

Peningkatan Ketahanan Korosi *Load Bearing Medical Implant SS304* pada Media *Simulated Body Fluid* (SBF) dengan Metode *Shot-peening*

Sunardi^{1,a*}, Priyo Tri Iswanto^{2,b}

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

²Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Email: ^asunardi. umy@gmail.com, ^bpriyotri@ugm.ac.id

Abstrak

Plat penyambung tulang (*load-bearing implant*) sangat dibutuhkan dalam rekonstruksi patah tulang. Material *implant* yang paling umum digunakan adalah *stainless steels (SS)*, *pure titanium*, *titanium alloys* dan *cobalt-base alloys*. Dibandingkan dengan *SS316L*, *SS304* harganya jauh lebih murah, tetapi laju korosinya jauh lebih tinggi ($\pm 350\%$) sehingga penggunaanya sebagai bahan *implant* mulai ditinggalkan. Pemilihan *SS304* dalam penelitian ini dikarenakan harganya yang jauh lebih murah dan ada kemungkinan untuk diperbaiki *corrosion rate* *SS304* dengan metode *shot-peening*, sehingga diharapkan dapat mendekati atau lebih baik dari pada *corrosion rate* *SS316L* yang harganya jauh lebih mahal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan permukaan dengan metode *shot peening* terhadap struktur mikro, kekasaran permukaan, kekerasan, dan laju korosi dalam media *simulated body fluid* (SBF) pada *medical implant SS304*.

Kelompok pertama adalah *specimen SS304* dan *SS316L* tanpa perlakuan. Kelompok kedua adalah *specimen SS304* yang mendapatkan perlakuan permukaan dengan *shot peening*. Proses *shot peening* menggunakan variasi waktu 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 menit. Material *shot* menggunakan bola baja diameter 0.6 mm dengan kekerasan 40-50 HRc. Tekanan kerja *shot peening* dipertahankan pada 6-7 kg/cm². Diameter *nozzle* adalah 5 mm, diameter pipa hisap 9 mm dan jarak tembak antara *nozzle* dengan permukaan benda uji 10 cm. Seluruh *specimen* tersebut kemudian diuji korosi menggunakan alat Galvanostat model M 273 dengan rentang tegangan -20 mV s/d 20 mV dan *scan rate* 0,1 mV/s dengan media uji SBF. Uji kekerasan menggunakan alat mikro Vickers Buchler Micromet 2100 series, dan uji kekasaran permukaan menggunakan *surfcode* model SE 1700.

Hasil penelitian menunjukkan setelah *dishot-peening* kekerasan *SS304* meningkat hingga mencapai 200% dibandingkan *specimen* tanpa perlakuan. *Shot-peening* juga meningkatkan kekasaran permukaan. Dari hasil uji korosi menunjukkan, *SS316L* dan *SS304* tanpa *shot-peening* mempunyai laju korosi dalam media SBF masing-masing adalah $1,212 \times 10^{-3}$ mm/year dan $4,033 \times 10^{-3}$ mm/year, yang artinya laju korosi *SS304* adalah 333% dari laju korosi *SS316L*. Laju korosi *SS304* yang mendapat perlakuan *shot-peening* 5, 15 dan 30 menit masing-masing adalah $3,254 \times 10^{-3}$ mm/year, $1,384 \times 10^{-3}$ mm/year dan 0 mm/year (tidak terdeteksi oleh alat). Dari hasil tersebut menunjukkan metode *shot-peening* sangat efektif dalam menurunkan laju korosi.

Kata kunci : *Load bearing medical implant, SS304, Shot-peening, Corrosion rate, SBF*

Pendahuluan

Bahan *implant* plat penyambung tulang merupakan benda asing yang harus mempunyai sifat *biocompatibility* terhadap lingkungan dalam tubuh berupa cairan darah yang mengandung klorida, perilaku mekanik dan tahan terhadap korosi [1]. Kelemahan bahan *implant* *SS304* dibandingkan dengan *SS316L* adalah laju korosinya lebih besar dari pada *SS316L* sehingga perlu metode perlakuan permukaan untuk memperbaiki sifat mekanik bahan *SS304* yang lebih baik.

Proses *shot peening* merupakan salah satu metode perlakuan permukaan untuk meningkatkan sifat mekanik bahan. Metode *shot-peening* merupakan 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 [2], sehingga dalam penelitian ini diharapkan dengan perlakuan permukaan pada *SS304* dengan *shot-peening* dapat mendekati

bahkan lebih baik *corrosion rate* dari *SS316L*. Kekasaran permukaan dan keterbasahan pada permukaan bahan implan menentukan stabilitas integrasi tulang dengan implan, kesetabilan dapat ditemukan pada implan dengan permukaan kasar dan *hydrophilic* dengan ditandai pembentukan jaringan tulang baru yang lebih tinggi di sekitar permukaan sehingga tercipta ikatan kuat antara *implant* dan jaringan tulang [3]. Pengerasan permukaan yang dihasilkan pada proses *shot-peening* akan meningkatkan kekuatan, meningkatkan umur lelah pada logam dan menurunkan laju rambat retak [4], dimana material mengalami kerusakan sebagian besar bermula pada bagian permukaan material, kegagalan terjadi berupa patahan dengan diawali retak halus pada permukaannya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan permukaan dengan metode *shot-peening* terhadap struktur mikro, kekasaran permukaan, kekerasan dan laju korosi dalam media SBF pada *SS304*.

Metode Penelitian

Proses pembuatan *specimen SS304* dan *SS316L* dengan membubut poros menjadi diameter 14 mm, kemudian memotongnya menggunakan gergaji tangan dengan tebal 4 mm sebanyak tujuh untuk *specimen SS304* dan satu *specimen SS306L*, selanjutnya permukaan *specimen* dihaluskan dengan amplas 400-1000 mesh.



Gambar 1. *Specimen* yang digunakan dalam penelitian

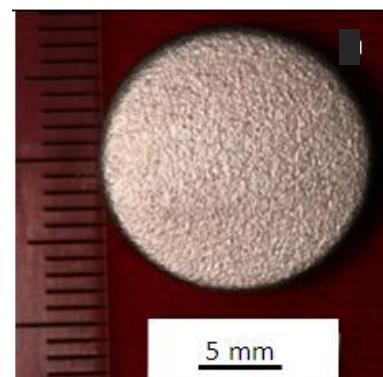
Proses *shot-peening* dilakukan pada enam dari tujuh *specimen SS304* dengan pemasangan *specimen* diletakkan tegak lurus dengan *shot gun* yang berfungsi sebagai *nozzle* dengan jarak 10 cm, diameter *nozzle* 5 mm, diameter pipa hisap 9 mm, material tembak menggunakan *steel ball* SAE S-230 merk sinto buatan siambrator thailand dengan diameter 0,6 mm, kekerasan *steel ball* 40-50 HRc.



Gambar 2. Alat pengujian *shot-peening*

Tenaga kompresor menggunakan mesin diesel Dong Feng model S195 mempunyai *max rated output* 13 HP/2000 RPM. Besar tekanan kerja pada kompresor saat proses *shot-peening* dipertahankan antara 6 – 7 kg/cm² dengan membuka penuh katub *nozzle*, variasi proses *shot-peening* menggunakan waktu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit [5].

Alat yang digunakan proses pengeraan *shot-peening* pada permukaan *specimen SS304* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Hasil *specimen SS304* setelah perlakuan *shot-peening* selama 5 menit

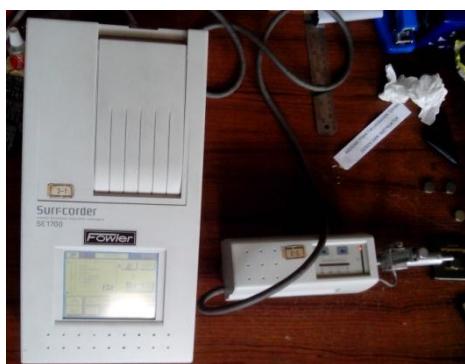
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari *specimen SS304* yang terbentuk setelah *dishot-peening*. Pemotongan *specimen* dilakukan dalam arah lateral untuk mendapatkan penampang melintang, kemudian sampel dihaluskan dengan amplas nomor 600, 800 dan 1000 mesh.



Gambar 4. Mikroskop optik

Proses selanjutnya pemolesan *specimen* dengan menggunakan kain dan autosol sampai diperoleh hasil permukaan sampel mengkilat tanpa goresan, selanjutnya *specimen* dietsa menggunakan campuran 65% HCl dan 35% HNO₃. Kemudian *specimen* diamati dan difoto pembesaran 40 kali dengan mikroskop optik dan optilab yang dihubungkan dengan komputer.

Pengujian kekasaran permukaan dilakukan pada permukaan *specimen* SS304 sebelum dan setelah perlakuan *shot-peening* dengan waktu 5, 10 dan 30 menit menggunakan alat *surfcoater tipe SE 1700 standard ANSI merk Fowler* dengan pengaturan *M speed* 0,500 mm/s, *cut off* 0,800 mm, *E Length* 4 cm. Nilai kekasaran yang diperoleh dari hasil pengujian yaitu nilai kekasaran rata-rata (Ra).



Gambar 5. Alat Uji Kekasaran permukaan

Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan *specimen* SS304 dan penampang melintang *specimen* setelah mendapat perlakuan *shot-peening*. Pengujian sesuai standar ASTM E 384, dimana beban indentasi yang digunakan 100 gram dengan *load time* 10 detik. Pengukuran hasil jejak intan diukur pada arah sumbu X (horisontal) dan sumbu Y (vertikal), sehingga diperoleh diameter rata-rata yang digunakan untuk menghitung besar nilai *Vickers Hardness Number* (VHN) pada permukaan *specimen*.



Gambar 6. Alat uji kekerasan

Setiap *specimen* dilakukan 7 titik pengujian kekerasan pada permukaannya dan pengujian kekerasan penampang 7 titik ke arah horizontal dan 8 titik vertikal dari permukaan *specimen* sampai kedalaman 0,82 mm dengan interval 0.1 mm, sehingga diperoleh nilai distribusi kekerasan.

Nilai kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1):

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2} (\text{kg/mm}^2) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

P = beban terpasang (kg)

d = diameter injakan (mm)

Uji korosi dilakukan didalam cairan tubuh buatan SBF menggunakan cairan infus *merk Otsu-RL* buatan Otsuka Jepang [6]. Komposisi utama SBF adalah Natrium Laktat (C₃H₅NaO₃) 1,55 gram, Kalium Klorida (KCl) 0,15 gram, Natrium Klorida (NaCl) 3,0 gram dan Kalsium Klorida (CaCl₂2H₂O) 0,10 gram. Pengujian laju korosi dilakukan pada *specimen* SS316L dan SS304 sebelum dan setelah perlakuan *shot-peening* dengan waktu penembakan 5, 15 dan 30 menit.

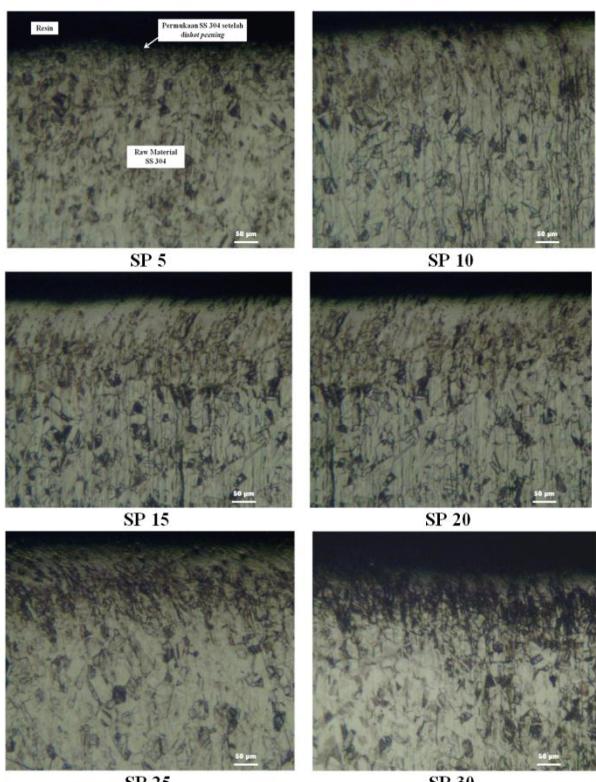


Gambar 7. Alat uji korosi dengan potensiostat/galvanostat model M 273

Pengujian korosi dilakukan di Laboratorium Uji Korosi, Badan Tenaga Atom Nuklir (BATAN) Serpong. Proses pengujian dimana *specimen* 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 potensiostat dan galvanostat. Kemudian proses korosi dimulai dengan pemberian potensial pada elektroda kerja dari -20 mV sampai 20 mV. Hasil Pengujian diperoleh harga *Icorr* dan *corrosion rate*, dimana harga laju korosi suatu logam dalam lingkungannya sebanding dengan harga *Icorr* [7].

Hasil Uji Struktur Mikro

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8, dimana struktur mikro *specimen* SS304 setelah perlakuan *shot-peening* walaupun tidak terlalu jelas terlihat mengalami perubahan yaitu terjadi penghalusan ukuran butir pada permukaan *specimen* tetapi semakin jauh dari permukaan ukuran butir semakin membesar dan seragam. Proses *shot-peening* akan membentuk lapisan permukaan berstruktur nano/lapisan *nanocrystalline* dengan ukuran butir 10 nm - 100 nm [8].



Gambar 8. Foto struktur mikro permukaan penampang melintang pada *specimen* SS304 setelah perlakuan *shot-peening*

Pada Gambar 8, dapat dilihat juga pengaruh waktu *shot peening* pada permukaan *specimen*, dimana semakin lama waktu penembakan ukuran butir akan semakin halus dan jaraknya akan bertambah jauh dari permukaan *specimen*.

Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Nilai kekasaran rata-rata (Ra) pada *specimen* SS304 sebelum perlakuan *shot-peening* 0,141 μm kemudian setelah perlakuan *shot-peening* dengan waktu 5, 15 dan 30 menit terjadi peningkatan kekasaran permukaan masing-masing 2,936 μm , 2,400 μm dan 1,669 μm . Pengaruh waktu dalam proses *shot-peening* terhadap kekasaran permukaan yaitu semakin lama waktu proses *shot-peening* yang diberikan maka permukaan *specimen* yang belum terkena benturan bola-bola baja akan terkena tembakan bola-bola baja sehingga menghasilkan permukaan *specimen* yang semakin rata dan halus dengan dilihat dari hasil nilai kekasaran rata-rata yang semakin turun.

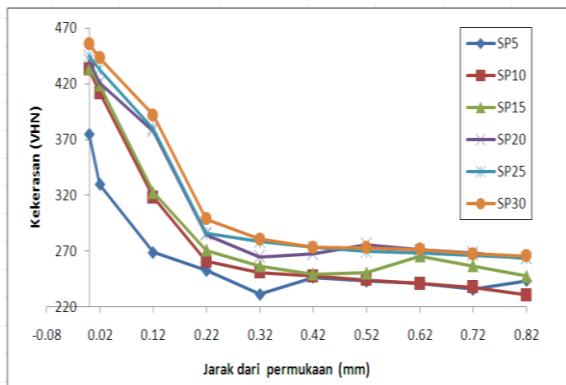
Kekasaran permukaan bahan implan antara 1 μm - 50 μm memberikan tingkat morfologi yang cocok untuk keberhasilan dan *biofunctioning* sistem implan [9].

Hasil Uji Kekerasan

Hasil dari pengujian kekerasan dengan metode mikro Vickers pada bagian permukaan *specimen* SS304 sebelum perlakuan *shot-peening* adalah 230 VHN kemudian setelah perlakuan proses *shot peening* menggunakan variasi waktu 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 menit terjadi peningkatan dengan nilai kekerasan maksimal pada waktu 30 menit sebesar 456 VHN. Meningkatnya nilai kekerasan pada permukaan *specimen* seiring dengan lama waktu yang diberikan saat penembakan bola-bola baja pada proses *shot peening*, kemungkinan hal ini disebabkan adanya peningkatan deformasi plastis yang terjadi pada permukaan *specimen* setelah proses *shot-peening* sehingga dapat menimbulkan kerapatan dislokasi yang menimbulkan efek pengerasan regangan (*strain hardening effect*).

Proses perlakuan *shot peening* akan menghasilkan kekerasan dari permukaan sampai kedalaman tertentu [10]. Pada Gambar 9, menunjukkan hasil nilai distribusi kekerasan pada penampang *specimen* setelah *dishot-peening* terjadi penurunan kekerasan seiring dengan semakin jauh jarak dari permukaannya, hal ini disebabkan pengaruh *shot-peening* akan menghasilkan pengecilan ukuran butir pada permukaan *specimen*, tetapi semakin jauh dari permukaan ukuran butir semakin membesar dan seragam. Dari nilai distribusi kekerasan pada

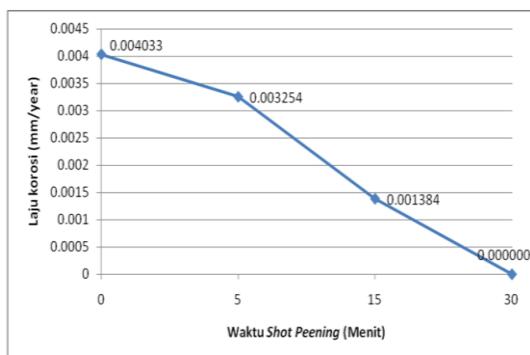
Gambar 9, juga ditunjukkan bahwa semakin lama waktu *shot-peening* menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi pada jarak kedalaman yang sama dari permukaan, hal ini karena bertambahnya waktu proses *shot-peening* akan menghasilkan deformasi yang lebih besar sehingga menghasilkan pengerasan permukaan yang lebih dalam.



Gambar 9. Distribusi kekerasan penampang specimen SS304 setelah *shot-peening* dengan variasi waktu

Hasil Uji Korosi

Proses *shot-peening* dapat meningkatkan ketahanan korosi pada bahan yang diberi perlakuan, meningkatnya ketahanan korosi pada specimen diakibatkan formasi lapisan pasif yang melindungi permukaan logam semakin baik dengan timbulnya lapisan *nanocrystalline* akibat hasil tumbukan bola-bola baja pada waktu proses perlakuan *shot-peening* [11].

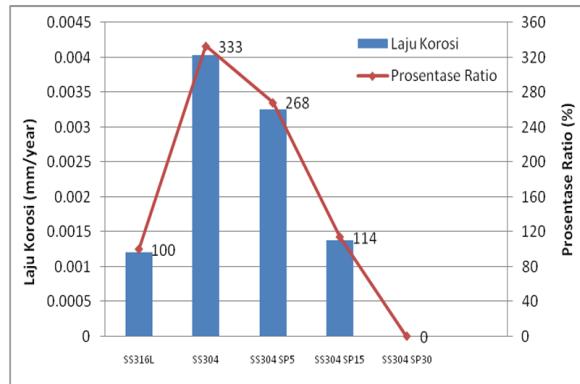


Gambar 10. Laju korosi SS304 sebelum perlakuan dan setelah perlakuan dengan variasi waktu *shot-peening*.

Dari hasil uji korosi SS316L dan SS304 tanpa perlakuan *shot-peening* dalam media SBF masing-masing adalah $1,212 \times 10^{-3}$ mm/year dan $4,033 \times 10^{-3}$ mm/year. Pada Gambar 10, menunjukkan bahwa specimen SS304 setelah perlakuan dengan variasi waktu *shot-peening* 5 menit (SS304 SP5), 15 menit (SS304 SP15) dan 30 menit (SS304

SP30) mempunyai laju korosi masing-masing adalah $3,254 \times 10^{-3}$ mm/year, $1,384 \times 10^{-3}$ mm/year dan 0 mm/year, sehingga pengaruh waktu *shot-peening* mempengaruhi turunnya laju korosi, hal ini mungkin disebabkan karena semakin lama waktu *shot peening*, maka lapisan *nanocrystalline* yang dihasilkan semakin banyak.

Sedangkan pada specimen SS304 SP30 dalam pengujian korosi pada media SBF diperoleh laju korosinya 0 mm/year, ini diduga karena nilai laju korosi yang terjadi sangat kecil, maka dengan batasan parameter alat yang digunakan tidak bisa mendekripsi laju korosi yang terjadi.



Gambar 11. Perbandingan laju korosi dan prosentase ratio SS304 sebelum dan setelah perlakuan terhadap SS316L dalam media SBF

Perbandingan laju korosi dalam media SBF antara SS316L dengan SS304 sebelum dan setelah perlakuan *shot-peening* ditunjukkan pada Gambar 11, dimana setelah specimen diperlakukan *shot peening* terjadi penurunan laju korosi dari prosentase ratio laju korosinya sebelum ada perlakuan specimen SS304 terhadap SS316L sebesar 333% setelah perlakuan bisa menjadi 0%.

Kesimpulan

1. Pengaruh perlakuan permukaan dengan metode *shot-peening* pada specimen SS304 dalam penelitian ini akan meningkatkan kekerasan permukaan dari $0,141 \mu\text{m}$ menjadi $1,669 \mu\text{m}$, meningkatkan kekerasan permukaan dari 230 VHN menjadi 456 VHN serta menghasilkan peningkatan distribusi kekerasan permukaan yang signifikan sampai kedalaman 0,17 mm.
2. Hasil laju korosi dalam media SBF SS316L dan SS304 tanpa perlakuan masing-masing adalah $1,212 \times 10^{-3}$ mm/year dan $4,033 \times 10^{-3}$ mm/year. Laju korosi SS304 setelah perlakuan *shot-peening* dengan waktu 5, 15 dan 30 menit masing-masing $3,254 \times 10^{-3}$ mm/year, $1,384 \times 10^{-3}$ mm/year dan 0 mm/year sehingga dari hasil uji korosi menunjukkan metode *shot-*

peening sangat efektif dalam menurunkan laju korosi.

3. *Specimen SS304 SP30* adalah *specimen* yang *compatible* untuk bahan *implant* plat penyambung tulang.

Referensi

- [1] Davis, J.R., *Handbook of Materials for Medical Devices*, ASM International, 2003, pp. 13-19.
- [2] Lee, H., Kim, D., Jung, J., Pyon, D., Shin, K.: submitted to *Corrosion Science* (2009)
- [3] Elies, C.N., Oshida, Y., Lima, J.H.C., Muller, C.A.: submitted to *Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials* (2008)
- [4] Majzoobi, G.H., Nemati, J., Novin Rozz A.J., Farrahi, G.H.: submitted to *Journal of Tribology International* (2009)
- [5] Arifvianto, B., Suyitno, Mahardika, M.: submitted to *Key Engineering Materials* (2009)
- [6] Sunendar, B., Hermawan, I.T.: submitted to *Journal of sains Material Indonesia* (2008)
- [7] Jones, D.A., *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan, New York, 1991.
- [8] Umemoto, M.: submitted to *Journal of Material Transaction* (2003)
- [9] Oshida, Y.: submitted to *Journal of Elsevier Science* (2007)
- [10] Hashemi, B., Yazdi, M.R., Azar, V.: submitted to *Journal of Material and Design* (2011)
- [11] Wang, X.Y., Li, D.Y.: submitted to *Journal of Electrochimica Acta* (2007)