

PENGARUH VARIASI WAKTU PERLAKUAN SHOT PEENING SEBELUM DRILLING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA MATERIAL DYNAMIC COMPRESSION PLATE STAINLESS STEEL 316L

Aris Widyo Nugroho^a, Sunardi^b, Danu Ranjali^c

^a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
 Telp.: 082226053552
 e-mail : danuranjali@gmail.com

Abstract

Stainless steel 316L (SS AISI 316L) is the most common material used as a internal fixation device of dynamic compression plate (DCP) because of material costs and fabrication in making DCP plates cheaper than other metal implant materials, such as cobalt alloys and titanium alloys. However, the DCP SS AISI 316L plate has a deficiency with low fatigue resistance and wear. One way to resolve is to do work hardening with a shot peening method. This study aims to determine the effect of shot peening and drilling treatment on the physical and mechanical properties of DCP specimens.

DCP specimen plates have dimensions of 105 mm × 14 mm × 4 mm. The shot peening treatment is performed with constant spraying pressure 6 bar, the distance of the nozzle to the surface of the specimen is 100 mm, diameter of steel ball used 0.6 mm, and using three different treatment time parameters, 8 10 and 12 minute. DCP specimens were drilled to make 6 screw holes parallel to hole with diameter 5 mm.

The result of shot peening test with the variation of treatment time on the surface of SS AISI 316L material can change the macrostructure surface and grain size of the microstructure becomes solid and flat. The surface roughness of DCP specimens increased from raw material 0.83 μm, after the shot peening treatment with variation of time 8, 10 and 12 minutes to 2.09 μm, 1.86 μm and 1.75 μm respectively. The wettability test results show the surface of the specimen is hydrophilic, evidenced by the surface contact angle <90°. Micro hardness increased from 274.3 VHN (raw material) to 383.1 VHN (shot peening 8 minutes). The thickness of the DCP specimen decreased from 3,701 mm (raw material), after dishot peening with treatment time of 8, 10 and 12 minutes of thickness decreased to 3,682 mm, 3,670 mm and 3,643 mm respectively. Variation of shot peening treatment time for 8 minutes at most optimum time variation to optimize the physical and mechanical properties of DCP SS AISI 316L specimens.

Keywords: DCP; SS AISI 316L; shot peening; drilling

1. PENDAHULUAN

Standar ISO 5832-1 dan 5832-9 serta *American Society for Testing and Materials* (ASTM) F138 dan F139–86 (316L *implant quality*) menentukan *stainless steel* seri *austenitic* khususnya kelas medis *stainless steel* 316L (SS AISI 316L) memenuhi persyaratan kualitas logam implan [11]. Material SS AISI 316L sering digunakan untuk implan fiksasi internal, seperti implan *dynamic compression plate* (DCP) karena kombinasi yang menguntungkan dari sifat mekanisnya yang dapat dikontrol untuk kekuatan dan keuletan yang optimal, biaya bahan yang lebih rendah atau ketersediaan harga lebih rendah serta memiliki ketahanan terhadap korosi.

Namun, material SS AISI 316L sebagai material implan DCP memiliki kelemahan dengan ketahanan yang rendah terhadap tegangan lelah dan keausan saat kondisi pembebanan lokal dinamis pada pelat implan DCP SS AISI 316L yang disertai adanya cairan tubuh pada implan menyebabkan ketahanan kelelahan dan keausan semakin menurun. Hal tersebut dapat mengakibatkan inisiasi retak di permukaan terjadi dan dapat menyebabkan kegagalan atau kerusakan berupa patahnya implan DCP.

Kondisi permukaan material implan memiliki pengaruh besar pada fenomena ini dan sejumlah teknik modifikasi permukaan dapat diterapkan pada material SS AISI 316L tanpa

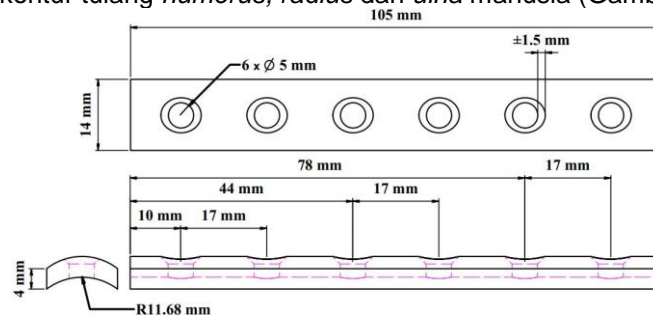
menyebabkan hilangnya sifat menguntungkan. Pengaruh perubahan intensitas perlakuan permukaan *shot peening* pada material SS AISI 316L yang mampu meningkatkan sifat mekanis material implan dalam hal kekerasan [6].

Shot-peening (SP) merupakan perlakuan permukaan dengan membombardir bagian permukaan dengan media *steel ball*. *Steel ball* yang menumbuk permukaan material menghasilkan cekungan atau *craters* dan memadatkan butiran di permukaan. Perlakuan SP merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan sifat mekanis material dengan menginduksi deformasi plastis, tegangan sisa tekan di permukaan dan subpermukaan yang dapat mengurangi gaya penggerak atau laju perambatan retak, *work hardening* yang meningkat dekat permukaan terkait dengan penyempurnaan butir dapat meningkatkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap inisiasi retakan yang meningkatkan pertumbuhan retak serta SP akan meningkatkan umur material [6].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saputra (2016) juga telah melakukan penelitian tentang perlakuan *shot peening* pada spesimen dasar SS AISI 316L dan spesimen DCP SS AISI 316L. Namun, perlakuan SP pada spesimen DCP SS AISI 316L tidak dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap perubahan sifat-sifat material yang telah direkayasa. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu perlakuan *shot peening* sebelum *drilling* terhadap sifat fisis dan mekanis pada material DCP SS AISI 316L.

2. METODE PENELITIAN

Pelat SS AISI 316L dipotong dengan dimensi 105 mm x 14 mm x 4 mm, seperti geometri spesimen DCP Gambar 2.1. Spesimen diampelas pada salah satu sisi permukaan dengan nomor ampelas 300, 600, 800 dan 1000 untuk mendapatkan kondisi permukaan dengan kekasaran seragam (Gambar 3.1 (a)). Selanjutnya, spesimen dilakukan proses pembendingan atau penekukan pelat menggunakan *universal testing machining* (UTM) dengan *jig* dan *dies* sebagai cetakan DCP atau molding DCP yang didesain sesuai kontur tulang *humerus*, *radius* dan *ulna* manusia (Gambar 3.1 (b)).



Gambar 2.1 Geometri spesimen DCP SS AISI 316L (redesign Saputra, 2016)

Prinsip *shot peening* (SP) ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.2. Perlakuan SP hanya dilakukan pada satu sisi spesimen DCP dengan menggunakan *steel ball* berdiameter 0.6 mm dan kekerasan 440-480 HVN. Waktu perlakuan SP merupakan parameter variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 8 10 dan 12 menit dengan jarak penembakan dari permukaan ke *nozzle* 100 mm dan tekanan penembakan konstan 6 bar. Selama SP, spesimen DCP ditempelkan di pemegang spesimen dan tegak lurus dengan arah *nozzle* dari *spray gun* (90°).

Tabel 2.1 Kecepatan pergerakan *spray gun*

Waktu	mm/menit	mm/detik	detik/mm
8 menit	13.1	0.22	4.5
10 menit	10.5	0.18	5.7
12 menit	8.8	0.15	6.9

Selama perlakuan SP *spray gun* bergerak diatas permukaan spesimen DCP dengan panjang lintasan pergerakan 105 mm, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Untuk memperjelas kecepatan pergerakan *spray gun* setiap variasi waktu perlakuan SP disajikan pada Tabel 2.1. Proses SP dilakukan di bengkel PRM Vulkanisir Ban di Jl. Ring Road Timur, Ngipik, Banguntapan, Bantul, Yogyakarta.



Gambar 2.2 Ilustrasi mesin dan proses shot peening

Spesimen DCP *drilling* untuk membuat lubang sekrup dan lubang *versing* dengan jumlah 6 lubang sejajar, seperti pada Gambar 2.1. Proses *drilling* menggunakan dua mata bor, yaitu mata bor *twist drill* dengan diameter 5 mm untuk membuat lubang sekrup dan mata bor *countersink* dengan diameter sisi luar lubang ± 8 mm untuk membentuk lubang *versing* atau lubang tanam kepala sekrup. Proses *drilling* dilakukan di Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna Yogyakarta.

Selanjutnya, spesimen DCP dilakukan pengujian struktur makro, kekasaran permukaan, *wettability*, struktur mikro, kekerasan mikro dan geometri. Pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro dilakukan pada bagian penampang memanjang atau membujur antara dua lubang spesimen DCP. Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* dengan menerapkan beban 25 gf dengan *load time* 5 detik dan lima titik pengukuran dengan jarak 25, 50, 100, 150 dan 200 μm dari tepi permukaan. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100x. Pengampelasan dilakukan pada penampang memanjang yang akan diamati struktur mironya menggunakan ampelas dengan nomor seri kekasaran 600, 1000, 1500 dan 2000, lalu dipoles menggunakan autosol dan *dietching* menggunakan campuran larutan *Hydrochloric Acid* (HCl) dan *Nitrid Acid* (HNO₃) dengan perbandingan 1:3. Pengujian kekerasan dan Struktur Mikro dilakukan di laboratorium D3 teknik mesin Universitas Gadjah Mada.

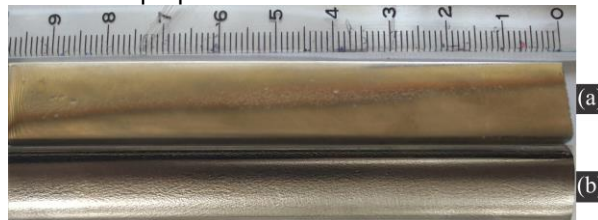
Pengamatan struktur makro dilakukan menggunakan mikroskop optik *stereo*. Pengamatan struktur makro dilakukan pada empat bagian spesimen DCP, yaitu pada permukaan spesimen dengan pembesaran 20x, lubang sekrup spesimen DCP dengan pembesaran 12x, penampang melintang lubang spesimen DCP dengan pembesaran 15x, penampang memanjang spesimen DCP dengan pembesaran 25x.

Pengukuran kekasaran permukaan dan pengujian *wettability* dilakukan sebanyak 3x pada 3 titik bagian permukaan spesimen yang berbeda (ujung kiri, tengah dan ujung kanan). Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat uji TR-200 dengan parameter nilai Ra (tinggi rata-rata puncak ke lembah) dengan satuan μm . Pengukuran *wettability* menggunakan *sput* atau *syringe* ukuran 3 cc/ml dengan ukuran jarum *sput* 0,6x32 mm. Pengukuran *wettability* bertujuan untuk mengetahui tingkat adhesi cairan pada permukaan padat dengan mengukur sudut kontak tetesan air yang terbentuk. Pengukuran geometri spesimen DCP meliputi ketebalan, diameter lubang dan sumbu panjang & sumbu pendek lubang *vershing* menggunakan *vernier caliper*. Pengukuran ketebalan spesimen dilakukan sebelum dan sesudah SP sebanyak 3x pada 3 titik yang berbeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

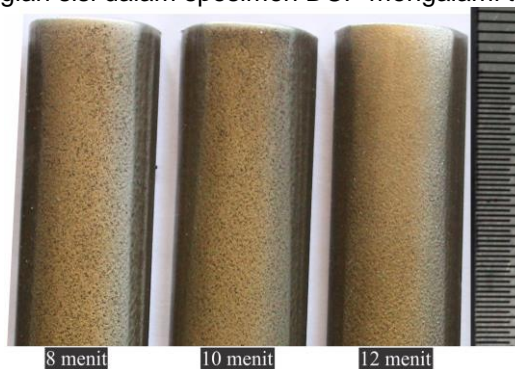
3.1 Spesimen DCP SS AISI 316L Shot Peening & Drilling

Perlakuan SP mempengaruhi morfologi atau kontur permukaan spesimen DCP menjadi terlihat lebih berkontur, gelap dan terlihat kasar (Gambar 3.2). Terlihat Gambar 3.1 merupakan spesimen DCP tanpa perlakuan atau *raw material*.



Gambar 3.1 Raw material, (a) diampelas dan sebelum pembendingan
 (b) setelah pembendingan

Gambar 3.1 (a) menunjukkan spesimen yang telah diampelas dan belum dilakukan pembendingan yang menunjukkan kontur permukaan yang terlihat terang, halus dan rata. Gambar 3.1 (b) merupakan spesimen yang telah diampelas lalu dilakukan penekukan atau pembendingan yang menunjukkan kontur permukaan yang terlihat terang, ada goresan bekas proses pengampelasan dan ada sedikit kerutan dipermukaannya atau sisi luar spesimen yang diakibatkan oleh tegangan tarik pada di sisi luar spesimen dan deformasi plastis yang terjadi di sisi luar spesimen pada saat proses pembendingan sehingga menyebabkan sisi luar spesimen DCP mengalami tarikan dan menimbulkan kerutan sedangkan bagian sisi dalam spesimen DCP mengalami tegangan tekan.



Gambar 3.2 Spesimen DCP yang telah dishot peening

Hasil foto permukaan spesimen DCP yang telah di SP dengan waktu 8 menit pada Gambar 3.2 memperlihatkan permukaan yang lebih kasar dan terlihat lebih tidak rata. Semakin lama waktu perlakuan SP memperlihatkan permukaan spesimen DCP pada Gambar 3.2 menjadi lebih rata dan terlihat lebih halus. Hal tersebut dikarenakan, semakin lama waktu perlakuan SP mengakibatkan intensitas tumbukan steel ball semakin tinggi atau lama sehingga mampu meratakan kembali permukaan sebelumnya dan menghasilkan deformasi yang semakin besar pula.

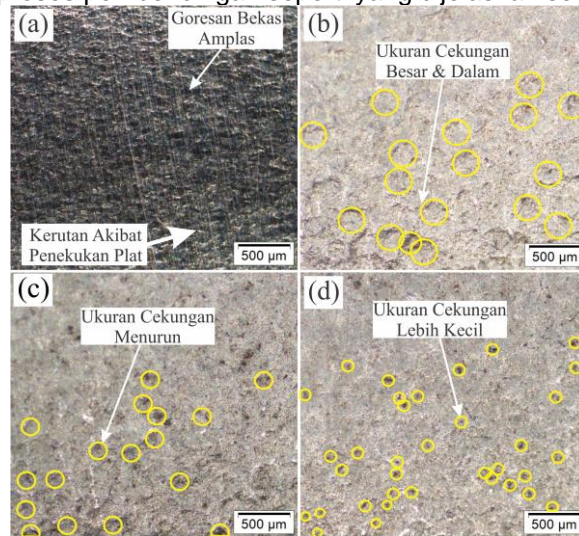


Gambar 3.3 Spesimen DCP yang dishot peening kemudian drilling

Gambar 3.3 memperlihatkan hasil *drilling* yang memiliki sisi potong bekas *drilling* yang masih tajam dan perlakuan SP tidak terlihat mempengaruhi perubahan kontur dari lubang.

3.2 Pengamatan Struktur Makro

Hasil analisis foto mikroskop optik yang diambil dari permukaan spesimen DCP dengan variasi waktu perlakuan SP yang berbeda disajikan pada Gambar 3.4. Spesimen *raw material* pada Gambar 3.4 (a) memperlihatkan permukaan yang halus dan memiliki area yang terang dengan sedikit goresan dari perlakuan pengampelasan serta terlihat ada kerutan akibat dari proses pembendungan seperti yang dijelaskan sebelumnya.

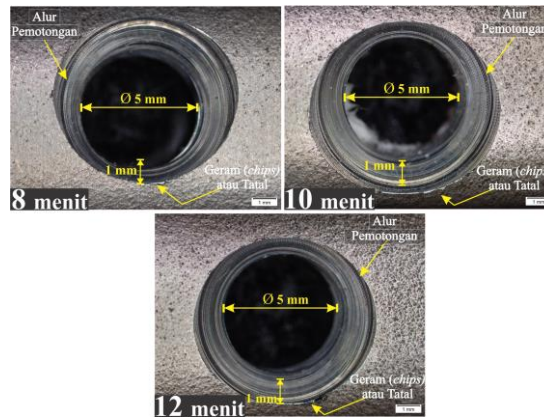


Gambar 3.4 Foto struktur makro permukaan spesimen DCP SS AISI 316L

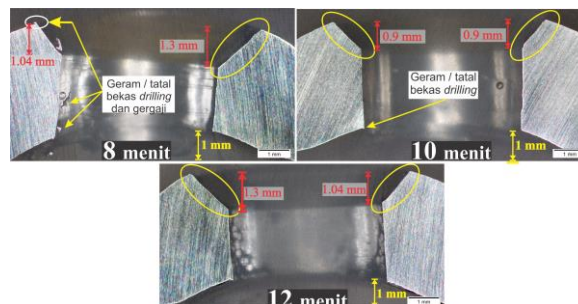
Gambar 3.4 (b)-(c) merupakan morfologi permukaan spesimen yang diberi perlakuan SP yang memperlihatkan permukaan dengan kontur tidak rata yang ditandai dengan hadirnya banyak cekungan hasil dampak frontal dari tumbukan *steel ball* ke permukaan selama perlakuan SP. Selain itu, setelah diberi perlakuan SP memperlihatkan morfologi permukaan spesimen DCP yang berbeda-beda hal ini dikarenakan pengaruh variasi waktu perlakuan SP yang berbeda-beda. Spesimen DCP yang diberi perlakuan SP selama 8 menit memperlihatkan morfologi permukaan dengan ukuran cekungan yang besar dan dalam, sedikitnya jumlah cekungan persatuan luas dan jarak puncak ke lembah terlihat tinggi. Sebaliknya, pada spesimen DCP yang di SP dengan waktu 10 dan 12 menit memperlihatkan ukuran cekungan yang cenderung semakin menurun, jumlah cekungan persatuan luas semakin meningkat serta permukaan semakin rata.

Hasil yang serupa juga didapatkan dalam penelitian Azar *et al* (2010), Sunardi *et al* (2013), Saputra (2016), Arifvianto *et al* (2012) yang menunjukkan, bahwa dengan meningkatnya waktu perlakuan SP mengakibatkan ukuran cekungan menurun dan jumlah cekungan per satuan luas meningkat dan jarak antar cekungan mendekat, keseragaman dan homogenitas permukaan meningkat sehingga kekasaran permukaan semakin menurun.

Selanjutnya, pengamatan foto makro permukaan pada bagian lubang sekrup spesimen DCP yang di SP terlebih dahulu lalu dilakukan *proses drilling*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 (a)-(c).

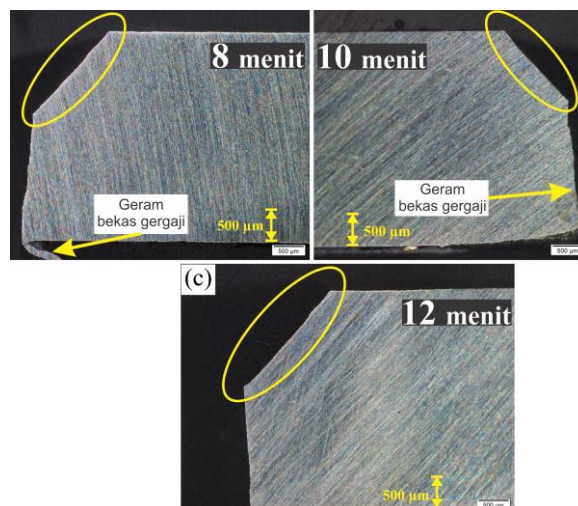


Gambar 3.5 Foto makro geometri lubang spesimen DCP yang dishot peening kemudian drilling



Gambar 3.6 Foto makro penampang melintang lubang spesimen DCP yang dishot peening kemudian drilling

Pada Gambar 3.5 (a)-(c) memperlihatkan lubang kepala sekrup dengan sisi luar yang tajam serta terlihat alur potong dan terlihat jelas pada potongan penampang melintang Gambar 3.6 (a)-(c) dan Gambar 3.7 (a)-(c) penampang memanjang atau membujur lubang sekrup spesimen DCP dengan sisi luar dan sisi dalam dari lubang *versing* yang tajam (lancip), seperti yang ditunjukkan pada lingkaran berbentuk oval berwarna kuning. Selain itu, terdapat sedikit sisa potong pada tepi lubang masuk yang disebut geram (*chip*) atau tatal. Geram atau tatal adalah hasil bagian yang terbuang yang dihasilkan oleh proses pemotongan bagian material saat proses pembuatan lubang *vershing* menggunakan bor jenis *countersink*.

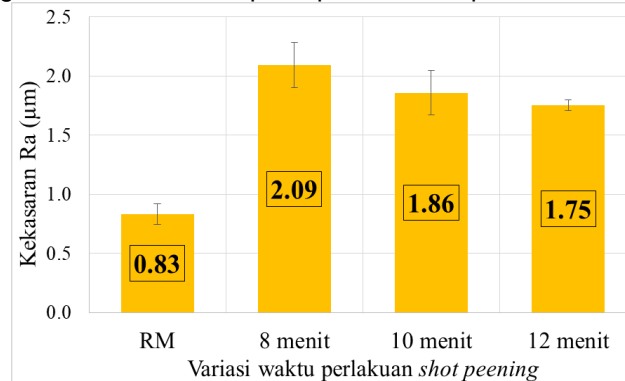


Gambar 3.7 Foto makro penampang memanjang lubang spesimen DCP yang dishot peening kemudian drilling

Proses *drilling* untuk pembuatan lubang sekrup dilakukan setelah perlakuan SP selesai sehingga morfologi permukaan hasil *drilling* tidak terlalu memiliki pengaruh. Selain itu, terlihat ukuran lubang hasil *drilling* yang tidak terlalu terpengaruh oleh perlakuan SP sehingga sisi luar dan sisi dalam dari lubang versing masih tajam (lancip). Hal ini dibuktikan dengan hasil pengukuran diameter lubang dan sumbu panjang & sumbu pendek yang tidak hampir sama pada setiap spesimen DCP dengan variasi waktu perlakuan SP berbeda.

3.3 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Pengaruh penumbukan *steel ball* pada perlakuan SP menciptakan cekungan atau identasi dan menghasilkan kekasaran pada permukaan spesimen DCP (Gambar 3.8).



Gambar 3.8 Grafik nilai rata-rata kekasaran permukaan spesimen DCP SS AISI 316L

Grafik pada Gambar 3.8 menunjukkan kekasaran permukaan meningkat signifikan hingga waktu perlakuan selama 8 menit. Namun, kekasaran permukaan menurun setelah perlakuan 8 menit meskipun nilai kekasaran permukaan yang turun masih lebih tinggi dari kekasaran permukaan *raw material* (RM). Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Azar et al (2010), Sunardi et al (2013) dan Saputra (2016) menjelaskan bahwa pengaruh waktu perlakuan SP pada awal perlakuan SP selama 8 menit menghasilkan permukaan yang lebih kasar karena deformasi lokal permukaan akibat perlakuan SP sehingga kekasaran permukaan dan heterogenitas permukaan (perbedaan dalam kepadatan dislokasi) meningkat.

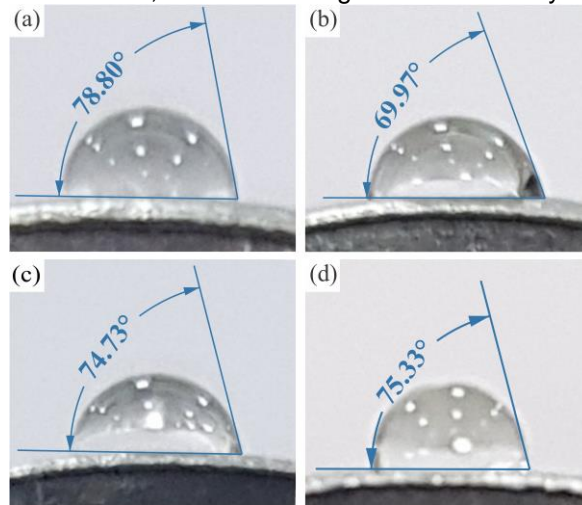
Namun, setelah 8 menit karena pengaruh perlakuan SP yang lebih lama (10 dan 12 menit) yang mengakibatkan intensitas tumbukan *steel ball* semakin tinggi dan permukaan spesimen yang belum terkena tumbukan *steel ball* akan terkena tumbukan *steel ball* kembali sehingga terjadi erosi permukaan lebih parah yang mengakibatkan kekasaran permukaan menurun. Selain itu, semakin lama waktu perlakuan SP, permukaan mengalami deformasi plastis yang semakin parah. Menurut Oshida (2010) material yang digunakan sebagai implan tulang haruslah memenuhi standar kekasaran permukaan kisaran 1 µm sampai 10 µm. Pada skala kekasaran permukaan tersebut merupakan ukuran kekasaran permukaan yang sama dengan ukuran sel dan biomolekul yang dikenal sebagai kondisi aktif untuk adsorpsi, dan dapat mempengaruhi ikatan biomolekul ke permukaan implan. Berdasarkan hal diatas, hasil kekasaran permukaan yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen DCP dengan material SS AISI 316L memenuhi standar kekasaran permukaan sebagai material implan tulang.

3.4 Pengujian *Wettability*

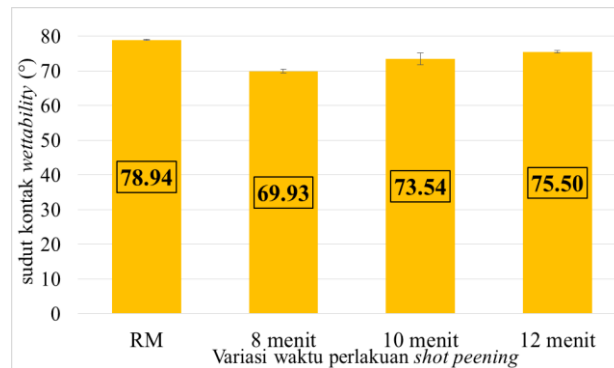
Tingkat *wettability* spesimen DCP diwakili oleh sudut kontak tetesan air (θ) pada permukaan (Gambar 3.9). Perlakuan SP sedikit meningkatkan *wettability* permukaan spesimen seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3.10 dengan sedikit pengurangan sudut kontak di semua spesimen yang diberi perlakuan SP.

Permukaan dengan sudut kontak tetesan cairan yang terbentuk $\theta < 90^\circ$ memiliki sifat permukaan hidrofilik (menyerap cairan) dan jika sudut kontak $\theta > 90^\circ$ permukaan memiliki

sifat hidrofobik (sukar cairan) [4]. Grafik pada Gambar 3.10 menunjukkan permukaan spesimen DCP bersifat hidrofilik, dibuktikan dengan sudut kontak yang timbul $<90^\circ$.



Gambar 3.9 (a) Nilai sudut kontak spesimen raw material, nilai sudut kontak spesimen DCP yang dishot peening dengan durasi, (b) 8 menit, (c) 10 menit, (d) 12 menit



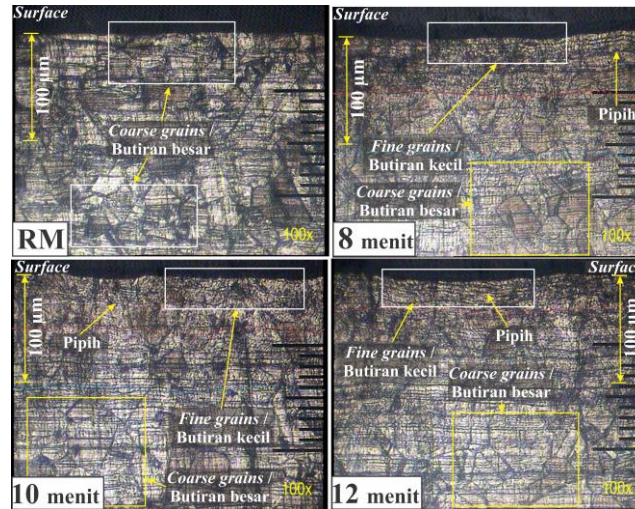
Gambar 3.10 Grafik nilai rata-rata sudut kontak spesimen DCP SS AISI 316L

Sifat hidrofilik pada spesimen raw material tersebut semakin baik setelah spesimen diberi perlakuan SP karena sudut kontak tetesan air pada spesimen DCP yang di SP mengalami penurunan dari sudut kontak raw material 78.94° menjadi 69.93° hingga 75.5° (Gambar 3.10). Semakin lama perlakuan SP, dapat mengakibatkan kekasaran permukaan menurun yang diikuti menurunnya tingkat wettability spesimen DCP (peningkatan sudut kontak air). Namun, nilai sudut kontak tidak melebihi nilai sudut kontak raw material dan tetap memiliki sifat hidrofiliknya.

Hubungan perubahan nilai sudut kontak yang semakin besar seiring menurunnya kekasaran permukaan yang diakibatkan meningkatnya waktu perlakuan SP telah diteliti lebih lanjut oleh Arifvianto *et al* (2011) dan Bagherifard *et al* (2016). Penyempurnaan butir dan kekasaran permukaan berkontribusi secara individual untuk meningkatkan interaksi substrat dengan media pembasahan (wettability) [4] [6]. Permukaan kasar dan wettability salah satu faktor penting yang menentukan masa pakai material implan. Permukaan yang kasar dan memiliki sifat permukaan yang hidrofilik sangat sesuai untuk adhesi/penyerapan sel tulang dan untuk implan osseointegrasi [4].

3.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada spesimen DCP akibat menerima perlakuan SP. Perlakuan SP menghasilkan pengaruh pengerasan kerja (work hardening) yang signifikan dan perubahan struktur mikro yang drastis pada lapisan permukaan material [10].



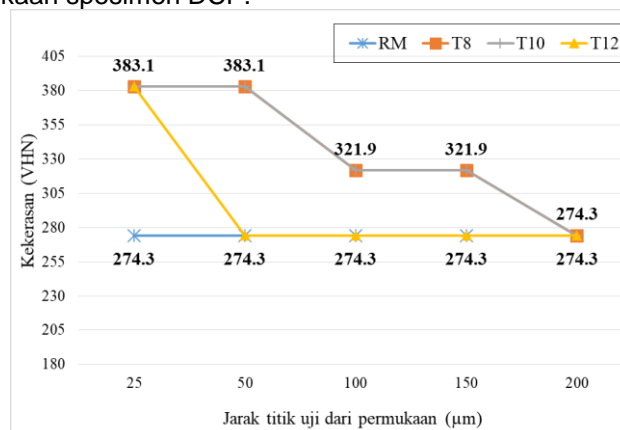
Gambar 3.11 Hasil struktur mikro penampang memanjang spesimen DCP SS AISI 316L

Struktur mikro spesimen DCP RM (*raw material*) menunjukkan ukuran butir besar, kasar dan rata-rata ukuran butir sama besar baik di dekat permukaan maupun pada kedalaman spesimen DCP. Dapat diamati bahwa di dekat permukaan spesimen DCP yang diberi perlakuan SP menghasilkan deformasi yang berbeda dalam spesimen DCP. Pada lapisan tepat di bawah permukaan yang di SP, memperlihatkan terjadinya penyempurnaan butir atau berubahnya ukuran butiran menjadi kecil atau halus pipih atau terjadi pepadatan butir terutama didekat permukaan. Ukuran butir yang menjadi pipih dan padat serta mengalami deformasi akibat perlakuan SP menunjukkan akumulasi dislokasi [2].

Tumbukan *steel ball* yang berulang dan lebih dalam dengan intensitas tumbukan yang semakin tinggi seiring lamanya waktu perlakuan SP mampu merubah struktur mikro permukaan dan menghasilkan lapisan deformasi plastis. Lapisan deformasi plastis yang terbentuk di bawah permukaan spesimen dengan perlakuan SP menyebabkan kerapatan dislokasi sehingga dapat meningkatkan kekerasan permukaan [2]. Namun, ketika jarak kedalaman meningkat atau lebih jauh dari dekat permukaan yang di SP ketebalan lapisan deformasi semakin berkurang dan ukuran butir menjadi lebih besar dan kasar atau ukuran butirnya kembali mendekati *raw material*. Hal tersebut terjadi karena dampak perlakuan SP tidak mempengaruhi bagian spesimen yang lebih dalam.

3.6 Pengujian Kekerasan Mikro

Grafik kekerasan mikro pada Gambar 3.12 menunjukkan pengaruh perlakuan SP dalam meningkatkan kekerasan dan pengerasan kerja (*work hardening*) di tepi permukaan atau dekat permukaan spesimen DCP.



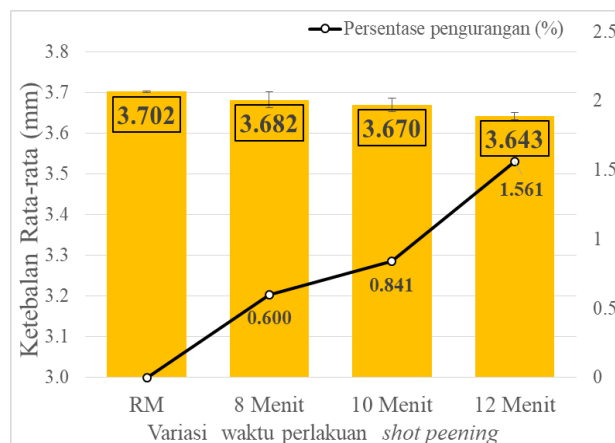
Gambar 3.12 Grafik distribusi kekerasan spesimen DCP SS AISI 316L

Seperti yang dapat dilihat pada grafik (Gambar 3.12) menunjukkan nilai kekerasan permukaan spesimen DCP dengan variasi waktu perlakuan SP 8 10 dan 12 menit dapat meningkatkan nilai kekerasan di dekat permukaan (383.1 VHN) sampai subpermukaan secara signifikan dari nilai kekerasan permukaan *raw material* (274.3 HVN). Hal ini menunjukkan bahwa sifat fisik, khususnya kekerasan dan kepadatan, partikel-partikel ini cukup untuk menginduksi deformasi plastik dan kerapatan dislokasi semakin tinggi [3]. Kerapatan dislokasi yang tinggi, ukuran butir semakin kecil dan deformasi plastis yang terjadi dapat mempersulit mencegah gerakan dislokasi sehingga kekerasan meningkat. Meningkatkan kekerasan permukaan dapat meningkatkan ketahanan aus material [3] [5].

Penurunan distribusi kekerasan mikro terjadi seiring meningkatnya kedalaman spesimen (Grafik pada Gambar 3.12), hal ini terjadi karena perubahan ketebalan lapisan pengeras (*hardness layer*) akibat pengaruh perlakuan SP. Peningkatan kekerasan pada permukaan spesimen dan penurunannya secara bertahap seiring meningkatnya kedalaman menunjukkan adanya tegangan sisa tekan yang meningkat (+) dan lapisan pengerasan kerja (*hardness layer*) yang menurun dan menghilang dengan jarak dari permukaan yang lebih jauh. Oleh karena itu, daerah yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dari nilai kekerasan di kedalaman (subpermukaan) spesimen dapat dianggap sebagai daerah yang sangat dipengaruhi oleh perlakuan SP [5].

3.7 Pengukuran Geometri Spesimen DCP

Perlakuan SP biasanya tidak ditujukan untuk mengubah dimensi (geometri). Tetapi, perubahan dimensi mungkin terjadi tumbukan *steel ball* ke permukaan akibat perlakuan SP.



Gambar 3.13 Grafik nilai rata-rata pengurangan ketebalan spesimen DCP SS AISI 316L

Grafik pada Gambar 3.13 menunjukkan nilai rata-rata ketebalan spesimen DCP *raw material* (RM) sebagai kondisi awal pada semua spesimen DCP yang akan di SP dengan nilai ketebalan 3.702 mm. Namun, setelah diberi perlakuan SP dengan variasi waktu 8 10 dan 12 menit nilai rata-rata ketebalan mengalami pengurangan dengan selisih pengurangan ketebalan yang tidak terlalu berbeda jauh antar variasi waktu perlakuan. Pengurangan ketebalan ini terjadi karena tekanan dipermukaan akibat tumbukkan *steel ball* yang mengakibatkan deformasi plastis bagian dalam saat terjadi benturan dengan permukaan spesimen DCP. Tumbukan yang berulang-ulang mengakibatkan deformasi permukaan dan mengakibatkan terjadinya penghalusan butir, pemadatan dan pemipihan pada butir permukaan serta mengakibatkan terkikisnya lapisan permukaan luar spesimen sehingga spesimen DCP mengalami perubahan dimensi [15].

Terlihat pada grafik (Gambar 3.13) pengurangan ketebalan spesimen DCP yang diberi perlakuan SP semakin besar seiring meningkatnya waktu perlakuan SP, hal ini dibuktikan dengan semakin besarnya nilai persentase pengurangan ketebalan dari 0.60% (waktu perlakuan SP 8 menit) hingga 1.561% (waktu perlakuan SP 12 menit). Hal tersebut terjadi karena semakin lama waktu perlakuan SP mengakibatkan waktu penumbukan *steel ball* ke permukaan spesimen DCP semakin lama sehingga menghasilkan deformasi butir

permukaan yang semakin besar dan permukaan yang menjadi semakin padat, pipih dan keras.

Selanjutnya, pengukuran dilakukan pada diameter lubang sekrup, sumbu panjang dan sumbu pendek lubang *vershing* menggunakan, teknik pengukuran yang ditunjukkan pada ilustrasi Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Pengukuran sumbu panjang dan sumbu pendek lubang *vershing*

Tabel 3.1 Hasil data Pengukuran Geometri Spesimen DCP SS AISI 316L

Variasi perlakuan SP	Rata-rata Diameter (mm)	Selisih rata-rata diameter terbesar dan terkecil (µm)	Lubang <i>vershing</i>			
			Sumbu Panjang (mm)	Selisih sumbu panjang (µm)	Sumbu Pendek (mm)	Selisih sumbu pendek (µm)
8 Menit	5.033	4	7.724	8	6.917	7
10 Menit	5.036		7.723		6.913	
12 Menit	5.032		7.731		6.920	

Tabel 3.1 menunjukkan data hasil pengukuran diameter lubang sekrup, sumbu panjang & pendek lubang *vershing* spesimen DCP dengan rata-rata diameter lubang sekrup dan rata-rata sumbu panjang & pendek yang hampir sama pada setiap variasi perlakuan SP. Terdapat selisih yang kecil pada rata-rata diameter dengan selisih 4 µm., sumbu panjang dengan selisih rata-rata 8 µm dan sumbu pendek dengan selisih 7 µm sehingga bisa disimpulkan perlakuan SP tidak berpengaruh cukup besar untuk merubah ukuran diameter lubang hasil proses drilling karena proses drilling atau proses pembuatan lubang sekrup dilakukan setelah perlakuan SP selesai.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, variasi waktu perlakuan SP sebelum proses *drilling* mampu memberikan pengaruh untuk mengoptimalkan karakteristik permukaan atau sifat fisis dan sifat mekanis material DCP SS AISI 316L. Hasilnya menunjukkan bahwa morfologi permukaan pada struktur makro menjadi tidak rata karena terbentuknya cekungan atau indentasi bekas tumbukan *steel ball*. Kekasaran permukaan dan tingkat *wettability* diawal perlakuan SP signifikan meningkat dengan menjadikan permukaan lebih bersifat hidrofilik namun, kekasaran permukaan dan tingkat *wettability* semakin menurun seiring meningkatnya waktu perlakuan SP.

Perlakuan shot peening menginduksi penyempurnaan butir menjadi butir yang lebih kecil, padat dan pipih pada struktur mikro dekat permukaan hingga jarak kedalaman tertentu. Penyempurnaan butir mengakibatkan kekerasan permukaan meningkat hingga kedalaman tertentu. Perlakuan SP mengurangi ketebalan spesimen DCP. Semakin lama waktu perlakuan SP pengurangan ketebalan spesimen DCP semakin besar. Perlakuan SP sebelum *drilling* tidak terlalu mempengaruhi perubahan nilai diameter lubang sekrup, sumbu panjang & sumbu pendek lubang *vershing*. Singkatnya, dengan variasi waktu perlakuan SP selama 8 menit paling optimum dan memiliki potensi tinggi untuk mengoptimalkan karakteristik permukaan spesimen DCP serta memaksimalkan fungsionalitas atau sifat mekanis dari spesimen DCP SS AISI 316L.

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook. 2003. *Handbook of Materials for Medical Devices*. ASM International.
- [2] Ahmed, A. A., Mhaede, M., Wollmann, M., & Wagner, L. (2016). *Effect of micro shot peening on the mechanical properties and corrosion behavior of two microstructure Ti-6Al-4V alloy*. Applied Surface Science, 363, pp. 50-58.
- [3] Arifvianto, B., 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*. Materials Chemistry and Physics, 125(3), pp. 418-426.
- [4] Arifvianto, B., Suyitno, K. A., & Mahardika, M. 2012. *Influence of grit blasting treatment using steel slag balls on the subsurface microhardness, surface characteristics and chemical composition of medical grade 316L stainless steel*. Surface and Coatings Technology, 210, pp. 176-182.
- [5] 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, 204(21-22), pp. 3546-3551.
- [6] Bagherifard, S., Slawik, S., Fernández-Pariente, I., Pauly, C., Mücklich, F., & Guagliano, M. 2016. *Nanoscale surface modification of AISI 316L stainless steel by severe shot peening*. Materials & Design, 102, pp. 68-77.
- [7] Bronzino, J. D., & Park, J. B. 2002. *Biomaterials: principles and applications*. CRC press.
- [8] Elias, C.N., Oshida, Y., Lima, J.H.C., Muller, C.A. 2008. *Relationship between Surface Properties (Roughness, Wettability, Morphology) of Titanium and Dental Implant Removal Torque*. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. Vol. 1, pp. 234-242
- [9] González, J., Peral, L. B., Colombo, C., & Fernández Pariente, I. 2018. *A Study on the Microstructural Evolution of a Low Alloy Steel by Different Shot Peening Treatments*. Metals, 8(3), pp. 187.
- [10] Liu, Y. G., Li, M. Q., & Liu, H. J. 2017. *Nanostructure and surface roughness in the processed surface layer of Ti-6Al-4V via shot peening*. Materials Characterization, 123, pp. 83-90.
- [11] Newson, T. 2002. *Stainless steel—A family of medical device materials*. Business Briefing: Medical Device Manufacturing & Technology.
- [12] Oshida, Y. 2010. *Bioscience and bioengineering of titanium materials*. Elsevier. Diakses melalui <https://bit.ly/2KLps8Z> pada tanggal 10 Mei 2018 pukul 11.30.
- [13] Prasetya, D., Mahardika, M., Suyitno, S., Arifvianto, B., Prihandana, G. S., & Dewo, P. 2011. *The effect of sandblasting on AISI 316L stainless steels*. In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, 2, pp. 58-61.
- [14] Roland, T., Reiraint, D., Lu, K., & Lu, J. 2007. *Enhanced mechanical behavior of a nanocrystallised stainless steel and its thermal stability*. Materials Science and Engineering: A, 445, pp. 281-288.
- [15] Saputra, Y.R. 2016. Skripsi. *Pengaruh Variasi Tekanan Penyemprotan Shot Peening terhadap Karakteristik Permukaan Dynamic Compression Plate berbahan Stainless Steel 316L*. Tugas Akhir S1. Teknik Mesin UMY : Yogyakarta
- [16] Sunardi, Priyo T. I., dan Mudjijana. 2013. *Pengaruh Waktu Shot Peening terhadap Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Stainless Steel AISI 304*. Seminar Nasional ReTII ke-8, Yogyakarta, Indonesia.
- [17] Xing, Y. M., & Lu, J. 2004. *An experimental study of residual stress induced by ultrasonic shot peening*. Journal of Materials Processing Technology.

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengaruh Variasi Waktu Perlakuan Shot Peening Sebelum Drilling terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Material Dynamic Compression Plate Stainless Steel 316L

Judul Naskah Publikasi: Pengaruh Variasi Waktu Perlakuan Shot Peening Sebelum Drilling terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Material Dynamic Compression Plate Stainless Steel 316L

Nama Mahasiswa: Danu Ranjali

NIM: 20140130192

Pembimbing 1: Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.

Pembimbing 2: Sunardi, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*beri tanda ✓ di kotak yang sesuai

Tanda Tangan
 Danu Ranjali



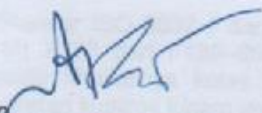
Tanggal
 03 Juli 2018

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan

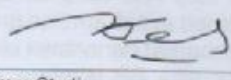
Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.



Tanggal 06 Juli 2018

Tanda Tangan

Ketua/Sekretaris Program Studi



Tanggal 06 Juli 2018

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.