UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL..... i

HALAMAN PENGESAHAN..... ii

HALAMAN PERNYATAAN..... iii

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR/SKRIPSI..... iv

INTISARI..... v

KATA PENGANTAR.....vi

DAFTAR ISI..... viii

DAFTAR GAMBAR..... x

DAFTAR TABEL DAN LAMPIRAN..... xii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....xiii

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1.LatarBelakangMasalah..... 1
1.2.PerumusanMasalah..... 2
1.3.BatasanMasalah..... 3
1.4.TujuanPenelitian..... 3
1.5.ManfaatPenelitian..... 3

BAB II LANDASAN TEORI..... 4

2.1.PengaruhShotPeening..... 4
2.2.Hipotesis..... 11

BAB III TINJAUAN PUSTAKA..... 12

3.1.BajaTahanKarat.....12
3.2.KekasaranPermukaan.....13
3.3.KebasahanPermukaan..... 15
3.4.KekerasanMikro..... 17

BAB IV METODE PENELITIAN.....19

4.1.BahanPenelitian..... 19
4.2.AlatPenelitian..... 19

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.AlurPenelitian..... 22
4.3.1.PersiapanSampel..... 22
4.3.2.Perlakuan..... 22
4.3.3.Karakterisasi.....23
4.3.4.Kesulitandansolusi..... 25
4.3.5.DiagramAlirPenelitian..... 27

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN..... 28

5.1.KekerasanMikro..... 28
5.2.MorfologiPermukaan..... 30
5.3.KekasaranPermukaan..... 33
5.4.TingkatKebasahanPermukaan..... 34

BAB VIPENUTUP..... 37

6.1.Kesimpulan..... 37
6.2.Saran..... 37

DAFTARPUSTAKA..... 38

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur morfologi setelah *shot peening*..... 5
Gambar 2.2. Pengaruh dari *shot peening*terhadap ketahanan lelah..... 6
Gambar 2.3. Pengaruh durasi *shot peening*terhadap kekerasan permukaan... 6
Gambar 2.4. Pengaruh durasi *shot peening*terhadap kekerasan permukaan... 7
Gambar 2.5. Pengaruh penetrasi *shot peening*terhadap permukaan..... 8
Gambar 2.6. (a) Mikro struktur sampel sebelum di shot peening..... 8
Gambar 2.6. (b) Mikro struktur sampel setelah di shot peening..... 8
Gambar 2.7. (a) Data kekasaran sebelum dilakukan shot peening..... 9
Gambar 2.7. (b) Data kekasaran setelah *shot peening*selama 450 detik..... 9
Gambar 2.8. Gambar hasil SEM *(Scanning Electron Microscope)*..... 9
Gambar 3.1. (a) Mekanisme pengukuran kekasaran permukaan..... 14
Gambar 3.1. (b) Stylus yang bergerak pada permukaan material..... 14
Gambar 3.2. Bentuk tetesan cairan pada permukaan..... 16
Gambar 3.3. (a) Proses selama pembebanan berlangsung..... 17
Gambar 3.3. (b) Proses pembebanan selesai dan beban diangkat..... 17
Gambar 4.1. Skema Cara Kerja Shot Peening..... 20
Gambar 4.2. Diagram Alir Tahapan Eksperimen..... 27
Gambar 5.1. Hubungan antara kekerasan permukaan dan durasi shot peening..... 29
Gambar 5.2. (a) Struktur morfologi permukaan material baja tahan karat 316L tanpa perlakuan..... 32
Gambar 5.2. (b) Struktur morfologi permukaan material baja tahan karat 316L setelah *shot peening*5 menit..... 32
Gambar 5.2. (b) Struktur morfologi permukaan material baja tahan karat 316L setelah *shot peening*10 menit..... 32
Gambar 5.2. (b) Struktur morfologi permukaan material baja tahan karat 316L setelah *shot peening*15 menit..... 32
Gambar 5.2. (b) Struktur morfologi permukaan material baja tahan karat 316L setelah *shot peening*20 menit..... 32
Gambar 5.3. Hubungan durasi *shot peening*dan kekasaran permukaan material baja tahan karat 316L..... 34
Gambar 5.4. Perubahan sudut kontak dari masing-masing sampel setelah perlakuan shot peening..... 36

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi kimia baja tahan karat 316 dan 316L.....12
Tabel 3.2. Data sifat mekanis baja tahan karat 316 dan 316.....13
Tabel 3.3. Parameter nilai kekasaran permukaan.....15
Tabel 4.1. Konfigurasi Model Alat.....21
Tabel 4.2. *Experimental Condition*.....23

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SEM	= *Scanning Electron Microscope*
C	= Karbon
Mn	= Mangan
P	= Fosfor
S	= Sulfur
Si	= Silikon
Cr	= Chromium
Ni	= Nikel
Mo	= Molybdenum
N	= Nitrogen
Fe	= Besi
R_a	= nilai kekasaran rata-rata dari nilai absolut (µm)
y_i	= nilai absolut (µm)
R_v	= nilai kedalaman lembah maksimum (µm)
R_p	= nilai ketinggian puncak maksimum (µm)
R_{max}	= nilai ketinggian maksimum dari profil (µm)
θ	= sudut kontak permukaan (°)
H	= tinggi tetesan cairan (mm)
D	= lebar tetesan cairan (mm)
D1	= diagonal horizontal (µm)
D2	= diagonal vertikal (µm)
D av.	= diagonal rata-rata (µm)
VHN	= *Vickers Hardness Number* (MPa)
P	= beban dalam pengujian (N)
α	= sudut alat pembebanan (°)
gf	= *gram force*
FCC	= *face-centeredcubic*
BCC	= *body-centered cubic*

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plat osteosintesis merupakan alat bantu yang sering digunakan dalam operasi bedah tulang (Cervantes dkk., 2011). Plat ini berfungsi untuk memfiksasi dan merapatkan bagian-bagian yang patah sehingga penyembuhan tulang dapat terjadi dengan baik (Semih dkk., 2008). Fiksasi diperlukan untuk menjaga bagian tulang yang patah tetap pada posisi anatomis dan merapatkan bagian-bagian yang patah, dengan tujuan agar mempercepat penyembuhan tulang (Semih dkk., 2008). Pada proses penyambungan tulang patah plat osteosintesis digunakan bersamaan dengan sekrup untuk menjaga posisi plat osteosintesis tetap pada tempatnya (Fouad dkk., 2010).

Plat osteosintesis umumnya terbuat dari baja tahan karat dan paduan titanium (Fouad dkk., 2010). Implan tersebut dibuat dari lembaran titanium atau baja tahan karat dengan beberapa lubang untuk tempat pemasangan sekrup (Cervantes dkk., 2011). Jenis baja tahan karat yang digunakan sebagai bahan dasar plat osteosintesis adalah baja 316L (Azar dkk., 2010) dan 316LVM (Carreon dkk., 2011).

Plat osteosintesis yang dipasang ke tubuh pasien juga menopang bagian tubuh tersebut saat melakukan gerakan (Brunner dan Simpson, 1980). Beban berulang yang diterima oleh plat osteosintesis secara terus menerus dapat menyebabkan patah lelah (Brunner dan Simpson, 1980). Patah lelah biasanya diawali dengan pembentukan retak, yang kemudian diakhiri dengan patah langsung (Triantafyllidis dkk., 2007). Oleh karena itu, implan harus diperkuat agar ketahanan dan kekuatannya meningkat.

Ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk memperkuat dan meningkatkan ketahanan lelah baja 316L, seperti *deep rolling*, alloying, dan *mechanical surface treatment* (Scholtes, 2006). *Mechanical surface treatment* atau perlakuan mekanis permukaan sudah banyak dilakukan, contohnya seperti

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

surface mechanical attration treatment (Yun-Wei dkk., 2009), *sand blasting* (Jiang dkk., 2006), dan *shot peening* (Azar dkk., 2010). Pada prinsipnya perlakuan mekanis permukaan menggunakan tumbukan partikel pada permukaan benda kerja seperti halnya *shot peening* yang menggunakan penembakan permukaan material dengan media bulat yang disebut shot (Rios dkk., 1995).

Shot peening akan menyebabkan timbulnya cacat permukaan berupa bekas-bekas penembakan serta deformasi plastis permukaan, hal ini akan merubah kekasaran dan kekerasan permukaan (Rios dkk., 1995). Meski demikian banyak faktor lain yang perlu diperhatikan seperti tingkat kebasahan permukaan *(wettability)* dan morfologi permukaan.

Wettability dapat diartikan sebagai tingkat penyebaran cairan yang terjadi pada permukaan benda padat (Matthews dan Rawling, 1994). Tingkat kebasahan permukaan ini dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu permukaan hidrofobik dan hidrofilik.

Tingkat kebasahan permukaan sudah banyak dibahas pada penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya namun belum banyak berfokus pada efek *shot peening* terhadap tingkat kebasahan permukaan serta hubungannya dengan sifat-sifat permukaan, kekasaran, morfologi, sehingga dalam penelitian ini mencoba untuk mendiskusikan tentang efek *shot peening* terhadap sifat-sifat permukaan tadi, serta perubahan kekerasan yang terjadi untuk melihat perubahan sifat mekanis material.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan mencoba melihat sejauh apa pengaruh *shot peening* terhadap kekerasan, struktur morfologi, kekerasan permukaan, serta tingkat kebasahan permukaan baja 316L?

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan kepada perlakuan permukaan dengan variabel sebagai berikut :

1. Bahan baja tahan karat 316L
2. Perlakuan permukaan berupa *shot peening* dengan ukuran bola gotri 1/8”
3. Durasi *shot peening* masing-masing sampel sebesar 5,10,15, dan 20 menit
4. *Shot peening* dilakukan pada tekanan atmosfer (1 atm) dan temperatur ruang (25°C)

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Mengetahui pengaruh durasi *shot peening* terhadap kekerasan permukaan baja 316L
2. Mengetahui pengaruh durasi *shot peening* terhadap struktur morfologi permukaan baja 316L
3. Mengetahui pengaruh durasi *shot peening* terhadap kekasaran permukaan baja 316L
4. Mengetahui pengaruh durasi *shot peening* terhadap tingkat kebasahan permukaan permukaan baja 316L

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mendapatkan data karakteristik permukaan, morfologi, kekasaran, kekerasan dan kebasahan permukaan baja 316L akibat *shot peening*. Data tersebut berguna untuk proses desain dan fabrikasi plat osteosintesis.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II

LANDASAN TEORI

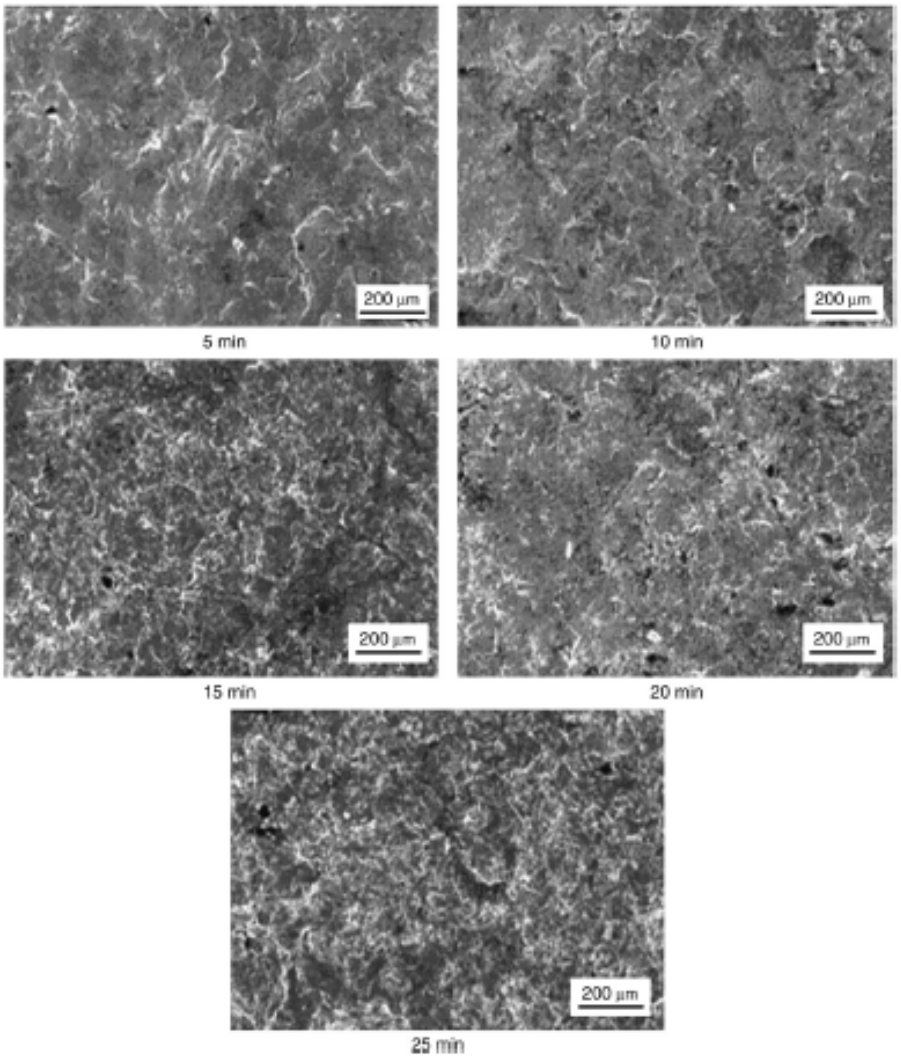
Shot peening dapat didefinisikan sebagai salah satu pengerjaan dingin (*cold working*) terhadap permukaan dari bagian mesin tertentu. Proses ini sangat berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan permukaan, terutama kekuatan lelah. Pada proses *shot peening* material ditabrak secara berkali-kali dengan material bulat yang disebut *shot*, biasa terbuat dari baja. Hasil dari tabrakan secara berulang ini akan menyebabkan bekas tumbukan di permukaan sehingga menyebabkan deformasi plastis di permukaan material. Pada perkembangannya *shot peening* digunakan secara luas pada pembentukan part otomotif seperti gigi roda dan pegas untuk meningkatkan ketahanan lelah (Harada dkk., 2006).

Penelitian *shot peening* sebenarnya sudah banyak dilakukan dengan material yang beraneka ragam, seperti titanium paduan (Fridrici dkk., 2001), baja tahan karat (Azar dkk., 2009) (Lee dkk., 2009) (Torres dan Voorwald, 2001) (Donzella dkk., 2011), aluminium (Wang dkk., 1996) . Material yang digunakan untuk menembak berupa bola baja dengan ukuran diameter 0,8 mm (Azar dkk., 2009), besi cor berdiameter 1-2 mm (Wang dkk., 1996), bola baja bearing dengan ukuran 50 mm dan 76,2 mm (Kobayashi dkk., 1997), bola baja dengan ukuran 0,7 mm (Torres dan Voorwald, 2001).

2.1 Pengaruh *shot peening*

Efek *shot peening* yang memanfaatkan tumbukan langsung terhadap partikel tentu akan berakibat pada perubahan permukaan. Perubahan yang terjadi diantaranya, perubahan struktur morfologi permukaan, ketahanan lelah, kekerasan dan kekasaran seperti yang diteliti oleh Azar dkk., (2010)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



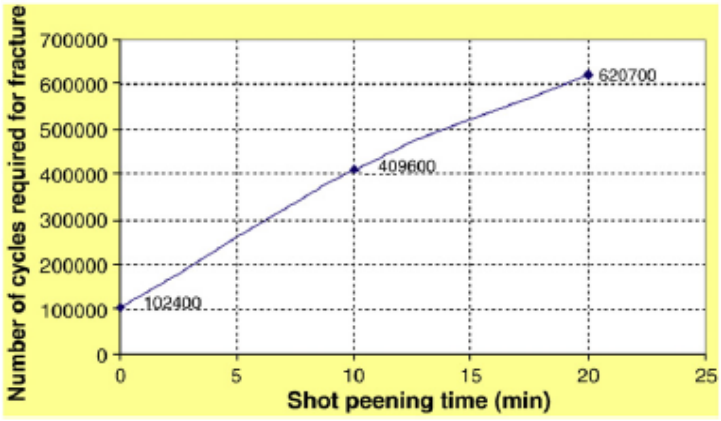
Gambar 2.1. Struktur morfologi setelah *shot peening* (Azar dkk., 2010)

Dapat dilihat pada *Gambar* 2.1 bahwa efek *shot peening* akan memecah lapisan permukaan material kemudian seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening*, akan bertambah pula pemerataan dan homogenitas permukaan.

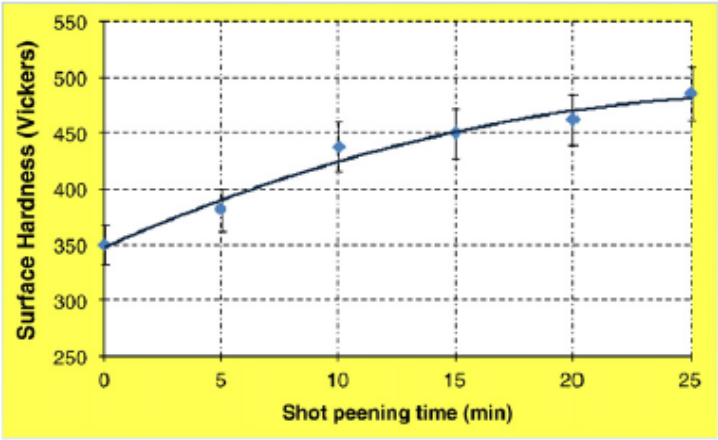
Pada penelitian Azar dkk., (2010), terlihat adanya pengaruh durasi *shot peening* terhadap ketahanan lelah yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya durasi, seperti yang ditunjukkan *Gambar* 2.2, begitu pula dengan kekerasan permukaan pada *Gambar* 2.3, sedangkan efek *shot peening* pada kekasaran permukaan mempunyai kerakteristik meningkatkan kekasaran sampai

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan waktu tertentu, kemudian kekasaran akan turun dengan perlahan seiring dengan bertambahnya durasi, seperti yang terlihat pada *Gambar* 2.4.

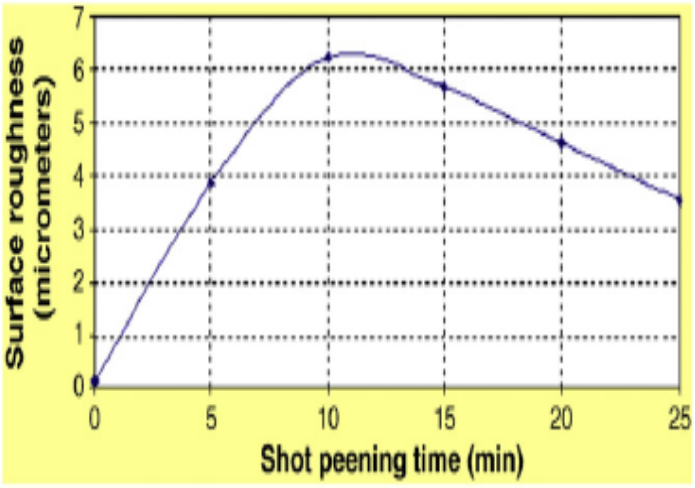


Gambar 2.2. Pengaruh dari *shot peening* terhadap ketahanan lelah (Azar dkk., 2010)



Gambar 2.3. Pengaruh durasi *shot peening* terhadap kekerasan permukaan (Azar dkk., 2010)

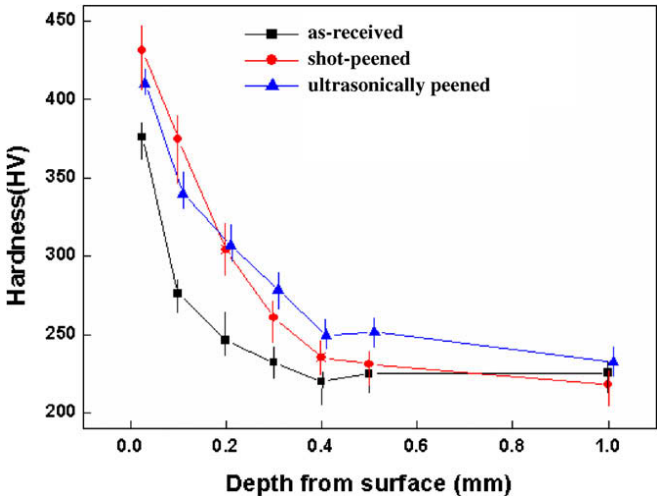
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



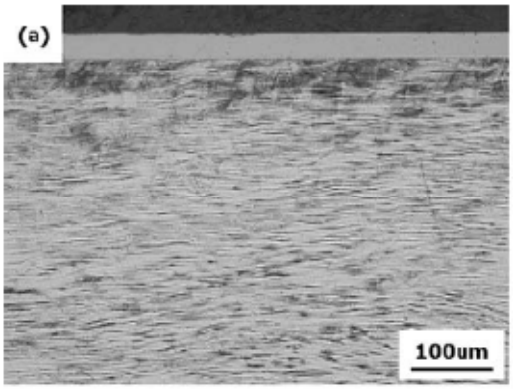
Gambar 2.4. Pengaruh durasi *shot peening* terhadap kekerasan permukaan (Azar dkk., 2010)

Penelitian yang dilakukan oleh Lee dkk (2009) menunjukkan adanya perubahan kekerasan serta struktur mikro permukaan material. Perubahan kekerasan yang terjadi terlihat sangat jelas pada permukaan kemudian menurun secara perlahan seiring dengan kedalaman permukaan, seperti yang ditunjukkan oleh *Gambar* 2.5. Perubahan lain seperti struktur mikro yang diakibatan adanya *shot peening* ditunjukkan pada *Gambar* 2.6 (b) juga menunjukkan adanya tambahan bekas goresan dibanding dengan sampel tanpa perlakuan pada *Gambar* 2.6 (a).

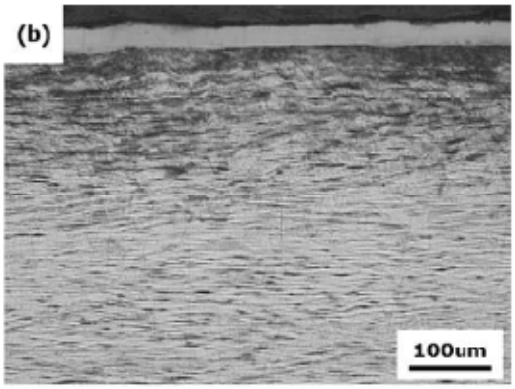
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.5. Pengaruh penetrasi *shot peening* terhadap permukaan (Lee dkk., 2009)

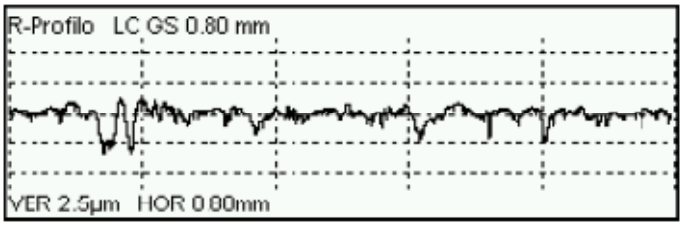


Gambar 2.6. (a) Mikro struktur sampel sebelum di *shot peening* (Lee dkk., 2009)

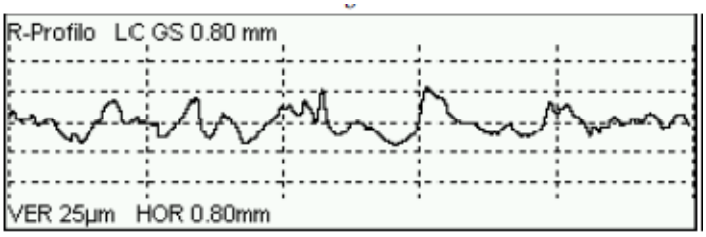


Gambar 2.6. (b). Mikro struktur sampel setelah di *shot peening* (Lee dkk., 2009)

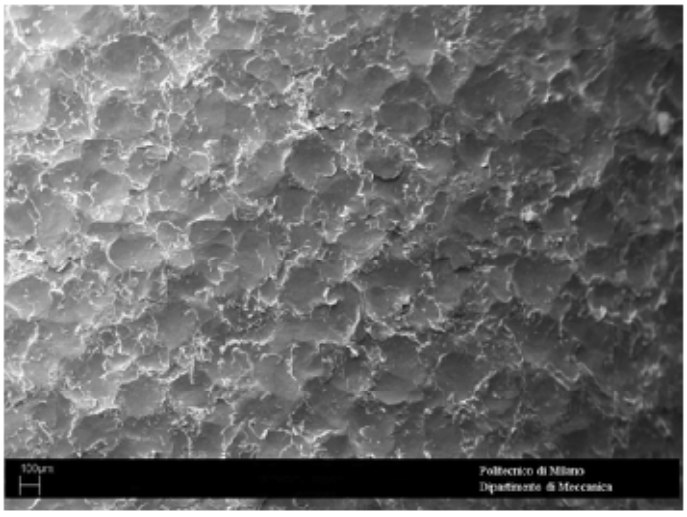
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.7. (a) Data kekasaran sebelum dilakukan *shot peening*
(Bagherifard dkk., 2010)



Gambar 2.7. (b) Data kekasaran setelah *shot peening* selama 450 detik
(Bagherifard dkk., 2010)



Gambar 2.8. *Gambar* hasil SEM *(Scanning Electron Microscope)*
(Bagherifard dkk., 2010)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian tentang perubahan kekasaran juga dilaporkan pada penelitian Bagherifard dkk (2010). Pada penelitian tersebut, pengukuran kekasaran yang dilakukan untuk membandingkan antara kekasaran material sebelum dan setelah *shot peening*. Terlihat dari *Gambar* 2.7 (a) bahwa *Gambar*an struktur yang ada adalah celah-celah kecil di permukaan dengan jarak puncak dan lembah yang tidak terlalu besar, hal ini berlawanan dengan *Gambar* 2.7 (b), dimana material sudah mengalami *shot peening* terlihat adanya perbesaran jarak puncak dan lembah serta celah-celah kecil tadi terdeformasi. Sedangkan pada hasil SEM pada *Gambar* 2.8 sangat terlihat adanya bekas indentasi atau bekas tumbukan oleh material *shot peening* berupa lekukan ke dalam material.

Perlakuan permukaan seperti *shot peening* seperti yang dijelaskan sebelumnya, dapat meningkatkan kekerasan permukaan material serta ketahanan lelah. Dalam penelitian Azar, disebutkan bahwa *shot peening* adalah metode yang tepat untuk menghasilkan tegangan tekan sisa permukaan dan meningkatkan ketahanan lelah. Perubahan permukaan yang dihasilkan oleh *shot peening* adalah pengkasaran permukaan, pengerasan permukaan terhadap tegangan tarik, dan peningkatan karakteristik permukaan terhadap tegangan tekan sisa. Pengkasaran permukaan akan mengakibatkan percepatan pengintian (nukleasi) dan pencegahan awal dari retak, pengerasan terhadap tegangan tarik akan memperlambat pembentukan retak dengan cara meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis dan peningkatan karakteristik permukaan terhadap tegangan tekan sisa akan mendukung terjadinya tegangan untuk menutup retak yang sesuai sehingga menurunkan gaya dorong untuk pembentukan retak (Mahagaonkar dkk., 2008.). Dalam beberapa kasus, juga disebutkan bahwa adanya cacat di lapisan permukaan dalam jumlah besar akibat penumbukan oleh *shot peening* akan mengubah struktur mikro permukaan menjadi butir kristal berukuran nano (Hassani-Gangaraj dkk., 2011).

Sementara Lee (2009) menyebutkan bahwa mekanisme yang terjadi pada *shot peening* adalah ketika bola untuk *shot peening* menabrak permukaan logam, energi kinetic bola tersebut akan meningkatkan deformasi plastis yang parah serta

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L**
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tegangan tekan sisa pada permukaan, sehingga hal ini akan meningkatkan ketahanan aus dan lelah.

2.2 Hipotesis

Seperti yang ditunjukkan oleh penelitian-penelitian sebelumnya maka dapat ditarik sebuah hipotesis bahwa *shot peening* akan meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan lelah secara signifikan serta merubah morfologi permukaan yang pada akhirnya akan merubah kekasaran permukaan serta tingkat kebasahan permukaan.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.1. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat merupakan baja paduan dengan chromium dan nikel untuk mendapatkan ketahanan korosi yang lebih tinggi dari baja biasa (Data Sheet AK Steel, 2007). Pada perkembangannya, baja tahan karat ini dibuat dengan berbagai macam tipe yang berbeda-beda komposisi kimianya, tergantung dari penggunaanya. Salah satu contoh tipe baja tahan karat adalah 316 dan 316L. Baja tahan karat 316 adalah tipe baja austenite yang dipadukan dengan chromium, nikel, dan molybdenum. Sedangkan baja 316L merupakan varian baja 316, penambahan huruf L pada baja tersebut menandakan rendahnya unsur karbon yang terkandung di dalam baja tersebut. Menurut data sheet yang dirilis oleh AK steel tahun 2007, komposisi kimia dalam satuan % berat baja tahan karat 316 dan 316L adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1. Komposisi kimia baja tahan karat 316 dan 316L (AK Steel, 2007)

Unsur	Tipe 316 (%. W.t)	Tipe 316L (%. W.t)
Karbon (C)	max. 0,08	max. 0,03
Mangan (Mn)	max. 2,00	max. 2,00
Fosfor (P)	max. 0,045	max. 0,045
Sulfur (S)	max. 0,030	max. 0,030
Silikon (Si)	max. 0,75	max. 0,75
Kromium (Cr)	16,00-18,00	16,00-18,00
Nikel (Ni)	10,00-14,00	10,00-14,00
Molybdenum (Mo)	2,00-3,00	2,00-3,00
Nitrogen (N)	max. 0,10	max. 0,10
Besi (Fe)	disesuaikan	disesuaikan

Sedangkan sifat mekanisnya adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2. Data sifat mekanis baja tahan karat 316 dan 316L (AK Steel, 2007)

Tipe	Ultimate Tensile Strength (MPa)	0,2% Yield Strength (MPa)	Perpanjangan %	Kekerasan Rockwell
316	579	290	50	B79
316L	558	290	50	B79

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

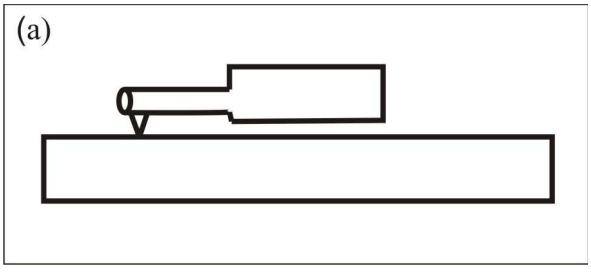
Dalam industri baja tahan karat 316L banyak digunakan dalam bagian dapur pengecoran baja, penukar panas *(heat exchanger),* bagian pesawat jet, serta peralatan farmasi dan fotografi, dan terutama digunakan pada lingkungan kerja yang membutuhkan ketahanan korosi tinggi (Data Sheet AK Steel, 2007).

3.2. Kekasaran Permukaan

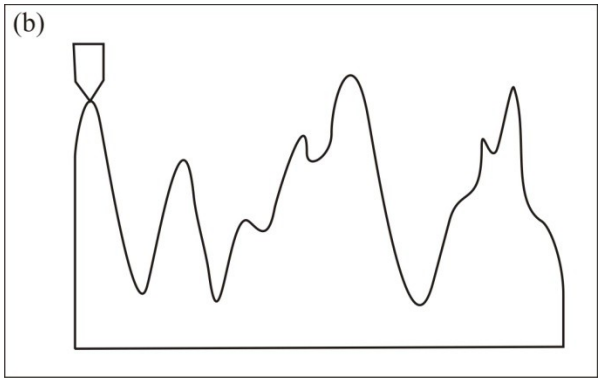
Kekasaran permukaan perlu dilakukan karena merupakan ukuran tekstur permukaan dari suatu material. Kekasaran dihitung berdasarkan simpangan/deviasi permukaan real dari bentuk permukaan ideal. Jika simpangan yang terjadi pada pengukuran maka permukaan itu mempunyai tekstur yang tidak beraturan serta mempunyai kekasaran yang tinggi, begitu pula sebaliknya jika simpangannya kecil maka material memiliki permukaan yang halus.

Kekasaran mempunyai peranan penting dalam menentukan baik tidaknya sebuah material berinteraksi dengan lingkungan atau material lain. Interaksi ini juga termasuk didalamnya perlekatan protein dan mikroorganisme terhadap material tersebut, yang secara tidak langsung dipengaruhi tingkat kebasahan permukaan material tersebut.

Metode pengukuran tingkat kekasaran sudah banyak dilakukan, salah satu yang paling sering digunakan adalah dengan metode kontak. Metode kontak menggunakan jarum yang sangat kecil dan tipis yang biasa disebut dengan *stylus*. Mekanisme kerja stylus ditunjukkan dengan Gambar 3.1 (a) dan (b). Pemegang stylus atau yang biasa disebut dengan head akan bergerak secara horizontal searah permukaan material. Stylus ini kemudian akan bergerak naik turun mengikuti kontur permukaan material. Data pergerakan ini kemudian akan diolah menjadi data digital yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan material tersebut.



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.1 (a) Mekanisme pengukuran kekasaran permukaan
(b) Stylus yang bergerak pada permukaan material

Nilai kekasaran diperoleh dengan penghitungan ketinggian titik pada profil permukaan. Ra merupakan salah satu parameter kekasaran yang paling sering digunakan. Nilai Ra sendiri merupakan nilai rata-rata absolut dari ketinggian tiap titik pada profil permukaan yang akan dihitung dengan rumus tertentu. Selain Ra, terdapat beberapa parameter lain yang dapat digunakan untuk membantu melihat kekasaran permukaan seperti Rmax. Keterangan dan rumus parameter kekasraan akan dijelaskan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Parameter nilai kekasaran permukaan

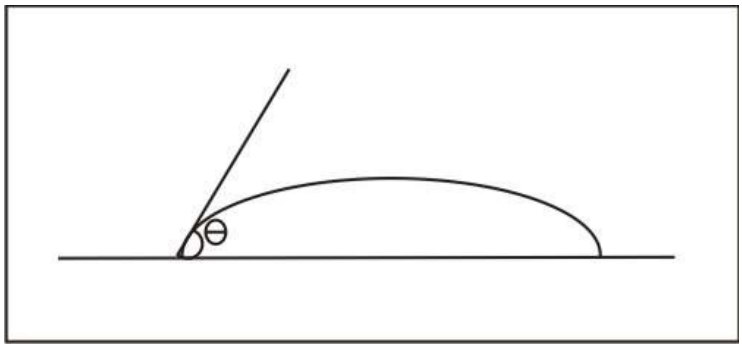
Parameter	**Deskripsi Kekasaran**	**Formula**
R_a	Rata-rata dari nilai absolut	$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lvert y_i \rvert$
R_v	Kedalaman lembah maksimum	$R_v = \min_i y_i$
R_p	Ketinggian puncak maksimum	$R_p = \max_i y_i$
R_{max}	Ketinggian maksimum dari profil	$R_t = R_p - R_v$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3. Kebasahan Permukaan (Wetability)

Kebasahan permukaan dapat diartikan sebagai kemampuan permukaan untuk dibasahi. Kemampuan ini secara tidak langsung akan melihat kemampuan mikroorganisme untuk melekat pada permukaan suatu material. Tingkat kebasahan permukaan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kekasaran permukaan dan morfologi permukaan.

Untuk menentukan kemampuan permukaan untuk dibasahi maka dibutuhkan suatu persamaan untuk melihat kemampuan melekat cairan ketika menempel pada material tersebut. Untuk memperjelas hasil tetesan cairan pada permukaan material akan dijelaskan dengan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bentuk tetesan cairan pada permukaan

Melalui gambar ini, kita akan menentukan besar sudut kontak (θ), besar sudut kontak ini dihitung berdasarkan lebar (D), serta tinggi (H) tetesan tersebut dengan rumus penghitungan sebagai berikut :

Dimana = besar sudut kontak permukaan (°)

D = lebar cairan (mm)

H = tinggi cairan (mm)

Dari Persamaan (1) ini maka bisa ditentukan apakah permukaan material tersebut bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Untuk air, permukaan hidrofobik berarti permukaan tersebut mudah untuk dibasahi atau air melekat dengan baik

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L**
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sedangkan untuk permukaan hidrofilik berarti permukaan tersebut sulit untuk dibasahi dan air kurang melekat dengan baik.

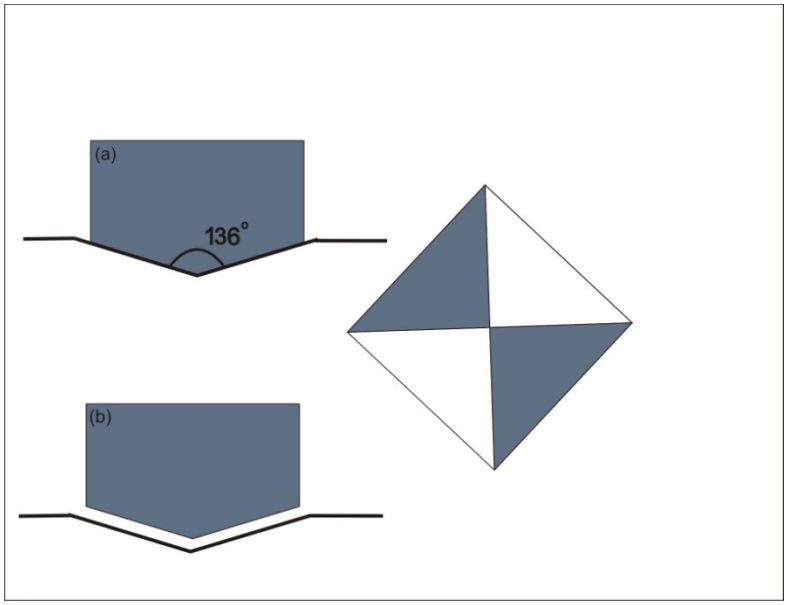
Sudut kontak yang besarnya kurang dari 90° menunjukkan bahwa pembasahan permukaan sangat baik dan cairan akan menyebar luas di permukaan material sedangkan bila nilainya lebih dari 90° menunjukkan bahwa permukaan tersebut sulit untuk dilekati cairan dan akan meminimalisir kontak dengan permukaan.

3.4. Kekerasan mikro (*Micro Hardness*)

Kekerasan permukaan seperti yang disebutkan sebelumnya akan menghambat terjadi retak serta meningkatkan ketahanan lelah bahan sehingga meminimalisir kemungkinan patah pada implan, khususnya implan yang mengalami beban berulang. Dengan adanya data kekerasan permukaan ini, akan terlihat seberapa besar perubahan kekerasan terhadap durasi *shot peening* yang dilakukan dan seberapa jauh penetrasi *shot peening* yang dilakukan.

Pada pengujian kekerasan mikro, akan dilakukan pembebanan pada material selama jangka waktu tertentu dengan menggunakan mata intan bersudut 136°. Hasil dari pembebanan ini berupa bekas indentasi bebentuk belah ketupat, yang merupakan hasil deformasi plastis akibat pembebanan selama jangka waktu tertentu. Belah ketupat ini kemudian diukur besar diagonalnya, baik yang melintang maupun yang membujur. Proses pembebanan dijelaskan oleh Gambar 3.3.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3.3 (a) Proses selama pembebanan berlangsung
(b) Proses pembebanan selesai dan beban diangkat

Setelah data diagonal horizontal (D1) dan vertikal (D2) kita dapatkan maka kita akan menghitung besarnya diagonal rata-rata (D.av) dengan rumus = (D1+D2)/2. Data diagonal rata-rata ini akan digunakan untuk menghitung kekerasan mikro dengan Persamaan (2)

Dimana VHN = *Vickers Hardness Number* atau nilai kekerasan mikro (MPa)
P = beban yang digunakan dalam pengujian (N)
α = sudut alat pembebanan (136°)
D.av = diagonal rata-rata (μm)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.1. **Bahan Penelitian**

Pada penelitian ini bahan yang digunakan :

- Baja tahan karat 316L sebagai material yang diteliti
- Alkohol untuk membersihkan sampel
- Resin untuk mempermudah pemegangan sampel saat dilakukan pengamplasan
- Kertas amplas untuk menghaluskan sampel yang telah diresin
- Gotri sebagai bahan *shot*
- Lilin malam untuk menyeimbangkan posisi sampel ketika dilakukan pengujian kekasaran
- *Double Tape* untuk menahan sampel di kontainer agar tidak bergeser saat dilakukan penembakan
- Kain beludru untuk penghalusan lanjutan
- Pasta Autosol untuk memoles logam

4.2. **Alat Penelitian**

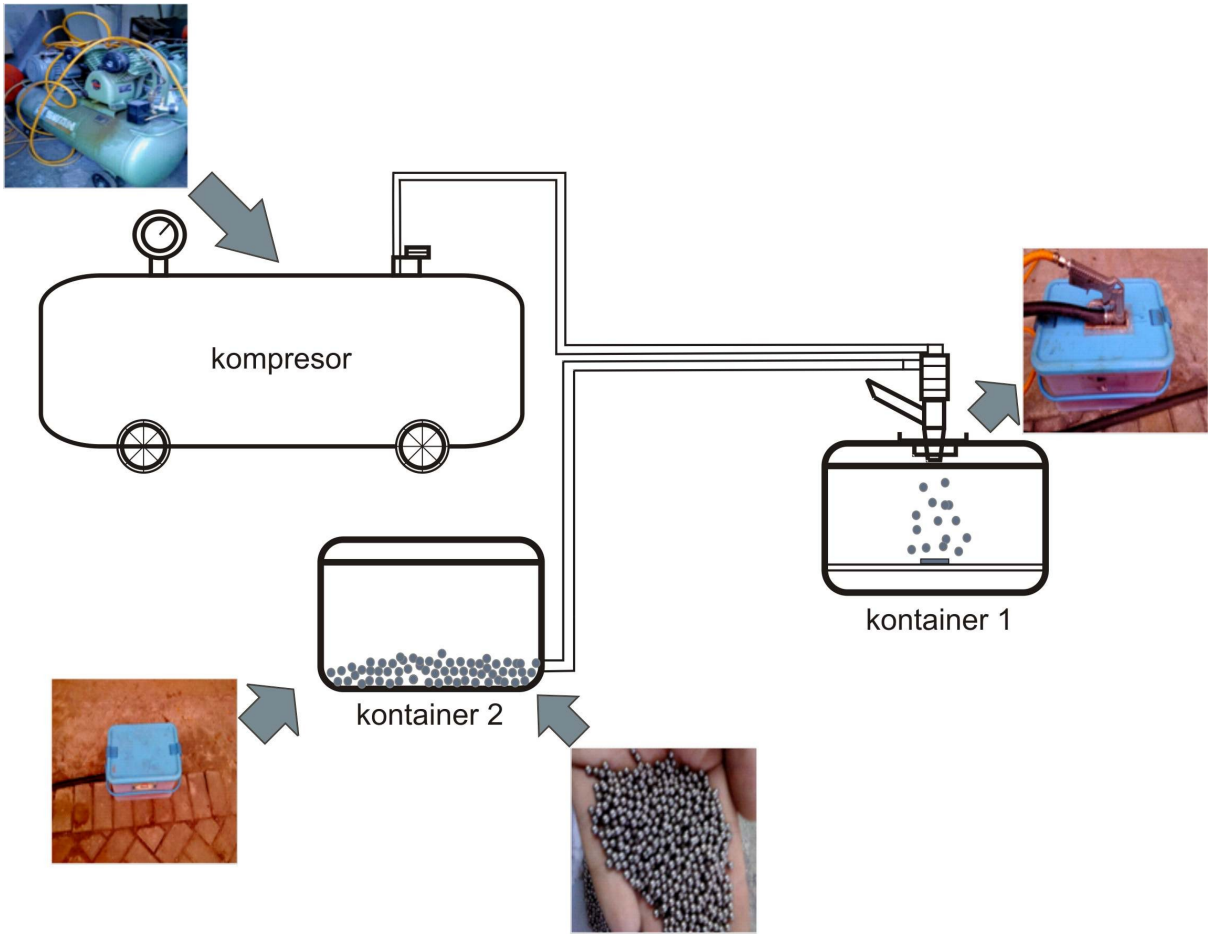
Penelitian ini menggunakan alat :

- Gergaji untuk memotong sampel
- Kontainer untuk meletakkan sampel serta menaruh gotri
- 3 buah kompresor sebagai sumber udara bertekanan
- *Nozel* sebagai ujung keluaran udara bertekanan
- Selang untuk menghubungkan kontainer 1 yang berisi sampel dengan kontainer 2 berisi gotri
- Palu untuk memecahkan resin
- Alat uji kekasaran Surface Texture Measuring Instrument Surfcom 120 A
- Kamera digital untuk mengambil Gambar tetesan cairan pada pengujian tingkat kebasahan permukaan
- Jarum suntik untuk menyuntikan cairan pada pengujian tingkat kebasahan permukaan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Alat uji kekerasan mikro BUEHLER

Untuk memperjelas mekanisme *shot peening*, berikut skema alat yang digunakan untuk melakukan *shot peening* :



Gambar 4.1. Skema Cara Kerja *Shot peening*

Gotri yang digunakan berdiameter 3,18 mm terbuat dari baja tahan karat. Gotri-gotri kemudian dimasukkan ke dalam container yang memiliki sambungan selang ke bagian nozel kompresor. Ujung nozel kemudian diarahkan ke material yang ingin ditembakan gotri dengan dudukan agar penembakkan tegak lurus. Jarak ujung nozel terhadap sampel sebesar 8 cm. Material dan dudukan diletakkan dalam kontainer yang berbeda agar gotri yang telah ditembakkan tidak disirkulasikan secara langsung.

Tabel 4.1. Konfigurasi Model Alat

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Parameter	Keterangan
Diameter nozel (mm)	15
Diameter selang (mm)	20
Diameter gotri (mm)	3,18
Jarak Penembakan (mm)	80
Material Uji	Baja Tahan Karat 316L

Tiga kompresor digunakan dalam penelitian ini, dimana kompresor satu dengan yang lain saling terhubung agar pengisian tekanan lebih cepat. Ujung kompresor yang terhubung dengan nozel kemudian ditambahkan dengan selang untuk menyedot gotri. Ujung nozel kemudian dipasangkan dengan dudukan khusus yang terbuat dari acrylic, tujuannya agar penembakan yang dilakukan tegak lurus benda uji.

Gotri yang sudah dimasukkan ke dalam kontainer akan dihubungkan dengan ujung nozel kompresor melalui selang sementara material uji diletakkan di dalam container yang lain dan direkatkan dengan double tape agar tidak bergerak saat dilakukan penembakan. Untuk penjelasan dapat menggunakan Gambar 4.1.

4.3. **Alur Penelitian**

Dalam penelitian tahapan-tahapan yang ada dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

4.3.1 Persiapan Sampel

Persiapan sampel dimulai dengan memotong material baja tahan karat 316L menjadi bagian kecil berukuran 20 mm x 20 mm x 3 mm dan dicuci dengan alkohol 70% untuk membersihkan sampel. Material yang kita siapkan dalam penelitian ini sebanyak 5 buah. Material kemudian diresin untuk memudahkan dalam melakukan pengamplasan. Dalam melakukan pengamplasan, kami menggunakan kertas amplas dengan ukuran 100, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000 untuk mendapatkan tingkat kekasaran sebesar 0,04 μm. Sesudah mendapatkan kekasaran sebesar 0,04 μm resin kemudian dipecah kemudian material siap untuk di *shot peening*.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.2 Perlakuan

Perlakuan yang dilakukan adalah *shot peening* dengan durasi masing-masing 0, 5, 10, 15, 20 menit. Dalam melakukan *shot peening* kami menggunakan gotri yang terbuat dari baja tahan karat. Gotri adalah bola baja yang biasa terdapat pada bantalan atau *bearing* motor, mobil ataupun sepeda.

Pada saat melakukan penembakan, material dan gotri diletakkan dalam alat *shot peening* yang terdiri atas dua kontainer yang berbeda sebelum dilakukan penembakan, sementara kontainer yang berisi gotri dihubungkan dengan selang yang kemudian terhubung dengan nozel sehingga ketika dilakukan penembakan, gotri akan ikut bersama udara bertekanan langsung menumbuk material.

Pada proses penembakan berlangsung, tekanan kompresor dijaga agar tetap pada kisaran 0,5 MPa sampai 0,8 MPa, dan suhu ruangan sekitar 25 - 27°C. Penembakan dilakukan selama 1 menit kemudian ditunggu sampai tekanan kompresor cukup kemudian dilakukan penembakan lagi. Pencatatan waktu penembakan dilakukan dengan bantuan stopwatch.

Tabel 4.2. *Experimental Condition*

Parameter	**Keterangan**
Tekanan (MPa)	0,5 - 0,8
Temperatur (°C)	Suhu ruangan, 25 - 27° C
Durasi penembakan (menit)	0, 5, 10, 15, 20

4.3.3 Karakterisasi

Karakterisasi pada penelitian ini dibagi menjadi :

1. Uji kekasaran

   Uji kekasaran dilakukan dengan bantuan alat Surface Texture Measuring Instrument Surfcom 120 A. Pada prinsipnya alat ini menggunakan pengukuran dengan stylus yang digerakkan menyusuri permukaan sampel. Stylus sensitif yang ada pada alat tersebut akan mengikuti kontur

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

permukaan material sehingga akan terlihat adanya ketidakmerataan pada material. Hasil dari pengujian permukaan ini adalah R_a, yang mewakili kekasaran permukaan dalam pengujian ini. Data R_a yang sudah didapat kemudian diolah dengan bantuan software Microsoft Excel sehingga didapatkan data kekasaran rata-rata, perubahan kekasaran, serta grafik hubungan antara kekasaran rata-rata dengan durasi *shot peening*.

2. Morfologi permukaan

   Dalam pengujian morfologi permukaan, kami menggunakan mikroskop. Mikroskop ini menggunakan cahaya lampu led sebagai sumber cahaya yang kemudian digunakan untuk mengambil Gambaran awal dari morfologi permukaan. Dengan menggunakan perbesaran 50 kali, bentuk kasar permukaan serta bekas penembakan akibat *shot peening* sudah dapat dilihat. Pengujian morfologi digunakan untuk melihat Gambaran awal mengenai bentuk permukaan material setelah adanya penembakan.

3. Tingkat kebasahan permukaan (*wetability*)

   Pengujian kebasahan permukaan menggunakan alat bantu berupa alat suntik yang berisi aquades, dimana alat suntik ini sudah dimounting pada suatu struktur sehingga ujung alat suntik tersebut letaknya berada diatas sampel, serta kamera beresolusi tinggi untuk menangkap Gambar tetesan air pada sampel. Pengujian diawali dengan peletakan sampel dibawah alat suntik kemudian dengan perlahan alat suntik ditekan sehingga aquades yang keluar dari alat suntik berupa tetesan tunggal. Setelah tetesan air tersebut menempel di permukaan sampel, kemudian pengambilan Gambar dilakukan dengan kamera. Gambar ini kemudian akan diolah menggunakan bantuan software Phantom 630 untuk melihat ukuran lebar dan tinggi dari tetesan air. Data-data ini kemudian dihitung dengan rumus tertentu untuk mendapatkan sudut kontak dan grafik perubahannya dari permukaan sampel. Penghitungan ini menggunakan bantuan software Microsoft Excel.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. Kekerasan mikro (*micro hardness*)

Pengujian kekerasan mikro menggunakan bantuan alat uji BUEHLER High Quality Hardness Tester. Dalam pengujian ini, lebih ditekankan kepada penetrasi *shot peening* terhadap sampel. Persiapan yang perlu dilakukan pada pengujian ini adalah dengan memotong sampel utuh berukuran 20 mm x 20 mm x 3 mm menjadi 2 bagian sama besar, kemudian bagian yang dipotong tadi diresin dengan penampang membujur dari sampel terlihat. Sampel kemudian diamplas lagi dengan ukuran kertas amplas 100, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000 lalu ditambahkan penghalusan dengan kain beludru serta pasta penghalus logam Autosol untuk menghasilkan permukaan mengkilat dari sampel. Setelah sampel mengkilat, kemudian diletakkan pada mikroskop untuk dilakukan pembebanan dan pengamatan bekas indentasi. Jarak awal yang digunakan pada pembebanan adalah sebesar 100 µm dari ujung sampel kemudian jarak antar pembebanan adalah 50 µm. Beban yang digunakan sebesar 500gf (*gram force*) selama 15 detik. Setelah pembebanan selesai, pengamatan dilanjutkan dengan mengukur diameter bekas indentasi yang kemudian data ini dicatat, lalu dilanjutkan dengan pembebanan lagi dengan pergeseran dari pembebanan sebelumnya ke arah vertikal sebesar 50 µm, data terus diambil sebanyak 30 kali, lalu diulang lagi dari jarak 100 µm dari pinggir sampel. Data yang terkumpul kemudian akan diolah dengan bantuan software Microsoft Excel untuk memudahkan dalam penghitungan dan pembuatan grafik mengenai nilai kekerasan dan penetrasi *shot peening* terhadap permukaan sampel.

4.4. **Kesulitan dan Solusi**

Kesulitan yang dialami dalam penelitian ini diantaranya :

- Kesulitan dalam melakukan pengamplasan karena butuh pengalaman untuk melakukan hal ini

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Pengaliran gotri yang kurang lancar dalam kontainer sehingga perlu dorongan untuk aliran gotri
- Sampel menjadi lengkung setelah adanya perlakuan *shot peening* sehingga terjadi kesulitan saat dilakukan pengujian kekasaran
- Alat uji kebasahan permukaan yang kurang fleksibel sehingga pengambilan Gambar kurang maksimal
- Pemasangan sampel untuk uji kekerasan mikro yang harus benar-benar tegak lurus

Sedangkan solusi untuk masalah ini :

- Latihan yang cukup dalam melakukan pengamplasan sehingga pengamplasan yang dilakukan benar-benar tegak lurus
- Perlu adanya kontainer yang dipasang miring agar aliran gotri lebih lancar serta pemasangan lubang selang di sudut kontainer sehingga gotri yang biasanya berkumpul di sudut kontainer akan langsung terhisap oleh udara bertekanan
- Perlu ditambahkan lilin malam untuk menyangga sampel saat dilakukan pengukuran kekasaran
- Perlu adanya pembuatan struktur yang lebih fleksibel untuk menggeser kaca pembesar sehingga proses pengambilan Gambar lebih lancar
- Perlu dilakukan pengamplasan serta pengikiran permukaan yang akan diuji kekerasan mikro agar saat diresin permukaan tersebut benar-benar rata

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5. **Diagram Alir**

YA YA

Gambar 4.2. Diagram Alir Tahapan Eksperimen

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arman Sani, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1 Kekerasan Mikro

Dari Gambar 5.1, kekerasan permukaan naik secara drastis. Kekerasan permukaan meningkat secara drastis pada durasi *shot peening* 5 menit, yang sebelumnya berada di kisaran 1,6 GPa menjadi 3,1 GPa, kekerasan ini terus bertambah seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening*. Gambar ini juga memperlihatkan pengaruh durasi *shot peening* terhadap kedalaman material, seperti yang terlihat pada durasi 5 menit dan 10 menit, dengan jarak yang sama, yaitu 1550 μm dari permukaan, nilai kekerasan material dengan durasi perlakuan 10 menit akan lebih tinggi dibanding dengan durasi 5 menit, begitu pula nilai kekerasan pada jarak yang sama durasi 15 menit akan lebih tinggi dan nilai kekerasan dengan durasi 20 menit lebih tinggi lagi. Hal ini menandakan bahwa energi tumbukan oleh *shot peening* akan masuk ke bagian dalam permukaan dan efek energi tumbukan ini terhadap kedalaman akan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening*.

Gambar 5.1. Hubungan antara kekerasan permukaan dan durasi *shot peening*

Hal ini sesuai dengan penelitian, yang sebelumnya dilakukan oleh Azar dkk., (2010), Lee dkk., (2009), Roland dkk., (2006), menyatakan bahwa kekerasan permukaan material akan naik secara drastis akibat perlakuan permukaan *shot peening*. Azar dkk., (2010) menyatakan bahwa peningkatan kekerasan ini akibat adanya peningkatan kerapatan dislokasi antara dua batas butir menyebabkan perlambatan gerak dari dislokasi tersebut sehingga pengerasan lapisan permukaan meningkat serta seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening* maka pengerasan permukaan semakin besar dan deformasi plastis menjadi semakin sulit. Penelitian Lee dkk., (2009) menunjukkan peningkatan kekerasan akibat *shot peening* adalah akibat pemecahan butiran permukaan sehingga menyebabkan perubahan mikrostruktur serta orientasi butiran yang mengakibatkan perubahan kekerasan permukaan material. Roland dkk., (2006) melihat bahwa perubahan mikrostruktur material berupa butiran kristal ukuran nano pada permukaan akibat *shot peening* yang menunjukkan kehadiran struktur FCC (*face-centered cubic*) dan BCC (*body-centered cubic*).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perubahan mikrostruktur permukaan yang terjadi akibat *shot peening* pada dasarnya adalah pengecilan ukuran butir menjadi ukuran nano sehingga menyebabkan perubahan batas butir serta energi batas butir yang berakibat pada pencegahan dari pergerakan tiap-tiap butiran tersebut Callister (2003). Pergerakan tiap butiran yang semakin kecil menyebabkan deformasi plastis semakin sulit terjadi sehingga kekerasan akan meningkat.

5.2 Morfologi Permukaan

Gambar 5.2 (a) sampai Gambar 5.2 (e) menunjukkan perubahan morfologi permukaan dari material akibat *shot peening* dengan durasi yang berbeda-beda. Pada Gambar 5.2 (a) terlihat adanya bekas garis-garis memanjang, ini merupakan bekas pengamplasan yang dilakukan sebelumnya.

Keadaan permukaan yang terdiri dari garis-garis memanjang ini berubah secara drastis setelah adanya perlakuan *shot peening* selama 5 menit, seperti yang ditunjukkan Gambar 5.2 (b). Bekas indentasi akibat tumbukan langsung material *shot* sangat jelas terlihat setelah adanya perlakuan *shot peening*. Bekas tersebut sesuai dengan bentuk *shot*, yaitu bulat. Keadaan permukaan yang seperti ini mengalami perubahan lagi setelah bertambahnya durasi *shot peening*, seperti yang ditunjukkan Gambar 5.2 (c), yaitu durasi *shot peening* selama 10 menit. Dari Gambar 5.2 (c) terlihat dengan jelas bekas-bekas indentasi semakin mengecil namun jumlahnya makin banyak dan tersebar di seluruh permukaan sampel. Hal ini diakibatkan oleh penumbukan lanjutan akan mendeformasi bagian yang lebih menonjol di permukaan namun penyebaran penembakan akan semakin luas sehingga bagian yang belum terkena efek *shot peening* secara sempurna pada durasi 5 menit akan mengalami efek tersebut setelah durasi *shot peening* 10 menit. Keadaan ini terus berlanjut, seperti yang ditunjukan pada Gambar 5.2 (d) dimana Gambar tersebut memperlihatkan efek *shot peening* setelah 15 menit, namun pada Gambar terlihat bekas indentasi yang semakin kecil dan sedikit serta penyebaran yang makin merata, begitu pula pada Gambar 5.2 (e) yang menunjukan hasil *shot peening* selama 20 menit, terlihat bahwa bekas indentasi tersebut semakin sedikit. Hasil ini secara tidak langsung juga merepresentasikan kekasaran permukaan yang

EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

semakin menurun karena bekas indentasi yang ada pada permukaan akan menyebabkan simpangan pada pengujian kekasaran, sehingga ketika bekas indentasi pada permukaan yang semakin sedikit ini berarti kekasaran permukaan akan semakin turun.

Pemerataan serta pengurangan bekas indentasi merupakan efek dari *shot peening* yang memecah lapisan permukaan material dan efek ini terus bertambah seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening* (Azar dkk., 2010)

(a) (b)

(c) (d)

EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

(e)

Gambar 5.2. Struktur morfologi permukaan material baja tahan karat 316L (a) tanpa perlakuan *shot peening*, (b) *shot peening* 5 menit, (c) 10 menit, (d) 15 menit, (e) 20 menit

5.3 Kekasaran Permukaan

Gambar 5.3 menunjukkan hasil perubahan kekasaran akibat *shot peening* dengan durasi yang berbeda-beda. Kekasaran sampel meningkat secara tajam dari sampel yang tidak mendapat perlakuan dengan nilai R_a rata-rata 0,04 µm menjadi 1,456 µm setelah adanya *shot peening* selama 5 menit. Hal ini disebabkan adanya tumbukan langsung dari *shot* terhadap permukaan material sehingga menimbulkan bekas indentasi dalam jumlah besar dan luas yang pada akhirnya menyebabkan permukaan material menjadi tidak rata.

Keadaan ini berubah seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening* seperti yang ditunjukkan Gambar 5.3. Terlihat dengan bertambahnya durasi *shot peening*, kekasaran permukaan justru semakin menurun mendekati nilai disekitar 0,1 µm. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Azar dkk (2010).

Penurunan kekasaran ini disebabkan adanya tumbukan tambahan yang mengenai permukaan sampel yang sudah di-*treatment* sehingga permukaan yang sebelumnya mempunyai banyak bekas indentasi akan berkurang sedikit demi sedikit. Tumbukan tambahan ini akan mengenai secara langsung bagian-bagian

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang lebih menonjol di permukaan sehingga akan mendeformasi bagian tersebut dan sebagai hasilnya permukaan material akan semakin halus.

Gambar 5.3. Hubungan durasi *shot peening* dan kekasaran permukaan material baja tahan karat 316L

5.4 Tingkat Kebasahan Permukaan

Tingkat kebasahan permukaan sangat dipengaruhi oleh sudut kontak dan melalui data sudut kontak dapat ditentukan apakah permukaan material ini bersifat hidrofilik atau hidrofobik. Hidrofilik adalah sifat permukaan yang memiliki sudut kontak kurang dari 90°, sedangkan hidropfobik adalah sifat permukaan dengan sudut kontak lebih dari 90° (Jiang dan Feng, 2010).

Pada Gambar 5.4, setelah dilakukan 5 kali percobaan untuk sampel tanpa perlakuan terlihat bahwa sudut kontak yang terlihat cenderung meningkat namun masih pada kisaran nilai sudut kontak (θ) sebesar 80° - 95°. Nilai rata-rata sudut kontak dari 5 kali percobaan seperti yang terlihat pada Gambar 5.4 untuk sampel 1 ini sebesar 88,9°, yang berarti permukaan yang halus karena tidak mengalami perlakuan *shot peening* akan cenderung hidrofilik sehingga penyebaran cairan pada permukaan sampel dinilai cukup baik.

Sudut kontak terlihat cenderung meningkat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4 untuk sampel dengan perlakuan *shot peening* selama 5 menit, dimana sudut kontak yang ada cenderung lebih besar dari sebelumnya, yaitu pada kisaran 91° - 97°. Dengan nilai rata-rata sudut kontak sebesar 92,9° ini berarti sampel setelah mengalami perlakuan *shot peening* selama 5 menit akan cenderung hidrofobik.

Hal ini terus berlangsung seiring dengan bertambahnya durasi *shot peening*. Terlihat pada perubahan yang terjadi untuk sampel dengan durasi *shot peening* masing-masing selama 10 dan 15 menit. Sudut kontak pada durasi 10 menit sekitar 97° - 101° dan nilai rata-rata sudut kontak sebesar 99,3°, sedangkan sudut kontak pada durasi 15 menit sekitar 99° - 102° dengan nilai rata-rata sudut kontak

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

101,1° yang berarti kedua sampel ini akan mempunyai permukaan yang cenderung hidrofobik.

Keadaan ini sedikit mengalami perubahan seperti pada sampel 5 yang mempunyai sudut kontak dengan kisaran 96° - 103°. Variasi sudut kontak pada sampel yang mengalami perlakuan *shot peening* selama 20 menit justru semakin beragam, serta sudut kontak rata-rata juga mengalami sedikit penurunan dibanding sebelumnya menjadi 100,6°, namun hal ini tidak berpengaruh besar karena permukaan sampel masih bersifat hidrofobik. Untuk memperjelas mengenai perubahan sudut kontak dari masing-masing sampel, dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Sifat permukaan setelah adanya perlakuan *shot peening* sangat terkait dengan kekasaran permukaan serta distribusi bentuk permukaan material (Azar dkk., 2010). Seperti yang disebutkan sebelumnya, bahwa perlakuan *shot peening* akan mengubah kekasaran permukaan serta meningkatkan distribusi bentuk permukaan material seiring dengan meningkatnya durasi *shot peening*.

Gambar 5.4. Perubahan sudut kontak dari masing-masing sampel setelah perlakuan *shot peening*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA
TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan permukaan shot peening dapat

1. Meningkatkan kekerasan permukaan menjadi hampir dua kali lipat dengan durasi selama 20 menit
2. Mengubah struktur morfologi permukaan menjadi lebih beragam dan merata setelah shot peening selama lebih dari 10 menit
3. Meningkatkan kekasaran permukaan secara signifikan namun turun secara perlahan ke suatu titik stagnasi , seiring dengan meratanya struktur morfologi permukaan
4. Mengubah sifat permukaan menjadi hidrofilik

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah perlu dilajutkan penelitian tentang seberapa jauh pengaruh durasi shot peening terhadap kekerasan permukaan karena pada penelitian ini terlihat perubahan secara signifikan namun belum terlihat titik stagnasi perubahannya, serta perlu diperhatikan juga perubahan ketahanan korosi serta perlakuan tambahan yang bisa merubah ketahanan korosi dari material setelah dilakukan perlakuan shot peening, mengingat tujuan penelitian ini adalah untuk keperluan medis.

Selain itu penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan merubah diameter gotri yang dipakai, mengingat ukuran gotri yang ada di pasaran beraneka ragam serta belum adanya penelitian yang berfokus pada perubahan yang terjadi terhadap ukuran gotri.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

AK Steel, 2007, Product Data Sheet, UNS S31600 AND UNS S31603.

Azar, V., Hashemi, B., Yazdi, Mahboobeh Rezaee., 2010, The Effect of Shot Peening on Fatigue and Corrosion Behavior of 316L Stainless Steel in Ringer's Solution, Surface & Coating Technology 204 (2010) 3546-3551.

Bagherifard, S., Fernandez Pariente, I., Ghelichi, R., Guagl, M., 2010, Fatigue Properties of Nanocrystallized Surfaces Obtained by High Energy Shot Peening, Procedia Engineering 2 (2010) 1683–1690.

Benli, S., Aksoy, S., Havitcioglu, H., Kucuk. M., 2008, Evaluation of Bone Plate With Low-Stiffness Material in Terms of Stress Distribution, Journal of Biomechanics 41 (2008) 3229-3235.

Brunner, H., Simpson, J.P., 1980, Fatigue Fracture of Bone Plates, Injury, 11,203-207.

Carreon, H., Barriuso, S., Barrera, G., Golzalez-Carrasco, J.L., Caballero, F.G., 2011, Assessment of Blasting Induced Effects on Medical 316LVM Stainless Steel by Contacting and Non-Contacting Thermoelectric Power Techniques, Surface & Coating Technology 206 (2012) 2941-2946.

Cervantes, T. M., Slocum Jr., Alexander H., Seldin, E. B., 2011, Design and Experimental Evaluation of Adjustable Bone Plates for Mandibular Fracture Fixation, Journal of Biomechanics 45 (2012) 172-178.

De los Rios, E.R., Walley, A., Milan, M.T., Hammersley, G., 1995, Shot-Peened Surfaces in A316 Stainless Steel, Int. J. Fatigue Vol. 17, No. 7, pp. 493-499, 1995.

Donzella, G., Gerosa, R., Petrogalli, C., Rivolta, B., Silva, G., Beretta, M., 2011, Evaluation of the Residual Stresses Induced by Shot Peening on Some Sintered Steels, Procedia Engineering 10 (2011) 3399–3404.

Fridrici, V., Fouvry, S., Kapsa, Ph., 2001, Effect of Shot Peening on the Fretting Wear of Ti–6Al–4V, Wear 250 (2001) 642–649.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Fouad, H., 2010, Assessment of Function-Graded Materials as Fracture Fixation Bone-Plates Under Combined Loading Conditions Using Finite Element Modelling, Medical Engineering & Physics 33 (2011) 456-463.

Gangaraj-Hassani, S.M., Guagliano, M., Farrahi, G.H., 2011, Finite Element Simulation of Shot Peening Coverage with the Special Attention on Surface Nanocrytallization, Procedia Engineering 10 (2011) 2464-2471.

Harada, Y., Mori, K., 2006, Effect of Processing Temperature on Warm Shot Peening of Spring Steel, Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 498–503.

Jiang, X.P., Wang, X.Y., Li, J.X., Li, D.Y., Man, C.S., Shepard, M.J., Zhai, T., 2006, Enhancement of Fatigue and Corrosion Properties of Pure Ti by Sandblasting, Materials Science and Engineering A 429 (2006) 30–35.

Jr, William D. Callister, 2003, Material Science and Engineering Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Kobayashi, M., Matsui, T., Murakami, Y., 1997, Mechanism of Creation of Compressive Residual Stress by Shot Peening**,** Int. J. Fatigue Vol. 20, No. 5, pp. 351–357.

Lee, H., Kim, D., Jung, J., Pyoun, Y., Shin, K., 2009, Influence of Peening on the Corrosion Properties of AISI 304 Stainless Steel, Corrosion Science 51 (2009) 2826–2830.

Mahagaonkar, S.B., Brahmankar, P.K., Seemikeri, C.Y., 2008, Effect on Fatigue Performance of Shot Peened Components: An Analysis Using DOE Technique, International Journal of Fatigue 31 (2009) 693-702.

Roland, T., Retraint, D., Lu, K., Lu, J., 2006, Fatigue Life Improvement through Surface Nanostructuring of Stainless Steel by Means of Surface Mechanical Attrition Treatment, Scripta Materialia 54 (2006) 1949-1954.

Scholtes, B., 2006, Fatigue Behavior and Residual Stress Stability of Deep-Rolled Aluminium Alloys AA5083 and AA6110 at Elevated Termperature, jilid 7, Kassel University Press, Kassel.

Torres, M.A.S., Voorwald, H.J.C., 2001, An Evaluation of Shot Peening, Residual Stress and Stress Relaxation on the Fatigue Life of AISI 4340 steel, International Journal of Fatigue 24 (2002) 877–886.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFEK PERLAKUAN SHOT PEENING TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN, MORFOLOGI & KEKASARAN PERMUKAAN, SERTA TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT 316L
Henrik Chendra, Dr. Ir. Budi Arifvianto S.T., M. Biotech.
Universitas Gadjah Mada, 2012 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Triantafyllidis, G.K., Kazantzis, A.V., Karageorgiou, K.T., 2007, Premature Fracture of a Stainless Steel 316L Orthopaedic Plate Implant by Alternative Episodes of Fatigue and Cleavage Decoherence, Engineering Failure Analysis 14 (2007) 1346–1350.

Wang, S., Li, Y., Yao, M., Wang, R., 1996, Compressive Residual Stress Introduced by Shot Peening, Journal of Materials Processing Technology 73 (1998) 64–73.

Yun-Wei, H., Bo, D., Cheng, Z., Yi-ming, J., Jin, L., 2009, Effect of Surface Mechanical Attrition Treatment on Corrosion Behavior of 316 Stainless Steel, Journal of Iron and Steel Research, International. 2009, 16(2): 68-72.