

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

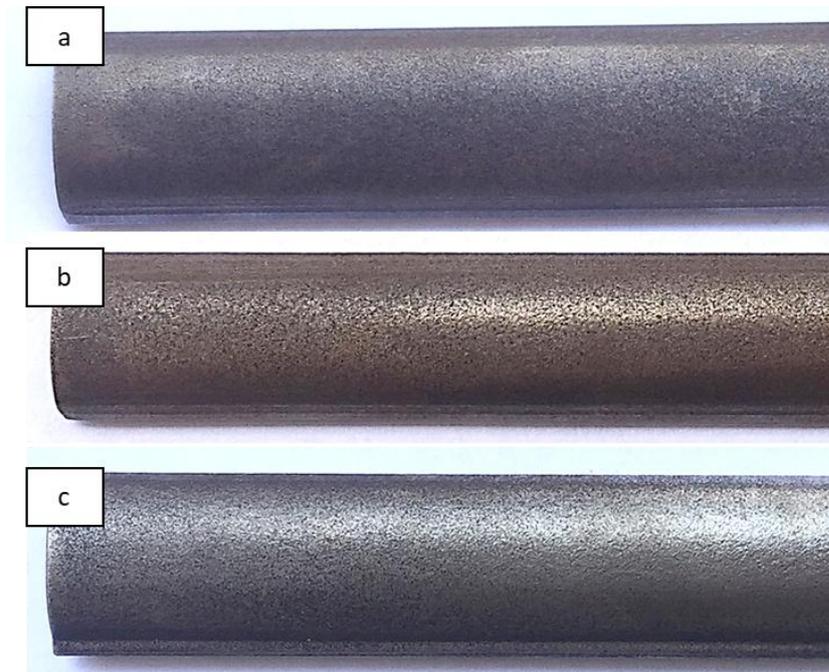
### 4.1. Hasil Perlakuan *Shot Peening*

Perlakuan *shot peening* terhadap DCP SS 316L mempengaruhi permukaan material tersebut sesuai dengan penembakan variasi *steel ball* yang digunakan. Penelitian ini menggunakan variasi diameter *steel ball* dengan ukuran 0,4 mm, 0,6 mm, dan 0,7 mm dengan waktu 10 menit untuk setiap variasi dan pergeseran penembakan *steel ball* secara konstan dari kiri ke kanan dengan tekanan 6 bar. Hasil perlakuan *shot peening* terhadap permukaan DCP berbahan SS 316L, dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 *Raw material*, (a) *Raw material* sebelum *bending*, (b) *Raw material* sesudah *bending*

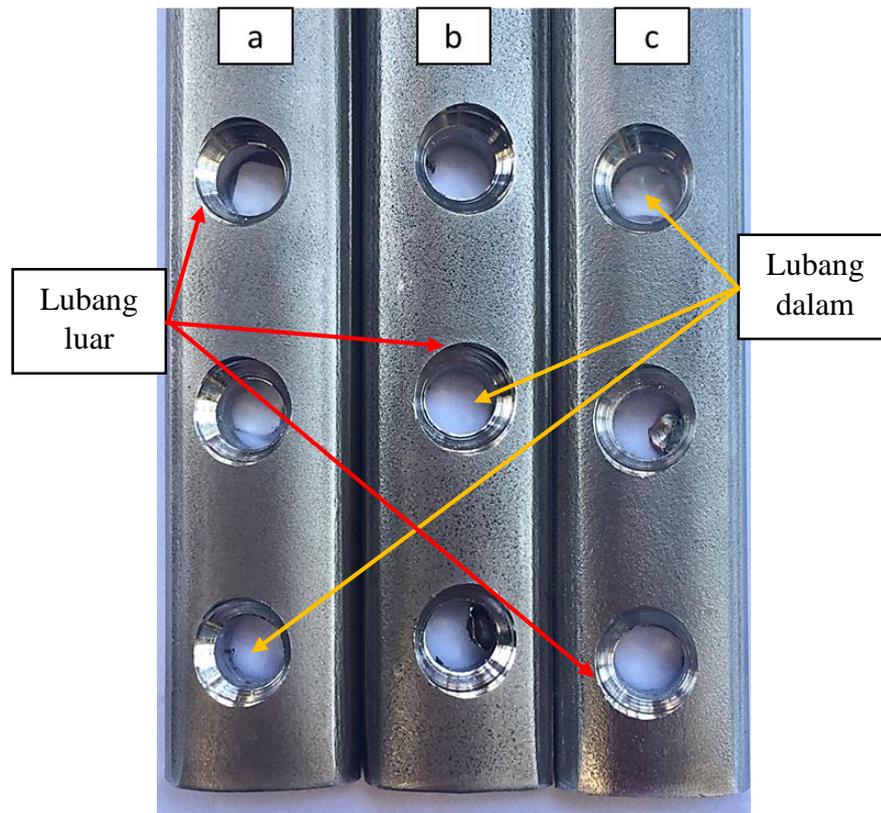
Gambar 4.1 merupakan *raw material*, yang memperlihatkan kondisi awal plat sebelum mendapat perlakuan *shot peening* dan *drilling*. Pada gambar 4.1 (a) adalah *raw material* sebelum mendapatkan perlakuan *bending*. Terlihat permukaan yang bening dan mengkilap serta ada goresan-goresan akibat dari pengampelasan. Proses pengampelasan dilakukan agar plat memiliki permukaan yang sama rata. Gambar 4.1 (b) merupakan *raw material* setelah mendapat proses *bending*, dimana permukaan terlihat lebih kasar dibandingkan sebelum mendapat proses *bending*. Hal ini dikarenakan plat mengalami tarikan pada sisi luar dan mendapat tekanan pada sisi dalam yang mengakibatkan terjadi deformasi plastis pada permukaan plat.



Gambar 4.2 Material DCP *shot peening*, (a) variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, (b) variasi diameter *steel ball* 0,6 mm, dan (c) variasi diameter *steel ball* 0,7 mm

Gambar 4.2 memperlihatkan kondisi permukaan plat akibat perlakuan *shot peening*. Pada gambar 4.2 (a) menunjukkan kondisi permukaan plat akibat perlakuan *shot peening* dengan diameter 0,4 mm, dimana terlihat permukaan yang lebih kasar (Tabel 4.3) karena adanya cekungan-cekungan kecil akibat perlakuan *shot peening* dan warna permukaan plat lebih gelap dibandingkan dengan kondisi awal plat (Gambar 4.1). Gambar 4.2 (b) memperlihatkan permukaan plat akibat perlakuan *shot peening* dengan diameter *steel ball* 0,6 mm, dimana terlihat permukaan yang menghitam dikarenakan kotoran yang berasal dari *steel ball* dan adanya cekungan-cekungan yang terlihat lebih besar jika dibandingkan permukaan plat yang mendapat perlakuan *shot peening* diameter *steel ball* 0,4 mm (Gambar 4.8). Gambar 4.2 (c) menunjukkan permukaan plat yang telah mendapat perlakuan *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* 0,7 mm. Terlihat permukaan yang lebih kasar jika dibandingkan dengan permukaan plat yang mendapat perlakuan *shot peening* dengan diameter 0,4 mm dan 0,6 mm (Gambar 4.9). Hal tersebut dikarenakan cekungan-cekungan yang terdapat pada gambar 4.2 (c) terlihat lebih jelas dan lebih besar. Besarnya ukuran *steel ball* juga mempengaruhi besarnya cekungan yang

terjadi dan kekasaran pada permukaan plat. Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa ukuran *steel ball* yang semakin besar menjadi cekungan-cekungan yang terbentuk semakin besar dan menjadikan permukaan plat semakin kasar akibat dari cekungan-cekungan yang ditimbulkan.



Gambar 4.3 DCP *shot peening* dan *drilling*, (a) variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, (b) variasi diameter *steel ball* 0,6 mm, dan (c) variasi diameter *steel ball* 0,7 mm

Gambar 4.3 memperlihatkan permukaan plat yang sudah mendapat perlakuan *shot peening* dan *drilling*. Pada gambar tersebut terlihat bentuk lubang akibat dari proses *drilling*. Lubang pada bagian dalam terlihat lebih bulat jika dibandingkan dengan lubang bagian luar yang berbentuk seperti silinder (*inclined transverse cylinder*). Perbedaan diameter lubang pada plat penyambung tulang (*dynamic compression plate*) bertujuan agar *screw* dapat masuk dan terpasang pada plat dan tulang. Tidak ada perbedaan bentuk lubang yang signifikan dari ketiga variasi *steel ball*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa ukuran diameter *steel ball* *peening* dan pembuatan spesime DCP dengan perlakuan *shot peening* terlebih dulu

dan kemudian pembuatan lubang dengan pemesinan *drilling* tidak mempengaruhi ukuran atau bentuk dari lubang di plat penyambung tulang (*dynamic compression plate*).

## 4.2. Hasil Pengujian dan Pembahasan

### 4.2.1. Pengukuran Ketebalan (*Thickness*) dan *Geometry Drilling*

Perlakuan *shot peening* terhadap suatu permukaan material mengakibatkan terjadinya deformasi plastis. Hal itu terjadi karena peristiwa tertumbuknya *steel ball* dengan kecepatan dan tekanan yang tinggi ke permukaan material. Salah satu bentuk deformasi plastis adalah berkurangnya ukuran ketebalan material tersebut. Pengaruh dari perlakuan *shot peening* terhadap ketebalan DCP SS 316L ditunjukkan dengan nilai ketebalan rata-rata (mm) untuk setiap variasi diameter yang diukur dengan *vernier caliper*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan gambar 4.2.

Tabel 4.1 Nilai Pengurangan Ketebalan DCP SS 316L *shot peening*

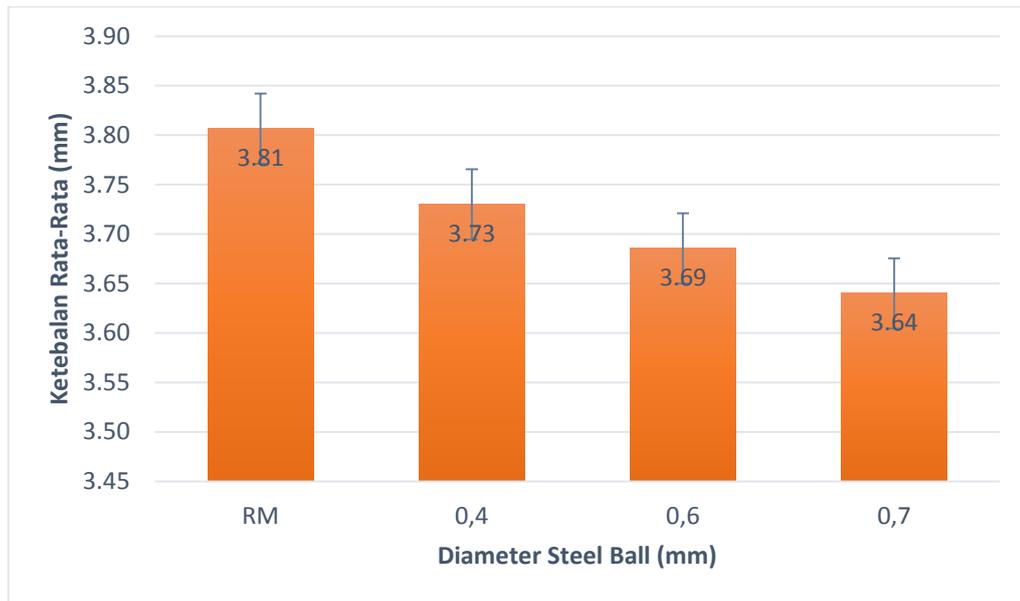
| PROSES | TEBAL (mm) | RATA-RATA (mm) | SD   |
|--------|------------|----------------|------|
| RM     | 3,83       | 3,81           | 0,04 |
|        | 3,76       |                |      |
|        | 3,83       |                |      |
| 0,4    | 3,75       | 3,73           | 0,01 |
|        | 3,70       |                |      |
|        | 3,74       |                |      |
| 0,6    | 3,68       | 3,69           | 0,03 |
|        | 3,69       |                |      |
|        | 3,69       |                |      |
| 0,7    | 3,65       | 3,64           | 0,01 |
|        | 3,64       |                |      |
|        | 3,63       |                |      |

Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa perlakuan *shot peening* selama 10 menit dengan tekanan yang dipertahankan 6 bar terhadap DCP bahan SS 316L menurunkan nilai ketebalan awal sebelum mendapat perlakuan *shot peening*. Hasil pengukuran ketebalan plat berbanding terbalik dengan besarnya ukuran diameter *steel ball* yang digunakan selama proses *shot peening*. Dimana semakin besar

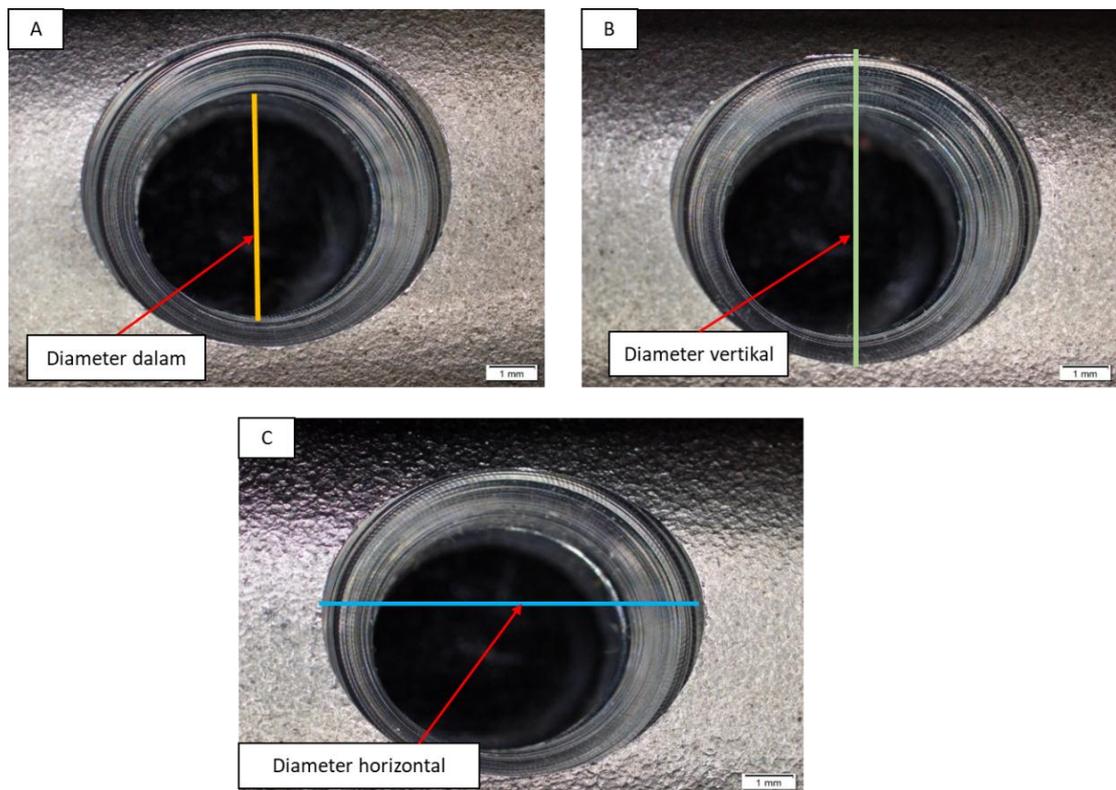
ukuran *steel ball* yang digunakan menghasilkan nilai ketebalan plat yang semakin menurun. Ketebalan pada *raw material* yang merupakan plat tanpa perlakuan *shot peening* memiliki nilai rata-rata ketebalan plat tertinggi yaitu 3,81 mm. Selanjutnya, menurun hingga mencapai 3,73 mm setelah mendapat perlakuan *shot peening* dengan diameter *steel ball* 0,4 mm. Kemudian kembali menurun setelah mendapat perlakuan *shot peening* dengan diameter *steel ball* 0,6 mm dengan nilai rata-rata ketebalan 3,69 mm. Ketebalan plat semakin menurun dengan bertambahnya ukuran diameter *steel ball*. Pada variasi diameter *steel ball* 0,7 mm mencapai nilai rata-rata ketebalan 3,64 mm.

Tabel 4.1 merupakan perincian data hasil pengukuran nilai ketebalan pada setiap variasi plat. Hasil pengukuran tersebut juga menunjukkan adanya penurunan ukuran ketebalan pada DCP SS 316L setelah mendapat perlakuan permukaan *shot peening*. *Raw material* sebagai plat acuan memiliki nilai ketebalan rata-rata 3,81 mm, ketebalan ini berkurang dari awal kondisi plat tanpa perlakuan apapun yaitu 4 mm. Hal tersebut dikarenakan *raw material* mendapat perlakuan pengamplasan untuk menjadikan permukaan plat lebih rata dan penekukan. Nilai ketebalan rata-rata plat menurun akibat dari semakin besar ukuran diameter *steel ball* maka deformasi plastis yang dihasilkan akan semakin besar pula. Deformasi yang terjadi dikarenakan efek penembakan *steel ball* dengan tekanan dan kecepatan yang tinggi secara langsung ke permukaan plat.

Jika melihat grafik penurunan nilai ketebalan rata-rata (Gambar 4.2) penipisan ukuran ketebalan rata-rata plat paling rendah terjadi pada plat yang mendapat perlakuan variasi diameter *steel ball* 0,7 mm. Penelitian yang dilakukan oleh Sukarno (2017) dengan menggunakan variasi diameter dan bahan material yang sama, namun berbeda dalam bentuk spesimennya. Memperlihatkan hasil yang sama, dimana semakin meningkatnya ukuran *steel ball* akan mempengaruhi nilai ketebalan rata-rata spesimen. Pengaruh yang terjadi berupa penurunan nilai rata-rata ketebalan spesimen dari *raw material* menurun hingga variasi diameter *steel ball* 0,7 mm.



Gambar 4.4 Grafik rata-rata nilai ketebalan DCP SS 316L *shot peening*



Gambar 4.5 Lubang akibat proses *drilling* pada material DCP SS 316L *shot peening*, (a) variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, (b) 0,6 mm, dan (d) 0,7 mm

Tabel 4.2 Tabel pengukuran diameter *drilling*

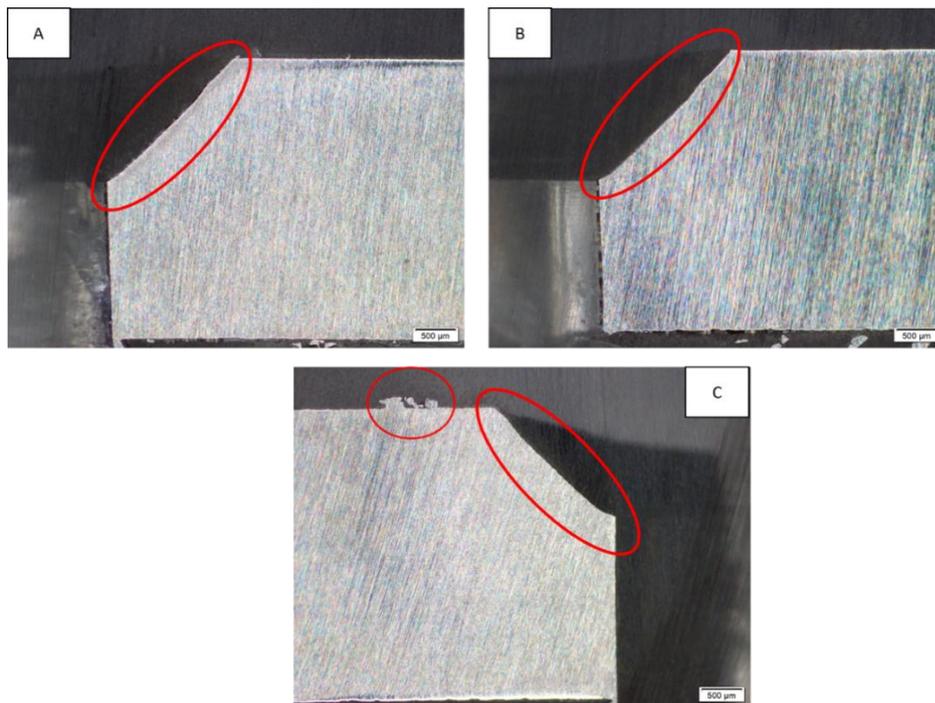
| Kode | Diameter |            |          |
|------|----------|------------|----------|
|      | Dalam    | Horizontal | Vertikal |
| 0,4  | 4,96     | 7,73       | 7,11     |
| 0,6  | 4,95     | 7,78       | 7,11     |
| 0,7  | 4,98     | 7,78       | 7,11     |

Gambar 4.5 memperlihatkan kondisi lubang akibat proses *drilling* untuk semua variasi penembakan *steel ball peening*. Pada sisi pada diameter luar dekat dengan permukaan plat terlihat adanya cacat-cacat akibat dari proses *drilling*. Dilihat secara visual tidak ada perbedaan yang signifikan antara lubang untuk setiap variasi. Hal ini diperkuat dengan tabel 4.2 hasil perhitungan lubang untuk setiap variasi. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran lubang untuk setiap variasi tidak jauh berbeda antara variasi yang satu dengan yang lain. Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa variasi penembakan *steel ball* perlakuan *shot peening* dengan tahapan penembakan *steel ball* lalu *drilling* tidak mempengaruhi ukuran lubang secara signifikan. Hal tersebut karena proses *shot peening* dilakukan terlebih dahulu dan kemudian pembuatan lubang dengan proses *drilling*, sehingga tidak mempengaruhi ukuran lubang walaupun dengan variasi penembakan *steel ball peening* yang semakin besar.

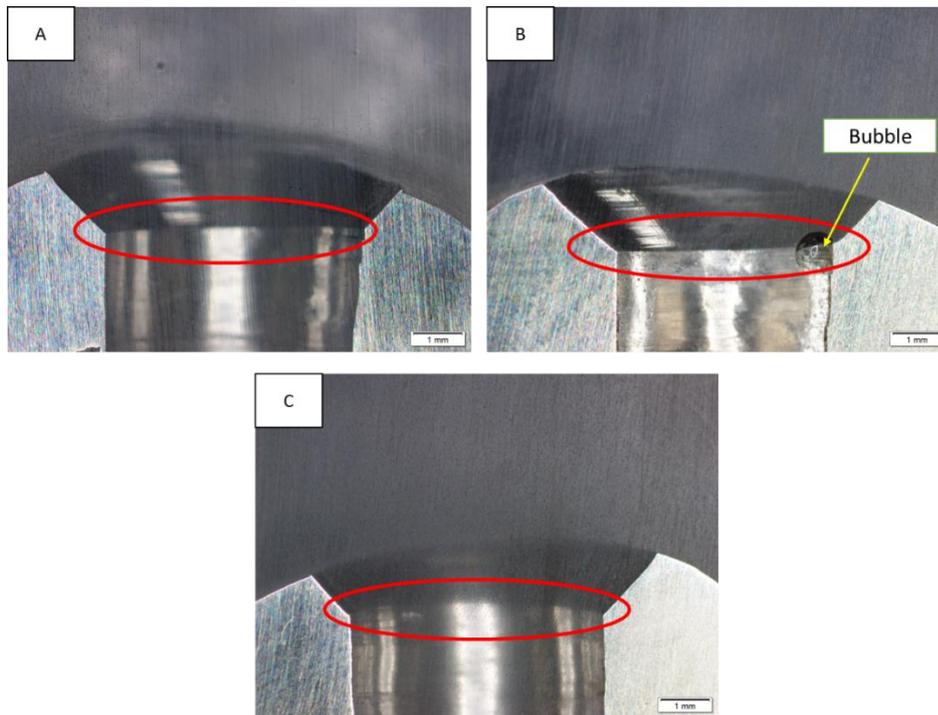
Pengukuran ketebalan material dan lubang *drilling* pada penelitian ini menggunakan *vernier caliper*. Hal tersebut disebabkan karena bentuk material yang cekung karna berupa plat implantasi tulang (*Dynamic Compression Plate*). Penggunaan *vernier caliper* akan memudahkan dalam pengukuran jika dibandingkan alat ukur yang lain.

#### 4.2.2. Hasil dan Pembahasan Pengamatan Makro pada Lubang *Drilling*

Pada material DCP terdapat 6 lubang sejajar yang dikhususkan untuk memasang sekrup ketika menyambung tulang patah. Sekrup implan memiliki peran yang penting dalam plat penyambung tulang. Sekrup implan bertujuan untuk menahan plat implan pada tulang agar tidak bergeser, sehingga tulang dapat sembuh atau menyatu kembali dengan jangka waktu yang relatif cepat. Gambar 4.6 menunjukkan lubang hasil perlakuan *drilling* bagian melintang pada permukaan DCP setelah mendapat perlakuan *shot peening* terlebih dulu. Pengamatan makro pada lubang *drilling* menggunakan mikroskop makro dengan pembesaran 1.5x untuk patahan lubang *drilling* dengan skala 100 mm dan 2.5x untuk patahan melintang lubang *drilling* dengan jarak skala  $\mu\text{m}$ .



Gambar 4.6 Hasil foto makro potongan membujur lubang *drilling* setelah *shot peening* variasi diameter *steel ball*, (a) 0,4 mm, (b) 0,6 mm, dan (c) 0,7 mm.



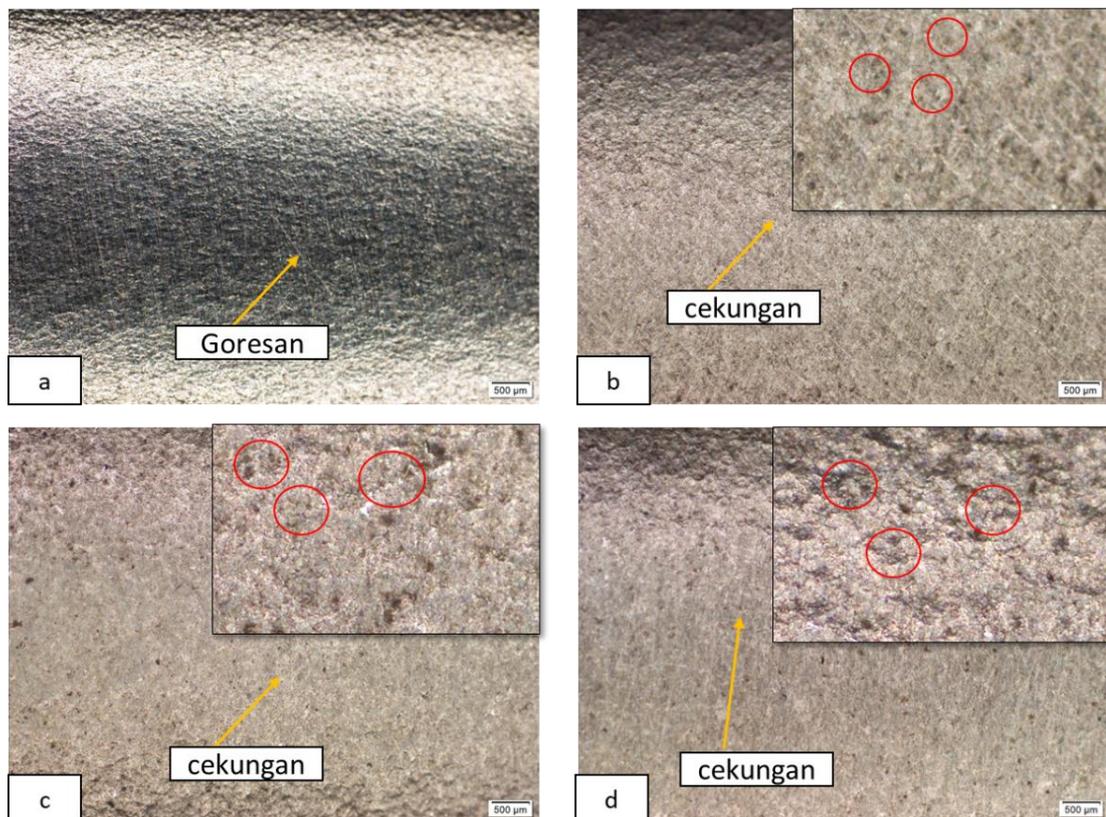
Gambar 4.7 Hasil foto makro potongan melintang lubang *drilling* setelah *shot peening* variasi diameter *steel ball*, (a) 0,4 mm, (b) 0,6 mm, dan (c) 0,7 mm.

Gambar 4.6 adalah foto makro dari patahan melintang lubang pada material DCP SS 316L akibat proses *drilling* yang mendapat perlakuan *shot peening* terlebih dahulu. Bagian tepi atau ujung patahan lubang terlihat tajam dan tegas tidak terlihat adanya pemipihan. Hal tersebut dikarenakan lubang dibuat setelah plat mendapat proses *shot peening* terlebih dahulu. *Steel ball* tidak bertumbukkan dengan lubang *drilling*. Pada gambar 4.6 c) terlihat adanya sisa-sisa material pada daerah pinggir akibat dari proses pemotongan plat.

Pada gambar 4.7 memperlihatkan hasil foto makro potongan lubang *drilling* bagian tengah lubang. Pinggiran lubang terlihat tajam dan tegas tidak terpengaruh dengan perlakuan *shot peening*. Hal ini dikarenakan perlakuan *shot peening* dilakukan sebelum plat mendapat proses *drilling*. Gambar 4.7 b) terlihat adanya *bubble* yang disebabkan oleh udara yang terperangkap didalam resin. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *drilling* yang dilakukan setelah proses *shot peening* pada material DCP SS 316L tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

#### 4.2.3. Pengamatan Struktur Makro (*Surface Microstructure*)

Pengamatan struktur makro yang dilakukan terhadap permukaan DCP akibat perlakuan *shot peening* terlihat jelas perbedaannya dengan *raw material*. Bentuk dari permukaannya sangat berbeda, dimana pada permukaan DCP yang diberi perlakuan *shot peening* memiliki permukaan yang lebih gelap dan memiliki cekungan seperti pada gambar 4.8 b-d.



Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Struktur Makro. (a) *raw material* sebelum *bending*, (b) *raw material* sesudah *bending*, (c) plat *shot peening* diameter 0,4 mm, (d) plat *shot peening* diameter 0,6 mm, (e) plat *shot peening* diameter 0,7 mm.

Gambar 4.8 (a) memperlihatkan permukaan *raw material* setelah mendapat proses *bending* dan terlihat ada cekungan yang diakibatkan oleh penekukan (*bending*) seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Gambar 4.8 (b) adalah permukaan DCP dengan variasi penembakan *steel ball peening* 0.4 mm, dimana permukaannya terlihat kasar dibandingkan dengan *raw material* dan banyak terdapat cekungan-cekungan halus yang disebabkan oleh tumbukan *steel ball* dengan permukaan plat. Hal serupa juga terlihat pada gambar 4.8 (c) dan (d), namun pada kedua gambar

tersebut cekungan-cekungan yang terlihat sedikit lebih besar dan banyak, hal ini disebabkan karena ukuran *steel ball* yang lebih besar dan berakibat semakin kasarnya permukaan plat.

Saat proses pengamatan struktur makro berlangsung, permukaan DCP berbahan SS 316L diamati menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 20x dengan skala 500  $\mu\text{m}$ . Permukaan DCP yang diberi perlakuan *shot peening* terlihat timbul deformasi pada permukaan yang diakibatkan dari proses perlakuan tersebut (Gambar 4.8, b), c), d)). Deformasi plastis yang terjadi karena *steel ball* menumbuk permukaan DCP sehingga menimbulkan cekungan pada permukaan DCP. Dari penelitian yang dilakukan Ahmed (2015) dalam Sukarno (2017), pengaruh dari variasi ukuran *steel ball peening* yang digunakan mampu mempengaruhi hasil dari struktur makro permukaan material. Pengaruh yang ditimbulkan adalah berupa cekungan-cekungan yang ada pada permukaan material sehingga kontur permukaan plat menjadi lebih kasar dari permukaan plat tanpa perlakuan *shot peening*. Pada gambar 4.8 (d) dan (e) terlihat cekungan yang lebih besar dan dalam. Cekungan-cekungan yang berukuran besar dan dalam dapat menjadikan terbentuknya lapisan baru (Prihandoko, 2015).

Pandey dkk, 2001 dalam Sukarno, 2017 menyatakan bahwa peningkatan energi kinetik yang timbul selama proses perlakuan *shot peening* mampu mempengaruhi deformasi plastis dan penetrasi yang terjadi dapat semakin meningkat. Dalam penelitian yang telah dilakukan Arifvianto dkk (2013) dan Sukarno (2017), membenarkan bahwa perlakuan permukaan dengan menggunakan media material abrasif mampu merubah kontur permukaan suatu material. Kontur permukaan material berubah menjadi lebih kasar dan meningkatkan ketidakteraturan permukaan material tersebut.

#### **4.2.4. Pengamatan Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)**

Perlakuan *shot peening* terhadap permukaan DCP berbahan SS 316L mempengaruhi nilai kekasaran permukaan plat tersebut. Nilai kekasaran yang diperoleh berbeda sesuai dengan perbedaan ukuran *steel ball* yang digunakan. Hasil pengujian kekasaran permukaan plat akibat perlakuan *shot peening* ditunjukkan

dengan nilai kekasaran rata-rata ( $R_a$ ) untuk setiap variasi, seperti yang ditampilkan pada gambar 4.9 dan tabel 4.3.

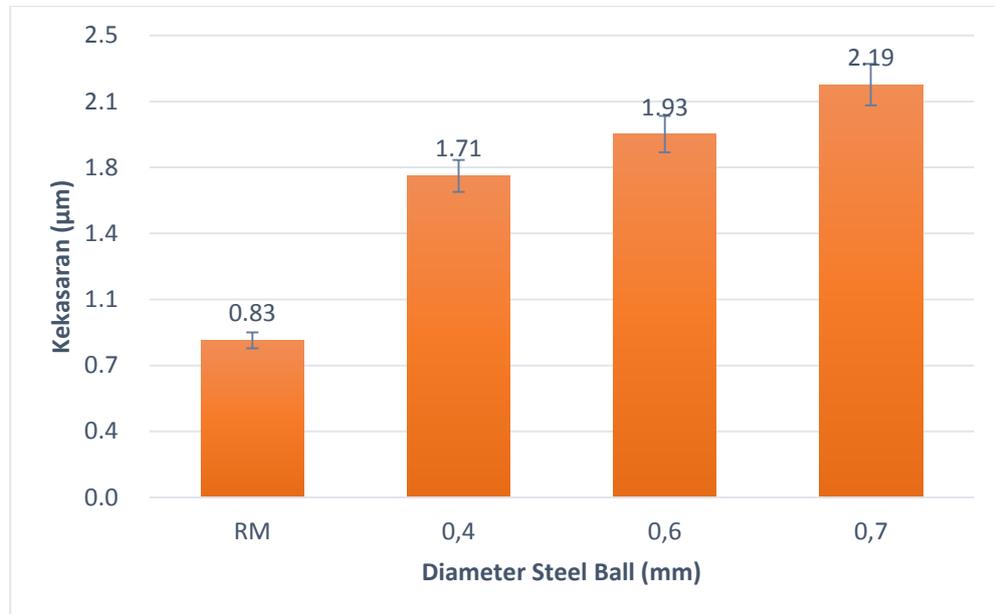
Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian kekasaran permukaan untuk tiga titik percobaan untuk setiap variasi diameter *steel ball* pada permukaan DCP. Gambar 4.9 memperlihatkan grafik perbandingan antara nilai kekasaran rata-rata dengan variabel diameter *steel ball peening*. Pada gambar tersebut terlihat adanya peningkatan nilai kekasaran permukaan dari material tanpa perlakuan (*raw material*). Nilai kekasaran yang dihasilkan oleh material akibat dari proses *shot peening* lebih besar jika dibandingkan dengan material sebelum dilakukan perlakuan *shot peening*. Hal tersebut disebabkan oleh cekungan-cekungan yang dihasilkan dari penembakan *steel ball* ke permukaan plat dengan tekanan dan kecepatan yang tinggi.

Tabel 4.3 Nilai kekasaran permukaan DCP SS-316L

| Kode | Kekasaran ( $\mu\text{m}$ ) |                       |                      | Rata-rata ( $\mu\text{m}$ ) | Simpangan |
|------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------|
|      | TITIK 1 (sisi kiri)         | TITIK 2 (sisi tengah) | TITIK 3 (sisi kanan) |                             |           |
| Rm   | 0,73                        | 0,9                   | 0,87                 | 0,83                        | 0,09      |
| 0,4  | 1,67                        | 1,72                  | 1,73                 | 1,71                        | 0,03      |
| 0,6  | 1,82                        | 1,91                  | 2,06                 | 1,93                        | 0,12      |
| 0,7  | 2,11                        | 2,17                  | 2,29                 | 2,19                        | 0,09      |

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa nilai kekasaran pada plat *raw material* sebesar 0,8  $\mu\text{m}$ . Selanjutnya, terjadi peningkatan yang signifikan hingga 1,71  $\mu\text{m}$  pada variasi *steel ball* 0,4 mm. Kemudian, pada variasi *steel ball* diameter 0,6 mm kembali meningkat dengan nilai kekasaran permukaan 1,93  $\mu\text{m}$ . Pada variasi *steel ball* berdiameter 0,7  $\mu\text{m}$  terlihat nilai kekasaran permukaan yang paling tinggi (*peak point*) dengan nilai kekasaran sebesar 2,19  $\mu\text{m}$ , hal ini disebabkan karena semakin besarnya ukuran diameter semakin menghasilkan cekungan-cekungan yang besar pula. Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dapat dinyatakan bahwa perlakuan *shot peening* dan semakin besarnya ukuran diameter *steel ball* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan DCP berbahan SS 316L. Nilai kekasaran

permukaan yang diperoleh sudah memenuhi standar untuk material implantasi tulang, yaitu kisaran nilai kekasaran 10 nm – 10  $\mu\text{m}$  (*Bioscience and Bioengineering of Titanium Material*).



Gambar 4.9 Grafik nilai kekasaran rata-rata ( $R_a$ ) permukaan DCP akibat perlakuan *shot peening*.

Dalam pengukuran kekasaran permukaan menggunakan parameter  $R_a$  yang merupakan nilai rata-rata kekasaran. Menurut Saputra (2015)  $R_a$  merupakan nilai tinggi rata-rata dari suatu kekasaran permukaan pada material dan merupakan nilai absolut kekasaran rata-rata permukaan aritmatik pada sebuah peningkatan kekasaran permukaan dapat terjadi setelah proses perlakuan permukaan. Penelitian yang dilakukan oleh Marteau dkk (2014) dalam Sukarno (2017) dimana menggunakan variasi material abrasif yaitu baja 304L dan baja 100C6 dengan ukuran diameter 1-2 mm menunjukkan dengan kakerasan yang lebih tinggi dari material dapat mempengaruhi bentuk permukaan material tersebut. Begitu pula penelitian yang dilakukan oleh Sukarno (2017) yang menggunakan *steel ball* 0,4 mm, 0,6 mm, dan 0,7 mm pada permukaan plat persegi dengan ukuran 20 mm x 20 mm berbahan SS 316L, menghasilkan nilai kekasaran permukaan plat meningkat seiring bertambahnya ukuran diameter *steel ball*.

Dari penjelasan di atas dan dari hasil penelitian kekasaran permukaan akibat *shot peening* yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penggunaan variasi

diameter material abrasif mempengaruhi dalam meningkatkan nilai kekasaran permukaan material.

#### 4.2.5. Pengukuran Mampu Basah (*Wettability*)

Pengukuran sudut kontak dalam pengujian ini menggunakan metode *drop-shape*. Nilai sudut kontak yang dihasilkan oleh suatu permukaan plat implan mempengaruhi penyerapan protein dan interaksi antara permukaan plat implan dengan lingkungan sekitar jaringan. Besarnya nilai sudut kontak yang didapat akan menentukan karakter *hydrophilic* (suka air) dan *hydrophobic* (tidak suka air).

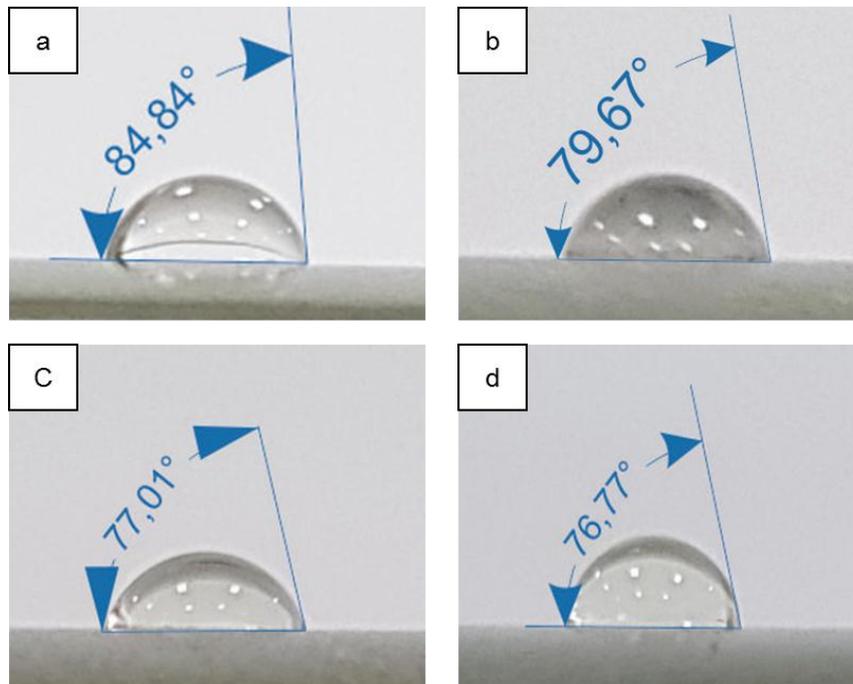
Suatu permukaan material implan dikatakan baik apabila memiliki sudut kontak  $< 90^\circ$ , dimana material tersebut menunjukkan sifat suka air (*hydrophilic*). Hasil yang didapat dari pengukuran *wettability* dan nilai rata-rata sudut kontak dari DCP bahan SS-316L dapat dilihat pada gambar 4.10, gambar 4.1, dan table 4.4.

Tabel 4.4 Nilai kontak sudut *wettability* DCP hasil perlakuan *shot peening* dan *drilling*

| Kode | kontak sudut ( $^\circ$ ) |                  |                 | Rata-rata ( $^\circ$ ) | Simpangan |
|------|---------------------------|------------------|-----------------|------------------------|-----------|
|      | Tetes 1 (kiri)            | Tetes 2 (tengan) | Tetes 3 (kanan) |                        |           |
| Rm   | 85,61                     | 82,55            | 84,84           | 84,33                  | 1,59      |
| 0,4  | 80,12                     | 78,91            | 79,67           | 79,57                  | 0,61      |
| 0,6  | 79,13                     | 75,71            | 77,01           | 77,28                  | 1,73      |
| 0,7  | 75,41                     | 76,87            | 76,77           | 76,35                  | 0,82      |

Pada gambar 4.10 menunjukkan adanya penurunan nilai sudut kontak dari setiap plat. Nilai rata-rata sudut kontak tertinggi dimiliki oleh plat tanpa perlakuan (*raw material*) yaitu sebesar  $84,33^\circ$ . Gambar 4.11 juga memperlihatkan adanya penurunan nilai rata-rata sudut kontak seiring dengan besarnya variasi *steel ball peening*, dimana nilai rata-rata sudut kontak terkecil dimiliki oleh variasi *steel ball peening* 0,7 mm yaitu sebesar  $76,35^\circ$ . Sedangkan, pada tabel 4.4 merupakan perincian dari nilai masing-masing plat dengan dilakukan pengujian sebanyak 3 kali di tempat yang berbeda untuk mengetahui nilai rata-ratanya. Dimana pada tabel 4.4 terlihat pada variasi diameter *steel ball* 0,4 mm, 0,6 mm dan 0,7 mm mengalami penurunan nilai sudut kontak untuk setiap titik pengujian, Pada tabel tersebut dapat dilihat untuk nilai rata-rata sudut kontak yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai

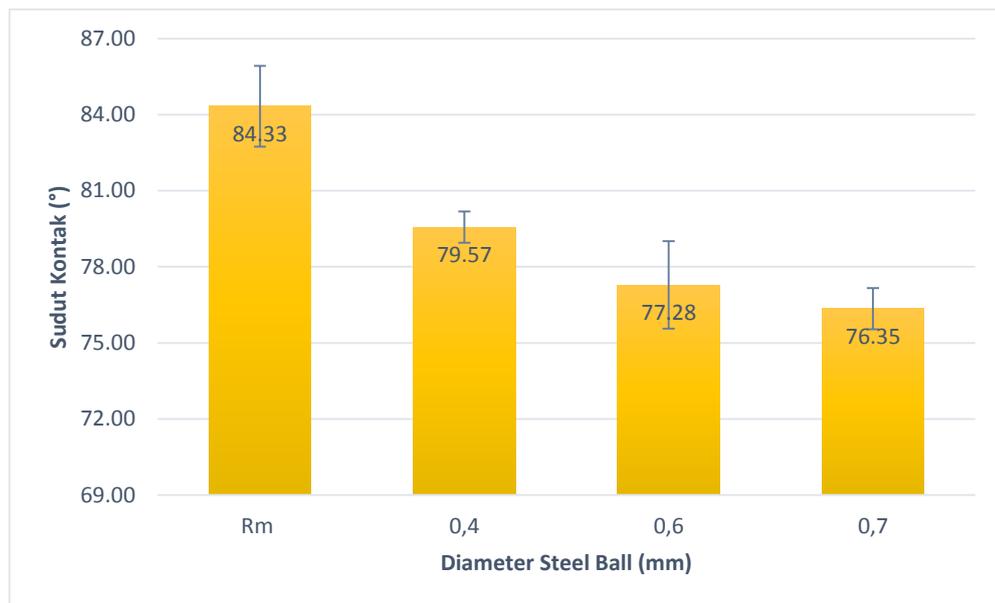
rata-rata sudut kontak terkecil dimiliki oleh variasi diameter *steel ball* 0,7 mm yang merupakan diameter dengan ukuran terbesar dan memiliki nilai kekasaran yang lebih tinggi dibandingkan variasi diameter *steel ball* 0,4 mm dan 0,6 mm.



Gambar 4.10 Hasil sudut kontak *wettability* DCP perlakuan *shot peening*. (a) *Raw material*, (b) variasi diameter 0,4 mm, (c) variasi diameter 0,6 mm, dan (d) variasi diameter 0,7 mm.

Dalam penelitian Sukarno (2017) membenarkan bahwa kekasaran permukaan plat mempengaruhi nilai sudut kontak yang dihasilkan dalam pengujian *wettability*. Permukaan suatu material yang semakin kasar akan menjadikan nilai sudut kontak yang dihasilkan semakin kecil. Kekasaran yang dimiliki oleh suatu material juga mempengaruhi penyebaran air pada saat melakukan kontak secara langsung dengan permukaan plat. Menurut Baier dkk (1968) dalam Sukarno (2017) menjelaskan bahwa nilai sudut kontak dari suatu permukaan spesimen dipengaruhi oleh seberapa kasarnya permukaan spesimen tersebut. Dimana jika air diteteskan pada permukaan yang tidak terlalu kasar, maka nilai sudut kontak yang dihasilkan akan semakin besar. Namun, jika permukaan suatu material lebih kasar maka nilai sudut kontak yang dihasilkan akan semakin kecil.

Akan tetapi, jika nilai sudut kontak pada suatu permukaan plat implan semakin kecil maka akan berdampak positif dalam penggunaannya. Hal itu dikarenakan plat tersebut bersifat *hydrophilic* (suka air), yang artinya akan berdampak baik terhadap penyerapan protein dan penempelan sel-sel pada jaringan tulang yang berkontak langsung dengan plat implan tersebut. Pada gambar 4.11 dapat disimpulkan bahwa plat DCP berbahan SS-316L mengalami proses perubahan menjadi *hydrophilic* (suka air), karena nilai sudut kontak yang didapat mengalami penurunan serta kurang dari  $90^\circ$ . Nilai *wettability* yang dihasilkan sudah memenuhi persyaratan suka air sehingga dapat digunakan sebagai plat implantasi tulang.



Gambar 4.11 Grafik nilai rata-rata pengukuran *wettability* akibat perlakuan *shot peening*.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ukuran diameter material abrasif yang digunakan dalam proses perlakuan permukaan *shot peening* mempengaruhi nilai keterbasahan (*wettability*) pada material implan bahan SS 316L, dimana semakin besar ukuran diameter material abrasif yang digunakan menjadikan nilai sudut kontak semakin kecil.

#### 4.2.6. Pengamatan Struktur Mikro Permukaan (*Surface Microstructure*)

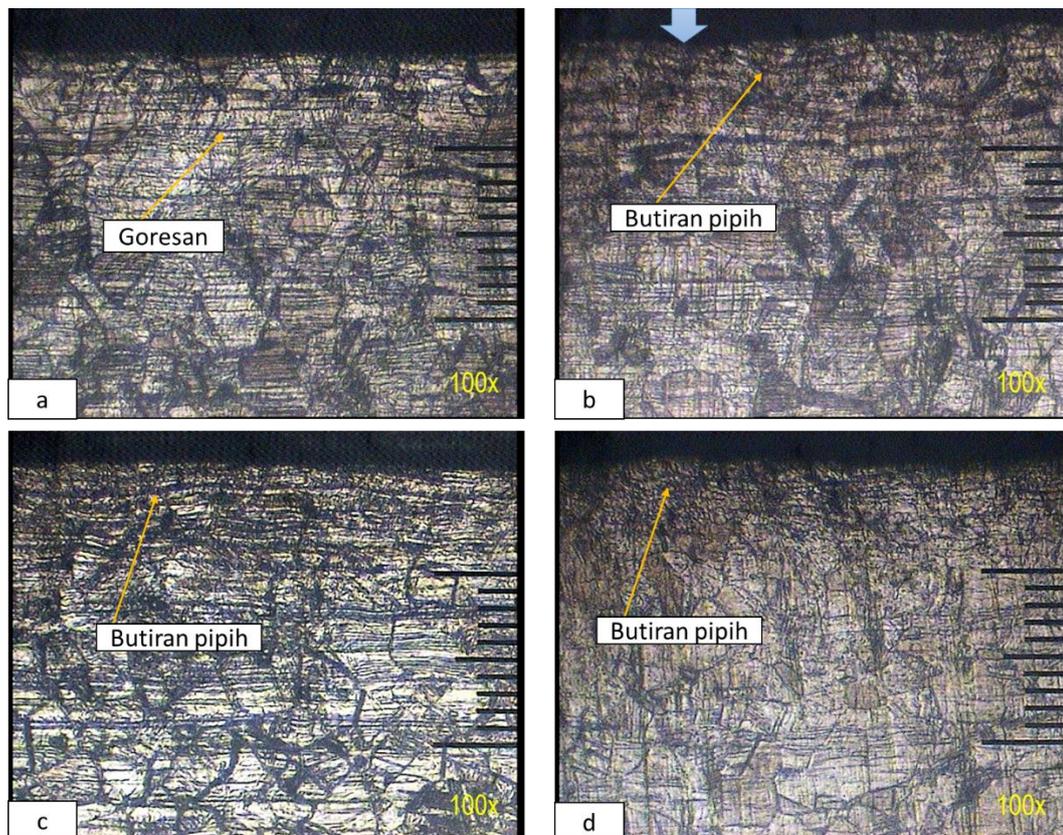
Perbandingan pengaruh perlakuan permukaan *shot peening* terhadap struktur mikro pada permukaan DCP berbahan SS 316L dapat dilihat pada tampilan gambar 4.12. Pada gambar tersebut menunjukkan perbandingan struktur mikro variasi *steel ball peening* ukuran 0,4 mm, 0,6 mm, dan 0,7 mm dengan *raw material* (plat tanpa perlakuan *shot peening*). Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100x pada skala 50 $\mu$ m dan sebelum dilakukan pengamatan permukaan plat yang akan diamati diberikan cairan etsa. Hal tersebut bertujuan agar struktur mikro yang berada di permukaan terlihat jelas. Cairan etsa yang digunakan adalah HCl + HNO<sub>3</sub> dengan kadar kandungannya 3:1. Selanjutnya, dilakukan pengamatan dengan posisi melintang untuk setiap variasi.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada permukaan spesimen DCP setelah mendapat perlakuan *shot peening*. Secara visual terlihat perbedaan struktur butiran mikro pada permukaan spesimen hasil perlakuan *shot peening* dimana butiran terlihat lebih kecil pada permukaan hingga kedalaman tertentu yang diakibatkan karena deformasi plastis akibat tumbukkan *steel ball* dengan permukaan plat. Hal berbeda diperlihatkan pada struktur mikro *raw material* (Gambar 4.12-a). Struktur mikro dari permukaan *raw material* tanpa perlakuan *shot peening* dan *drilling*. Dimana terlihat permukaan yang cukup rata dengan alur-alur goresan akibat dari pengamplasan dan alur butiran cukup merata dan seragaman. Perubahan struktur mikro terjadi pada gambar 4.12 b) sampai dengan d), dimana merupakan permukaan DCP yang telah mendapat perlakuan *shot peening* dan kemudian *drilling*. Permukaan material DCP akibat perlakuan *shot peening* terlihat butiran-butiran yang semakin pipih dan kecil pada sub permukaan, butiran tersebut kembali membesar seiring menjauhi sub permukaan. Hal tersebut diakibatkan oleh tekanan yang dihasilkan karena penembakan *steel ball* dengan permukaan plat sehingga permukaan hingga sub permukaan plat mengalami pengecilan dan penghalusan butiran. Dimana, saat proses tumbukan belangsung dengan kecepatan yang tinggi menjadikan permukaan plat mengalami deformasi plastis.

Di gambar 4.12 b) hingga d) juga terlihat perubahan pada bagian tepi yang mengalami pemadatan butiran dibandingkan dengan gambar 4.12 a). Gambar 4.12 b) dengan variasi diameter *steel ball* 0,4 mm terlihat banyak kawah hitam yang disebabkan karena reaksi antara material dengan cairan etsa. Pada variasi diameter *steel ball* ini, terlihat butiran-butiran kasar dan alur goresan akibat pengamplasan yang mulai menghilang. Sedangkan, pada gambar 4.12 c) yang merupakan foto struktur mikro variasi diameter 0,6 mm terlihat butiran yang semakin padat pada bagian permukaan. Fenomena ini mampu mempengaruhi nilai kekerasannya. Hal tersebut diperkuat dengan hukum Petch yang menyatakan bahwa kekerasan akan meningkat seiring dengan pengecilan butiran. Artinya jika butiran mulai membesar akan menjadikan nilai kekerasan semakin kecil.

Pada gambar 4.12 d) variasi diameter *steel ball* 0,7 mm terlihat ukuran butir yang semakin kecil dan halus. Ini dikarenakan ukuran diameter *steel ball* yang besar dan menimbulkan ukuran cekungan yang semakin lebar, sehingga deformasi plastis yang ditimbulkan semakin besar pula. Hal tersebut menjadikan pada variasi diameter *steel ball* ini kekasaran dan kekerasan meningkat dibandingkan pada diameter *steel ball* 0,4 mm dan 0,6 mm.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmadi (2012) dalam Sukarno (2017), menyatakan bahwa perlakuan SMAT (*Surface Mechanical Attrition Treatment*) pada *stainless steel* 316L menghasilkan lapisan pada permukaan dengan bentuk dan struktur yang mengalami penurunan ukuran butir. Perubahan pada struktur butiran terjadi pada material dengan kedalaman tertentu. Ukuran butir yang mengecil menyebabkan nilai kekerasan meningkat. Multigner dkk (2009) dalam Sukarno (2017) menyatakan bahwa perlakuan permukaan *sand blasting* juga mengakibatkan perubahan signifikan terhadap struktur mikro suatu material yang terkena tembakan material abrasif, dimana hal ini searah dengan adanya deformasi plastis selama proses perlakuan *sand blasting*. Hasil yang sama didapat oleh Sukarno (2017), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa proses *shot peening* dengan variasi diameter *steel ball* pada SS 316L mempengaruhi struktur mikro yang menjadikan ukuran butiran semakin kecil dan ikut memadat seiring meningkatnya variasi diameter *steel ball*.



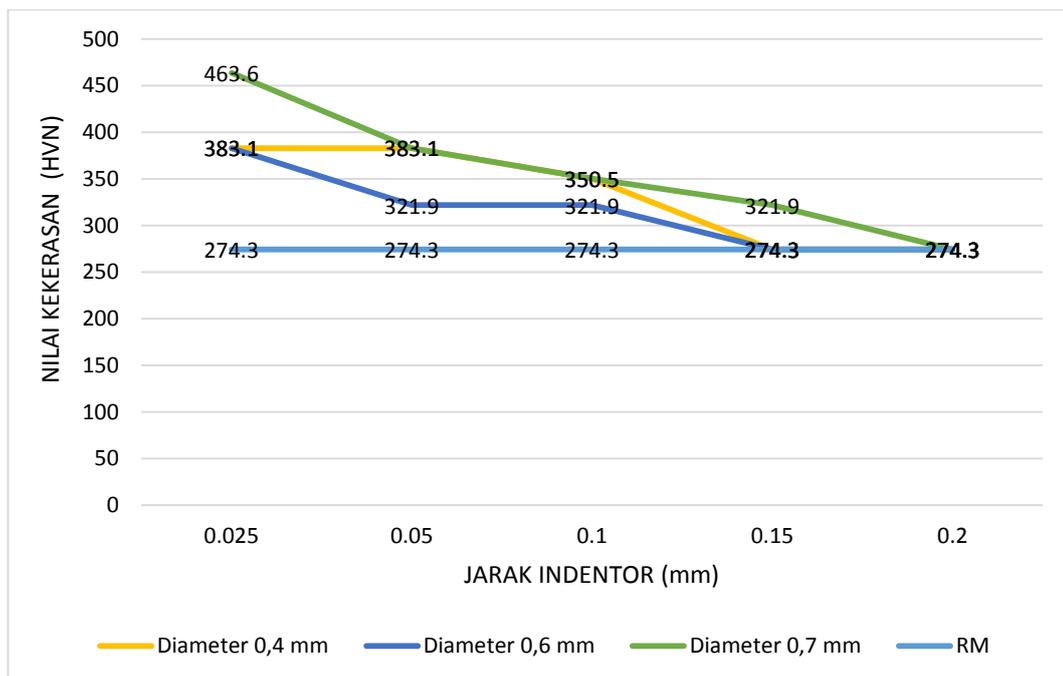
Gambar 4.12 Hasil foto struktur mikro dari penampang potongan DCP *shot peening*. a) *Raw Material*; b) variasi diameter *steel ball* 0,4 mm; c) variasi diameter *steel ball* 0,6 mm dan d) variasi diameter *steel ball* 0,7 mm.

#### 4.2.7. Hasil dan Pembahasan Kekerasan mikro

Perlakuan *shot peening* pada permukaan plat DCP SS 316L mempengaruhi nilai kekerasannya. Nilai kekerasan yang dihasilkan berpengaruh terhadap kekuatan plat tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers* dengan pembebanan selama pengujian 25 gf dan jumlah titik yang diamati berjumlah 5 titik dengan jarak dari permukaan 0,025 mm, 0,05 mm, 0,1 mm, 0,15 mm dan 0,2 mm.

Gambar 4.14 memperlihatkan grafik perbandingan antara nilai kekerasan rata-rata *Hardness of Vickers* terhadap variabel diameter *steel ball* penembakan *shot peening*. Perbedaan yang cukup signifikan dari hasil nilai rata-rata kekerasan pada permukaan plat DCP tanpa perlakuan *shot peening* dan setelah mendapat perlakuan tersebut. Pada gambar 4.13 menunjukkan grafik nilai distribusi kekerasan pada setiap

variasi. Jika dibandingkan dengan *raw material* terlihat adanya peningkatan kekerasan untuk plat yang mendapat perlakuan *shot peening*. Ini membuktikan bahwa perlakuan *shot peening* pada permukaan mampu menaikkan nilai kekerasannya. Terlihat juga semakin jauh jarak indentasi menjadikan nilai kekerasan menurun hingga menghasilkan nilai kekerasan yang sama dengan *raw material*. Nilai kekerasan yang diperoleh dipengaruhi oleh struktur mikro bagian plat yang dilakukan pengujian. Ahmed dkk (2014) dan Bagherifad dkk (2015) dalam Sukarno (2017) menjelaskan bahwa penurunan nilai kekerasan merupakan pengaruh dari perlakuan *shot peening*, dimana penembakan hanya dilakukan pada bagian permukaan, sehingga membuat nilai kekerasan yang dekat dengan permukaan menjadi tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan yang menjauhi permukaan.



Gambar 4.13 Distribusi nilai kekerasan plat dengan variasi perlakuan *shot peening* dan *raw material*

Gambar 4.13 menunjukkan distribusi nilai kekerasan pada variasi *steel ball* penembakan *shot peening*. Memperlihatkan adanya kenaikan nilai kekerasan yang tinggi pada jarak 0,025 mm yang merupakan jarak terdekat dengan permukaan. Tekanan yang diterima pada permukaan plat lebih besar dan semakin mengecil

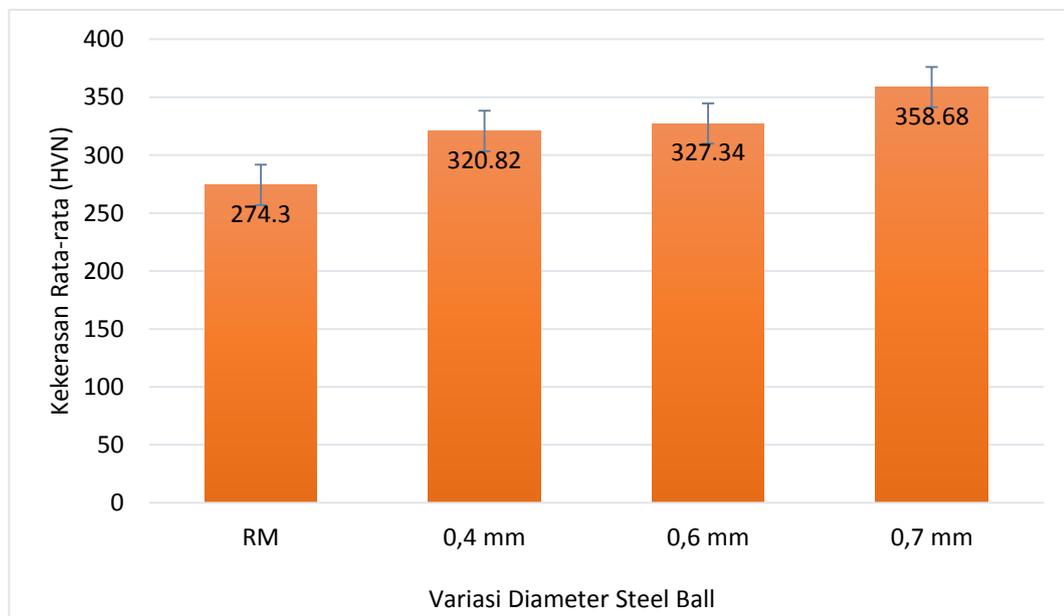
hingga kedalam. Berdasarkan hal tersebut menjadikan nilai kekerasan semakin menurun seiring kedalamannya dan menyamai nilai kekerasan material aslinya. Bagherifard dkk (2016) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa perlakuan *shot peening* terhadap suatu material mampu meningkatkan nilai kekerasannya di daerah dekat dengan permukaan yang mendapat perlakuan. Dengan kata lain, perlakuan *shot peening* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pada permukaan dan sub permukaan suatu material. Hal tersebut dikarenakan pengaruh dari tegangan akibat tumbukan *steel ball* dan permukaan plat dengan kecepatan tinggi. Meningkatnya nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh *deformasi plastic* yang disebabkan oleh penembakan *steel ball*. *Steel ball* yang ditembakkan akan terjadi tumbukan dengan permukaan plat sehingga mendorong butiran-butiran yang ada di permukaan semakin rapat dan padat.

Wibowo dkk (2016) dalam penelitian juga menjelaskan bahwa kenaikan nilai kekerasan pada suatu material juga disebabkan oleh tingginya densitas dislokasi yang berada di struktur mikro pada daerah sub permukaan akibat *shot peening*. Densitas dislokasi yang terjadi akibat dari tumbukan *steel ball* dengan permukaan material. *Steel ball* tersebut menyebabkan dislokasi plastis pada permukaan hingga mempengaruhi sub permukaan. Semakin besarnya dislokasi plastis yang diberikan oleh perlakuan *shot peening* akan mengakibatkan bertambahnya dislokasi pada permukaan. Interaksi antar dislokasi yang tinggi berakibat kerapatan dislokasi pada batas butir. Oleh karena itu, butiran akan semakin pipih dan halus serta saling menghambat pergerakan antar dislokasinya. Dimana hal ini akan berdampak efek pengerasan regangan (*strain hardening*).

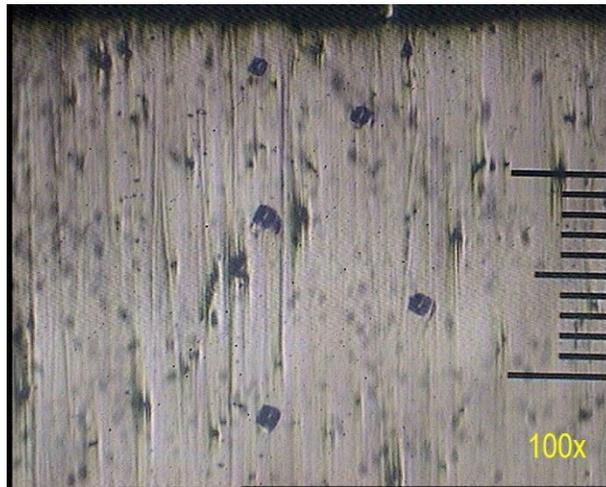
Menurut Biehler dkk (2015) dalam Sukarno (2017), menjelaskan bahwa cakupan penembakan mempengaruhi terhadap tegangan sisa yang terjadi pada material dapat berhubungan dengan beban siklus yang terjadi selama proses perlakuan permukaan berlangsung. Cakupan luasan yang dimaksud merupakan satu parameter yaitu jumlah tembakan dan intensitas tembakan yang distibusikan ke permukaan material selama proses perlakuan berlangsung. Dalam penelitiannya, Ahmed dkk (2014) juga menyatakan bahwa nilai kekerasan pada suatu material dipengaruhi oleh perlakuan permukaan yang diterima, dimana mengacu pada

dislokasi massa jenis yang terjadi di dalam subpermukaan dan terjadi perubahan pada struktur mikro yang berupa pepadatan butiran di subpermukaannya.

Gambar 4.14 memperlihatkan perbandingan nilai kekerasan rata-rata dari setiap variasi penembakan. Terlihat nilai kekerasan rata-rata meningkat seiring bertambahnya ukuran *steel ball*. Pada kondisi awal plat tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan rata-rata 274,3 HVN, lalu meningkat pada variasi penembakan *steel ball* 0,4 mm hingga 320,82 HVN. Keadaan serupa juga terjadi pada variasi 0,6 mm yang meningkat hingga 327,34 HVN. Pada variasi penembakan *steel ball* 0,7 mm meningkat mencapai 358,68 HVN. Hasil penelitian nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh penulis memiliki persamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya. Sukarno (2017) melakukan penelitian *shot peening* pada plat berbentuk persegi dengan ukuran 20 mm x 20 mm berbahan SS 316L dengan variasi diameter yang sama yaitu 0,4 mm, 0,6 mm dan 0,7 mm. Hasil penelitiannya menunjukkan adanya peningkatan nilai rata-rata kekerasan seiring bertambahnya ukuran diameter *steel ball*. Perbedaan hasil nilai rata-rata kekerasan disebabkan oleh beberapa hal seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4.14 Grafik perbandingan rata-rata nilai kekerasan spesimen DCP SS 316L *shot peening* dengan *raw material*.



Gambar 4.15 Bekas injakan indenter kekerasan *Vickers* pada plat DCP SS 316L *shot peening*

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa perlakuan *shot peening* mempengaruhi kekerasan suatu material hingga kedalaman tertentu. Hal tersebut dikarenakan tegangan akibat tumbukan *steel ball* dengan permukaan, sehingga menjadikan permukaan terjadi pengerasan, perbaikan butiran dan regangan yang disebabkan oleh perubahan struktur martensit pada permukaan plat akibat perlakuan *shot peening*. Menurut Sukarno (2-017), bertambahnya ukuran *steel ball* juga mempengaruhi nilai kekerasan plat karena semakin besar energi kinetik yang diterima oleh permukaan plat akan menjadikan peningkatan nilai distribusi kekerasan plat tersebut. Penyebab lain adalah semakin besar ukuran *steel ball* akan menghasilkan deformasi platis yang besar pula sehingga mengakibatkan pengerasan yang lebih dalam.