

PENGARUH VARIASI DIAMETER STEEL BALL PADA PERLAKUAN SHOT PEENING SESUDAH PROSES DRILLING TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKASARAN PERMUKAAN, GEOMETRI, WETTABILITY DAN KEKERASAN PADA PERMUKAAN DYNAMIC COMPRESSION PLATE BERBAHAN STAINLESS STEEL 316L

Aris Widy Nugroho^{1,a}, Sunardi^{1,b}, Eko Saryanto^{1,c}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan,DIYogyakarta, Indonesia 55183
ekosaryanto6gmail.com

Abstract

Shot peening is a surface treatment method in which specimens getting shot with the *steel balls* repeatedly, so it caused plastic deformation on the surface occur because collisions. In this research, *Stainless steel 316L (SS-316L)* was chosen as a dynamic compression plate (DCP) because it has better and stronger corrosion resistance and higher temperatures.. The aim of the research is to know the effect of *steel ball shot peening* diameter after drilling of macro and micro structures, surface roughness, geometry, *wettability*, and microhardness on SS-316L DCP surface.

Treatment of *shot peening* used DCP-316L with dimensions of 105 mm × 14 mm × 4 mm with 6 parallel holes in the form of a circle with a diameter of 5 mm. The variables used are *steel ball* variation those are 0,4 mm, 0,6 mm, and 0,7 mm with duration of treatment time is 10 minutes. The distance between nozzle and specimen are 100 mm, and constant pressure 6 bar. The results showed that the *shot peening* process change the macro structure, thus forming the basin on the surface. It can also alter the microstructure of surfaces and sub-surface. Surface roughness increases from 0.83 μm to 2.20 μm. Geometric measurements including thickness, plate hole diameter, and ellipse diameter decrease in size. The *wettability* of the angle of contact angle decreases from 77.64 ° to 69.52 °. Average microhardness distribution increases from 274.3 HVN to 350.9 HVN.

Keyword: *Shot peening, stainless steel 316L, dynamic compression plate,drilling*

1. PENDAHULUAN

Semakin tinggi angka kasus patah tulang di Indonesia, menyebabkan tingginya permintaan plat penyambung tulang (*Orthopedic implant*). Saat ini, proses penyambungan tulang dilakukan dengan menggunakan plat implan. Implan merupakan sebuah perangkat medis yang dibuat sebagai material tiruan yang berfungsi sebagai pengganti struktur atau bagian struktur dalam tubuh manusia. Material logam yang biasa digunakan dalam plat penyambung tulang adalah *titanium alloy, stainless steel, cobalt base alloy*. Untuk *stainless steel* adalah jenis AISI 304, 316 dan 316L (Widodo dkk, 2015). Salah satu *stainless steel* yang paling banyak digunakan untuk material implan adalah *stainless steel 316L (SS-316L)*. SS-316L dipilih harganya lebih murah dan mudah diperoleh daripada *titanium alloy*, SS 316L karena memiliki keunggulan pada ketahanan korosi, sifat fisik, sifat mekanik, dan permukaan yang mudah dibersihkan. Namun, bahan SS-316L lebih berat dan tidak sekeras seperti *titanium alloy*, sedangkan kemampuan tribologi lebih rendah dari *titanium alloy*. Oleh karena itu perlu dilakukan perlakuan permukaan untuk meningkatkan sifat mekanis SS 316L sebelum digunakan sebagai bahan implan (Saputra, 2016).

Shot peening merupakan metode rekayasa perlakuan permukaan dengan cara menembakkan

material berupa bola-bola baja dengan tekanan tinggi pada permukaan material logam secara berulang-ulang dan *progressive*, sehingga menghasilkan kekasaran permukaan logam menjadi lebih kasar, deformasi plastis, pengecilan ukuran butir dan tegangan sisa tekan pada permukaan material yang akan meningkatkan sifat mekanik material tersebut (Sunardi dkk, 2013).

Tipe implan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis DCP (*Dynamic Compression Plate*). DCP pada proses penyambungan pada tulang menggunakan bantuan sekrup. DCP biasanya digunakan untuk menyambung tulang tangan pada bagian lengan atas dan lengan bawah (Anggriani, 2012). Pembuatan DCP ini berdasarkan dari sifat material yang dibutuhkan dan geometri tulang pada orang Indonesia.

Berdasarkan peneliti-peneliti sebelumnya bahwa pengaruh perlakuan *shot peening* menunjukkan adanya pengecilan struktur mikro pada butiran permukaan, peningkatan kekerasan mikro (*microhardness*), peningkatan kekasaran permukaan (*surface roughness*), dan pengurangan ukuran/dimensi spesimen. Perlakuan *shot peening* terhadap DCP SS-316L ini bertujuan dapat menjadi alternatif dalam mendapatkan plat penyambung tulang yang lebih murah, namun dengan kualitas yang mendekati DCP berbahan *titanium alloy*.

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah material plat baja AISI 316L yang biasa digunakan dalam *Orthopedic Implant*. *Steel ball* sebagai partikel bola baja untuk *shot peening* menggunakan merk Ferrosad dengan spesifikasi 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

Tahapan penelitian adalah sebagai berikut, plat baja AISI 316L dipotong dan dibentuk persegi panjang, berdimensi 105 mm x 14 mm tebal 4mm. Kemudian salah satu permukaan digosok dengan amplas mesh 600, 800, dan 1000, setelah diampelas spesimen tidak diberi autosol untuk memastikan bahwa spesimen memiliki kondisi awal kemudian dilakukan proses penekukan (*bending*) plat dengan radius lengkungan menyesuaikan geometri tulang manusia.

Proses *shot peening* dilakukan di PRM Vulkanisir Ban di Jl. Ring Road Timur, Ngipik, Baturetno, Banguntapan, Bantul, Yogyakarta. Perlakuan dilakukan dengan menggunakan variasi diameter *steel ball* dengan ukuran 0,4mm; 0,6mm; 0,7mm. Waktu perlakuan selama 10 menit dengan tekanan yang digunakan sebesar 6 bar dan jarak spesimen dengan ujung nozzle sejauh 100mm. Spesimen yang dibuat sebanyak 10 buah pada setiap variasi perlakuan. Dari 10 spesimen yang dibuat, hanya 9 buah yang diberi perlakuan *shot peening*. Sisanya dibiarkan sebagai kondisi awal.

Pengamatan foto struktur makro pengujian kekasaran, *wettability* dan pengukuran geometri/dimensi dilakukan di Laboratorium Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pengujian kekasaran menggunakan alat uji kekasaran TR200.

Pengujian kekerasan permukaan dan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada dengan metode *micro vickers hardness* dengan indentasi kerucut. Pengujian ini dilakukan dengan beban indentasi 25gf, durasi penekanan indenter selama 5 detik. Kemudian data yang didapat dicari nilai rata-rata pada setiap titik indentasinya. Terdapat 5 titik bekas injakan pada masing-masing spesimen *shot peening*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai kekerasan *micro Vickers* terdapat pada persamaan (1) (Dieter, 1998): standar ASTM E384-84 (Brandes dan Brook 1992):

$$VHN = \frac{(1854,4)P}{d^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

VHN = Nilai Kekerasan (kg/mm²)

P = Beban yang digunakan (kg)

D = diagonal rata-rata bekas injakan (mm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Proses *Shot peening*

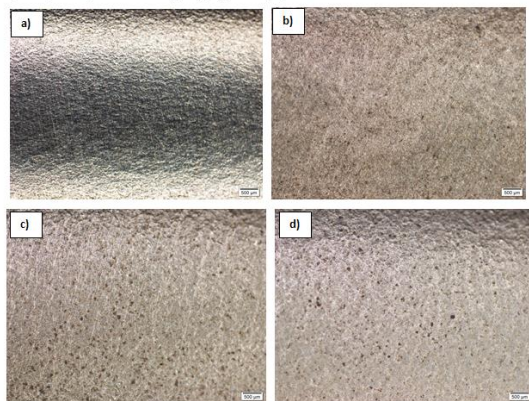
Pengaruh perlakuan *shot peening* pada plat *stainless steel* 316L terlihat jelas jika dilihat secara visual seperti gambar 3.1. Pada penelitian ini, variasi diameter *steel ball* yang digunakan yaitu ukuran 0,4 mm; 0,6 mm ; dan 0,7 mm. Pada gambar 3 terlihat perbedaan dari masing-masing spesimen sebelum dan sesudah diberi perlakuan *shot peening*. Kondisi permukaan spesimen tersebut terlihat adanya cekungan-cekungan halus bekas tumbukan dari bola baja terhadap spesimen. Permukaan spesimen terlihat lebih kasar seiring dengan bertambahnya ukuran diameter *steel ball* yang digunakan



Gambar 1 (a) spesimen *raw material*, spesimen *shot peening* variasi diameter *steel ball* (b) 0,4 mm, (c) 0,6 mm, (d) 0,7 mm.

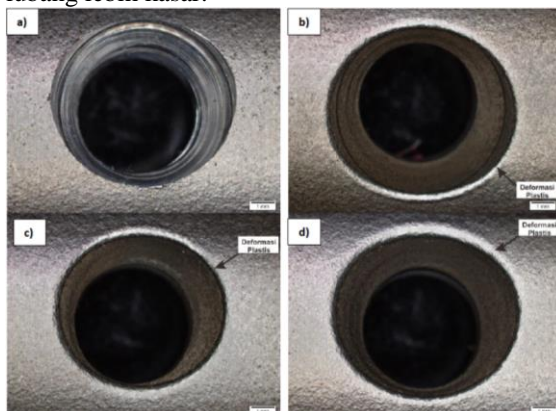
Hasil Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan dengan mikroskop optik, untuk permukaan spesimen perbesaran 20x pada skala bar 500 μm, perbesaran 12x pada skala bar 1 mm untuk lubang spesimen, perbesaran 15x pada skala bar 1 mm untuk penampang melintang dan perbesaran 25x pada skala bar 500 μm untuk penampang memanjang. Pada gambar 2.a menunjukkan spesimen sebelum *shot peening* yang memperlihatkan kondisi asli permukaan spesimen. Pada gambar 2.b-2d menunjukkan kondisi spesimen setelah diberi perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, 0,6mm dan 0,7 mm, terlihat batas butir yang lebih kecil. Permukaan tampak lebih kasar bila dibandingkan dengan permukaan plat sebelum di *shot peening*, seperti timbul cekungan-cekungan. Hal tersebut merupakan efek dari tumbukan bola-bola baja dengan kecepatan tinggi pada permukaan dan menyebabkan permukaan mengalami deformasi plastis sehingga menimbulkan cekungan-cekungan pada permukaan.

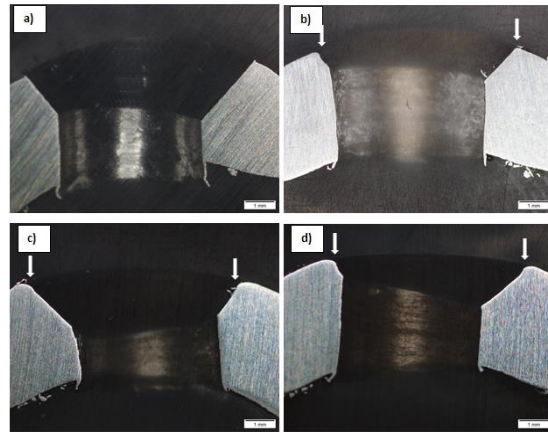


Gambar 2 Hasil pengamatan foto struktur makro dari permukaan spesimen DCP. (a) spesimen *raw material* dan spesimen *shot peening* diameter *steel ball* (b) 0,4 mm, (c) 0,6 mm, (d) 0,7 mm

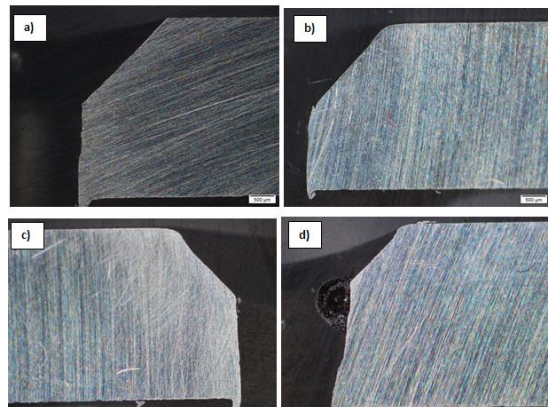
Gambar 3 terlihat terdapat perbedaan hasil struktur makro lubang spesimen sebelum dan setelah diberi perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball*. Terdapat cekungan pada lubang dan ujung lubang menjadi tumpul yang diakibatkan oleh tumbukan bola baja selama perlakuan *shot peening*. Butiran kecil menjadi semakin banyak dan merata, sehingga permukaan lubang lebih kasar.



Gambar 3 Foto struktur makro dari lubang spesimen *shot peening*. (a) spesimen *raw material*, spesimen *shot peening* diameter *steel ball* (b) 0,4 mm, (c) 0,6 mm, (d) 0,7 mm



Gambar 4 Hasil foto struktur makro dari penampang melintang (a) spesimen *raw material* dan spesimen *shot peening* diameter *steel ball* (b) 0,4 mm, (c) 0,6 mm, (d) 0,7 mm



Gambar 5 Hasil foto struktur makro dari penampang memanjang. (a) spesimen *raw material* dan spesimen *shot peening* diameter *steel ball* (b) 0,4 mm, (c) 0,6 mm, (d) 0,7 mm

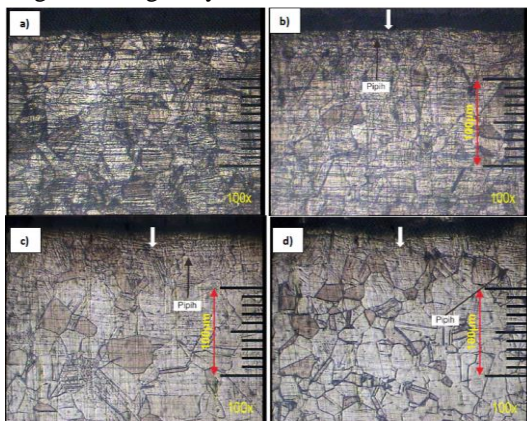
Pada gambar 4 dan 5 menunjukkan hasil foto struktur makro dari penampang melintang dan penampang memanjang spesimen. Gambar 4 dan 5 terlihat perubahan bentuk di ujung diameter luar *elips* dan diameter lubang yang diakibatkan oleh tumbukan bola baja dengan lubang selama perlakuan *shot peening* berlangsung. Arah penembakan bola baja ditunjukkan pada arah panah. Hal ini disebabkan semakin besar variasi diameter *steel ball* yang digunakan mengakibatkan deformasi plastis yang dihasilkan juga semakin besar yang dapat mengubah struktur permukaan lubang spesimen.

Pada penelitian Ahmed dkk (2015), pengaruh penggunaan variasi diameter abrasif yang digunakan dapat mempengaruhi hasil dari permukaan *shot peening*. Timbulnya bentuk cekungan kawah berasal dari meningkatnya energi kinetik yang dihasilkan dari perlakuan tersebut.

Mengutip dari Panday dkk (2001) bahwa peningkatan energi kinetik yang terjadi selama perlakuan berlangsung maka dapat mempengaruhi deformasi plastis dan penetrasi di spesimen yang meningkat secara signifikan.

Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pada pengamatan struktur mikro, spesimen diamati dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100x pada skala bar 100µm. Sebelum dilakukan pengamatan, spesimen dibersihkan menggunakan dengan tujuan untuk menghilangkan goresan pada permukaan spesimen sehingga butiran struktur mikro terlihat lebih jelas. Adapun cairan etsa yang digunakan yaitu HCl + HNO₃ dengan kadar 1:3 Pengamatan dilakukan pada penampang melintang spesimen *shot peening* dengan variasi perlakuan diameter *steel ball* 0,4 mm, 0,6 mm dan 0,7 mm. Gambar 6 memperlihatkan tidak ada perbedaan yang terlalu menonjol dari foto tersebut. Akan tetapi ,pada masing-masing foto spesimen *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* terlihat pematatan pada butiran di subpermukaan dan beberapa slip-slip yang terjadi pada butiran spesimen. Perubahan mulai terlihat di bagian tepi permukaan seiring dengan meningkatnya variasi diameter *steel ball*.



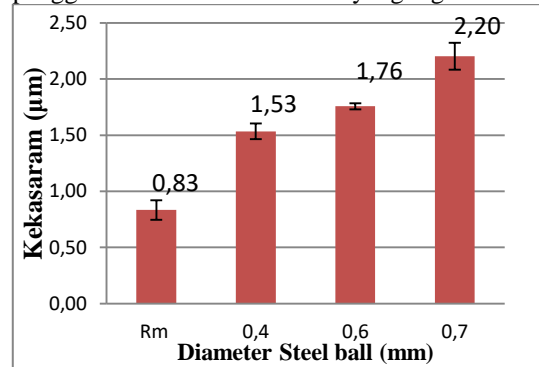
Gambar 6 Foto struktur mikro permukaan penampang melintang (a) spesimen *raw material* dan spesimen *shot peening* variasi diameter *steel ball* (b) 0,4 mm, (c) 0,6 mm, (d) 0,7 mm.

Iqbal dkk (2011) menjelaskan bahwa perlakuan *sand blasting* dapat menghasilkan perubahan signifikan terhadap struktur mikro. Pengecilan butiran diakibatkan terjadi *several plastic deformation* (SPD), sehingga daerah permukaan mengalami pengecilan atau penghalusan butiran permukaan akibat *sand blasting* dan kekerasan material akan menurun menjauh dari permukaan.

Hasil Pengujian Kekasaran

Pengaruh perlakuan *shot peening* yang diberikan kepada spesimen SS 316L memiliki hasil

kekasaran permukaan yang berbeda sesuai dengan penggunaan diameter *steel ball* yang digunakan.

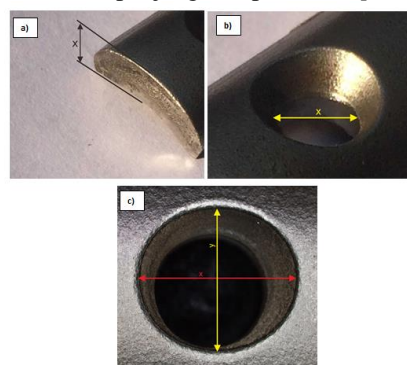


Gambar 7 Grafik nilai kekasaran rata-rata (Ra) permukaan spesimen *shot peening*

Pada Gambar 7 terlihat terjadi peningkatan nilai kekasaran permukaan yang sangat signifikan apabila dibandingkan antara nilai kekasaran pada permukaan spesimen sebelum perlakuan *shot peening* (*raw material*) sebesar 0,83 µm dengan nilai kekasaran permukaan spesimen setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* cenderung meningkat menjadi 2,2 µm. Penyebabnya semakin besar ukuran diameter *steel ball* yang digunakan akan menghasilkan tingkat kedalaman cekungan semakin dalam dan puncak bukit semakin tinggi, sehingga nilai kekasaran permukaan mengalami peningkatan. Berdasarkan peningkatan nilai kekasaran permukaan tersebut, maka pengaruh penggunaan variasi diameter *steel ball* dapat mempengaruhi kekasaran permukaan spesimen.

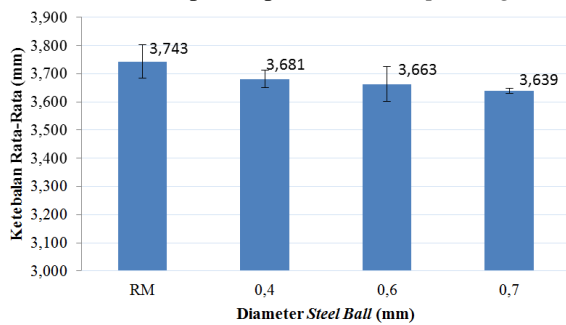
Hasil Pengujian Geometri/Dimensi

Pengaruh perlakuan *shot peening* yang terjadi karena deformasi yang diakibatkan tumbukan bola baja dengan spesimen. Salah satu jenis deformasi yang terjadi yaitu berkurangnya ketebalan spesimen dan lubang spesimen. Pengukuran geometri pada tiap spesimen menggunakan jangka sorong digital. Pada gambar 8 menunjukkan cara mengukur geometri meliputi ketebalan spesimen, diameter lubang spesimen dan diameter sumbu panjang dan pendek *elips*.

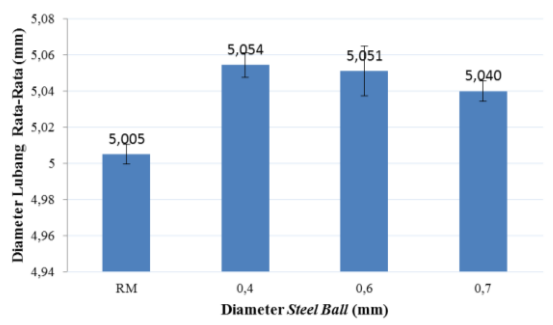


Gambar 8 Cara mengukur geometri/dimensi spesimen (a) ketebalan spesimen (b) diameter lubang spesimen, (c) diameter sumbu panjang dan pendek *elips*.

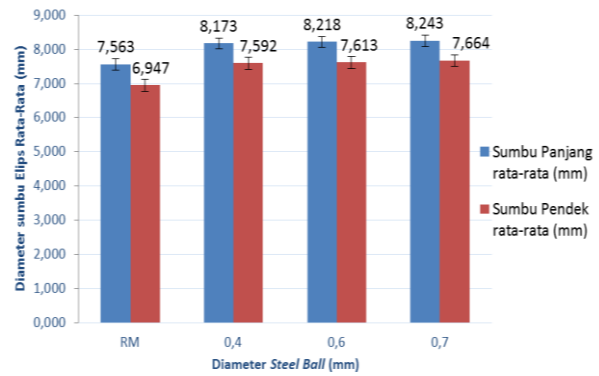
Pada gambar 9, terlihat pengurangan ketebalan spesimen dari sebelum *shot peening* dan setelah *shot peening* pada DCP SS-316L, terjadi hampir semua mengalami pengurangan ketebalan di setiap perlakuan variasi diameter *steel ball*. Hasil pengukuran ketebalan menurun dari 3,743 mm menjadi 3,639 mm. Sedangkan pada gambar 10, terlihat penambahan diameter lubang dari spesimen *raw material* terhadap spesimen dengan perlakuan variasi diameter *steel ball* 0,4. Untuk spesimen dengan perlakuan variasi diameter *steel ball* 0,6 mm dan 0,7 mm mengalami pengurangan nilai diameter dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan variasi diameter *steel ball* 0,4 mm. Ini disebabkan pengurangan ketebalan dan penambahan nilai diameter lubang spesimen terjadi karena permukaan mengalami deformasi plastis akibat penumbukan frontal dari partikel *steel ball* selama proses perlakuan *shot peening*.



Gambar 9 Grafik Nilai Ketebalan Rata-rata Spesimen *shot peening*.



Gambar 10 Grafik Nilai Diameter Lubang Rata-rata Spesimen *shot peening*.

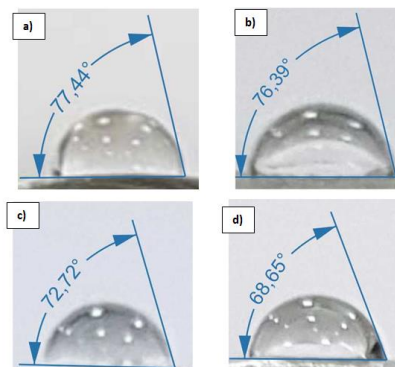


Gambar 11 Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai Diameter Sumbu Panjang *Elips* dan Diameter Sumbu Pendek *Elips Shot peening*

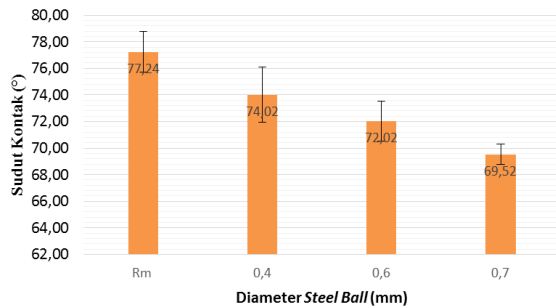
Pada gambar 11 menunjukkan perubahan diameter sumbu panjang dan sumbu pendek *elips* sebelum dan sesudah diberi perlakuan *shot peening*. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa diameter *elips* dari nilai sumbu panjang 7,563 mm naik menjadi 8,243 mm, sedangkan nilai sumbu pendek juga naik dari 6,947 mm menjadi 7,664 mm. Diameter *elips* pada penelitian tersebut mengalami penambahan ukuran seiring dengan bertambahnya *steel ball* yang digunakan. Permukaan mengalami deformasi plastis karena tumbukan bola baja dengan area lubang permukaan sehingga mengakibatkan pelebaran diameter *elips*.

Hasil Pengujian Wettability

Berdasarkan hasil pengujian *wettability* pada spesimen SS 316L dapat disimpulkan bahwasanya semua spesimen SS 316L sebelum dan setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* tersebut memiliki karakter terhadap permukaan yang bersifat *hydrophilic* yang dikarenakan besar sudut kontak tiap spesimen semuanya kurang dari 90° (Gambar 12 dan Gambar 13).



Gambar 12 Nilai *Wettability* dari spesimen *shot peening*. a) spesimen *raw material*, spesimen *shot peening* variasi diameter *steel ball* b) 0,4 mm, c) 0,6 mm, dan d) 0,7 mm.



Gambar 13 Grafik Nilai Rata-rata *Wettability* dari spesimen *shot peening*. a) spesimen *raw material*, spesimen *shot peening* variasi diameter *steel ball* b) 0,4 mm, c) 0,6 mm, dan d) 0,7 mm.

Hasil menunjukkan semakin besar diameter *steel ball* yang digunakan, maka nilai sudut kontak yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga tingkat ketahanan korosi pada permukaan spesimen semakin menurun. Begitu sebaliknya jika semakin besar sudut kontak yang terjadi, maka ketahanan korosi pada spesimen akan semakin meningkat. Hal ini karena pada material *steel ball* bertabrakan secara terus-menerus yang menimbulkan deformasi serta membuat permukaan material tersebut kasar dan bersifat suka air (*hydrophilic*).

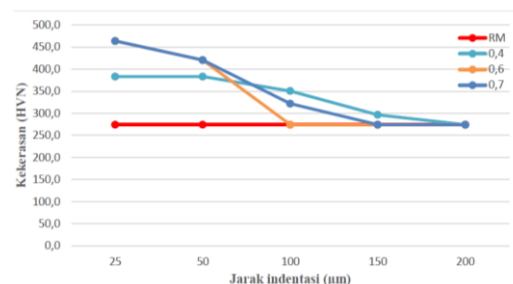
Menurut Baier dkk (1968) nilai *wettability* dari suatu permukaan material dipengaruhi oleh seberapa kasar permukaan dari material tersebut. Ketika suatu cairan di teteskan diatas permukaan yang memiliki kekasaran yang kecil, maka nilai sudut kontak dari suatu permukaan akan besar. Begitu sebaliknya apabila suatu permukaan material diberi cairan yang permukaannya kasar, maka akan menghasilkan nilai sudut kontak yang kecil.

Parameter permukaan seperti kekasaran dan *wettability* mempengaruhi penggunaan implan pada pasien. Semakin kasar dan semakin suka air (*hydrophilic*) suatu material, terutama yang digunakan sebagai implan, akan berdampak terhadap penempelan sel dan keberhasilan pengikatan tulang pada saat implan terpasang (Wilson *et al* (2005) dan Deligianni *et al* (2001)).

Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

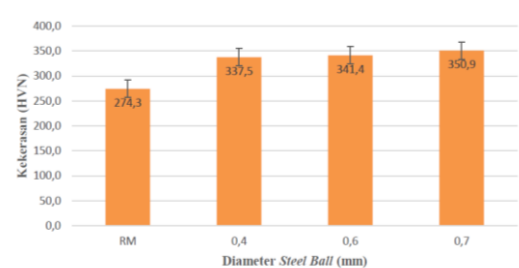
Secara umum proses *shot peening* dapat meningkatkan kekerasan pada suatu material. Nilai kekerasan terbesar terjadi pada permukaan material dan secara bertahap akan menurun menjauhi permukaan. Metode yang digunakan untuk menguji nilai kekerasan pada spesimen plat SS-316L menggunakan metode *micro vicker*. Pengujian kekerasan distribusi menggunakan beban 25gf dengan waktu 5 detik.

Pada gambar 14 terlihat grafik distribusi nilai kekerasan spesimen *shot peening* mengalami penurunan seiring dengan semakin jauhnya jarak indentasi dari permukaan material. Apabila diperhatikan, nilai kekerasan paling tinggi berada di 3 titik awal injakan, sementara pada titik 4 dan 5 nilai kekerasan cenderung menurun dan hampir sampai dengan nilai kekerasan aslinya. Gambar 15 menunjukkan grafik perbandingan antara nilai kekerasan rata-rata HV (*Hardness of Vickers*) dengan variasi diameter *steel ball*, terlihat perbedaan cukup signifikan antara nilai kekerasan permukaan plat SS-316L sebelum dan setelah diberi perlakuan proses *shot peening*.



Gambar 14 Distribusi nilai kekerasan spesimen sesuai dengan variasi diameter *steel ball* perlakuan *shot peening*.

Nilai kekerasan permukaan berbanding lurus dengan besarnya ukuran variasi diameter *steel ball* yang digunakan. Artinya, semakin besar ukuran diameter *steel ball* yang digunakan maka semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan. Pada plat SS- 316L sebelum diberi perlakuan *shot peening* (*raw material*) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 274,3 HVN, setelah diberikan perlakuan *shot peening* dengan 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 337,5 HVN, 341,4 HVN, dan 350,9 HVN. Peningkatan kekerasan permukaan spesimen setelah perlakuan *shot peening* disebabkan karena adanya *plastic deformation* akibat tumbukan *steel ball* yang mendorong partikel-partikel permukaan semakin rapat dan padat sehingga bertambahnya nilai kekerasan terhadap spesimen..



Gambar 3.15 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan Spesimen *Shot peening*.

4. KESIMPULAN

Perlakuan shotpeening menggunakan variasi diameter *steel ball* dapat mengakibatkan perubahan morfologi pada permukaan spesimen dan pada hasil struktur mikro terjadi pepadatan dan pengecilan ukuran butiran pada subpermukaan spesimen, meningkatkan kekasaran permukaan spesimen DCP 316L dari semula 0,83 μm menjadi 2,20 μm , perubahan ukuran geometri/dimensi. membuat permukaan spesimen cenderung memiliki sifat *hydrophobic*, dan meningkatkan kekerasan secara drastis setelah diberi perlakuan *shot peening* hingga 350,9 HVN dari yang sebelum perlakuan adalah 274,3 HVN..

Tulang SS 304 Dengan Gabungan Metode *Shot peening* dan *Electroplating* Ni-Cr. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, hal. 160-167.

Sutowo, Cahya. 2014. *Karakteristik Material Biokompetibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta..

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

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Aymen A., Mhaede, M., Basha, M., Wollmann, M., Wagner, L. 2015. *The Effect of Shot peening Parameters and Hydroxyapatite Coating on Surface Properties and Corrosion Behaviour of Medical Grade AISI 316L Stainless Steel*. *Surface & Coating Technology*, page 347-358.
- Arifvianto, B., Suyitno, Mahardika M., Dewo P., Iswanto P.T., Salim U.A., 2011. *Effect of Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT) on Microhardness, Surface Roughness and Wettability of AISI 316L*. *Material Chemistry and Physics*, page 418-426.
- Dieter, G.E., Bacon, D. *Mechanical Metallurgy: SI Metric Edition*. McGraw Hill. 1988.
- Hashemi, B., Yazdi, M.R., Azar, V. 2011. *The Wear and Corrosion Resistance of Shot Peened-Nitrided 316L Austenitic Stainless Steel*. *Materials and Design*, page 3287-3292.
- Hidayat, Taufiq. 2013. Pengaruh Perlakuan *Shot peening* pada Baja AISI 316L Berbentuk Silindris terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Kekasaran Permukaan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Rudianto, R., Widodo, T.D., Wardhana, B.S., Wahyutama, S. 2015. Tingkat Kekasaran Permukaan *Stainless steel* 316L Akibat Tekanan *Steelballpeening*. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*.
- Saputra, Y.R. 2016. Pengaruh Variasi Tekanan *Shot peening* Terhadap Karakteristik Permukaan *Dynamic Compression Plate* Berbahan *Stainless steel* 316L. Tugas Akhir S1. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sunardi, Iswanto, P.T., Mudjijana. 2015. Peningkatan Ketahanan Korosi Pada Material Biomedik Plat Penyambung