

PENGARUH DIAMETER STEEL BALL SHOT PEENING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN, WETTABILITY DAN LAJU KOROSI PADA STAINLESS STEEL AISI 304

Sunardi^{1,a}, Aris Widyo Nugroho^{1,b}, Achmad Zamhari Julianto^{1,c}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

^asunardi@umy.ac.id, ^bnugrohoaris@gmail.com

Abstract

Stainless steel (SS) 304 is material commonly used in biomedical applications, because this material is corrosion resistant, easily obtained, relatively light, easily formed and low price. However, its corrosion rate tend to be higher compared to the biomedical materials. Thus, it needs surface treatment to overcome its weakness. The purpose of this research is to determine the effect of shot peening on surface roughness, wettability and corrosion rate in Synthetic Body Fluid (SBF) of SS-304 material. The samples are circular shapes of 14 mm diameter and 4 mm thickness of SS-304 materials. The shot peening was conducted with nozzle distance of 100 mm, spraying pressure of 6 bar, spraying time of 10 minutes, and shooting angle of 90°. Steel ball diameter being used are 0.4 mm, 0.6 mm, 0.7 mm, and the properties being characterized are surface roughness, wettability and corrosion resistance. The results shows that the shot peening can increase the surface roughness from $0.868 \mu\text{m} \pm 0.056 \mu\text{m}$ for the raw material up to $2.248 \mu\text{m} \pm 0.481 \mu\text{m}$ for shoot-peened material using steel ball diameter of 0.7 mm. The corrosion resistance decreases from 55.83 ± 2.44 mpy for the raw material to 113.15 ± 7.51 mpy for the shoot-peened material using steel ball diameter of 0.4 mm, and the increase surface hardness was found being 276 %, . In addition, wettability test indicates that sample surface after being shot peened treatment to be hydrophilic.

Keywords: Shot peening, stainless steel AISI 304, surface roughness, corrosion rate, SBF

1. Pendahuluan

Material *implant* pada bidang *orthopedic* umumnya terjadi kegagalan karena struktur dan karakteristik yang kurang sempurna. Sehingga masih banyak penelitian dilakukan untuk mengatasi kegagalan tersebut. Adapun kegagalan yang biasa terjadi pada material plat penyambung tulang (*implant*) seperti terjadi korosi, *over loading*, *fatigue*, patah, dan lain-lain.

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi terjadi pada saat adanya reaksi pelarutan (*dissolution*) logam menjadi ion pada permukaan logam yang berkontak dengan lingkungan yang mengandung cairan/air dan oksigen melalui reaksi kimia (Trethewey dan Chamberlain, 1991). Kondisi riilnya, *orthopedic implant* akan menerima beban dinamis dan berinteraksi dengan cairan tubuh manusia. Kegagalan 90 persen terjadi pada *orthopedic Implant* disebabkan retak fatik dan korosi. Karena secara alami *orthopedic implant* mengalami pergerakan sesuai gerak bagian tubuh, sehingga timbul konsentrasi tegangan pada bagian struktur yang lemah. Disinilah awal laju retak fatik dan laju korosi akan cepat meningkat. Oleh karena itu, teknologi perlakuan permukaan seperti *shot peening* dapat memperbaiki sifat mekanis dan kimiawi material tersebut (Wibowo dkk, 2015).

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 menghasilkan permukaan logam menjadi lebih kasar dan rata, deformasi plastis, pengerasan regangan, menutup porositas, meningkatkan ketahanan terhadap *freezing* dan tegangan sisa tekan pada permukaan material yang akan meningkatkan sifat mekanik material (Sunardi dkk, 2013).

Shot peening menjadikan permukaan lebih kasar dan *hydrophilic* karena tumbukan berulang dari *steel ball* menimbulkan deformasi serta menguntungkan dalam penyerapan protein dalam membentuk rangkaian sel-sel tulang yang menempel pada *implant* (Azar dkk, 2010 dan Wilson dkk, 2015).

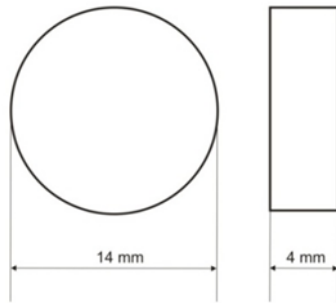
Hasil penelitian dari Wibowo dkk, (2015) pada perlakuan *shot peening* menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju korosi yang signifikan. Hal ini disebabkan meningkatnya kepadatan dipermukaan, menurunnya porositas dan terbentuknya lapisan tipis dipermukaan. Lapisan inilah yang mungkin didominasi oleh karbida *chrome*, yang mana unsur ini adalah lapisan tahan terhadap korosi. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *shot peening* dapat memperbaiki sifat mekanik, *wettability* dan penurunan laju korosi pada logam.

Penelitian ini akan menganalisis tentang pengaruh diameter *steel ball* pada proses *shot peening* terhadap kekasaran permukaan, kekerasan, *wettability* dan laju korosi pada SS AISI 304.

2. Metodologi

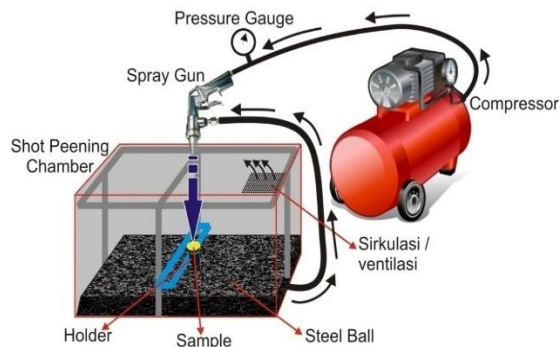
Spesimen uji SS 304 mempunyai diameter 14 mm dan tebal 4 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. sebanyak 11 buah. Sebelum perlakuan *shot peening* permukaan spesimen dihaluskan dengan amplas nomor *mesh* 600, 1000, 1500 dan 2000 kemudian dipoles dengan autosol untuk menghasilkan kondisi awal permukaan spesimen yang sama.

Perlakuan *shot peening* diberikan pada permukaan spesimen sebanyak 9 buah. Proses *shot peening* posisi spesimen diletakan tegak lurus dengan *spray gun* membentuk sudut 90° dan jarak antara ujung *spray gun* dengan permukaan spesimen 100 mm. Besar tekanan kerja pada kompresor saat proses *shot peening* dipertahankan sebesar 6 bar dengan waktu penembakan 10 menit.



Gambar 1. Dimensi spesimen SS AISI 304 yang digunakan pada pengujian

Variasi proses *shot peening* menggunakan diameter *steel ball* 0,4 mm, 0,6 mm, 0,7 mm. Skema pengujian *shot peening* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengujian proses *shot peening*

Steel Ball sebagai material proses *shot peening*

menggunakan merk Ferrosad dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Steel Ball*

	C	Mg	Si	S	P	Kekerasan
%	0,10	1,15	0,15	0,015	0,015	40 - 46 HRC

Spesimen uji *raw material* (tanpa perlakuan *shot peening*) dan spesimen dengan perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, 0,6 mm, 0,7 mm dilakukan pengujian nilai kekasaran permukaan dengan alat *Surfcorder SE 1700 standart ANSI*, nilai kekasaran permukaan rata-rata (Ra) dalam satuan μm . Pengujian distribusi kekerasan dan pengujian laju korosi pada spesimen dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) BATAN Yogyakarta dengan alat potensiostat / Galvanostat PGS 201 T. Media yang digunakan untuk uji laju korosi adalah larutan SBF jenis Ringer Laktat.

$$r = 0,129 \frac{i(EW)}{D} \quad (1)$$

Di mana :

- r = Laju Korosi (mpy)
- i = Arus Korosi ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)
- EW = Berat Equivalen SS-304
- D = Massa Jenis Campuran (g / cm^3)

Pengujian ini didapatkan nilai arus korosi (I_{corr}) pada masing-masing spesimen dalam satuan $\mu\text{A} / \text{cm}^2$. Nilai laju korosi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1) (Nurosyid, 2012).

Pengujian *wettability* menggunakan parameter, jika sudut kontak $\theta < 90^\circ$ berarti permukaan tersebut bersifat *hydrophilic* (suka air) dan jika sudut kontak $\theta > 90^\circ$, maka permukaan tersebut bersifat *hydrophobic* (tidak suka air) (Yuliwati dan Desi, 2014). Proses pengujian *wettability* dilakukan dengan meneteskan air sebanyak 1-2 tetes pada permukaan spesimen, selanjutnya difoto dari samping menggunakan kamera xiami redmi note 2. Hasil foto diolah kedalam *software Corel Draw X4* untuk mengetahui besarnya sudut kontak yang dihasilkan antara air dengan permukaan spesimen.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil perlakuan *shot peening*

Pengaruh perlakuan *shot peening* pada permukaan spesimen dapat dilihat pada Gambar 3. dimana kondisi permukaan spesimen tanpa perlakuan *shot peening* terlihat rata dan ada sedikit goresan yang diakibatkan pengamplasan pada permukaan spesimen. Kemudian, setelah proses perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, 0,6 mm dan 0,7 mm menghasilkan kondisi permukaan spesimen terlihat lebih kasar karena pengaruh tumbukan *steel ball*

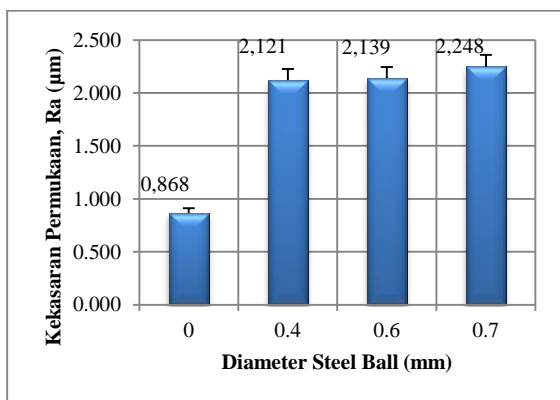
yang menghasilkan diameter dan kedalaman kawah lebih besar seiring dengan bertambahnya ukuran diameter *steel ball* pada proses *shot peening*.



Gambar 3. [a] Tanpa perlakuan *shot peening*, perlakuan *shot peening* diameter *steel ball* [b] 0,4 mm, [c] 0,6 mm, [d] 0,7 mm.

Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Hasil uji kekasaran permukaan spesimen pada Gambar 4. terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan rata-rata (R_a) pada spesimen setelah perlakuan *shot peening* cenderung meningkat. Perbandingan hasil nilai kekasaran permukaan spesimen tanpa perlakuan sebesar $0,868 \pm 0,056 \mu\text{m}$, setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* cenderung meningkat menjadi $2,248 \pm 0,481 \mu\text{m}$. Hal ini disebabkan semakin besar ukuran diameter *steel ball* yang digunakan saat proses *shot peening* menghasilkan tingkat kedalaman kawah semakin dalam dan puncak bukit semakin tinggi, sehingga nilai kekasaran permukaan pun mengalami peningkatan.

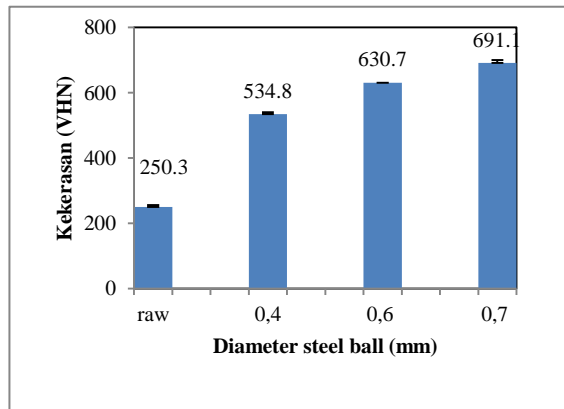


Gambar 4. Grafik hubungan nilai kekasaran permukaan rata-rata (R_a) dengan variasi diameter *steel ball*

Hasil Uji Kekerasan Permukaan

Hasil uji kekerasan pada Gambar 5. menunjukkan kekerasan rata-rata pada permukaan spesimen *raw material* adalah 250.3 kg/mm^2 , setelah proses *shot peening* menggunakan variasi diameter *steel ball* 0.4 mm, 0.6 mm dan 0.7 mm kekerasan pada permukaan spesimen terjadi penambahan kekerasan dengan nilai masing-masing 534.5 kg/mm^2 , 630.7 kg/mm^2 dan 691.1 kg/mm^2 .

Peningkatan kekerasan permukaan spesimen setelah *shot peening* disebabkan karena adanya *plastic deformation* akibat tumbukkan *steel ball* terhadap spesimen. Tumbukkan inilah yang mendorong partikel-partikel permukaan semakin rapat dan padat sehingga menyebabkan bertambahnya nilai kekerasan. Pengaruh semakin besar diameter diameter *steel ball* pada *shot peening* pada penelitian ini, gaya yang dihasilkan dari bola-bola baja yang menumbuk ke permukaan spesimen akan semakin besar yang mengakibatkan nilai kekerasan yang semakin meningkat.

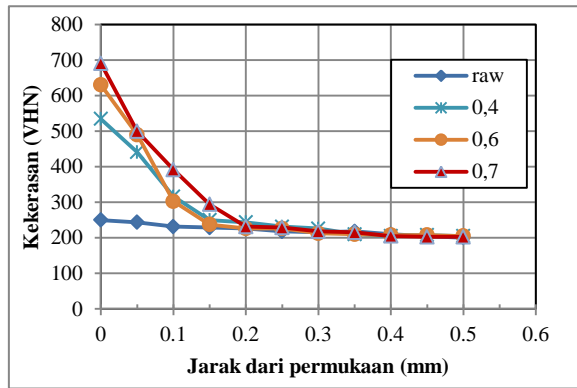


Gambar 5. Grafik hubungan nilai kekasaran permukaan rata-rata (R_a) dengan variasi diameter *steel ball*

Pengujian distribusi kekerasan dari permukaan sampai kedalaman 0.6 mm dengan beban 200 gf dengan durasi 5 detik. Pada Gambar 6. menunjukkan nilai distribusi kekerasan pada penampang spesimen setelah *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* terjadi penurunan kekerasan seiring dengan semakin jauh jarak dari permukaannya, hal ini disebabkan pengaruh *shot peening* akan menghasilkan pengecilan ukuran butir pada permukaan spesimen, tetapi semakin jauh dari permukaan ukuran butir semakin membesar dan seragam.

Dari nilai distribusi kekerasan pada Gambar 6. juga menunjukkan bahwa semakin besar diameter *steel ball* yang digunakan pada proses *shot peening* menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi pada jarak kedalaman yang sama dari permukaan, hal ini karena bertambahnya

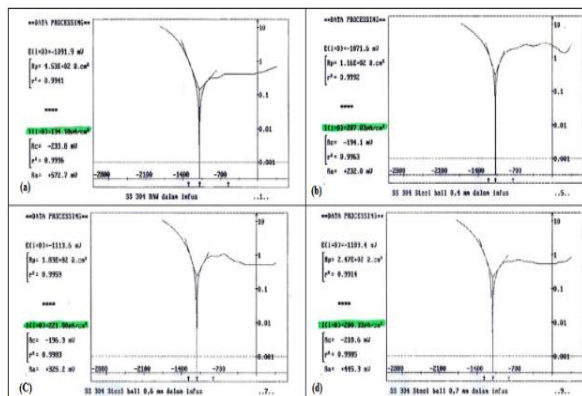
diameter *steel ball* pada proses *shot peening* akan menghasilkan deformasi yang lebih besar sehingga menghasilkan pengerasan permukaan yang lebih dalam. Pengaruh distribusi kekerasan yang signifikan akibat proses *shot peening* hanya pada kedalaman 0.1 mm dari permukaan spesimen.



Gambar 6. Grafik hubungan nilai distribusi kekerasan penampang spesimen (Ra) dengan *shot peening* variasi diameter *steel ball*

Hasil Uji Laju Korosi

Hasil uji laju korosi pada spesimen tanpa perlakuan *shot peening* (*raw material*) dan spesimen dengan perlakuan *shot peening* dapat dilihat pada Gambar 7. dari grafik tersebut terlihat apabila nilai laju korosi semakin besar, maka tingkat ketahanan korosinya semakin rendah sehingga tingkat korosifitas spesimen tersebut tinggi. Dan sebaliknya jika nilai laju korosinya semakin kecil, maka tingkat ketahanan korosinya semakin tinggi dan spesimen tersebut semakin tahan terhadap korosi.



Gambar 7. Grafik tafel *stainless steel* AISI 304 tanpa perlakuan *shot peening* [a], perlakuan *shot peening* dengan *steel ball* 0.4 mm [b], *steel ball* 0.6 mm [c], *steel ball* 0.7 mm [d].

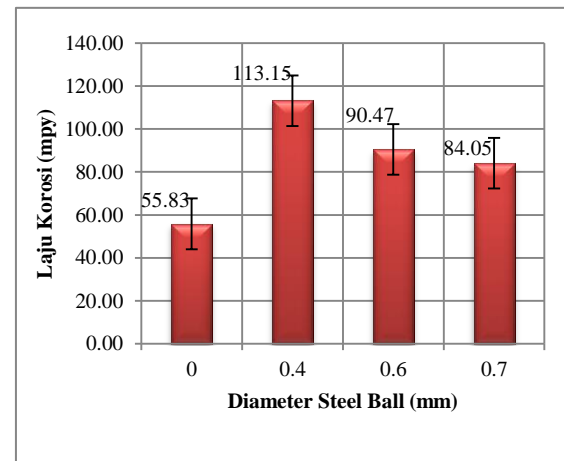
Nilai I_{corr} pada spesimen *raw material* sebesar $134.10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Spesimen setelah perlakuan

shot peening dengan diameter *steel ball* 0.4 mm, 0.6 mm dan 0.7 mm masing-masing adalah $287.83 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, $221.80 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan $200.33 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Hasil uji laju korosi pada *raw material* sebesar 55.83 ± 2.44 mpy. Kenaikan nilai laju korosi sebesar 113.15 ± 7.51 mpy terjadi pada variasi diameter *steel ball* 0.4 mm, tetapi mengalami penurunan pada variasi diameter *steel ball* 0.6 mm dan 0.7 mm. Penurunan ini dapat terjadi akibat terbentuknya lapisan pelindung yang stabil sehingga permukaan bersifat pasif dan tidak mudah terkorosi.

Korosi yang terjadi pada spesimen merupakan korosi seragam (*uniform corrosion*). Hal ini disebabkan karena lapisan pasif mengalami kerusakan yang disebabkan elektrolit atau larutan asam kuat seperti hidroklorit yang terdapat pada larutan SBF.

Kenaikan laju korosi pada spesimen disebabkan pada saat proses perlakuan *shot peening* ada pendifusian atom O selain atom N dan C. Atom O ini nantinya akan bereaksi dengan Fe yang akan membentuk senyawa baru yakni Fe_3O_4 yang merupakan salah satu produk korosi. Selain itu, pada saat permukaan spesimen kontak langsung dengan larutan SBF, terjadi partisipasi Cl^- pada batas butir yang membentuk senyawa FeCl_3 yang bersifat korosif dan adanya partisipasi dari lapisan pelindung (*protective layer*) yang dapat berakibat kandungan Cr pada permukaan menjadi berkurang. Dengan demikian, tingkat korosifitas spesimen tersebut menjadi tinggi.

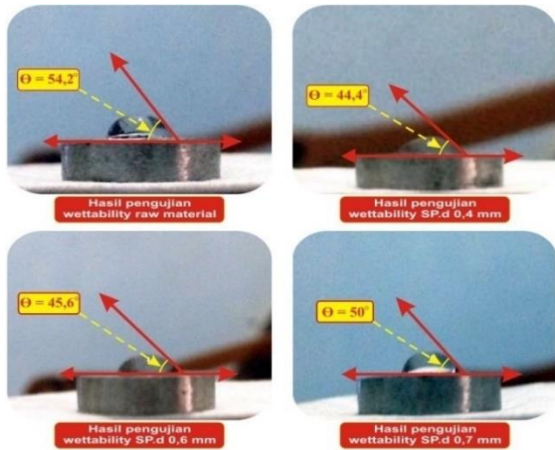


Gambar 8. Grafik hubungan nilai laju korosi dengan variasi diameter *steel ball*

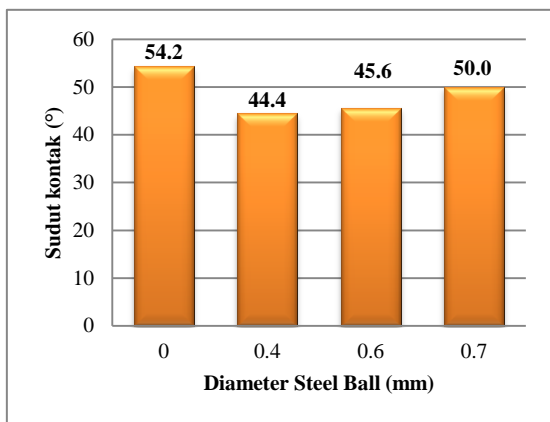
Hasil Uji Wettability

Hasil pengujian *wettability* pada semua spesimen SS AISI 304 sebelum dan setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* memiliki karakteristik dapat menyerap air (*hydrophilic*) karena besarnya sudut kontak dari tiap spesimen semuanya kurang dari 90° (Gambar 9. dan Gambar 10.). Itu artinya semua spesimen dalam kondisi mudah terkorosi, akan tetapi tingkat korosi

yang terjadi pada permukaan spesimen dengan perlakuan *shot peening* lebih tinggi dibanding dengan spesimen tanpa perlakuan *shot peening* (*raw material*). Parameter yang digunakan adalah jika semakin kecil sudut kontak yang terjadi, maka semakin menurun tingkat ketahanan korosi pada permukaan spesimen tersebut. Begitupun sebaliknya jika semakin besar sudut kontak yang terjadi, maka semakin meningkat ketahanan korosi pada spesimen tersebut.



Gambar 9. Uji *wettability* spesimen SS AISI 304



Gambar 10. Grafik hubungan sudut *wettability* dengan variasi diameter *steel ball*

4. Kesimpulan

Perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* meningkatkan kekasaran permukaan spesimen *stainless steel AISI 304* dari nilai kekasaran permukaan spesimen *raw material* sebesar $0,868 \pm 0,056 \mu\text{m}$, setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* 0,7 mm nilai kekasaran permukaan spesimen menjadi $2,248 \pm 0,481 \mu\text{m}$.

Kekerasan permukaan spesimen *raw material* adalah 250.3 kg/mm^2 , setelah mengalami

proses *shot peening* menggunakan variasi diameter *steel ball* 0.4 mm, 0.6 mm dan 0.7 mm kekerasan meningkat dengan nilai masing-masing 534.5 kg/mm^2 , 630.7 kg/mm^2 dan 691.1 kg/mm^2 .

Laju korosi spesimen setelah perlakuan *shot peening* cenderung meningkat jika dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan *shot peening* $55,83 \pm 2,44 \text{ mpy}$, setelah dilakukan perlakuan *shot peening* nilai laju korosi menjadi $113,15 \pm 7,51 \text{ mpy}$ (diameter *steel ball* 0,4 mm), $90,47 \pm 1,43 \text{ mpy}$ (diameter *steel ball* 0,6 mm), dan $84,05 \pm 7,22 \text{ mpy}$ (diameter *steel ball* 0,7 mm). Hasil pengujian *wettability* menunjukkan bahwa spesimen tersebut cenderung bersifat *hydrophilic*. Ini dibuktikan dengan sudut kontak yang timbul $<90^\circ$. Sudut kontak terkecil terjadi pada *shot peening* dengan diameter *steel ball* 0,4 mm dengan sudut kontak $44,4^\circ$ dan terjadi korosi maksimum.

Daftar Pustaka

Azar, V., Hashemi, B., Yazdi, M.R. 2010. *The Effect of Shot Peening on Fatigue and Corrosion Behavior of 316L Stainless Steel in Ringer's Solution*. Surface and Coatings Technology. Vol 204, PP 3546–3551.

Nurosyid, H. 2012. Pengaruh Plasma Nitrocarburizing Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Korosi Pada Material *Stainless Steel AISI 304*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Sunardi., Iswanto, P.T., Mudjijana. 2013. Pengaruh Waktu *Shot Peening* Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Permukaan *Stainless Steel AISI 304*. Seminar Nasional ke-8 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional. Yogyakarta.

Trethewey, K.R. & Charnberlain ,1,1991," Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Wibowo, S.A., Setianingrum, E. 2015. Pengaruh Perlakuan *Shot Peening* dan *Electroplating Ni-Cr* Pada AISI 304 Terhadap Laju Korosi Dalam Larutan *Synthetic Body Fluid* (SBF). Jurnal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta.

Wilson, C.J., Clegg, R.E., Leavensley, D.I., Pearcy, M.J. 2005. *Mediation of Biomaterial-Cell Interactions by Adsorbed Proteins: A Review*. Tissue Engineering. Vol 11, PP 1-18.

Yuliwati, E., Desi, C.K. 2014. Pengaruh *Hydrophilicity* Membran Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Limbah Industri Kelapa Sawit. Seminar Nasional Teknik Industri BKSTI. Palembang.