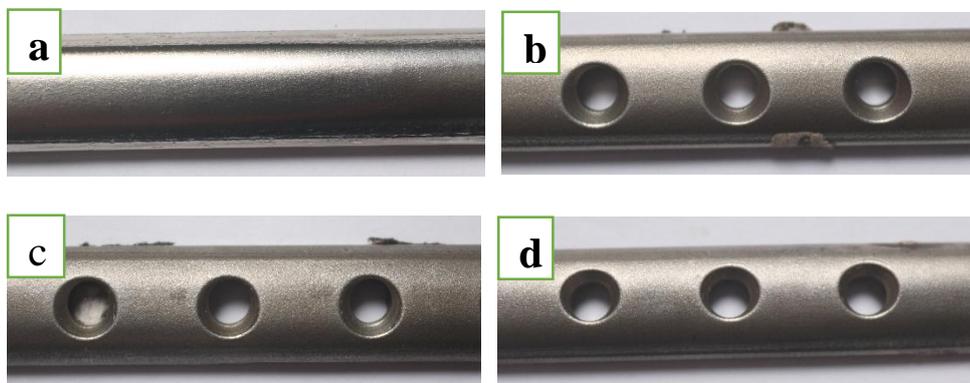


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil dan Pembahasan Permukaan Spesimen *Shot Peening*

Pengaruh perlakuan *shot peening* setelah *drilling* pada material *stainless steel* 316L terlihat jelas pada gambar 4.1. (a) *Raw Material* (kondisi awal) sebelum dilakukan proses perlakuan *shot peening* permukaan terlihat lebih halus, bening, rata dan hanya terdapat sedikit goresan akibat pengamplasan. Pada Gambar 4.1 (b) merupakan sampel setelah *shot peening* dengan variasi waktu 8 menit terlihat cekungan-cekungan halus dan kasar hal ini diakibatkan bekas tumbukan yang terjadi antara *steel ball* dengan spesimen. Hal yang sama juga terjadi pada Gambar 4.1 (c) dan 4.1 (d). Hanya saja pada kedua spesimen tersebut bekas cekungannya semakin terlihat dan warna semakin gelap, hal ini diakibatkan karena pengaruh variasi waktu pada proses *shot peening* berlangsung.



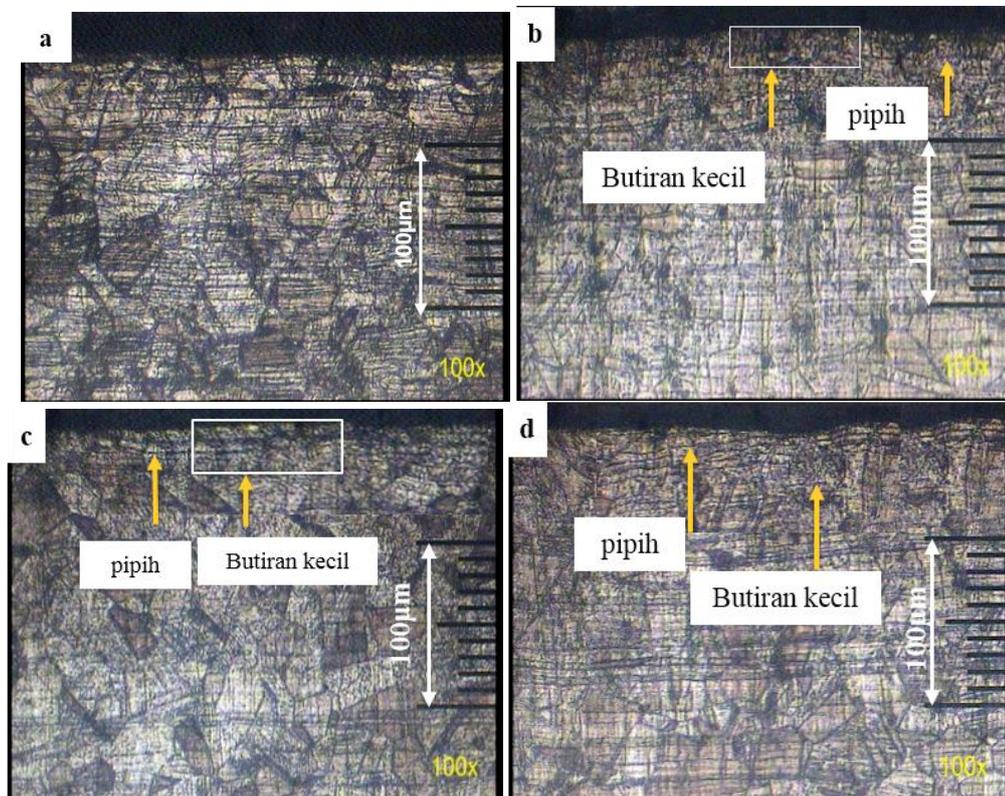
Gambar 4.1 foto spesimen sebelum dan sesudah *shot peening* (a) *Raw Material*, *shot peening* (b) 8 menit (c) 10 menit (d) 12 menit

4.2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Sampel

4.2.1. Hasil dan Pembahasan Uji Struktur Mikro

Pada pengamatan pengujian struktur mikro menunjukkan adanya pengecilan ukuran butiran akibat proses *shot peening*. Pada Gambar 4.2 a),b),c),d) berikut ini menunjukkan perbedaan spesimen *raw material* dengan spesimen yang sudah diberi perlakuan *shot peening*. Perlakuan *shot peening* dilakukan dengan variasi waktu 8 menit, 10 menit, dan 12 menit dengan tekanan penyemprotan 6 bar secara

konstan. Terlihat cukup jelas perbedaan antara struktur mikro permukaan SS-316L sebelum dan setelah perlakuan *shot peening*.



Gambar 4.2 Hasil foto struktur mikro dengan pembesaran 100 kali (a) *raw material*, (b) 8 menit, (c) 10 menit, (d) 12 menit waktu penyemprotan

Pada Gambar 4.2.(a) merupakan sampel sebelum diberi perlakuan *shot peening* (*raw material*) terlihat struktur mikro ukuran butiran sekitar permukaan hampir sama, dimana ukuran butiran belum mengalami pengecilan. Sampel dengan durasi waktu 8 menit perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.b) menunjukkan gambar struktur hasil proses *shot peening* terlihat ukuran butir relatif kecil disepanjang daerah yang terkena proses *shot peening*. Sampel dengan durasi waktu 10 menit perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.c) terlihat butiran struktur semakin halus. Penghalusan butiran semakin membesar menjauh dari permukaan spesimen. Perubahan ukuran butiran mulai terlihat pada gambar 4.6.b sampai 4.6.d yang mengalami pepadatan dibagian tepi permukaan seiring dengan lamanya waktu proses *shot peening*.

Pengamatan pada struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 100x pada skala bar 100 μm . Sebelum dilakukan pengamatan spesimen dibersihkan menggunakan cairan etsa HCL + HNO₃ dengan kadar 1:3. Tujuan dari pengetsaan adalah untuk menghilangkan goresan pada permukaan dan agar terlihat mengkilap seperti kaca. Pengamatan dilakukan pada penampang melintang permukaan spesimen *shot peening* dengan variasi waktu 8 menit, 10 menit dan 12 menit pada tekanan konstan 6 bar dan diameter *steel ball* 0,6 mm.

Hasil pengamatan struktur mikro terlihat pada perbedaan bagian tepi dan permukaan spesimen. Gambar 4.2.a) permukaan terlihat adanya bekas goresan akibat pengamplasan. Pada Gambar 4.2.b), c), dan d) mulai terlihat adanya perubahan pada bagian tepi dan sub permukaan. Pada bagian tepi terlihat semakin halus (bagian tepi mengalami pepadatan seiring dengan lamanya waktu proses *shot peening*).

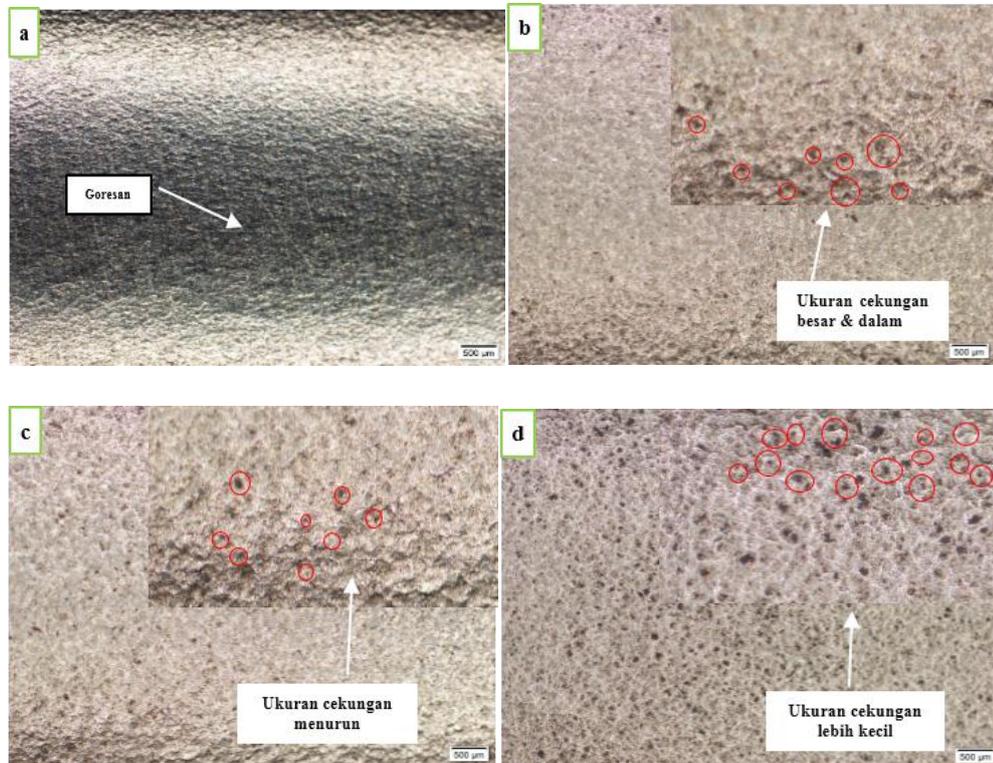
Tumbukan *steel ball* dengan kecepatan tinggi ini juga mengakibatkan terpecahnya butiran struktur mikro permukaan dan sub permukaan spesimen menjadi ukuran yang lebih kecil. Pergerakan *steel ball* dengan kecepatan tinggi dapat menimbulkan penekanan pada struktur yang pecah akibatnya struktur menjadi semakin rapat dan dapat meningkatkan kekerasan bahan (Arifvianto, 2012).

Menurut Yaqin dkk (2017) dalam penelitiannya juga membenarkan bahwa perlakuan *shot peening* dapat menyebabkan deformasi plastis dari tumbukan bola baja. Perbedaan antara ukuran butiran struktur mikro pada daerah permukaan dan sub permukaan. Semakin lama durasi waktu *shot peening* maka kedalaman penghalusan batas butir akan semakin dalam.

Pada Gambar 4.3 ada beberapa bagian yang menunjukkan adanya butiran halus dan butiran kasar pada sub permukaan spesimen. Butiran-butiran tersebut terlihat semakin jelas dengan variasi perlakuan durasi pada waktu 12 menit. Butiran-butiran yang terjadi pada sub permukaan material akibat adanya proses deformasi butir dan menunjukkan titik terdalam dari material tersebut mengalami deformasi plastis menurut (Chen dkk, 2013 dalam Sukarno, 2017).

4.2.2. Hasil dan Pembahasan Uji Struktur Makro

1. Struktur Makro pada Permukaan

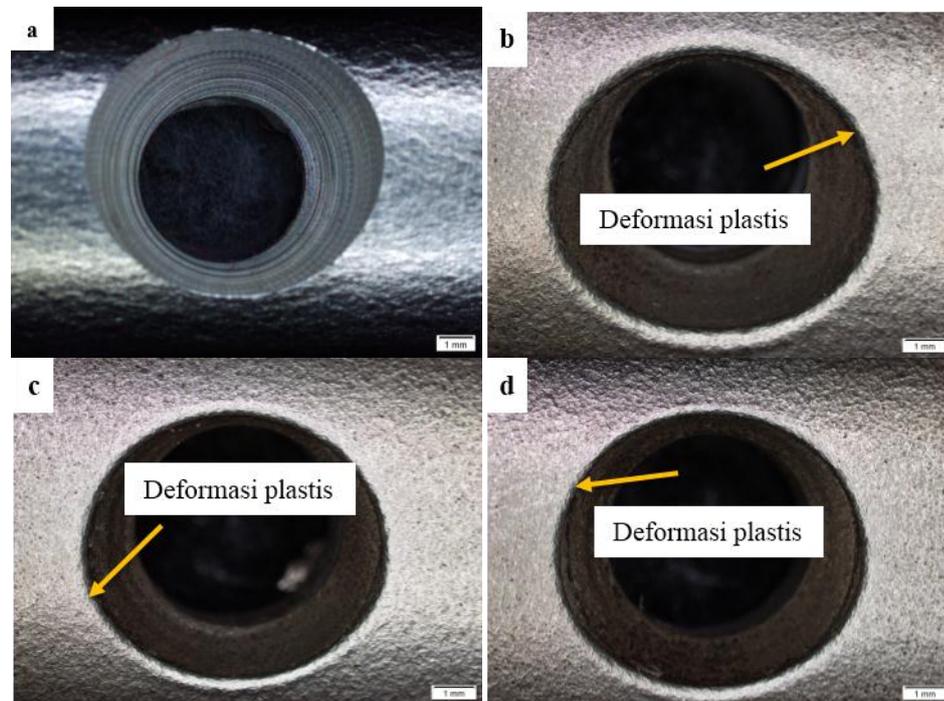


Gambar 4.3 Hasil foto struktur makro pada permukaan spesimen DCP. (a) *Raw Material*, *Shot Peening* (b) 8 menit, (c) 10 menit, (d) 12 menit

Pada pengujian struktur makro penampang permukaan spesimen terlihat jelas perbedaan antara spesimen *raw material* dengan spesimen yang telah diberikan perlakuan *shot peening*. Pada (gambar 4.3.a) merupakan struktur spesimen raw material terlihat permukaan halus dan mengkilap. Pada gambar 4.3.b merupakan sampel struktur makro yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu 8 menit terlihat lebih kasar terdapat berkas hitam yang berasal dari kotoran kompresor. Pada Gambar 4.3.c merupakan sampel struktur makro yang telah diberi perlakuan *shot peening* durasi waktu 10 menit permukaan terlihat kasar dan terdapat bercak hitam yang berasal dari kotoran kompresor. Pada gambar 4.3.d merupakan sampel struktur makro yang telah diberi perlakuan *shot peening* durasi waktu 12 menit terlihat bahwa permukaan semakin kasar dan semakin banyak bercak hitam dibanding dari durasi waktu 8 menit dan 10 menit, ini dikarenakan

semakin lama waktu proses *shot peening* maka kotoran yang berasal dari kompresor semakin banyak yang menumpuk pada permukaan sampel.

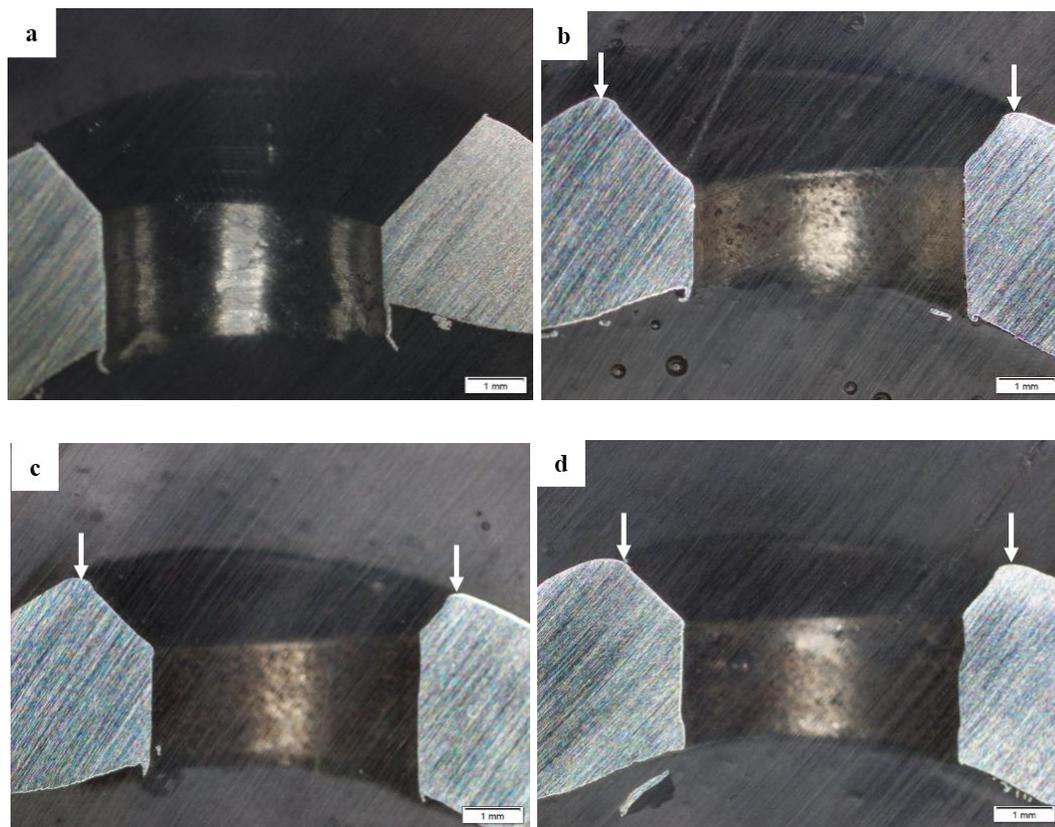
2. Struktur Makro pada Lubang



Gambar 4.4 Struktur makro pada lubang spesimen (a) *Raw Material*, (b) *Shot Peening* durasi 8 menit, (c) *Shot Peening* durasi 10 menit, (d) *Shot Peening* durasi 12 menit

Pengujian struktur makro pada lubang spesimen menunjukkan bahwa setelah diberi perlakuan *shot peening* permukaan lubang menjadi lebih halus. Pada gambar 4.4 merupakan hasil pengujian struktur makro pada lubang spesimen. Gambar 4.4.a adalah lubang spesimen *raw material* yang tidak diberi perlakuan *shot peening*, pada permukaan lubang terlihat lebih kasar dan tidak mengalami deformasi plastis. Pada gambar 4.4.b), c), d) merupakan spesimen lubang yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu 8 menit, 10 menit, dan 12 menit, terlihat jelas adanya perubahan yang signifikan yaitu pada lubang permukaan lebih halus dan merata, ini diakibatkan karena adanya deformasi plastis dari perlakuan *shot peening*.

3. Struktur Makro pada Penampang Melintang Lubang (Bor)



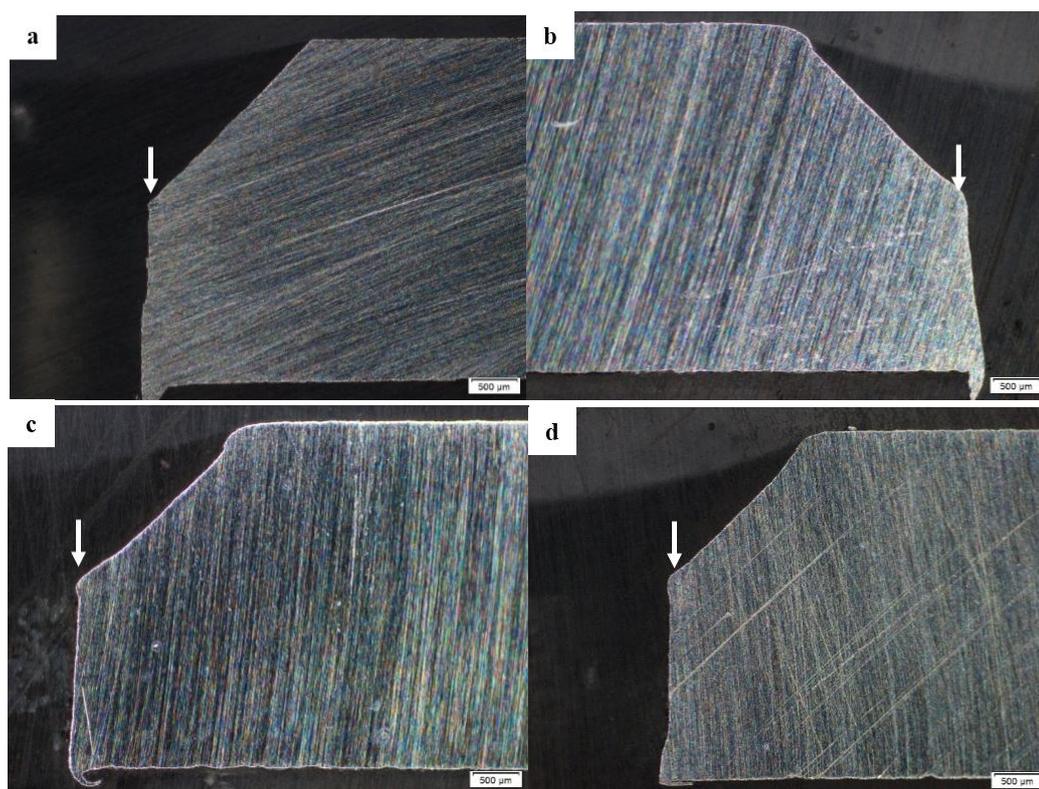
Gambar 4.5 Struktur makro pada penampang melintang spesimen (a) *Raw Material*, *Shot Peening* (b) 8 menit, (c) 10 menit, (d) 12 menit

Pengamatan struktur makro pada penampang melintang ini terlihat perbedaan antara spesimen raw material dengan spesimen yang diberi perlakuan *shot peening*. Terlihat perubahan kontur sisi permukaan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* pada spesimen seperti pada gambar 4.5 a), b), c), dan d).

Selama perlakuan *shot peening* berlangsung pada sisi-sisi ujung terjadi deformasi akibat interaksi antara spesimen dan *steel ball*. Pada Gambar 4.5.a merupakan spesimen sebelum diberi perlakuan *shot peening* (*raw material*). Pada Gambar 4.5 b), c), d) merupakan spesimen yang sudah diberi perlakuan *shot peening*. Pada variasi waktu 8, 10, dan 12 menit. Pada gambar 4.5 terjadi ketidaksimetrisan pada lubang hasil proses *drilling* dan berakibat adanya perbedaan lubang *elips* pada sisi kiri maupun kanan. Hal ini diakibatkan karena proses penekukan (*bending*) plat, sehingga pada saat proses *drilling* plat tidak presisi dalam pemasangannya yang mengakibatkan lubang *drilling* tidak sesuai dengan

desain. Pada gambar 4.5.b dan 4.5.c yaitu pada variasi waktu 8 dan 10 menit bentuk ujung lubang terlihat lebih tumpul yang diakibatkan oleh tumbukan antara *steel ball* dengan permukaan. Pada gambar 4.5.d dengan variasi waktu 12 menit terlihat perubahan ujung dan permukaan lubang spesimen semakin signifikan yaitu semakin tumpul daripada saat variasi waktu 8 dan 10 menit.

4. Struktur Makro pada Lubang Memanjang



Gambar 4.6 Struktur makro pada lubang memanjang spesimen (a) *Raw Material*, *Shot Peening* (b) 8 menit, (c) 10 menit, (d) 12 menit

Hasil pengujian struktur makro pada lubang melintang terlihat perbedaan yang signifikan antara spesimen sebelum diberi perlakuan *shot peening* dengan spesimen yang sudah diberi perlakuan *shot peening*. Pada gambar 4.6 a), b), c) dan d) merupakan gambar hasil pengujian struktur makro pada lubang memanjang. Pada gambar 4.6.a merupakan spesimen yang belum diberi perlakuan *shot peening* terlihat sisi permukaan lubang lebih tajam. Sedangkan pada gambar 4.6 b), c) dan d) merupakan spesimen yang sudah diberi perlakuan *shot peening* semakin lamanya

waktu proses *shot peening* sisi permukaan lubang semakin tumpul. Hal ini dikarenakan sisi permukaan lubang mengalami deformasi plastis.

Pengamatan struktur makro dilakukan menggunakan alat uji *Optical Macroscopic* dengan pembesaran 20 kali pada skala 500 μm pada permukaan spesimen, perbesaran 12x pada skala bar 1 mm untuk permukaan lubang bor, perbesaran 15x pada skala bar 1 mm untuk penampang melintang pada lubang (bor), perbesaran 25x pada skala bar 500 μm untuk penampang memanjang pada lubang (bor) spesimen. Berdasarkan hasil uji struktur makro yang diperoleh terdapat perbedaan antara spesimen tanpa perlakuan (*raw material*) dengan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu penembakan *steel ball* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada spesimen yang belum diberi perlakuan *shot peening (raw material)* struktur makro pada spesimen terlihat halus dan rata hanya terdapat goresan-goresan halus akibat proses pengamplasan. Kemudian setelah diberi perlakuan *shot peening* struktur makro pada spesimen mengalami perubahan seperti adanya cekungan-cekungan (kawah) yang diakibatkan oleh tumbukan bola-bola baja (*steel ball*) dan terdapat bercak hitam yang diakibatkan oleh kotoran dari kompresor saat proses *shot peening* berlangsung.

Hasil struktur makro pada lubang (bor) spesimen pada Gambar 4.4 terlihat perbedaan antara spesimen sebelum diberi perlakuan *shot peening (raw material)* dengan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu 8 menit, 10 menit, dan 12 menit. Sampel *raw material* terlihat permukaan lubang masih tajam dan kasar akibat proses pengeboran dan belum mengalami deformasi plastis. Pada spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu penembakan *steel ball* 8, 10, 12 menit terlihat permukaan lubang lebih tumpul dibanding dengan *raw material*. Hal ini terjadi akibat adanya tumbukan *steel ball* secara terus menerus sehingga permukaan lubang mengalami deformasi plastis.

Hasil struktur makro pada penampang melintang lubang (Gambar 4.5) dan lubang memanjang (Gambar 4.6) juga terdapat perbedaan yang signifikan antara spesimen yang belum diberi perlakuan *shot peening (raw material)* dengan

spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening*. Pada spesimen *raw material* penampang melintang lubang dan penampang memanjang lubang sisi ujung masih terlihat tajam. Sedangkan pada spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu penembakan *steel ball* 8, 10, dan 12 menit sisi permukaan terlihat lebih rata, dan tumpul. Mengalami Hal ini diakibatkan oleh tumbukan-tumbukan *steel ball* yang mengakibatkan sisi-sisi permukaan lubang mengalami deformasi plastis.

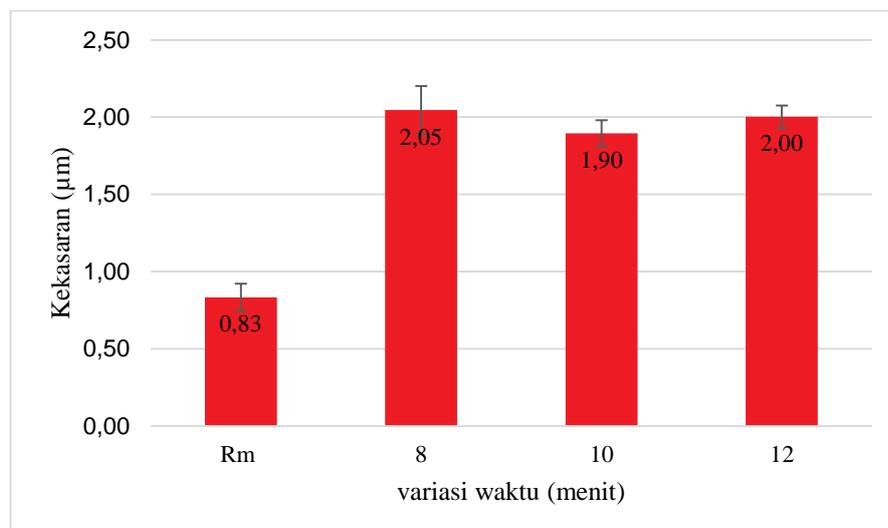
4.2.3. Hasil dan Pembahasan Uji Kekasaran

Hasil pengujian kekasaran permukaan plat DCP SS-316L ditunjukkan dengan nilai kekasaran rata-rata tiap sampel, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.1. Gambar tersebut menunjukkan perbandingan antara nilai kekasaran rata-rata Ra (μm) dengan dengan variasi waktu penembakan *shot peening* 8 menit, 10 menit, 12 menit dengan diameter *steel ball* 0,6 mm dan jarak 100 mm. Pada gambar tersebut terlihat bahwa perlakuan *shot peening* dapat meningkatkan nilai kekasaran permukaan plat sampel. Terlihat perbedaan yang signifikan antara nilai kekasaran permukaan pada sampel plat DCP SS-316L sebelum perlakuan *shot peening* (*raw material*) dan sesudah perlakuan *shot peening*.

Pada plat sampel *raw material* memiliki nilai kekasaran permukaan rata-rata sebesar 0,83 μm , kemudian meningkat dengan signifikan hingga 2,05 μm pada waktu 8 menit. Pada waktu 10 menit dan 12 menit penembakan terlihat nilai kekasaran permukaan yang fluktuatif yaitu dimana pada waktu penembakan 10 menit nilai kekasaran menurun menjadi 1,90 μm dan nilai kekasaran meningkat lagi waktu 12 menit menjadi 2,00 μm .

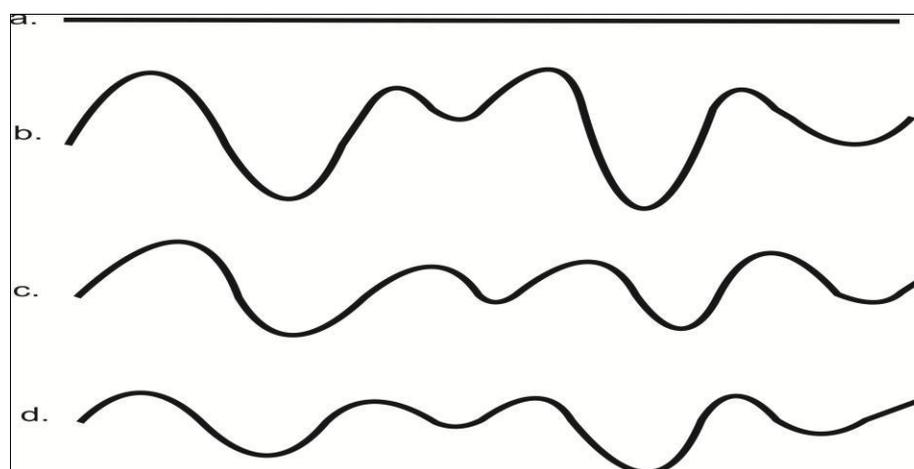
Tabel 4.1 Nilai Kekasaran Spesimen Shot Peening

Kode	variasi	Kekasaran (μm)			Rata-rata (μm)	simpangan (μm)
		test 1	test 2	test 3		
Rm	0	0,869	0,898	0,733	0,83	0,09
8	8	1,904	2,02	2,213	2,05	0,16
10	10	1,876	1,988	1,821	1,90	0,09
12	12	2,065	1,922	2,022	2,00	0,07



Gambar 4.7 Nilai kekasaran rata-rata (Ra) permukaan spesimen dengan variasi waktu penembakan *shot peening*.

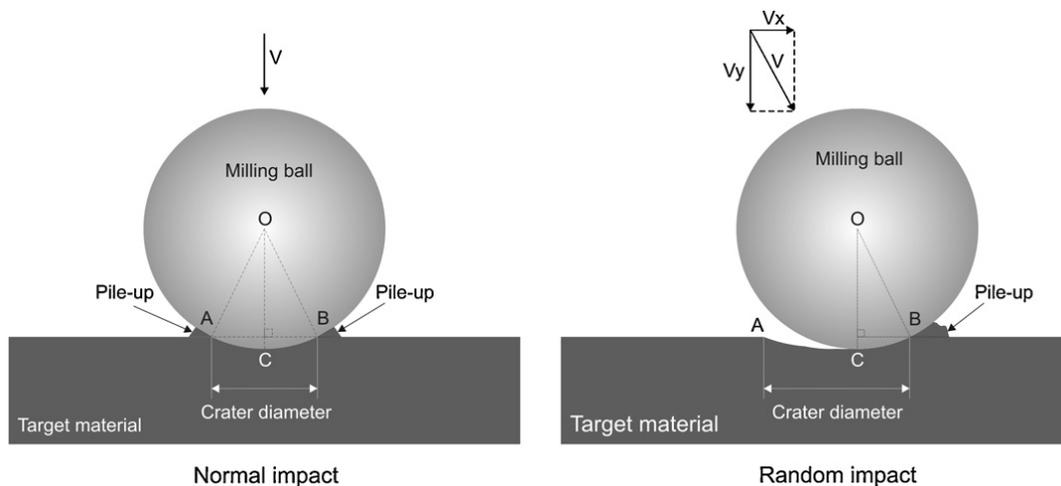
Pada tabel 4.1, terlihat bahwa terjadi hasil yang fluktuatif pada nilai kekasaran permukaan sampel plat DCP SS-316L. Terjadinya penurunan kekasaran setelah mengalami titik puncak kekasaran inilah yang menjadi salah satu yang diteliti oleh penulis, dan fenomena ini ditunjukkan pada gambar 4..



Gambar 4.8 ilustrasi kekasaran plat sampel hasil *shot peening* (a) *Raw Material*, *Shot Peening* (b) 4 bar, (c) 5 bar, (d) 6 bar (Anugerah, 2013 dalam Saputra, 2016).

Menurut Saputra (2016) secara umum fenomena permukaan ini terjadi dalam 3 tahap. Tahap I ditandai dengan peningkatan nilai kekasaran yang signifikan, yaitu pembentukan cekungan (kawah) baru dan tumpukan-tumpukan material pada bibir kawah (*pile-up*) seperti pada gambar 4.9. Fenomena ini seperti yang terjadi pada

shot peening durasi waktu penembakan *steel ball* 8 menit. Munculnya kawah baru dan tumpukan material (*pile-up*) meningkatkan ketinggian puncak sehingga mengakibatkan permukaan tidak beraturan dan kekasaran permukaan meningkat.



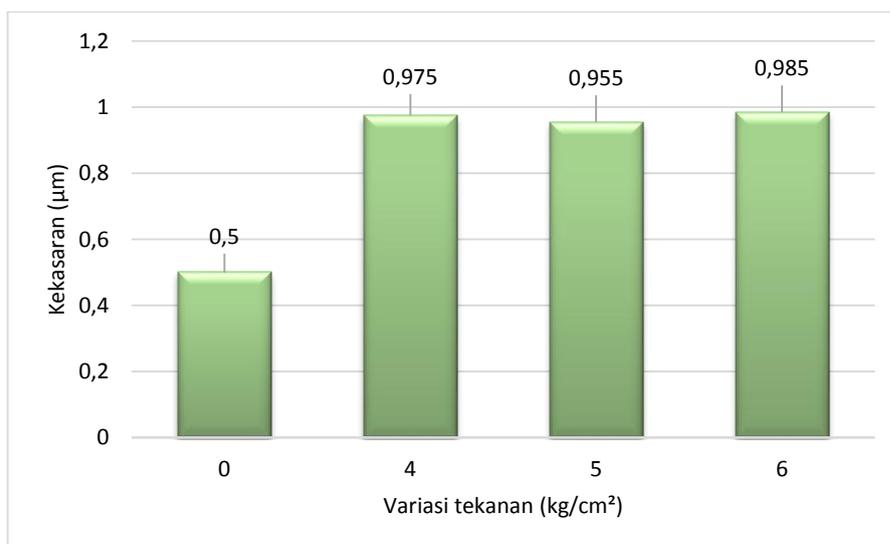
Gambar 4.9 pengaruh penumbukan *steel ball* (Arifvianto, 2011)

Pada tahap 2 terjadi ketiga seluruh permukaan sudah ditutup oleh cekungan (kawah) dan permukaan puncak kawah tertumbuk kembali oleh material abrasif (*steel ball*). Fenomena ini terjadi pada durasi waktu 10 menit. Nilai kekasaran mengalami sedikit penurunan dibandingkan dengan nilai kekasaran pada durasi waktu 8 menit. Penurunan besarnya nilai kekasaran disebabkan oleh tumbukan berulang dan pepadatan butiran pada permukaan. Selain itu, kekuatan tumbukan dengan durasi waktu yang lebih lama ini mampu meratakan kembali bukit-bukit permukaan material yang terbentuk akibat besarnya daya hancur. Sesudah daya tahan material mencapai titik fatiknya, maka struktur puncak dan lembah terus menerus tertumbuk. Akibatnya, besarnya perbedaan antara lembah dan puncak semakin kecil dan mengakibatkan terjadinya pengecilan dan penghalusan butiran di sekitar permukaan akibat perlakuan *shot peening*. Pepadatan dan hancurnya bukit-bukit terlihat jelas pada data kekasaran permukaan yang mengalami penurunan.

Pada tahap 3 terjadi titik jenuh (saturasi) kekasaran. Nilai kekasaran kembali meningkat seperti yang terjadi pada durasi waktu penyemprotan *steel ball* 12 menit. Nilai kekasaran kembali meningkat karena lamanya waktu penembakan mampu menghasilkan deformasi yang lebih dalam pada permukaan sampel sehingga dapat

terjadi kembali bukit-bukit baru pada permukaan sampel. Fenomena ini terlihat dari meningkatnya nilai kekasaran permukaan dan mulai timbulnya retakan-retakan (*cracks*). Retakan-retakan ini timbul akibat patahan getas yang terjadi karena perubahan sifat mekanik dari permukaan.

Fenomena ini juga terjadi pada peneliti sebelumnya yaitu Arifvianto (2011) dan Saputra (2016). Nilai kekasaran meningkat sangat signifikan pada awal penembakan karena belum merata penumbukkan pada permukaan material. Tetapi, seiring lamanya waktu proses *shot peening* atau *sandblasting* terjadi penurunan kembali nilai kekasarannya setelah mengalami nilai puncak (*peak point*) kekasaran. Kenaikan nilai kekasaran seiring dengan durasi penembakan yang kemudian mengalami penurunan kembali ini disebabkan tumbukan setelahnya meratakan bukit-bukit permukaan sampel.



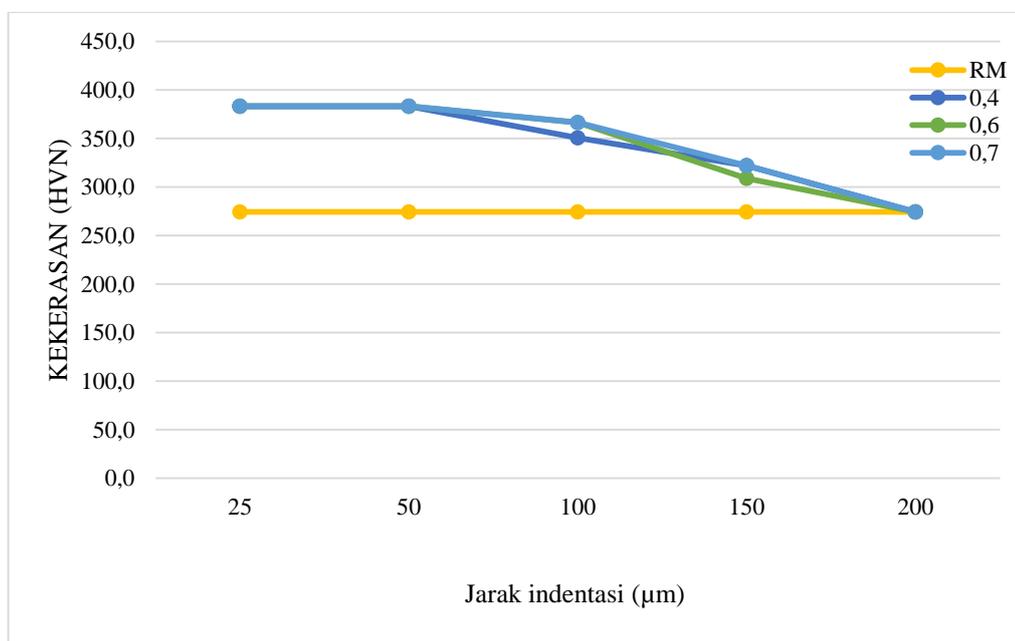
Gambar 4. 10 Nilai kekasaran rata-rata (Ra) permukaan spesimen dengan variasi tekanan penembakan *shot peening*. (Saputra, 2016)

4.2.4 Hasil dan Pembahasan uji Kekerasan Mikro

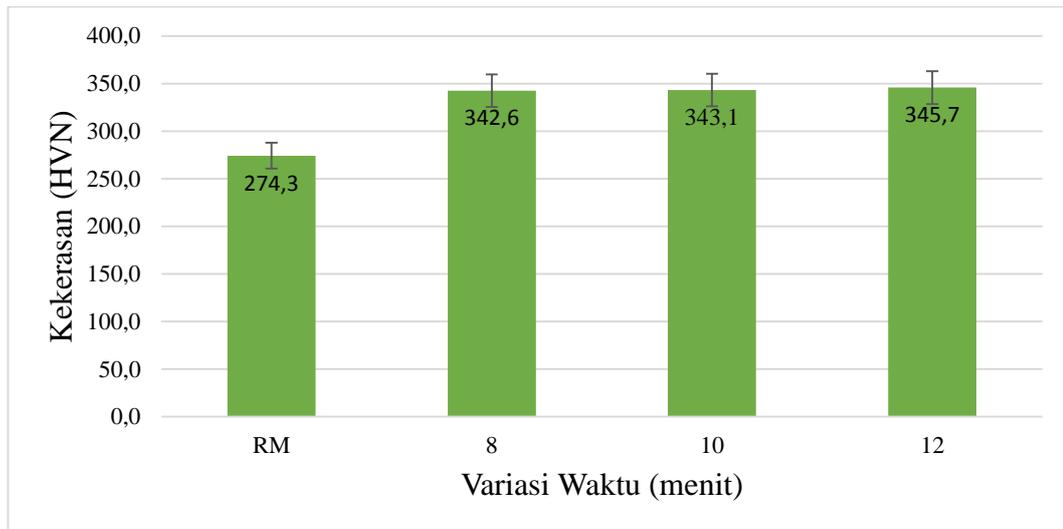
Secara umum nilai kekerasan pada suatu material mengalami peningkatan setelah diberi perlakuan *shot peening*. Nilai kekerasan terbesar terjadi pada permukaan dan akan menurun secara bertahap menjauhi permukaan material. Metode yang digunakan untuk menguji nilai kekerasan pada spesimen SS-316L adalah metode *Micro Vickers*. Pengujian kekerasan ini menggunakan beban 25gf dengan waktu 5 detik.

Pada umumnya proses *shot peening* dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu material. Menurut H.W. Hayden dkk, 1995 (dalam Prihandoko, 2015) metode *Vickers* merupakan metode yang khusus untuk mengukur kekerasan material yang sangat lunak yaitu kisaran 5 HV hingga 1500 HV tanpa perlu mengganti besar gaya tekan yang digunakan antara 1-120 kg. Metode *Vickers* ini juga dapat digunakan untuk material yang memiliki karbon rendah seperti *titanium*, *stainless steel*, dan lainnya.

Pada gambar 4.11 terlihat grafik distribusi nilai kekerasan spesimen *shot peening* mengalami penurunan seiring dengan semakin jauh jarak indentasi dari permukaan material. Jika dilihat pada gambar 4.11 nilai kekerasan tertinggi berada di 3 titik awal injakan, sedangkan pada titik ke 4 dan 5 nilai kekerasan cenderung menurun. Pada gambar 4.12 merupakan grafik perbandingan antara nilai kekerasan rata-rata HV (*Hardness of Vickers*) dengan variasi waktu penembakan *steel ball*. Pada gambar tersebut terlihat jelas perbedaan yang signifikan antara nilai kekerasan permukaan spesimen SS-316L sebelum dan sesudah diberi perlakuan *shot peening*.

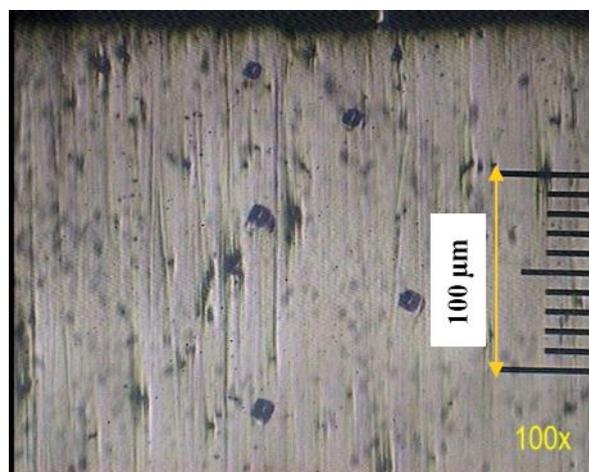


Gambar 4.11 Grafik hubungan antara variasi waktu *shot peening* dengan kekerasan pada kedalaman spesimen



Gambar 4.12 Grafik Rata-rata Nilai Kekerasan Permukaan Spesimen *Shot peening*.

Nilai kekerasan permukaan spesimen berbanding lurus dengan bertambahnya durasi waktu penembakan *steel ball* pada saat proses *shot peening*. Semakin lama durasi penembakan *steel ball* pada permukaan spesimen maka semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan. Pada spesimen SS-316L sebelum diberi perlakuan *shot peening* (*raw material*) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 274,3 HVN, kemudian meningkat secara signifikan pada spesimen yang diberi perlakuan *shot peening* dengan variasi waktu 8 menit sebesar 342,6 HVN. Pada sampel dengan perlakuan *shot peening* dengan variasi waktu 10 menit nilai kekerasan kembali meningkat hingga 343,1 HVN. Nilai kekerasan permukaan tertinggi yaitu pada sampel dengan perlakuan *shot peening* variasi waktu 12 menit sebesar 345,7 HVN.



Gambar 4.13 Bekas injakan kekerasan *Micro Vickers* kedalaman spesimen

4.2.5 Hasil dan Pembahasan Uji *Wettability*

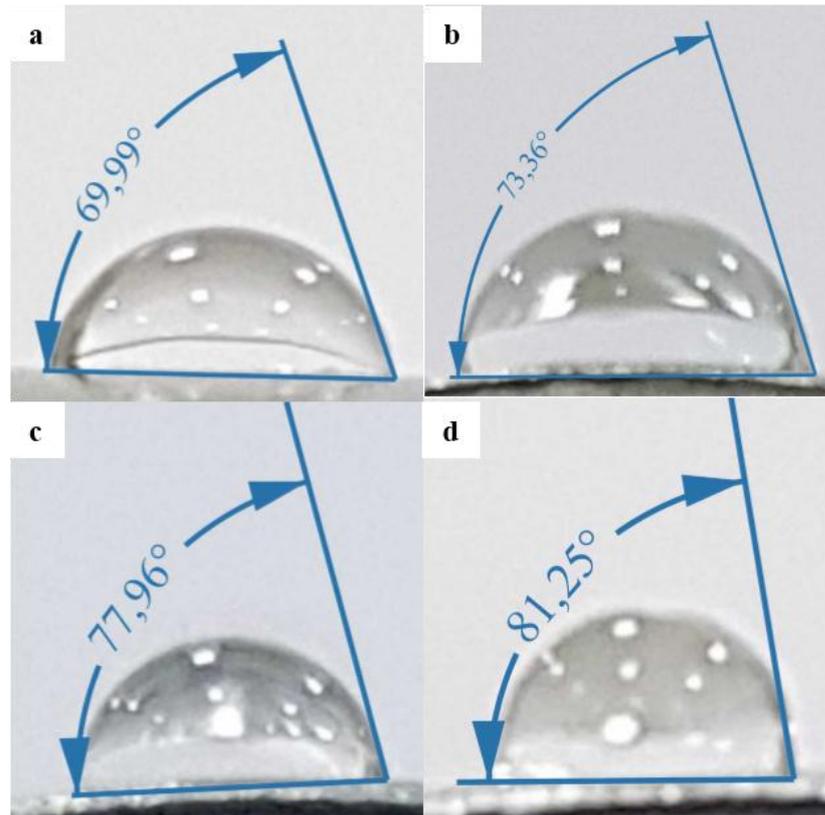
Besarnya nilai sudut kontak yang dimiliki oleh suatu material secara langsung memiliki pengaruh terhadap penyerapan pada permukaan implan yang juga berpengaruh pada penempelan sel dan fungsinya. Hasil pengukuran sudut kontak dari spesimen DCP *Stainless steel* 316L dapat dilihat pada Gambar 4.14, Tabel 4.2, dan Gambar 4.15. Karakter suatu material dikatakan tidak suka air (*hydrophobic*) apabila sudut kontaknya $<90^\circ$, sedangkan material yang dikatakan suka air (*hydrophilic*) yaitu apabila sudut kontaknya $>90^\circ$.

Pada Tabel 4.2 menunjukkan perincian nilai spesimen DCP *wettability* dari tiap spesimen yang dilakukan sebanyak 3 kali untuk nilai rata-rata dari besaran sudut kontak yang diambil. Apabila dilihat pada tabel 4.2 hasil rata-rata *wettability raw material* sebesar $65,63^\circ$, kemudian pada variasi waktu 8 menit dan 10 menit memiliki besaran nilai *wettability* yaitu $72,33^\circ$ dan $75,22^\circ$. Nilai rata-rata *wettability* terbesar yaitu pada variasi waktu penembakan *steel ball* 12 menit yaitu sebesar $79,70^\circ$. Dari data yang dimiliki dapat disimpulkan bahwa semua spesimen DCP SS-316L tersebut memiliki karakter terhadap permukaan yang bersifat *hydrophilic*, hal ini karena besar sudut kontak tiap spesimen semuanya $<90^\circ$.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mendrastama (2017). Proses *shot peening* dengan menggunakan variasi waktu menghasilkan karakteristik material yang bersifat suka air (*hydrophilic*), karena hasil sudut kontak tiap-tiap spesimen masih $<90^\circ$. Selain itu besarnya sudut kontak permukaan dipengaruhi oleh besar kecil nilai kekasarannya.

Manfaat dari uji *wettability* ini terhadap kualitas material biomedik tentunya disesuaikan dengan tujuan pengaplikasiannya terhadap tulang apakah dipasang untuk selamanya atau untuk dilepas kembali dalam jangka waktu tertentu. Jika material tersebut dipasang dalam jangka panjang maka material tersebut disarankan memiliki sifat suka air (*hydrophilic*) karena sifatnya mampu menyerap protein untuk memperbaiki sel-sel tulang yang rusak. Jika material tersebut pemasangannya dalam jangka pendek atau dilepas kembali, maka disarankan menggunakan material yang bersifat tidak suka air (*hydrophobic*) karena material tersebut susah kontak langsung dengan cairan yang ada di dalam tubuh.

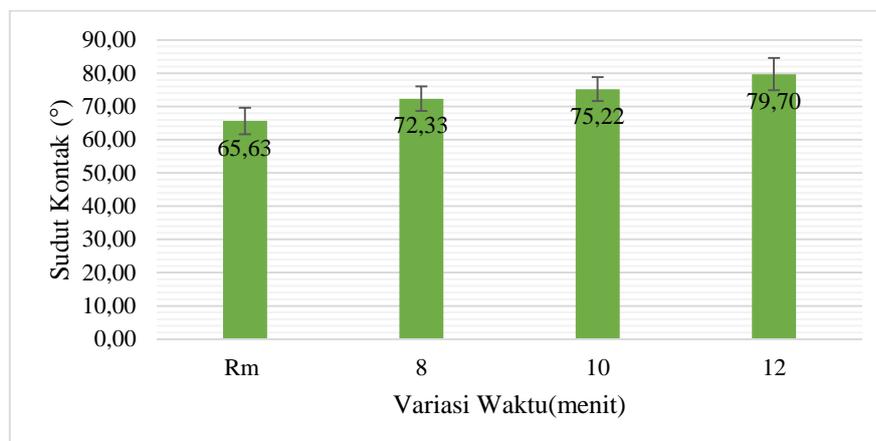
Untuk material jenis SS-316L pada umumnya banyak diaplikasikan untuk dilepas kembali, sehingga yang diharapkan material tersebut cenderung bersifat hidrofobik. Hasil uji wettability pada pengujian ini didapatkan material SS-316L bersifat hidrofilik sehingga hasil dari penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengaplikasiannya pada dunia bedah tulang.



Gambar 4.14 Hasil pengukuran *wettability* dari spesimen *shot peening*, a) spesimen *raw material*, b) 8 menit, c) 10 menit, d) 12 menit.

Tabel 4.2 Nilai *Wettability* Spesimen *Shot Peening*

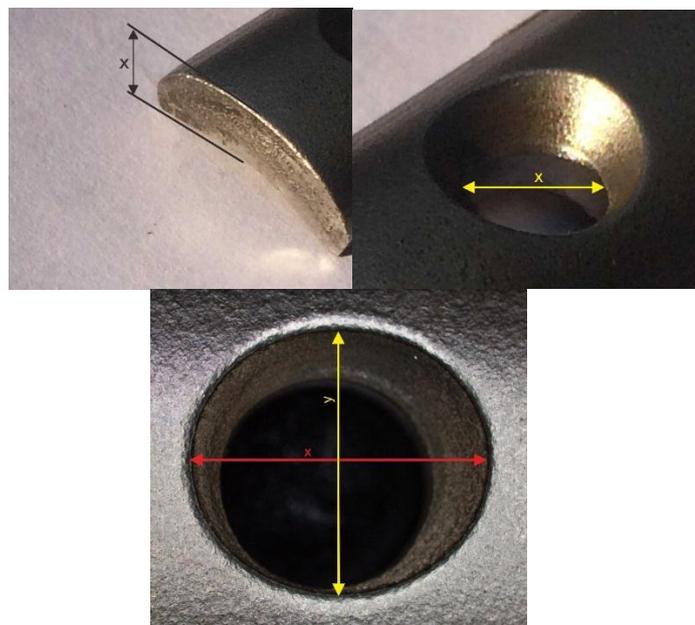
Kode	variasi	wettability						Rata-rata (°)	simpangan (°)
		tetes 1 (°)		test 2 (°)		test 3 (°)			
Rm	0	59,88	67,63	63,12	63,79	69,36	69,99	65,63	3,99
	8	76,73	72,05	74,64	73,36	71,32	65,89	72,33	3,70
	10	68,8	77,14	72,97	77,96	77,13	77,32	75,22	3,62
	12	75,01	74,93	76,63	81,25	85,63	84,77	79,70	4,85



Gambar 4.15 Grafik nilai rata-rata *wettability* dari spesimen *shot peening*, a) spesimen *raw material*, b) 8 menit, c) 10 menit, d) 12 menit.

4.2.6 Hasil dan pembahasan Uji Ketebalan Plat

Selama perlakuan proses *shot peening* berlangsung, terjadi deformasi plastis yang disebabkan oleh tumbukan partikel *steel ball* dengan permukaan. Salah satu deformasi plastis yaitu berkurangnya ketebalan spesimen akibat proses *shot peening*. Pengukuran geometri pada tiap spesimen menggunakan jangka sorong. Pada Gambar 4.16 menunjukkan cara mengukur geometri meliputi ketebalan spesimen, diameter lubang spesimen dan diameter sumbu panjang dan pendek *elips*.



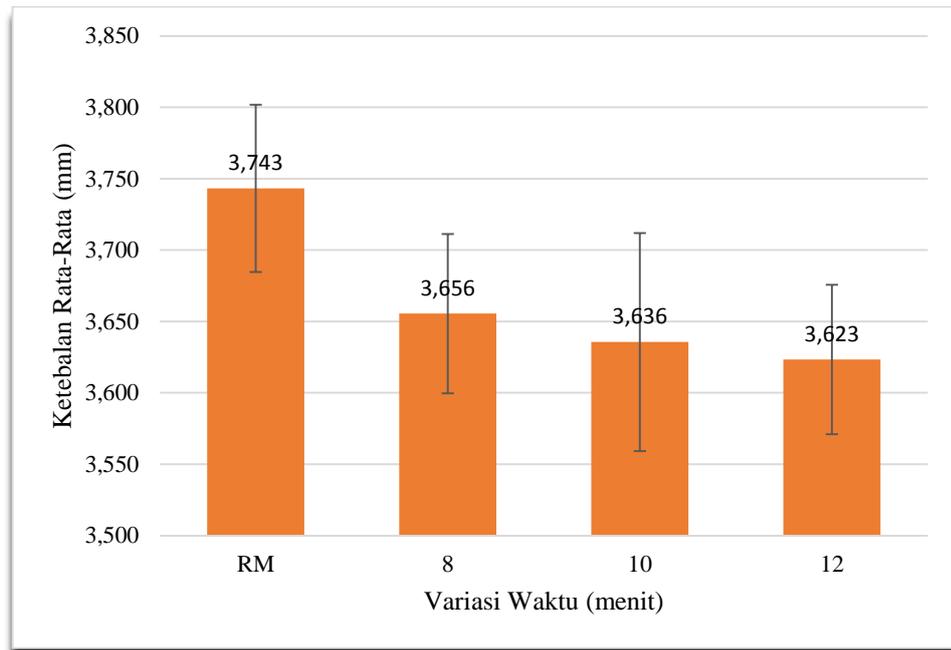
Gambar 4.16 Cara mengukur geometri/dimensi spesimen (a) ketebalan spesimen, (b) diameter lubang spesimen, (c) diameter sumbu panjang dan pendek *elips*.

Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian ketebalan sebelum dan sesudah diberi perlakuan *shot peening*. Spesimen sebelum di *shot peening* memiliki nilai rata-rata ketebalan 3,743 mm. Spesimen dengan variasi waktu 8 menit memiliki nilai rata-rata ketebalan sebesar 3,656 mm, waktu 10 menit memiliki nilai rata-rata ketebalan 3,636 mm, waktu 12 menit memiliki nilai rata-rata ketebalan sebesar 3,623 mm. Ketebalan plat sampel berbanding terbalik dengan lamanya waktu penembakan. Semakin lama durasi penembakan *steel ball* pada spesimen maka ketebalan akan semakin berkurang.

Tabel 4.3 Hasil nilai rata-rata ketebalan plat sampel sebelum dan sesudah *shot peening*

Variasi	Kode	Ketebalan spesimen DCP (mm)			Rata-rata (mm)		SD
		titik 1	titik 2	titik 3			
RM		3,81	3,7	3,72	3,743	3,743	0,0586
8	N 7	3,72	3,7	3,74	3,720	3,656	0,0558
	N 11	3,63	3,61	3,63	3,623		
	N 16	3,65	3,6	3,62	3,623		
10	NM 16	3,79	3,67	3,71	3,723	3,636	0,0765
	NM 20	3,64	3,57	3,54	3,583		
	NM 5	3,63	3,57	3,6	3,600		
12	N 6	3,61	3,53	3,55	3,563	3,623	0,0524
	N 18	3,65	3,62	3,67	3,647		
	N 15	3,69	3,64	3,65	3,660		

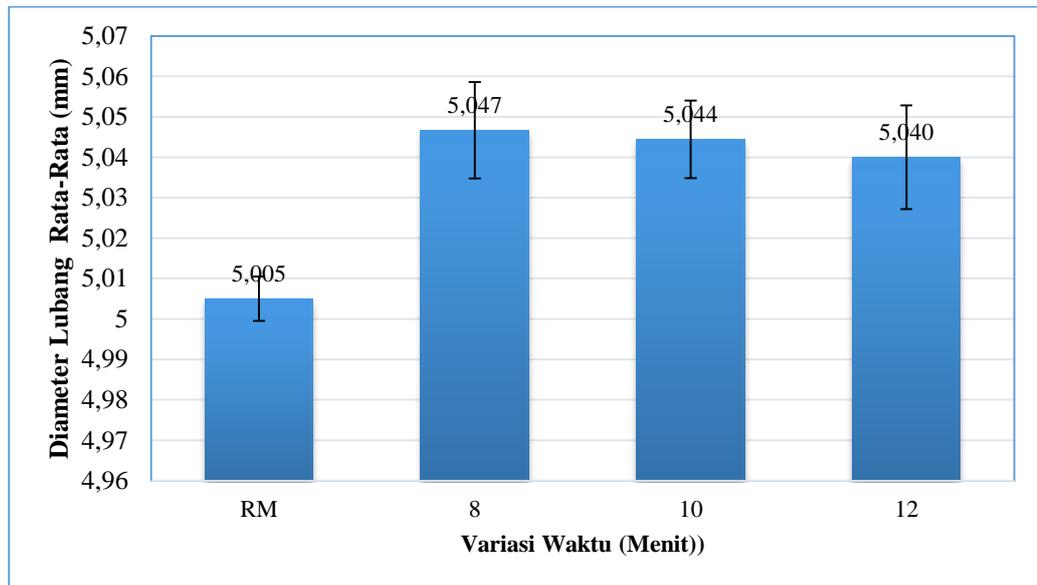
Pada Gambar 4.17 dapat dilihat pengurangan ketebalan spesimen *shot peening* *Stainless Steel* 316L. Penurunan paling tajam terjadi pada *raw material* ke variasi waktu 8 menit yaitu dari 3,743 mm menjadi 3,656 mm dibandingkan yang lain. Penurunan nilai ketebalan diakibatkan karena adanya penembakan *steel ball* secara terus menerus pada proses *shot peening* yang menyebabkan permukaan terluar spesimen terdorong ke partikel lebih dalam pada spesimen sehingga merubah sifat material menjadi lebih padat. Penurunan nilai ketebalan spesimen terjadi seiring dengan lamanya waktu proses *shot peening*, semakin lama penembakan *steel ball* maka ketebalan akan semakin menurun.



Gambar 4.17 Grafik nilai rata-rata ketebalan spesimen *shot peening*

Tabel 4.4 Nilai diameter lubang *shot peening*

Variasi	Kode	Diameter lubang spesimen DCP (mm)						Rata-rata	SD
		1	2	3	4	5	6		
RM		5,01	5	5,01	5	5	5,01	5,01	0,0055
8	N 7	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,05	5,043	5,047 0,0033
	N 11	5,04	5,04	5,03	5,04	5,05	5,05	5,047	
	N 16	5,06	5,05	5,03	5,08	5,04	5,03	5,050	
10	NM 16	5,03	5,04	5,03	5,05	5,04	5,03	5,040	5,044 0,0051
	NM 20	5,04	5,05	5,04	5,06	5,04	5,03	5,043	
	NM 5	5,05	5,05	5,04	5,05	5,06	5,04	5,050	
12	N 6	5,06	5,06	5,03	5,04	5,05	5,04	5,043	5,040 0,0088
	N 18	5,05	5,03	5,04	5,03	5,03	5,03	5,030	
	N 15	5,06	5,05	5,04	5,03	5,07	5,04	5,047	



Gambar 4.18 Grafik nilai diameter lubang rata-rata spesimen *shot peening*

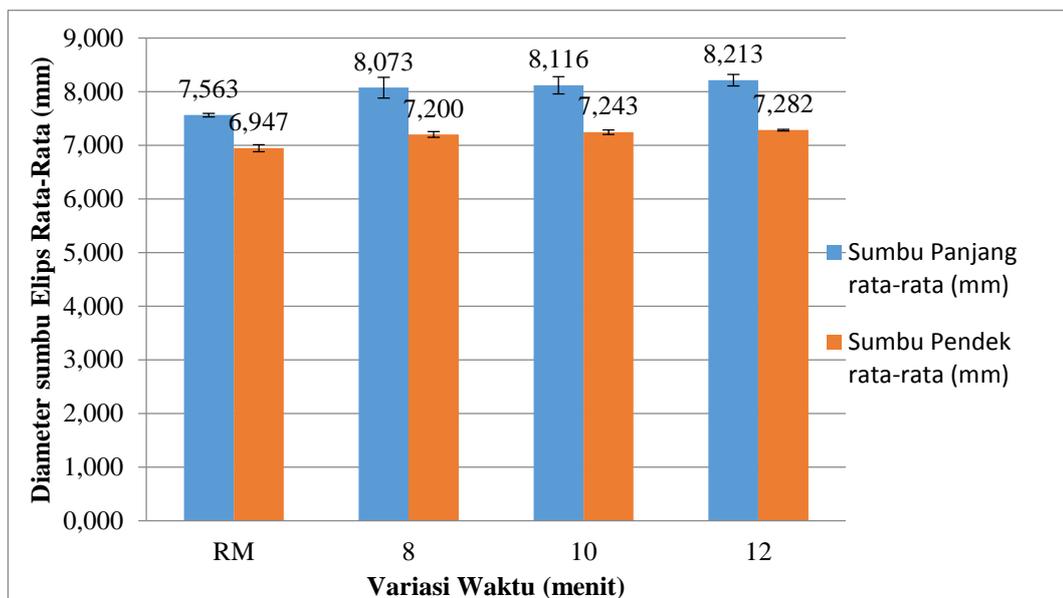
Sedangkan pada Gambar 4.18, menunjukkan adanya penambahan diameter lubang pada spesimen *raw material* terhadap spesimen dengan perlakuan variasi waktu penembakan *steel ball*. Pada spesimen dengan perlakuan variasi waktu 10 menit dan 12 menit penembakan *steel ball* mengalami pengurangan nilai diameter dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan waktu penembakan 8 menit. Hal ini disebabkan pengurangan ketebalan dan penambahan nilai diameter lubang spesimen terjadi karena permukaan mengalami deformasi plastis akibat penumbukan dari partikel *steel ball* selama proses perlakuan *shot peening*.

Tabel 4.5 Nilai Diameter Sumbu Panjang Elips.

Variasi	Kode	Diameter						Rata-rata	SD
		1	2	3	4	5	6		
RM		7,54	7,6	7,56	7,52	7,6	7,56	7,563	0,0320
8	N 7	8,1	8	7,82	7,6	7,8	8,04	7,893	0,1565
	N 11	8,2	8,1	8,2	8,26	8	8,3	8,177	
	N 16	8	8,1	8,2	8	8,24	8,36	8,150	
10	NM 16	8	8	8,1	8,16	8	7,8	8,010	0,1603
	NM 20	7,88	8	8,2	8	8,14	8	8,037	
	NM 5	8,3	8,28	8,26	8,3	8,32	8,34	8,300	
12	N 6	8,26	8,1	8	8,1	8,1	8	8,093	0,1091
	N 18	8,2	8,24	8,22	8,3	8,28	8,2	8,240	
	N 15	8,24	8,3	8,34	8,4	8,26	8,3	8,307	

Tabel 4. 6Nilai Diameter Sumbu Pendek Elips.

Variasi	Kode	Diameter sumbu pendek elips (mm)						Rata-rata		SD
		1	2	3	4	5	6			
RM		6,92	6,92	7,06	6,96	6,86	6,96		6,947	0,0665
8	N 7	7,3	7,2	7	7,1	7,26	7,4	7,210	7,200	0,0524
	N 11	7,24	7,36	7,32	7,2	7	7,36	7,247		
	N 16	7,3	7,1	7	7,2	7,1	7,16	7,143		
10	NM 16	7,3	7,36	7,2	7,22	7	7,1	7,197	7,243	0,0437
	NM 20	7,26	7,4	7,34	7,2	7,2	7,3	7,283		
	NM 5	7	7,2	7,3	7,42	7,28	7,3	7,250		
12	N 6	7,34	7,3	7,32	7,2	7,3	7,26	7,287	7,282	0,0139
	N 18	7,28	7,3	7,2	7,22	7,3	7,3	7,267		
	N 15	7,3	7,4	7,3	7,26	7,2	7,3	7,293		

Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai Diameter Sumbu Panjang *Elips* dan Diameter Sumbu Pendek *Elips Shot peening*

Pada Gambar 4.19, menunjukkan hasil pengukuran sampel pada *elips* sumbu panjang dan sumbu pendek plat DCP SS-316L terhadap variasi waktu penyemprotan sebelum di *shot peening* dan sesudah di *shot peening*. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa ukuran diameter *elips* mengalami penambahan setelah diberi perlakuan *shot peening*. Pada plat sampel sebelum di beri perlakuan *shot peening* (*raw material*) memiliki ukuran rata-rata diameter *elips* sumbu panjang sebesar 7,563 mm dan sumbu pendek sebesar 6,947 mm. Kemudian

pada sampel yang diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu 8 menit memiliki ukuran rata-rata diameter *elips* sumbu panjang sebesar 8,073 mm dan sumbu pendek sebesar 7,200 mm. Pada durasi waktu 10 menit diameter *elips* mengalami penambahan menjadi 8,116 mm pada sumbu panjang, 7,243 mm pada sumbu pendek. Pada durasi waktu 12 menit penembakan *shot peening* diameter *elips* mengalami kenaikan kembali menjadi sebesar 8,213 mm pada sumbu panjang dan 7,282 mm pada sumbu pendek. Terlihat bahwa perlakuan *shot peening* dapat menambah besarnya diameter *elips* pada plat sampel SS-316L. Semakin lama waktu penyemprotan *steel ball* maka deformasi yang dihasilkan juga semakin besar. Mungkin dengan durasi waktu penyemprotan yang lebih lama akan mengakibatkan deformasi permukaan material yang lebih dalam lagi. Adanya pemadatan dan pemipihan pada butiran permukaan diameter *elips*. Deformasi ini diakibatkan oleh efek dari tumbukan bola baja (*steel ball*) ke permukaan diameter *elips* pada plat sampel.