

## Peningkatan Ketahanan Korosi Pada Material Biomedik Plat Penyambung Tulang SS 304 Dengan Gabungan Metode *Shot peening* dan *Electroplating Ni-Cr*

(Improvement of Corrosion Resistance of Biomedical Materials SS 304 Using  
The Combination of Shot Peening and Ni-Cr Electroplating Method )

SUNARDI, PRIYO TRI ISWANTO, MUDJIJANA

### ABSTRACT

Stainless steel (SS) 304 is widely used as biomedical materials because of its lower cost and its availability. However its corrosion resistance is lower than that of the SS 316L. The purpose of this study is to determine the influence of the combination surface treatment i.e. shot peening treatment and electroplating Ni-Cr on the corrosion resistance in simulated body fluid (SBF) of SS 304 material. The shot peening treatments were carried out using a variable period of 5, 15 and 30 minutes. Diameter steel balls of 0.6 mm with a hardness of 40-50 HRc, was applied. Pressure compressor was maintained in the range of 6 -7 kg / cm<sup>2</sup> with nozzle diameter and the distance between nozzle and the specimen of 5 mm and 10 cm respectively. After shot peening process, the specimens were nickel-electroplated using a voltage of 2 V at current of 0.03 A with the distance between the electrode of 4 cm for 15 minutes. After nickel-electroplated process the specimens were chrome-electroplated using a voltage of 4.5 V at current 0.3 A with the distance between the electrode of 15 cm for 5 minutes. The specimen was then tested its corrosion rate in the test medium SBF using Galvanostat M 273 in the range of -20 mV s / d 20 mV. The corrosion test results show that SS 316L and SS 304 without treatment have corrosion rate respectively 1.212 X 10<sup>-3</sup> mm / year and 4,003 x 10<sup>-3</sup> mm / year. Which means that corrosion rate of SS 304 is 333% higher than SS 316L. The corrosion rate after treatment shot peening 5, 15 and 30 minutes followed by Ni-Cr electroplating is respectively 2.121 x 10<sup>-3</sup> mm / year, 0.554 x 10<sup>-3</sup> mm / year and 0 mm / year (not detected by the measurement instrument).

**Keywords:** Shot peening, Electroplating Ni-Cr, SS 304, SBF, Corrosion resistance

### PENDAHULUAN

Di Indonesia, kebutuhan medis dalam hal implantasi tulang cenderung mengalami peningkatan. Fenomena meningkatnya kasus patah tulang ini dikarenakan semakin tingginya angka kecelakaan dan bencana alam di Indonesia. Maka dari itu, perlu ada pengembangan teknologi dan inovasi baru dalam *biomedical engineering* sehingga menghasilkan produk yang mudah didapat, lebih murah dan terjangkau oleh masyarakat Indonesia tanpa harus melakukan impor bahan implan.

Material yang cukup populer dan banyak digunakan untuk material implan adalah titanium dan *stainless steel*. Kedua material tersebut banyak digunakan karena memiliki kekuatan tinggi, keuletan yang baik, dan biokompatibel (Perren, 2000). Pada penelitian ini material implan yang digunakan adalah SS

304, namun kelemahan bahan implan SS 304 dibandingkan dengan SS 316L adalah laju korosinya lebih tinggi dari pada SS 316L sehingga perlu metode perlakuan permukaan untuk memperbaiki sifat mekanik bahan SS 304 yang lebih baik.

Proses *shot peening* merupakan salah satu metode perlakuan permukaan untuk meningkatkan sifat mekanik bahan seperti meningkatkan kekerasan dan meningkatkan ketahanan korosi. Prinsip kerja *shot peening* adalah penembakan bola-bola baja secara progresif dengan kecepatan tinggi pada permukaan suatu bahan sehingga menghasilkan deformasi plastis dan pengecilan ukuran butir. Pengaruh dari proses *shot peening* diketahui dapat meningkatkan ketahanan korosi, kekerasan dan kekasaran permukaan pada bahan yang diberi perlakuan (Lee, 2009). Pengerasan permukaan yang dihasilkan pada proses *shot peening* akan

meningkatkan kekuatan, meningkatkan umur lelah pada logam dan menurunkan laju rambat retak (Majzooobi, 2009).

Proses *electroplating* merupakan salah satu cara pelapisan permukaan substrat yang berlangsung dalam larutan elektrolit. Substrat berfungsi sebagai katoda, sedangkan anoda merupakan sumber yang nantinya berfungsi sebagai bahan pelapis terhadap substrat. Arus listrik DC dialirkan ke anoda dan katoda. Adanya penambahan perlakuan *electroplating Ni-Cr* diharapkan akan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan kekerasan pada permukaan bahan yang dilapisi. Kelebihan dari metode *electroplating* antara lain proses *electroplating* dapat dilakukan pada suhu kamar sehingga tidak menimbulkan distorsi atau perubahan struktur pada substrat, peralatan relatif murah, komposisi larutan luas, porositas pada lapisan relatif rendah, dan dapat menghasilkan beberapa lapisan (Mulyaningsih, 2013).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan permukaan dengan metode gabungan *shot-peening* dan *electroplating Ni-Cr* terhadap laju korosi material SS 304 dalam media SBF.

## METODE PENELITIAN

### *Pembuatan Spesimen*



GAMBAR 1. Spesimen yang digunakan dalam penelitian

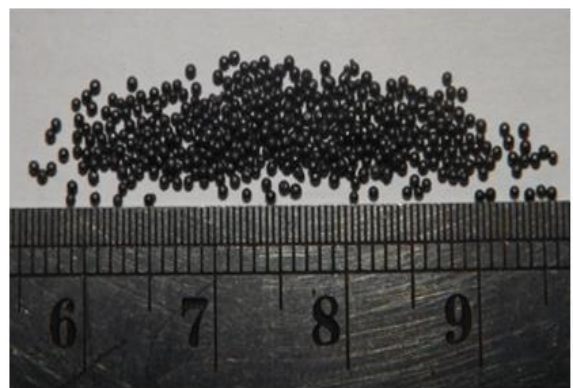
Spesimen dibuat dari bahan SS 304 dan SS 316L berbentuk poros dengan diameter 14 mm menggunakan mesin bubut, selanjutnya memotong spesimen menggunakan gergaji tangan dengan tebal 4 mm sebanyak tujuh spesimen untuk bahan SS 304 dan satu spesimen SS 306L. Permukaan spesimen dihaluskan dengan amplas ukuran mesh 400, 600, 1000 dan 1200 dengan tujuan agar semua spesimen memiliki kondisi awal (*initial condition*) permukaan yang sama. Ditunjukkan pada gambar 1.

Simbol spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Dua huruf pertama (SP) menunjukkan raw material SS 304 dengan perlakuan *shot peening*.
2. Angka dibelakang dua huruf pertama (5, 15, 30) menyatakan waktu penembakan proses *shot peening*.
3. Empat huruf dibelakang angka (Ni-Cr) menyatakan penambahan perlakuan *electroplating Ni-Cr*.

### *Proses Shot Peening*

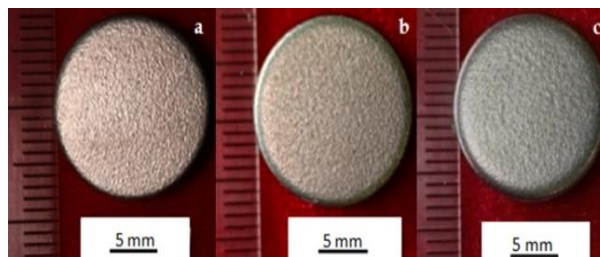
Spesimen SS 304 yang sudah siap berjumlah 6 spesimen selanjutnya dilakukan proses *shot peening* dengan meletakkan spesimen tegak lurus dengan *shot gun* yang berfungsi sebagai *nozzle* dengan jarak 10 cm.



GAMBAR 2. Steel ball diameter 0,6 mm yang digunakan pada proses *shot peening*



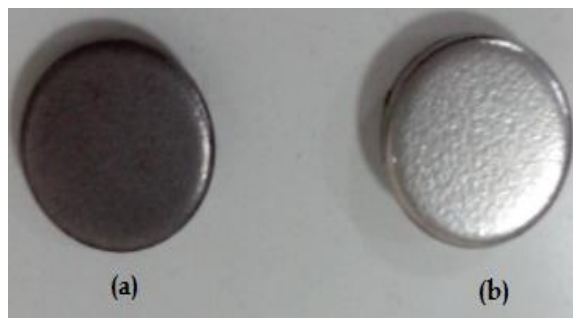
GAMBAR 3. Alat *shot peening* yang digunakan dalam perlakuan permukaan spesimen



GAMBAR 4. Permukaan spesimen SS 304 setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi waktu penembakan (a) 5 menit, (b) 15 menit, (c) 30 menit



GAMBAR 5. Alat yang digunakan dalam proses *electroplating Ni-Cr*



GAMBAR 6. (a) spesimen setelah perlakuan *shot peening*, (b) spesimen setelah perlakuan *shot peening* dilanjutkan *electroplating Ni-Cr*

Proses *shot peening* menggunakan material *steel ball* diameter 0,6 mm seperti ditunjukkan pada gambar 2., besar tekanan kerja pada kompresor saat proses *shot peening* dipertahankan antara 6 – 7  $\text{Kg/cm}^2$  dengan kondisi katub *nozzle* dibuka secara penuh, variasi waktu proses *shot peening* menggunakan 5 menit, 15 menit, dan 30 menit (Sunardi, dkk, 2014). Hasil permukaan spesimen SS304 setelah *shot peening* dapat dilihat pada gambar 4.

#### *Electroplating Ni-Cr*

Prosedur pelapisan nikel pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Larutan nikel dimasukkan dalam bak pelapisan dengan temperatur larutan 26 °C.
2. Spesimen yang telah diperlakukan *shot peening* diikat dengan kawat tembaga ukuran 3 mm berfungsi sebagai pemegang, kemudian spesimen dicuci menggunakan acetone untuk menghilangkan kotoran debu dan minyak (*degreasing*) sebelum

dilakukan proses pelapisan nikel. Spesimen yang sudah bersih selanjutnya dimasukkan kedalam bak perendaman yang berisi larutan nikel.

3. Proses pelapisan nikel dimulai dengan menghidupkan dan mengalirkan arus listrik dari power supply DC tegangan 2 V dan arus 0,03 A dengan menghubungkan kutub positif pada plat nikel (anoda) dan kutub negatif dihubungkan ke spesimen (katoda). Jarak antara anoda dengan katoda pada proses pelapisan nikel 4 cm dan membutuhkan waktu pelapisan nikel 15 menit.
4. Spesimen yang sudah terlapisi nikel dibilas dengan air bersih (*rinsing*) untuk selanjutnya dilakukan proses pelapisan krom.

Prosedur pelapisan krom pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan larutan krom dalam bak pelapisan dengan temperatur larutan 40°C - 45°C.

2. Spesimen yang sudah terlapis nikel dicuci menggunakan cairan acetone untuk menghilangkan kotoran debu dan minyak sebelum dilakukan proses pelapisan krom.
3. Menghidupkan *Power supply* DC serta mengatur tegangan 4,5 V dan arus 0,3 A.
4. Spesimen yang sudah dibersihkan diikat dengan kawat tembaga ukuran 3 mm, selanjutnya dimasukkan kedalam bak perendaman yang berisi larutan krom.
5. Menghubungkan kutub positif pada plat timbal (anoda) dan kutub negatif dihubungkan ke spesimen (katoda). Jarak antara anoda dan katoda pada proses pelapisan krom 15 cm.
6. Proses pelapisan krom pada spesimen dengan waktu selama 5 menit, setelah selesai spesimen diangkat, dibilas dengan air dan dikeringkan, kemudian dimasukan pada tempat kedap udara.

Hasil permukaan spesimen SS304 setelah *shot peening* dan *electroplating Ni-Cr* dapat dilihat pada gambar 6.

#### Uji Korosi

Proses uji korosi, spesimen dimasukkan ke dalam cairan tubuh buatan SBF (*Simulated Body Fluid*) menggunakan cairan infus merk Otsu-RL buatan Otsuka Jepang (Sunendar, dkk, 2012). Pengujian laju korosi dilakukan pada spesimen *raw material* SS 304 maupun SS 316L dan spesimen SS 304 yang telah mendapat perlakuan *shot peening* dan

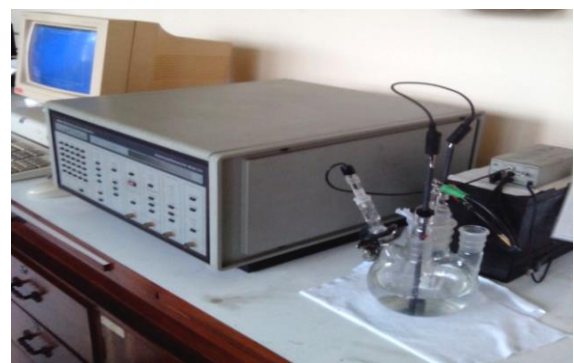
gabungan perlakuan *shot peening electroplating Ni-Cr* dapat dilihat pada tabel 1. Prinsip kerja uji korosi, di mana spesimen yang diuji sebagai elektroda kerja, elektroda pembantu menggunakan karbon dan elektroda acuan menggunakan kalomel jenuh. Ketiga elektroda ini dicelupkan dalam tabung yang berisi 600 ml larutan SBF dan terhubung dengan potentiostat dan galvanostat. Kemudian proses korosi dimulai dengan pemberian potensial pada elektroda kerja dari -20 mV sampai 20 mV. Harga laju korosi dapat ditentukan berdasarkan harga dari *I<sub>corr</sub>*. Di mana harga laju korosi suatu logam dalam lingkungannya sebanding dengan harga *I<sub>corr</sub>*. Alat uji korosi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 7.

#### Uji Ketebalan Lapisan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tebal lapisan yang terbentuk dari spesimen setelah dilakukan proses *electroplating Ni-Cr*. Pertama spesimen dimasukan dalam cairan akrilik yang nantinya digunakan sebagai pemegang. Pemotongan sampel dilakukan dalam arah lateral untuk mendapatkan penampang melintang dari substrat yang dilapisi, kemudian sampel dihaluskan terlebih dahulu dengan amplas mesh nomor 600, 800, 1000 dan 1200. Ditunjukkan pada gambar 8.

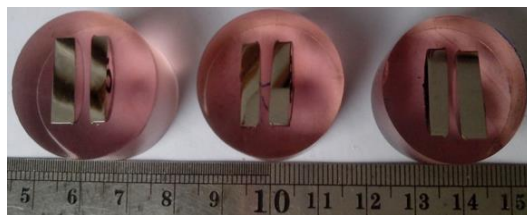
TABEL 1. Jumlah spesimen yang diperlukan dalam pengujian laju korosi

No	Perlakuan permukaan	Spesimen	Jumlah
1	Tanpa perlakuan	Raw material SS 316L	1
2	Tanpa perlakuan	Raw material SS 304	1
3	Shot peening 5 menit	SP 5	1
4	Shot peening 15 menit	SP 15	1
5	Shot peening 30 menit	SP 30	1
6	Shot peening 5 menit+Ni-Cr	SP 5+Ni-Cr	1
7	Shot peening 15 menit+Ni-Cr	SP 15+Ni-Cr	1
8	Shot peening 30 menit+Ni-Cr	SP 30+Ni-Cr	1



GAMBAR 7. Alat uji korosi model M 273





GAMBAR 8. Penampang melintang spesimen SS 304 setelah perlakuan *shot peening* dan *electroplating NiCr* untuk uji ketebalan lapisan

Proses selanjutnya yaitu pemolesan spesimen dengan menggunakan kain dan zat *metal polish* sampai diperoleh hasil permukaan sampel mengkilat dan tanpa goresan. Spesimen kemudian diamati dengan mikroskop optik dan difoto menggunakan optilab yang dihubungkan dengan komputer dengan hasil foto pembesaran 200 kali. Pengukuran ketebalan lapisan Ni-Cr yang terbentuk pada spesimen menggunakan metode pengukuran dengan skala kalibrasi pada mikroskop optik. Metode ini pernah dilakukan oleh hasa (2007).

## PEMBAHASAN

### Hasil Uji Korosi

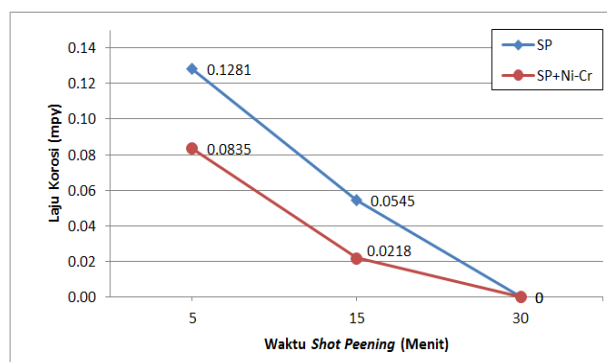
Hasil uji korosi pada Gambar 10, menunjukkan bahwa proses *shot peening* dapat meningkatkan ketahanan korosi pada bahan yang diberi perlakuan, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wang dan Li (2002), bahwa peningkatan ketahanan korosi pada spesimen diakibatkan formasi lapisan pasif

yang melindungi permukaan logam semakin baik dengan timbulnya lapisan *nanocrystalline* akibat tumbukan bola-bola baja waktu proses *shot peening* serta lapisan *nanocrystalline* yang terbentuk dapat menahan dislokasi butir, penghambatan dislokasi inilah yang kemungkinan juga menyebabkan menurunnya tingkat laju korosi. Pada Gambar 10, juga menunjukkan bahwa variasi waktu proses *shot peening* mempengaruhi turunnya laju korosi, hal ini disebabkan karena semakin lama waktu *shot peening*, maka lapisan *nanocrystalline* yang dihasilkan semakin banyak.

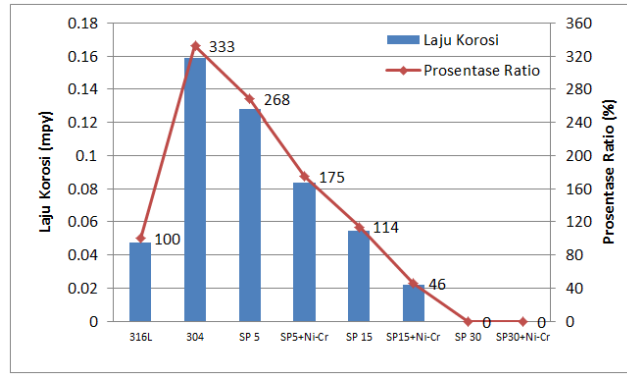
Laju korosi antara *raw material* SS 304 yang telah diperlakukan *shot peening* dengan variasi waktu penembakan dan penambahan perlakuan pelapisan Ni-Cr ditunjukkan pada Gambar 10, di mana dengan penambahan pelapisan Ni-Cr akan menurunkan laju korosi. Sedangkan pada spesimen SP 30 dan SP 30+Ni-Cr dalam pengujian korosi pada media SBF diperoleh laju korosinya 0 mpy, ini diduga karena nilai laju korosi yang terjadi sangat kecil, maka dengan batasan parameter alat yang digunakan tidak bisa mendeteksi laju korosi yang terjadi.



GAMBAR 9. Mikroskop optik untuk uji ketebalan lapisan Ni-Cr



GAMBAR 10. Laju korosi SS 304 setelah perlakuan *shot peening* dan perlakuan *shot peening* dilanjutkan *electroplating Ni-Cr*



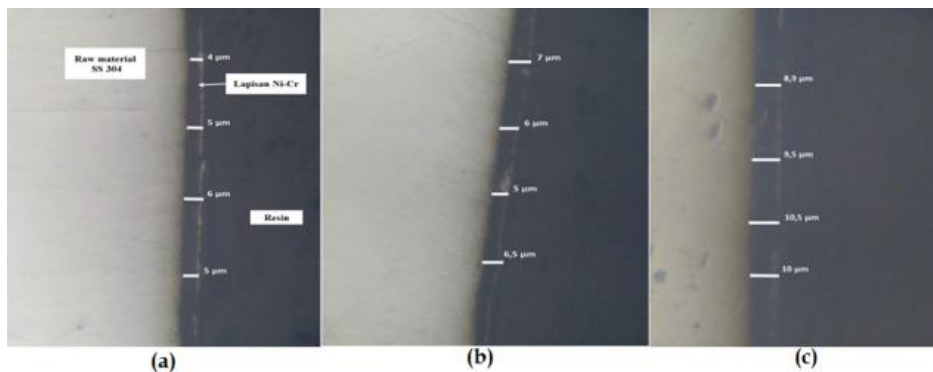
GAMBAR 11. Perbandingan laju korosi dan prosentase ratio SS 304 sebelum dan setelah perlakuan terhadap SS 316L dalam media SBF.

Perbandingan laju korosi dalam media SBF antara SS 316L, SS 304 dan SS 304 setelah perlakuan *shot peening* dan *electroplating Ni-Cr* ditunjukkan pada Gambar 11., bahwa setelah spesimen diperlakukan *shot peening* dan *electroplating Ni-Cr* terjadi penurunan laju korosi, dimana bila dilihat dari prosentase ratio laju korosinya sebelum ada perlakuan

spesimen SS 304 terhadap SS 316L sebesar 333% setelah perlakuan bisa menjadi 0%. Dari hasil pengujian laju korosi spesimen sebelum dan sesudah perlakuan permukaan *shot peening* dan *electroplating Ni-Cr* pada media SBF diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL 2. Nilai laju korosi spesimen sebelum dan setelah perlakuan

Spesimen	Corr Rate		Prosentase Ratio (%)	Peringkat Laju Korosi
	mpy	mm/yr		
SS 316L	0,0477	$1,212 \cdot 10^{-3}$	100	Outstanding
SS 304	0,1588	$4,033 \cdot 10^{-3}$	333	
SS 304 SP 5	0,1281	$3,254 \cdot 10^{-3}$	268	
SS 304 SP 5+Ni-Cr	0,0835	$2,121 \cdot 10^{-3}$	175	
SS 304 SP 15	0,0545	$1,384 \cdot 10^{-3}$	114	
SS 304 SP 15+Ni-Cr	0,0218	$0,554 \cdot 10^{-3}$	46	
SS 304 SP 30	0	0	0	
SS 304 SP 30+Ni-Cr	0	0	0	



Gambar 12. Ketebalan lapisan Ni-Cr pada SS 304 setelah perlakuan *shot peening*, (a) SP5 + Ni-Cr, (b) SP15 + Ni-Cr, (c) SP30 + Ni-C

Tabel 3. Ketebalan lapisan Ni-Cr dengan variasi waktu *shot peening* pada SS 304

No	Spesimen	Ketebalan lapisan ( $\mu\text{m}$ )				rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
		4	5	6	5	
1	SP5+Ni-Cr	4	5	6	5	5
3	SP15+Ni-Cr	7	6	5	6,5	6,1
6	SP30+Ni-Cr	8,9	9,5	10,5	10	9,7

### Hasil Ketebalan Lapisan

Hasil pelapisan Ni-Cr pada permukaan spesimen SS 304 yang telah diperlakukan dengan *shot peening* menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200 kali. Pada Gambar 12. menunjukkan hasil ketebalan lapisan cenderung semakin meningkat pada permukaan yang semakin halus (SP 30+Ni-Cr) dengan ketebalan lapisan rata-rata 9,7  $\mu\text{m}$ , ini dikarenakan pada permukaan yang halus mempunyai luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan permukaan yang kasar. Di mana rapat arus merupakan perbandingan antara arus dan luas permukaan logam yang dilapisi sehingga besar kecilnya luas permukaan akan mempengaruhi rapat arus saat proses *electroplating*, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Hasa (2007) bahwa rapat arus dan waktu *electroplating* yang semakin tinggi akan semakin meningkatkan ketebalan lapisan.

### KESIMPULAN

1. Hasil uji korosi dalam media SBF menunjukkan, spesimen SS 316L dan SS 304 tanpa perlakuan masing-masing laju korosinya adalah  $1,212 \times 10^{-3}$  mm/year dan  $4,003 \times 10^{-3}$  mm/year yang artinya laju korosi SS 304 lebih tinggi 333% dari SS 316L. Laju korosi setelah perlakuan *shot peening* 5, 15 dan 15 menit masing-masing  $3,254 \times 10^{-3}$  mm/year,  $1,384 \times 10^{-3}$  mm/year dan 0 mm/year.
2. Laju korosi SS 304 perlakuan *shot peening* 5, 15 dan 30 menit dan *electroplating Ni-Cr* masing-masing  $2,121 \times 10^{-3}$  mm/year,  $0,554 \times 10^{-3}$  mm/year dan 0 mm/year.
3. Perlakuan permukaan dengan metode *shot peening* dan *electroplating Ni-Cr* sangat efektif dalam menurunkan laju korosi.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah membantu dalam pendanaan pada penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Hasa, M.H. (2007). Pengaruh Rapat Arus Listrik dan Waktu *Electroplating* terhadap Ketebalan Lapisan Nikel pada Foil Uranium, *Urania*, Vol. 13, (hal. 1-45).
- Lee, H., Kim, D., Jung, J., Pyon, D., Shin, K. (2009). Influence of Peening on The Corrosion Properties of AISI 304 Stainless Steel, *Corrosion Science*, Vol. 51, (pp. 2826-2830).
- Majzooobi, G.H., Nemati, J., Novin Rozz A.J., Farrahi, G.H. (2009). Modification of Fretting Fatigue Behavior of AL7075-T6 Alloy by The Application of Titanium Coating using IBED Technique and Shot Peening, *Tribology International*, Vol. 42, (pp. 121-129).
- Mulyaningsih, N. (2013). Pengaruh Waktu *Electroplating* Nikel-Chrom Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Dalam Media Cairan PBS Stainless Steel 304, Teknik Mesin, UGM, Yogyakarta.
- Perren, Stephan M., Robert Mathys, Ortrun Pohler. (2000). *AO Principles of Fracture Management: Implants and Materials in Fracture Fixation*. New York: AO Publishing.

- Sunardi, Iswanto P.T. (2014). Peningkatan Ketahanan Korosi Load Bearing Medical Implant SS 304 pada Media Simulated Body Fluid (SBF) dengan Metode Shot peening. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII*, Vol.13, (hal. 937-942)
- Sunendar, B., Hermawan I.T. (2008). Preparasi dan Karakterisasi Kalsium Ferit dari Keramik Biogelas Menggunakan Simulated Body Fluid (SBF) Ringer Untuk Aplikasi Identifikasi Sel Kanker, *Jurnal Sains Material Indonesia*, Vol. 10, No. 1 , (hal. 1-6).
- Wang X.Y., Li D.Y. (2002). Mechanical and Electrochemical Behavior of Nanocrystalline Surface of 304 Stainless Steel, *Electrochimica Acta*, Vol 47, No. 24, (pp.3939-3947).

---

PENULIS:

Sunardi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan Tamantirto Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183.

Email: sunardi@umy.ac.id

Priyo Tri Iswanto

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281

Mudjijana

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281