan, peningkatan kekerasan hanya terjadi pada permukaan yang ditunjukkan pada beberapa titik dari jarak pengambilan data, jarak pengambilan data 20 µm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada raw nilai

distribusi kekerasan tertinggi pada permukaan yang dikenai *shot peening*, yaitu 256.2 HV. Pada sudut lengkungan 0° (datar) nilai distribusi kekerasan tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 266.2 HV. Pada sudut lengkungan 2° nilai distribusi kekerasan tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 277.8 HV. Pada sudut lengkungan 4° nilai tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 280.6 HV. Pada sudut lengkungan 6° nilai tertinggi terdapat pada permukaan yaitu 289.6 HV.

Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk penggantian larutan yang digunakan untuk pengujian laju korosi.
2. Dalam pengambilan data, proses yang perlu diperhatikan adalah tekanan dari kompresor untuk selalu di jaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Asquith, D.T., Yerokhin, A.L., Yates, J.R., Mat-thews, A., 2007, The Effect of Combined Shot Peening and PEO Treatment on The Corrosion Performance of 2024 Al Alloy, *Thin Solid Films*, Vol. 516, pp. 417-421.2.
- Cho, K.T., Song, K., Oh, S.H., Lee, Y.K., Lim, K.M., Lee, W.B., 2012, Surface Hardening of Aluminum Alloy by Shot Peening Treatment with Zn Based Ball, *Materials Science and Engineering*, Vol. 543, pp. 44-49.
- Dieter, G.E., 1988, Mechanical Metallurgy, *Mc.Graw-Hill Book Company*, S1 Metric edition, London, United Kingdom
- Hashemi, B., Yazdi, M.R., Azar, V., 2011, The Wear and Corrosion Resistance of Shot Peened-Nitrided 316L Austenitic Stainless Steel, *Material and Design*, Vol. 32, pp. 3287-3292.

Lee, H., Kim, D., Jung, J., Pyon, , D., Jung, J., Pyon, Y., Shin, K., 2009, Influence of Peening on The Corrosion Properties of AISI 304 Stainless Steel, *Corrosion Science*, Vol. 51, pp. 2826-2830.

Sulistiyawan A., Ichwan M., Djoko, H.P., 2003, Studi Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Austenitik Untuk Material Ortopedi, *Jurnal Sains Material Indonesia*, Vol. 4, No. 2 , hal: 52-56.

Suyitno, Puntodewo, Salim, U.A., Hutama, A., 2012, Rekayasa Permukaan dengan Deformasi Dingin, Sandblasting dan Electropolising pada Implan Ortopedi Dynamics Compression Plate (DCP), *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI dan Thermofluid IV*, UGM, Yogyakarta.

