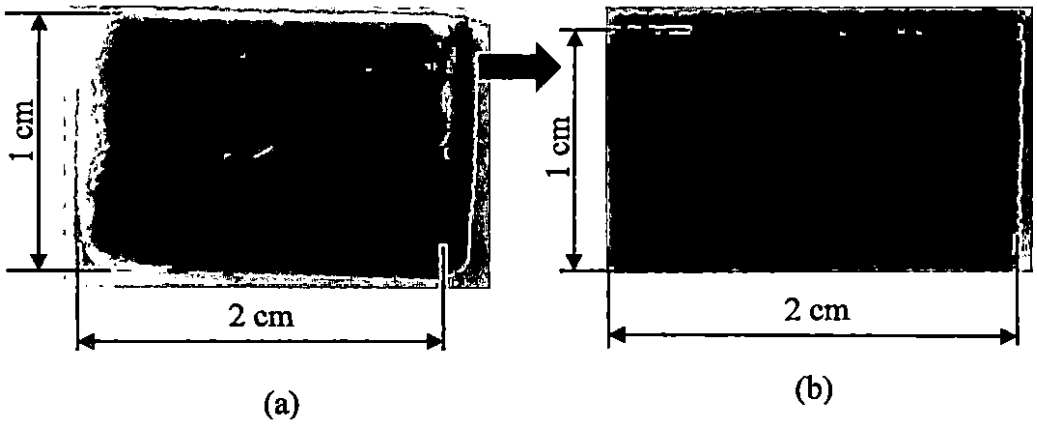
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan disajikan dalam bentuk gambar dan grafik. Penyajian dalam bentuk gambar dan grafik bertujuan lebih memudahkan ketika membandingkan dan mengamati antara hasil penelitian yang satu dengan yang lain. Adapun penelitian yang dilakukan adalah struktur mikro, uji kekerasan mikro (*Vickers*), dan uji kekasaran permukaan dari sampel pelat.

4.1. Hasil setelah perlakuan *shot peening*

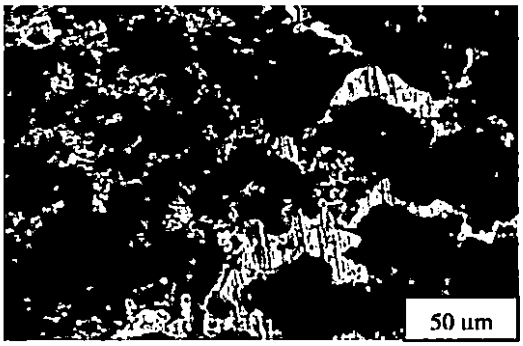


Gambar 4.1. Sampel material (a) sebelum *shot peening* dan (b) sesudah *shot peening*.

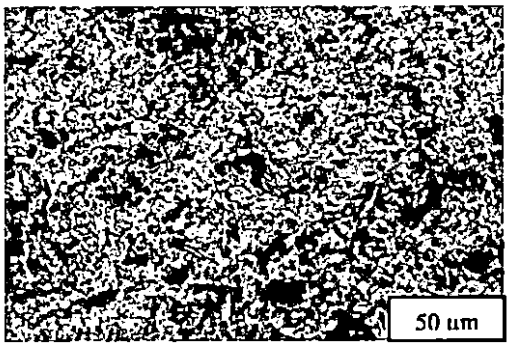
Diambil 4 buah sampel *trial* material yang dipersiapkan untuk proses *shot peening*. Gambar 4.1., menunjukan dimensi sampel material dengan ukuran panjang 2 cm, lebar 1 cm, dan tebal 4 mm. Kemudian sampel *trial* material dilakukan perlakuan *shot peening* variasi waktu selama 9 menit, 10 menit, 11 menit, dan 12 menit. Selanjutnya, proses karakterisasi sampel material setelah diberi perlakuan *shot peening*. Karakterisasi material dimaksudkan guna mencari sampel yang memiliki hasil terbaik diantara sampel uji lainnya. Setelah didapat hasil terbaik, kemudian dilakukan fabrikasi pelat penyambung tulang (*osteosynthesis plate*). Selanjutnya pelat penyambung diberi perlakuan *shot*

peening dengan parameter terbaik sesuai hasil karakterisasi dari sampel *trial* material sebelumnya.

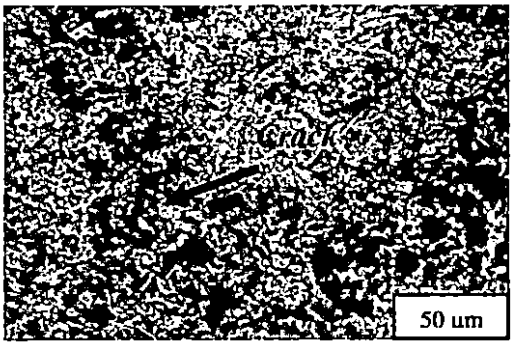
4.2. Hasil Struktur Mikro



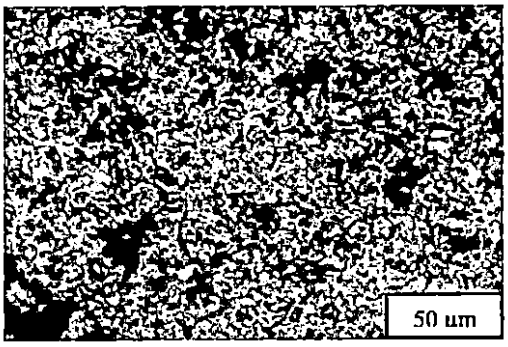
a) *Raw* material



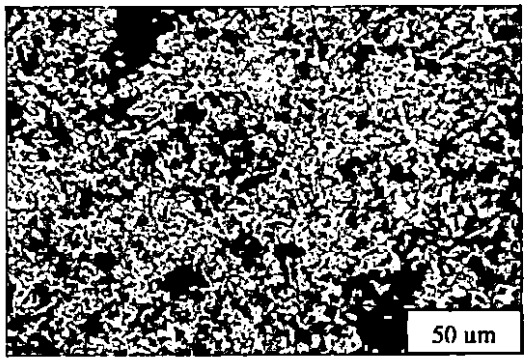
b) *Shot peening* 9 menit



c) *Shot peening* 10 menit



d) *Shot peening* 11 menit



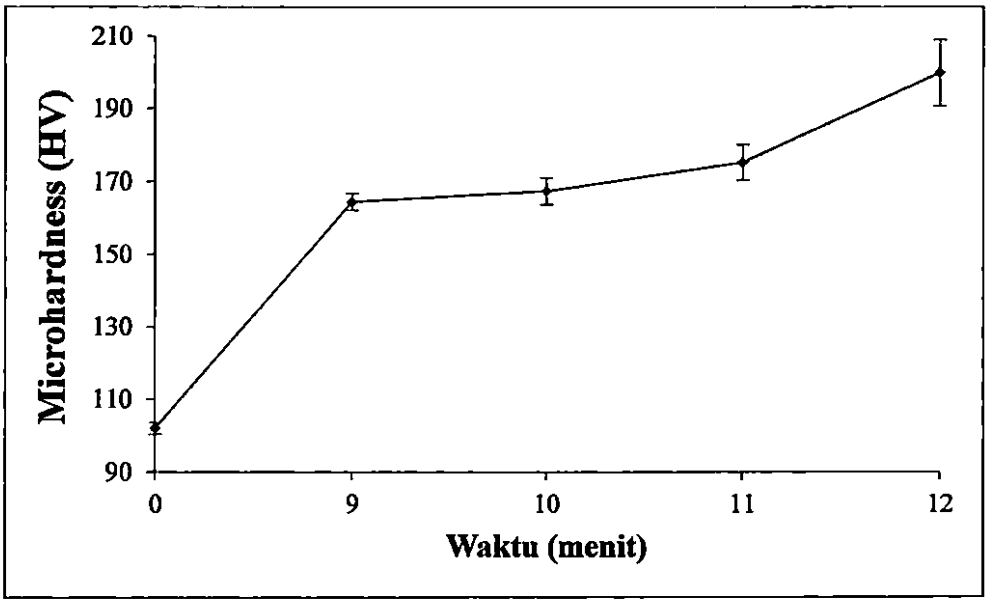
e) *Shot peening* 12 menit

Gambar 4.2. Hasil foto struktur mikro (a) *raw* material; variabel waktu hasil proses *shot peening* pada tekanan 6 bar selama (b) 9 menit; (c) 10 menit; (d) 11 menit; dan (e) 12 menit.

Gambar 4.2., menunjukan hasil foto struktur mikro sampel setelah dilakukan *shot peening*. Hasil pengujian menunjukan gambar perbandingan kekasaran pada variasi durasi 9 menit, 10 menit, 11 menit, dan 12 menit *shot peening* pada tekanan 6 bar. Sampel sebelum diberi perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.a), permukaan terlihat lebih halus permukaannya. Sampel dengan durasi 9 menit perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.b), terlihat tumbukan bola-bola baja mempengaruhi terbentuknya kawah-kawah pada permukaan. Sampel dengan durasi 10 menit perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.c), bertambahnya cekungan atau kawah-kawah pada permukaan setelah adanya tumbukan bola-bola baja mengakibatkan terjadi retakan (*crack*) antar cekungan. Pada durasi 11 menit perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.d), bertambahnya cekungan atau kawah yang terbentuk pada permukaan mengakibatkan jaraknya bertambah dekat antar satu cekungan atau kawah dengan cekungan atau kawah lainnya. Kemudian pada durasi 12 menit perlakuan *shot peening* (Gambar 4.2.e), cekungan atau kawah-kawah yang terbentuk pada permukaan sudah saling berhimpit.

4.3. Hasil Uji Kekerasan Mikro (*Vickers*)

Gambar 4.3., menunjukan grafik nilai kekerasan permukaan material sebelum dan sesudah diberi perlakuan *shot* peening. Dari Gambar 4.3., dapat disimpulkan bahwa semua spesimen pelat *stainless steel* AISI-316L mengalami peningkatan kekerasan setelah dilakukan proses *shot peening*. Kekerasan mikro pada permukaan material meningkat seiring bertambahnya waktu perlakuaan *shot peening* yang terjadi. Pada penelitian ini besar gaya yang digunakan adalah 980,7 mN dan durasi penekan indentor selama 5 detik untuk semua sampel. Hasil pengujian diambil dari data diagonal horizontal dan diagonal vertikal alat uji kekerasan *Vickers*. Sampel sebelum dilakukan proses *shot peening* memiliki rata-rata kekasaran sebesar 100 HV.



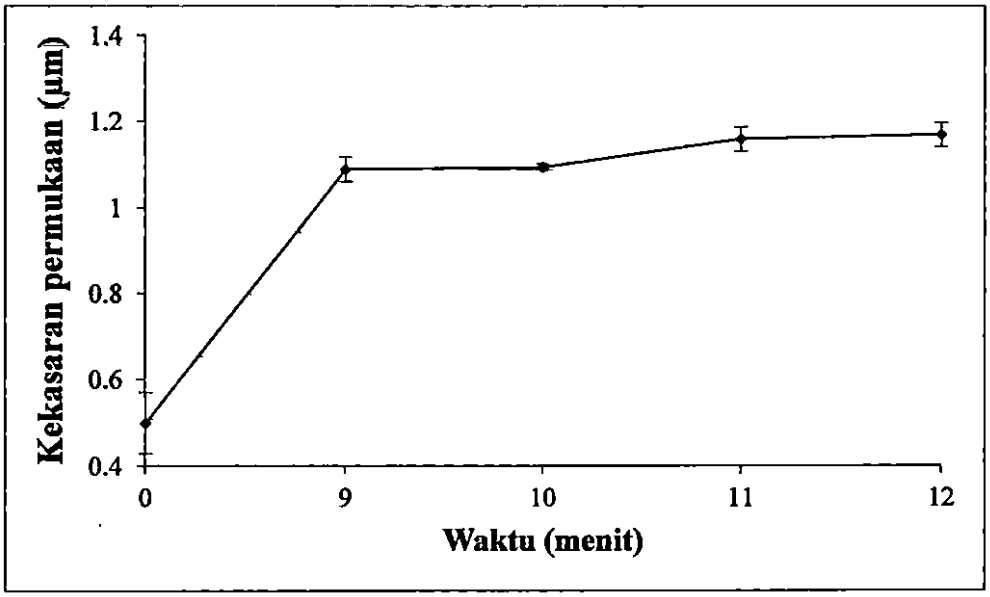
Gambar 4.3. Grafik hasil nilai kekerasan mikro (HV).

Pada sampel dengan perlakuan *shot peening* pada tekanan 6 bar dengan variasi waktu 9 menit (Gambar 4.3), memiliki nilai kekerasan kisaran rata-rata 168 HV. Pada sampel dengan perlakuan *shot peening* pada tekanan 6 bar dengan variasi waktu 10 menit (Gambar 4.3), nilai kekerasan bertambah hingga kisaran rata-rata 170 HV. Kemudian sampel dengan perlakuan *shot peening* pada tekanan 6 bar dengan variasi waktu 11 menit (Gambar 4.3), berdampak terjadinya kenaikan nilai kekerasan rata-rata 185 HV. Selanjutnya sampel dengan perlakuan *shot peening* pada tekanan 6 bar dengan variasi waktu 12 menit (Gambar 4.3.), titik tertinggi (*peak point*) dari nilai kekerasan pada penelitian mencapai nilai rata-rata 200 HV.

4.4. Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Hasil pengukuran kekasaran permukaan dengan parameter Ra ditunjukan pada Gambar 4.4. Pada grafik terjadi peningkatan kekasaran bila dibandingkan dengan *raw material*. Nilai kekasaran *raw material* kisaran rata-rata 0,5 μm. Setelah proses *shot peening* nilai kekasaran meningkat, seperti ditunjukan Gambar 4.4. Terlihat dari *trendline* bahwa kekasaran optimum terjadi pada keadaaan setelah dilakukan proses *shot peening* selama 12 menit. Dari grafik tersebut dapat

diambil kesimpulan bahwa semakin bertambahnya durasi menyebabkan nilai kekasaran semakin naik. Tapi dapat dinyatakan bahwa kekasaran setelah perlakuan *shot peening* naik dari 0,6 μm menjadi 1 ± 0,01 μm dengan nilai optimum pada tekanan 6 bar dan lama waktu *treatment* 12 menit. Karena pada durasi waktu 12 menit perlakuan *shot peening* didapatkan nilai kekerasan optimum pada penelitian ini. Hasil nilai kekasaran permukaan pada penelitian ini sudah memenuhi standar kekasaran permukaan material implan tulang, yaitu kisaran 10 nm–10 μm (Bioscience and Bioengineering of Titanium Material).

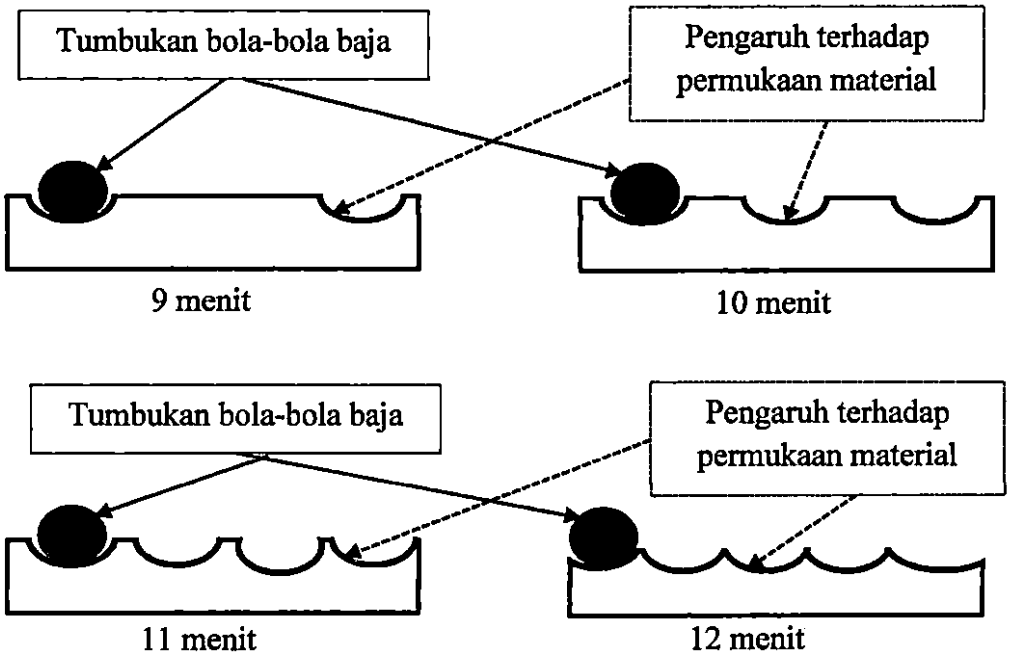


Gambar 4.4. Grafik hubungan variasi waktu *shot peening* dengan kekasaran (R_a).

4.5. Pembahasan Struktur Mikro

Pada pengamatan struktur mikro, spesimen diamati dengan mikroskop dengan perbesaran 100 kali. Sebelum dilakukan pengamatan spesimen diberikan cairan etsa terlebih dahulu. Tujuan dari pemberian cairan etsa adalah untuk menghilangkan goresan pada permukaan permukaan dan terlihat mengkilat seperti kaca. Cairan etsa yang digunakan adalah *methanol* (CH_3OH) konsentrasi 30%. Setelah spesimen dietsa ketika dilihat melalui miroskop terlihat struktur mikro permukaan material. Berdasarkan pengamatan dengan mikroskop diperoleh gambar struktur mikro dari spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening*. Gambar struktur mikro pada spesimen *raw* material terlihat alur permukaan yang

proses terjadinya tumbukan bola-bola baja pada permukaan material yang ditunjukan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Ilustrasi sampel yang telah diberi perlakuan *shot peening* selama 9 menit, 10 menit, 11 menit, dan 12 menit.

Hal ini dampak akibat adanya tumbukan dari material abrasif *shot peening*. Gambar 4.2.(b-e), menunjukkan struktur mikro sampel setelah mendapatkan perlakuan *shot peening* menggunakan partikel abrasif berupa bola-bola baja (*steel ball*) berdiameter 0,4 ± 0,025 mm selama durasi waktu 9 menit, 10 menit, 11 menit, dan 12 menit pada tekanan konstan kompresor 6 bar.

Permukaan tampak lebih kasar dibandingkan dari permukaan sampel sebelum diberi perlakuan penembakan *steel ball*. Partikel *steel ball* yang menumbuk permukaan sampel dengan kecepatan tinggi menyebabkan permukaan mengalami deformasi plastis sehingga menimbulkan terbentuknya kawah-kawah pada permukaan sampel. Bentuk kawah-kawah inilah yang menyebabkan permukaan sampel menjadi kasar. Tumbukan partikel *steel ball* dalam kecepatan tinggi juga menyebabkan terpecahnya butiran struktur mikro pada permukaan dan subpermukaan sampel menjadi ukuran yang lebih kecil. Pergerakan partikel *steel*

ball dengan kecepatan tinggi dapat menimbulkan penekanan pada struktur yang pecah sehingga struktur menjadi semakin rapat dan berpotensi meningkatkan kekerasan bahan (Arifvianto, 2012; Multigner dkk, 2009). Penggunaan partikel *steel ball* dengan variasi waktu yang berbeda berpengaruh dalam mengubah struktur mikro sampel.

Ilustrasi yang ditunjukan pada Gambar 4.5., menunjukan proses terbentuknya cekungan atau kawah-kawah pada permukaan material. Pada proses pengujian struktur mikro menggunakan optikal mikroskop mengalami kesulitan ketika menganalisis bentuk permukaan setelah diberi perlakuan *shot peening*. Bentuk permukaan yang tidak merata sangat sulit terbaca oleh optikal karena fokus lensa tidak dapat membaca bentuk yang tidak merata. Hal ini berpengaruh terbentuknya cekungan atau kawah-kawah pada permukaan material setelah perlakuan *shot peening* hingga 12 menit.

Pada penelitian Bisma (2012) dan Tinton (2012), setelah dilakukan perlakuan *shot peening* butiran-butiran tersebut menjadi pipih dan berkumpul di permukaan spesimen. Hal ini dikarenakan adanya tumbukan dari material abrasif *shot peening*. Permukaan tampak lebih kasar dibandingkan dari permukaan sampel sebelum diberi perlakuan penembakan *slag ball*. *Slag ball* merupakan material hasil peleburan logam berbentuk tidak beraturan seperti bulat, oval, dan lainnya. Ukuran butir struktur mikro pada lapisan permukaan dan subpermukaan juga terlihat berukuran lebih kecil dibandingkan dengan struktur mikro sampel pada lapisan yang lebih dalam dari permukaan. Kedua hal tersebut merupakan efek dari tumbukan partikel *slag ball*. Partikel *slag ball* yang menumbuk permukaan sampel dengan kecepatan tinggi menyebabkan permukaan mengalami deformasi plastis sehingga menimbulkan cekungan-cekungan pada permukaan sampel. Cekungan-cekungan inilah yang menyebabkan permukaan sampel menjadi kasar. Tumbukan partikel *slag ball* dalam kecepatan tinggi juga menyebabkan terpecahnya butiran struktur mikro pada permukaan dan subpermukaan sampel menjadi ukuran yang lebih kecil. Penggunaan partikel *slag ball* dengan variasi waktu yang berbeda berpengaruh dalam mengubah struktur mikro sampel. Setelah mendapat perlakuan *shot peening* dengan menggunakan partikel *slag ball* selama

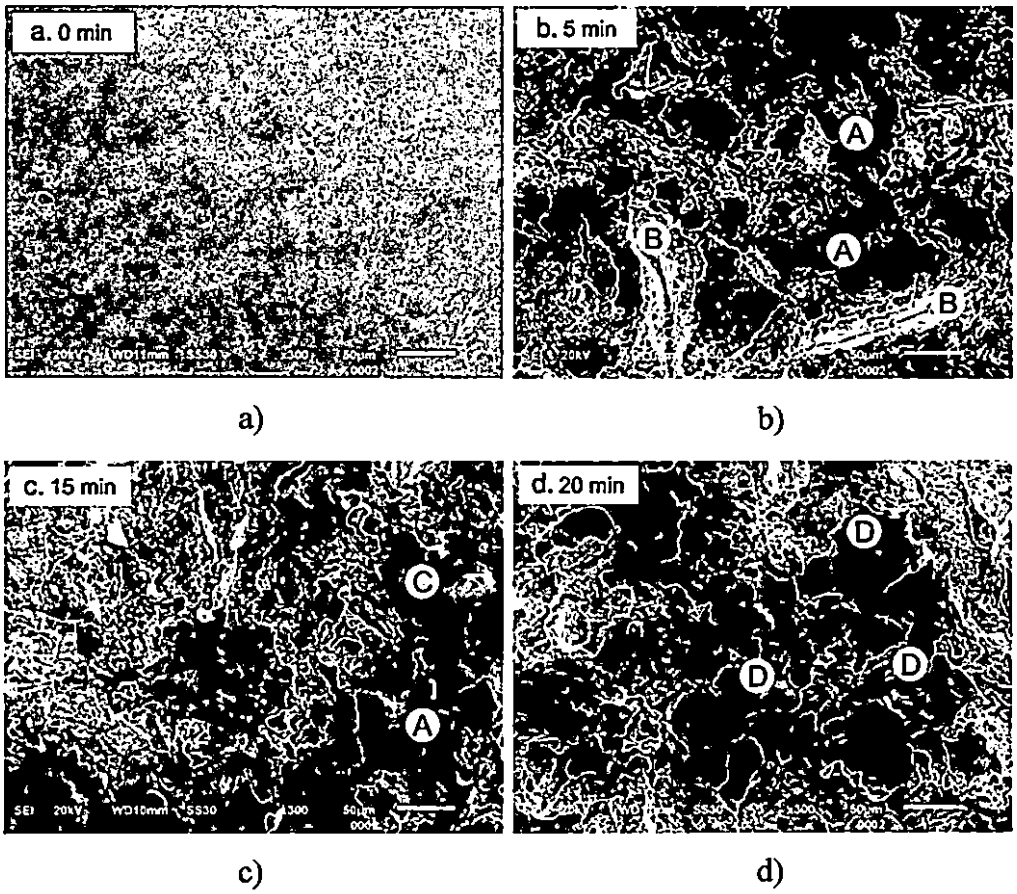
6 menit, terbentuk cekungan-cekungan yang memiliki diameter yang lebih besar sehingga membuat kontur permukaan semakin tidak rata. Pada Gambar 4.6., terlihat pada permukaan mengalami retakan (*crack*). Hal ini terjadi karena tumbukan partikel *slag ball* yang keras pada permukaan tersebut. Pemakaian durasi waktu selama 6 menit menyebabkan butir-butir struktur mikro permukaan dan subpermukaan yang pecah semakin banyak serta mencapai kedalaman yang lebih jauh lagi dari permukaan. Hal ini membuat lapisan keras permukaan semakin tebal. Dampak pemakaian durasi waktu 10 menit memiliki daya rusak lebih besar. Cekungan pada permukaan sampel berukuran lebih besar dan lebih dalam.

Gambar 4.6. Perlakuan *shot peening* durasi 6 menit (Bisma, 2012).

Butir-butir mikro yang terpecah semakin banyak sehingga membentuk lapisan baru permukaan. Gambar 4.8., menunjukan efek setelah dilakukan perlakuan *shot peening* selama 10 menit. Kekerasan ini merupakan akibat dari struktur mikro yang memiliki susunan atom lebih rapat karena butiran-butiran semakin membesar terutama di bagian permukaan. Perubahan butiran tersebut terjadi karena adanya *plastic deformation*. Butiran-butiran yang membesar itulah yang membuat kekerasan dan kekasaran pada spesimen meningkat.

Dijelaskan pada penelitian Arifvianto (2012), hasil *surface morphology* menunjukan terbentuk alur material setelah dilakuakan proses *shot peening* selama 5 menit dengan menggunakan partikel *slag ball*. Kemudian terbentuk retakan pada permukaan material setelah dilakuakan proses *shot peening* selama

15 menit. Selanjutnya, terbentuk struktur berbentuk datar dan cembung pada permukaan material setelah dilakuakan proses *shot peening* selama 20 menit. Hal ini ditunjukan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. *Surface morpgology* spesimen sebelum dan setelah dilakukan perlakuan *shot peening* menggunkan *slag ball* [A: *defect*; B: alur material; C: retakan/*crack*; D: struktur datar dan cembung]. (Arifvianto, 2012)

Jika dikaitkan dengan penelitian sebelumnya (Arifvianto, 2012; Bisma, 2012; dan Tinton, 2012), hasil struktur mikro dari penelitian ini menunjukan adanya kesamaan. Ada perubahan struktur mikro, sifat, dan properti bahan dari proses *shot peening*. Hasil struktur mikro pada penelitian ini ditunjukan dengan terbentuknya cekungan atau kawah-kawah setelah ditumbuk dengan partikel *steel ball*. Kemudian partikel-partikel *steel ball* menumbuk cekungan atau kawah-kawah yang terbentuk hingga pecah. Pecahnya bentuk cekungan menimbulkan

adanya retakan (*crack*) yang terjadi pada permukaan material. Pada penelitian (Arifvianto, 2012; Bisma, 2012; dan Tinton, 2012), juga terbentuk retakan akibat hasil tumbukan partikel *slag ball*. Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini terletak pada durasi waktu penumbukan dan material abrasif, sehingga proses terbentuknya cekungan pada permukaan material hingga membentuk lapisan baru lebih cepat atau lebih lama. Hal ini dikarenakan lapisan baru yang terbentuk mempengaruhi besarnya nilai kekerasan dan nilai kekasaran material.

Cekungan pada permukaan sampel berukuran lebih besar dan lebih dalam dapat membentuk lapisan baru. Lapisan baru pada permukaan memiliki susunan atom lebih rapat karena butiran-butiran semakin membesar terutama di bagian permukaan. Perubahan butiran tersebut terjadi karena adanya *plastic deformation* yang telah disinggung sebelumnya. Butiran-butiran yang membesar itulah yang membuat kekerasan dan kekasaran pada spesimen meningkat.

4.6. Pembahasan Kekerasan Mikro (*Vickers*)

Proses *shot peening* secara umum meningkatkan kekerasan pada suatu material. Kekerasan terbesar terjadi pada permukaan dan secara bertahap mulai menurun menjauhi permukaan. Metode kekerasan yang digunakan untuk menguji nilai kekerasan pada permukaan pada penelitian ini adalah metode *Vickers*. Metode *Vickers* (H.W. Hayden dkk, 1965), dikhususkan untuk mengukur kekerasan material yang sangat lunak kisaran 5 HV hingga kekerasan material kisaran 1500 HV tanpa perlu mengganti besar gaya tekan yang digunakan antara 1-120 kg. Metode *Vickers* juga biasa digunakan untuk material yang memiliki karbon rendah seperti *stainless steel, titanium,* dan lainnya.

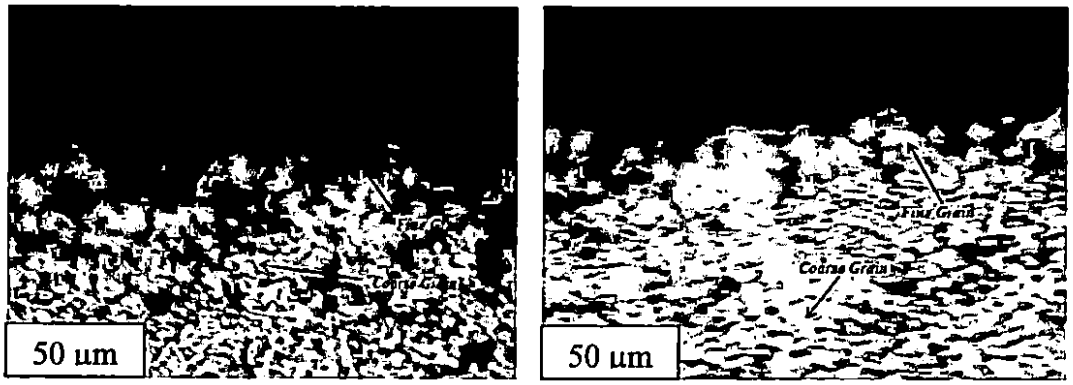
Pada spesimen sebelum diberi perlakuan *shot peening* (*raw* material) memiliki nilai kekerasan kisaran rata-rata 100 HV. Beberapa titik yang diuji selama 5 detik dengan beban 980,7 mN memiliki nilai kekerasan yang sama. Kedalaman dari 0,1 sampai 0,5 mm memiliki besar yang kurang lebih sama. Namun setelah diberikan perlakuan *shot peening* selama 9 menit pada tekanan konstan 6 bar nilai kekerasan meningkat meningkat kisaran rata-rata 160 HV.

Sedangkan jika diberi perlakuan *shot peening* selama 10 menit pada tekanan konstan 6 bar nilai kekerasan meningkat meningkat kisaran rata-rata 167 HV. Terlihat nilai kekerasan HV pada perlakuan *shot peening* durasi 9 menit dan 10 menit tidak jauh berbeda nilai kekerasannya atau sedikit bertambah. Kemudian diberikan perlakuan *shot peening* selama 11 menit pada tekanan konstan 6 bar nilai kekerasan meningkat meningkat kisaran rata-rata 180 HV. Selanjutnya diberikan perlakuan *shot peening* selama 12 menit pada tekanan konstan 6 bar nilai kekerasan meningkat meningkat hingga kisaran rata-rata 200 HV. Hal ini berarti nilai kekerasan permukaan material setelah perlakuan *shot peening* selama 12 menit meningkat hingga 100% dari *raw* material yang memiliki nilai kekerasan rata-rata 100 HV menjadi 200 HV. Perubahan nilai kekerasan permukaan pengaruh perlakuan *shot peening* durasi waktu ditunjukan pada grafik nilai kekerasan Gambar 4.4.

Pada penelitian Bisma A. (2012) dan Tinton (2012), nilai kekerasan meningkat seiring bertambahnya durasi waktu proses *sand blasting*. *Sand blasting* merupakan salah satu proses perlakuan permukaan yang bertujuan meningkatkan kekerasan permukaan material. Perbedaan antara proses *sand blasting* dengan proses *shot peening*, terletak pada penggunaan material abrasif. Pada proses *sand blasting* menggunakan material abrasif (*slag ball*), sedangkan pada proses *shot peening* menggunakan material abrasif (*steel ball).* Nilai kekerasan pada permukaan material setelah proses *sand blasting* selama 2 menit meningkat secara drastis. Pada kedalaman 0,1 mm dari permukaan, besar nilai kekerasan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar motor dan durasi waktu selama proses *sand blasting*. Pada durasi penembakan waktu 2 menit, nilai kekerasan didapat kisaran rata-rata sebesar 290,189 kg/mm^2. Sedangkan durasi penembakan waktu 6 menit, nilai kekerasan didapat kisaran rata-rata sebesar 315,467 kg/mm^2. Dari data yang diperoleh besarnya HV pada kedalaman 0,4 mm dari permukaan dengan durasi penembakan selama 2 menit, nilai kekerasan didapat kisaran rata-rata sebesar 260.621 kg/mm^2. Sedangkan pada durasi penembakan 6 menit pada kedalaman 0,4 mm dari permukaan, nilai kekerasan didapat kisaran rata-rata sebesar 298.961 kg/mm^2. Walaupun terjadi peningkatan kekerasan yang tidak

begitu signifikan tetapi ini menunjukkan pengaruh pada durasi penyemprotan adalah meningkatkan kekerasan pada kedalaman tertentu.

Selanjutnya, pada penelitian (Bisma A., 2012; dan Tinton, 2012) dilakukan penembakan *sand blasting* dengan durasi waktu selama 10 menit. Pada kedalaman 0,5 mm dari permukaan, kekerasan pada spesimen meningkat dibanding dengan hasil *sand blasting* dengan durasi 2 menit dan 6 menit. Terlihat pada durasi penembakan 2 menit besarnya HV pada kedalaman 0,5 mm dari permukaan, nilai kekerasan didapat kisaran rata-rata sebesar 295,479 kg/mm^2. Sedangkan dengan durasi penembakan 10 menit pada kedalaman 0,5 mm, nilai kekerasan didapat kisaran rata-rata sebesar 305,163 kg/mm^2. Dari data tersebut dapat dikatakan adanya peningkatan kekerasan pada kedalaman 0,5 mm dari permukaan dengan durasi 10 menit. Hal ini berarti bahwa pengaruh waktu penembakan *sand blasting* terhadap kedalaman *indenter* uji kekerasan dapat meningkatan nilai kekerasan pada permukaan material. Semakin lama durasi proses *sand blasting* dapat meningkatkan kekerasan material dari permukaan tetapi titik yang lebih dalam mempengaruhi penurunan nilai kekerasan dari suatu material. Terjadi peningkatan kekerasan material pada titik yang lebih dalam ditunjukan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Proses peningkatan kekerasan material pada titik yang lebih dalam (Tinton, 2012).

Dijelaskan pada penelitian Arifvianto (2012), peningkatan nilai kekerasan setelah dilakukan proses *shot peening* selama 10-20 menit. Proses *shot peening* durasi 10 menit, pada kedalaman 0,02 mm dari permukaan memiliki nilai

*peening*durasi 10 menit, pada kedalaman 0,02 mm dari permukaan memiliki nilai kekerasan rata-rata 2,7 GPa. Sedangkan proses *shot peening* durasi 20 menit, pada kedalaman 0,02 mm dari permukaan memiliki nilai kekerasan rata-rata 3,2 GPa. Hal ini berarti bahwa, peningkatan nilai kekerasan permukaan material berpengaruh terhadap durasi waktu proses *shot peening*. Semakin lama durasi waktu yang dilakukan untuk proses *shot peening*, maka semakin meningkat nilai kekerasan permukaan material.

Pada penelitian ini, hasil nilai kekerasan yang didapat mengalami peningkatan.Peningkatan nilai kekerasan pada permukaan material ditunjukan pada Gambar 4.3. Hal ini berarti bahwa pada prinsipnya peningkatan hasil nilai kekerasan pada permukaan material pada penelitian ini memiliki kesamaan pada penelitian (Arifvianto, 2012), terhadap durasi proses *shot peening*.Besar nilai kekerasan pada penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian (Arifvianto, 2012).Hal ini disebabkan perbedaan penggunaan material *abrasive* untuk menembakan ke permukaan material.Pada penelitian (Arifvianto, 2012), material *abrasive* yang digunakan adalah *slag ball.Slag ball* merupakan material hasil peleburan logam berbentuk tidak beraturan seperti bulat, oval, dan lainnya. Sedangkan pada penelitian ini, digunakan material *abrasive(steel ball)* untuk proses *shot peening*. *Steel ball* yang digunakan berdiameter 4 mm dari material baja.*Steel ball* memiliki bentuk bulat yang lebih sempurna dibanding dengan *slag ball*. Perbedaan penggunaan material *abrasive* antara *slag ball* dengan *steel ball* sangat berpengaruh terhadap hasil nilai kekesaran setelah dilakukan proses *shot peening*.

Jika dibandingkan hasil penelitian ini dengan hasil penelitian (Tinton, 2012), juga memiliki perbedaan nilai kekerasan pada permukaan material.Hal ini disebabkan perbedaan penggunaan material *abrasive* untuk menembakan ke permukaan material.Pada penelitian (Tinton, 2012), material *abrasive* yang digunakan adalah pasir silika.Pasir silikaberbentuk butir-butir dengan ukuran lebih kecil dari *slag ball* atau *steel ball*. Sedangkan pada penelitian ini, digunakan material *abrasive(steel ball)* untuk proses *shot peening*. *Steel ball* memiliki bentuk

bulat yang lebih sempurna dan ukuran lebih besar dibanding dengan pasir silika. Perbedaan penggunaan material *abrasive* antara pasir silika dengan *steel ball* sangat berpengaruh terhadap hasil nilai kekesaran setelah dilakukan proses *shot peening*.

Peningkatan nilai kekerasan pada permukaan material akibat perlakuan *shot peening*terjadi karena adanya *plastic deformation*(Arifvianto, 2012; Multigner dkk, 2009).Pengaruh deformasi plastis akibat adanya tumbukan material abrasif (*steel baal*) ke permukaan material.Tumbukan yang terjadidengan kecepatan partikel *steel ball* yang tinggi menimbulkan penekanan pada struktur.Akibatnya struktur pecah sehingga struktur menjadi semakin rapat dan berpotensi meningkatkan kekerasan material.Sedangkan pengaruh durasi adalah semakin lama penumbukan maka semakin rapat partikel-partikel di titik yang lebih dalam dari permukaan.

4.7. Pembahasan Kekasaran Permukaan

Perbandingan kekasaran permukaan setelah mengalami perlakuan *shot peening* ditunjukan pada Gambar 4.2. Pada penelitian ini, digunakan parameter R_a sebagai nilai kekasaran. Dikarenakan parameter pengambilan data dari hasil pengukuran menggunakan nilai tinggi rata-rata dari suatu permukaan yang dinyatakan dengan parameter Ra. Jika dilihat dengan parameter Ra, kekasaran setelah perlakuan *shot peening* meningkat. Nilai kekasaran permukaan material sebelum diberi perlakuan *shot peening* kisaran rata-rata 0,5μm. Setelah diberiperlakuan *shot peening* nilai kekasaran permukaan materialmeningkat hingga kisaran rata-rata 1μm. Kenaikan kekasaran ini tidak lebih tinggi bila dibandingkan dengan kenaikan kekasaran yang disebabkan perlakuan *sand blasting*. Pada perlakuan *sand blasting*, kenaikan sampel mencapai 0,8 μm (Mukhsen, 2012). Hal ini mungkin disebabkan perbedaan ukuran butiran material *abrasive* yang ditembakkan.Sehingga bola-bola baja yang ditembakan mengenai seluruh ke permukaan material.

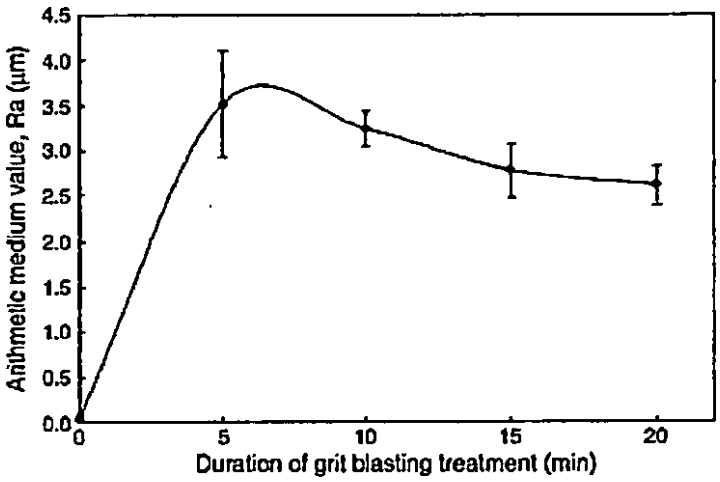
Jika dilihat pada grafik hubungan antara nilai kekasaran terhadap waktu perlakuan *shot peening* Gambar 4.5., menunjukkan peningkatan secara drastis

akibat adanya perlakuan *shot peening*pada permukaan material. Peningkatan kekasaran permukaan berpengaruh pada perubahan struktur mikro, sifat, maupun properti bahan.Mekanisme penghalusan butir material akibat tumbukan dari partikel mengakibatkan peningkatan kekerasan mikro (*microhardness*) pada lapisan permukaan dan subpermukaan bahan.Permukaan kasar dan *hydrophilic* menguntungkan pada penyerapan protein dalam membentuk rangkaian sel-sel tulang yang menempel pada implan (Wilson dkk, 2005).Penyerapan ini menunjang pembentukan ikatan yang lebih kuat dan stabil antara implan dengan jaringan tulang (Elias dkk, 2008; Khang dkk, 2008; Arens dkk, 1996).

Pada penelitian B. Arifvianto (2012) dan Mukhsen (2012), nilai kekasaran meningkat seiring bertambahnya durasi yang kemudian turun kembali karena tumbukan setelahnya meratakan bukit-bukit permukaan sampel.Kenaikan atau penurunan kekasaran pada penelitian ini tidak terlihat pola grafik kekasaran naik kemudian turun. Pada penelitian B. Arifvianto (2012), nilai grafik kekasaran naik setelah dilakukan proses *shot peening* selama 6 menit yaitu kisaran 3,5μm. Kemudian terjadi penurunan nilai kekerasan pada grafik setelah dilakukan proses *shot peening*selama 10-20 menit yaitu kisaran 2,7μm. Terjadinya peningkatan dan penurunan grafik nilai kekasaran pada penelitian B. Arifvianto (2012), ditunjukanGambar 4.9.Pada penelitian B. Arifvianto (2012), semakin bertambah waktu perlakuan *shot peening*tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan material terus meningkat. Pada waktu perlakuan *shot peening* lebih 6 menit hingga 12 menit terjadinya penurunan nilai kekasaran permukaan. Dikarenakan perubahan butir struktur mikro pada permukaan material memadat hingga merata keseluruhannya.Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekasaran permukaan material.

Pada penelitian ini, grafik nilai kekasaran setelah proses *shot peening*, yang ditunjukan pada Gambar 4.5., terus meingkat dan tidak terjadi penurunan seperti hasil penelitian (Arifvianto, 2012). Hal ini disebabkan perbedaan penggunaan material *abrasive* untuk menembakan ke permukaan material.Pada penelitian (Arifvianto, 2012), material *abrasive* yang digunakan adalah *slag ball*. Sedangkan

pada penelitian ini, digunakan material *abrasive(steel ball)* untuk proses *shot peening.*



Gambar 4.9. Grafik nilai kekasaran permukaan terhadap waktu proses *shot peening* menggunakan *slag ball* (B. Arifvianto, 2012).

Pada penelitian Tinton (2012), grafik nilai kekasaran cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu proses*shot peening.* Besarnya nilai kekasaran (Ra) rata-rata pada durasi 10 menit yaitu 3 µm. Sedangkan pada penelitian ini, nilai kekasaran setelah dilakukan proses *shot peening*selama 10 menit kisaran 1 µm. Perbedaan nilai kekerasan disebabkan penggunaan material *abrasive* (*slag ball*) pada penelitian Tinton (2012). Kemudian sampel yang di proses *shot peening* diputar menggunakan motor.Sedangkan pada penelitian ini, penggunaan material *abrasive* (*steel ball*) dan sampel tidak diputar menggunakan motor.

Menurut para peneliti yang lebih dahulu melakukan penelitian tentang *sandblasting* yaitu Multigner dkk (2009); Arifvianto dkk (2012);dan Ishak (2011) berpendapat bahwa peningkatan nilai kekasaran pada durasi waktu yang lebih lama disebabkan adanya *several plastic deformation*(SPD). Deformasi diartikan sebagai perubahan bentuk atau struktur mikro, sifat, maupun properti material yang diakibatkan gaya(*force*) tekan. *Plastic deformation* terjadi mekanisme

penghalusan butir material akibat dari tumbukan partikel sehingga tidak dapat kembali seperti semula (*irreversible*).Proses *shot peening* pada permukaan spesimen mengakibatkan terjadinya*plastic deformation.* Permukaan spesimen terkikis akibat adanya penumbukan material abrasif (*steel ball*).Hal ini menyebabkan terbentuk sebuah puncak dan lembah pada permukaan spesimen. Semakin lama durasi waktuproses *shot peening* pada permukaan materialmaka besarnya perbedaan antara puncak dan lembah semakin menipis.Sehingga menyebabkan terjadinya pengecilan dan penghalusan butiran di sekitar permukaan akibat proses *shot peening*. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.6., tentang bagaimana proses *plastic deformasi* pada *shot peening*.