

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Shot peening adalah metode *cold working* dengan menembakkan bola-bola baja berkecepatan tinggi secara *continuously* sehingga menghasilkan tegangan sisa tekan dan deformasi plastis, hal ini dapat menambah sifat mekanis material (Sunardi, dkk, 2013). Penelitian Prihandoko, 2015, menunjukkan bahwa proses *shot peening* dengan spesimen *stainless steel* 316L dapat mengubah struktur mikro pada permukaan dan sub permukaan dengan variasi waktu penembakan selama 9, 10, 11, dan 12 menit.

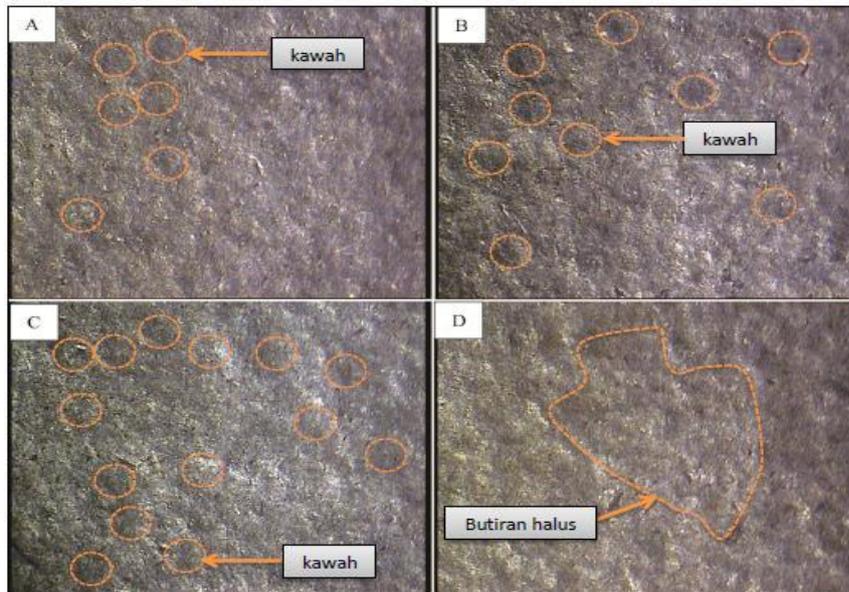
Kekasaran suatu material adalah ukuran dan tekstur dari permukaan yang sudah diberi perlakuan *shot peening*, karena untuk mengetahui tekstur dari permukaan tidak bisa hanya dilihat langsung, tetapi harus dengan acuan standar penelitian (Sulaiman, dkk, 2016).

Pada penelitian dengan variasi waktu penembakan *shot peening* akan membentuk lapisan mikro yang halus pada permukaan spesimen, serta meningkatnya kekerasan yang bertahap (Wibowo, dkk, 2016).

2.1.1 Variasi Jarak Penembakan

Variasi jarak *nozzle* dengan spesimen kerja dari beberapa penelitian-penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Sunardi (2013), Prihandoko (2015), Saputra (2016) dengan jarak *nozzle* 10 cm, Hidayat (2013) dengan jarak 88 mm, Arif dan Setianingrum (2015) dengan jarak 10-15 cm, Arifvianto (2012) dengan jarak *nozzle* 80 mm, Syahrudianto (2016) dan Wahyudin (2016) dengan menggunakan jarak penembakan 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm dan 120 mm.

Penelitian Wahyudin, 2016 menunjukkan hasil pengujian struktur makro yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana perlakuan *shot peening* menyebabkan permukaan spesimen mengalami deformasi plastis sehingga terjadinya cekungan seperti kawah yang menyebabkan permukaan spesimen jauh lebih kasar dibanding dengan spesimen tanpa perlakuan permukaan.



Gambar 2.1 Hasil uji struktur makro permukaan sesudah perlakuan *shot peening* dengan variasi jarak (a) 80 mm, (b) 90 mm, (c) 100 mm, dan (d) 110 mm.

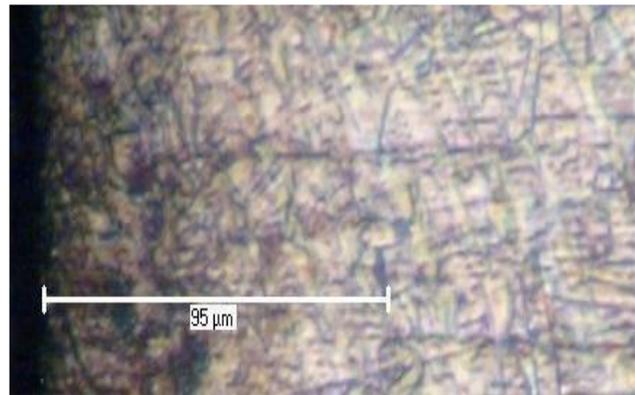
(Sumber: Wahyudin, 2016)

Pada penelitian dengan menggunakan variasi jarak penembakan dapat diketahui bila jarak penembakan semakin jauh maka nilai kekasaran akan semakin naik lalu turun dengan ketentuan jarak tertentu.

2.1.2 Variasi Waktu *Shot peening*

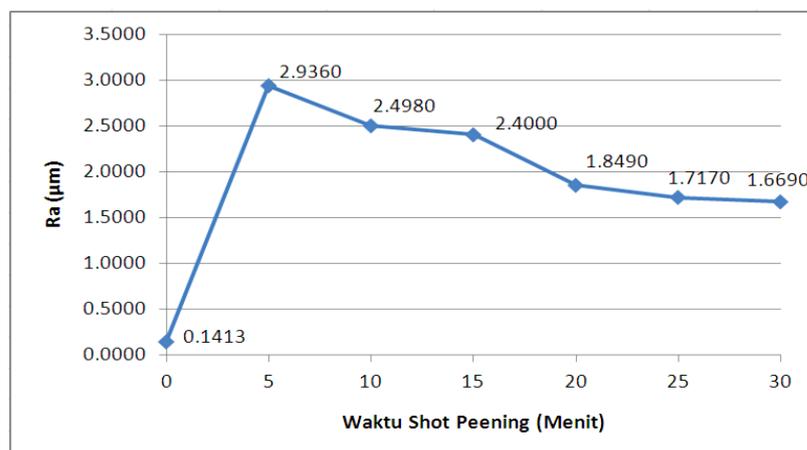
Penelitian *shot peening* sebelumnya menggunakan beberapa variasi waktu penembakan diantaranya, Sunardi (2013) dengan variasi lama waktu *shot peening* 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Prihandoko (2015) dengan variasi waktu 9, 10, 11, dan 12 menit penembakan. Wibowo, dkk (2016) dengan variasi waktu 0, 5, 10, 20, 30, dan 40 menit. Badaruddin, (2006) dengan waktu 10, 15, dan 20 detik penembakan. Arifvianto (2012) dengan variasi waktu *shot peening* 5-20 menit. Setiawan (2012) dan Hidayat (2013) dengan variasi waktu 2, 6, dan 10 menit. Saputra (2016) dengan waktu *shot peening* 10 menit.

Penelitian Wibowo, 2016 menunjukkan hasil struktur mikro pada spesimen yang telah diberi perlakuan permukaan pada Gambar 2.2, dimana pengecilan butiran struktur mikro terjadi sampai dengan kedalaman 95 μm .



Gambar 2.2 Struktur mikro pada spesimen setelah 5 menit *shot peening*
(Sumber: Wibowo, 2016)

Hasil uji kekasaran pada penelitian yang dilakukan oleh Sunardi, 2013 dengan menggunakan variasi waktu penembakan 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa semakin lama durasi waktu penembakan yang diberikan, maka permukaan spesimen yang belum terkena tumbukan otomatis akan terkena benturan bola-bola baja, sehingga nilai kekasaran semakin turun.



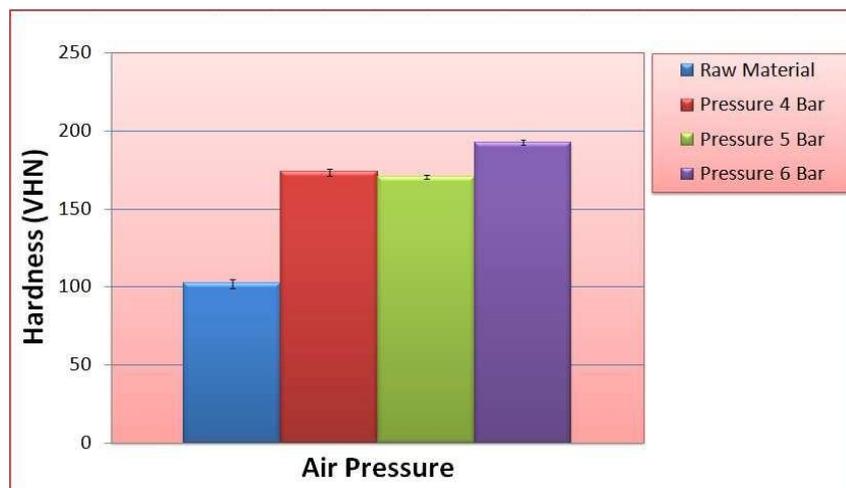
Gambar 2.3 Nilai kekasaran rata-rata sebelum dan sesudah *shot peening*
(Sumber: Sunardi, 2013)

Pada penelitian *shot peening* dengan menggunakan variasi waktu penembakan diketahui bahwa lama waktu penembakan *shot peening* dapat

berpengaruh pada pemadatan struktur mikro yang menjadikan strukturnya lebih kecil serta menyebabkan nilai kekasaran spesimen yang semakin turun.

2.1.3 Variasi Tekanan Penembakan

Pada penelitian *shot peening* yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya juga banyak yang menggunakan variasi tekanan kompresor seperti Arifvianto, dkk, (2011) menggunakan tekanan 8 kg/cm². Badaruddin dan Sugiyanto (2005) menggunakan tekanan 2.94 bar. Sunardi (2013) menggunakan tekanan 6-7 bar. Hasil uji kekerasan dari penelitian Saputra, 2016 menggunakan variasi tekanan 4, 5, dan 6 bar terdapat pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa semakin besar tekanan penyemprotan yang diberikan maka akan terjadi pemadatan butiran yang akan menyebabkan kekerasan semakin meningkat.



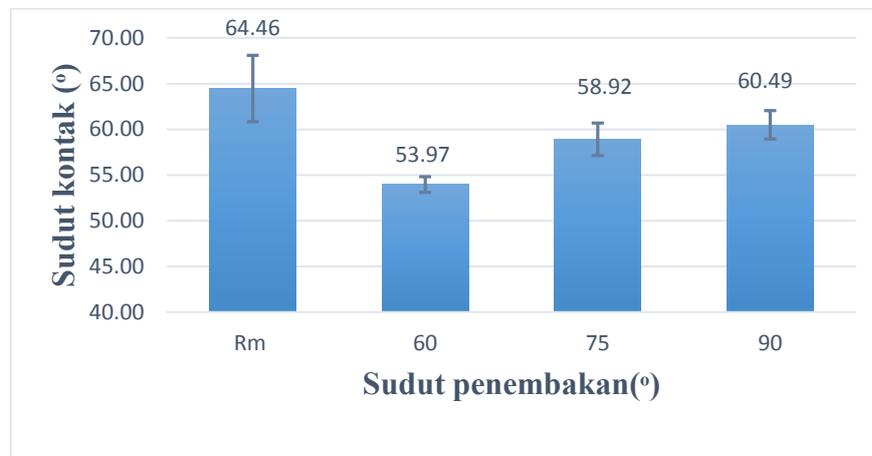
Gambar 2.4 Pengaruh variasi tekanan penembakan terhadap kekerasan permukaan (Sumber: Saputra, 2016)

Dari hasil penelitian-penelitian terdahulu, beberapa peneliti menyimpulkan adanya pemadatan pada struktur mikro yang mengakibatkan kekerasan yang meningkat dan bertambahnya kekerasan material.

2.1.4 Variasi Material Spesimen

Variasi material juga banyak digunakan pada penelitian *shot peening* sebelumnya dan menggunakan beberapa jenis material yang berbeda. Sulaiman (2016), Sunardi (2013), Syahrudiyanto (2016), Wibowo dan Setianingrum (2015), dengan menggunakan material *stainless steel* 304L. Ahmed (2015), Azar (2010), Arifvianto (2011), Kwok (2006), Saputra (2016), dan Prihandoko (2015) menggunakan material *stainless steel* 316L. Badaruddin (2006) menggunakan material baja karbon rendah dan Feng (2013) menggunakan material *Duplex Stainless Steel*.

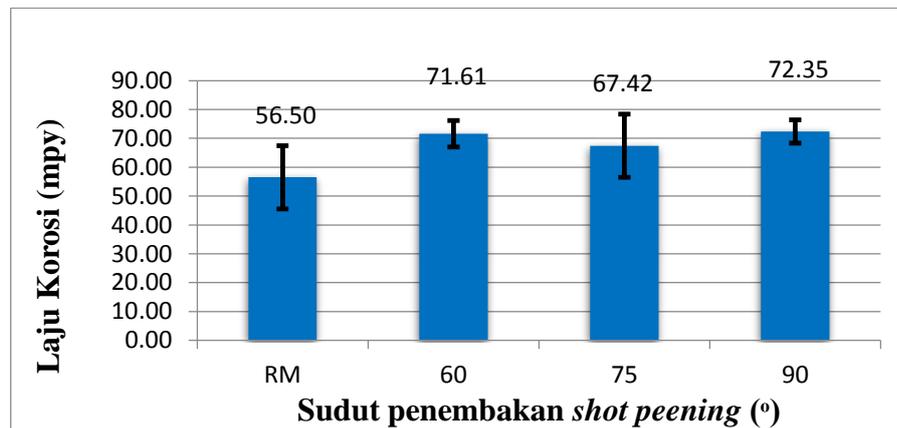
Hasil penelitian Purwanto, 2017 dengan menggunakan material *Stainless Steel* AISI 304 terhadap *wettability* ditunjukkan pada Gambar 2.5, dimana pengaruh dari *shot peening* terhadap *wettability* menjadikan material suka air (*hydrophilic*), dikarenakan sudut kontak $<90^\circ$.



Gambar 2.5 Nilai rata-rata *wettability* material SS AISI 304 (Sumber: Purwanto, 2017)

Gambar 2.6 menunjukkan hasil rata-rata laju korosi pada spesimen *stainless steel* AISI 304 dimana perlakuan *shot peening* berdampak pada meningkatnya laju korosi yang disebabkan karena senyawa *Fe* akan bereaksi ketika proses *shot peening* yang akan membentuk senyawa baru berupa Fe_3O_4 yang merupakan salah satu penyebab terjadinya korosi, dan juga dapat menurunkan nilai laju korosi

dikarenakan spesimen SS 304 memiliki kandungan Cr sebesar 18.34 % sehingga pada permukaan sampel terbentuk lapisan pasif berupa senyawa Cr_2O_3 yang dapat melindungi dari korosi.



Gambar 2.6 Hasil rata-rata nilai laju korosi SS 304 (Sumber: Purwanto, 2017)

Dari hasil penelitian tentang variasi material spesimen, secara umum laju korosi tergantung pada komposisi unsur dari masing masing material, dimana jika suatu material mempunyai unsur krom (Cr) yang tinggi, maka laju korosinya akan semakin rendah. (Sumarji, 2011).

2.1.5 Variasi Material Abrasive

Penggunaan material *abrasive* pada penelitian yang terdahulu memiliki ukuran dan jenis yang berbeda beda. Badaruddin dan Sugiyanto (2005) memakai *steel ball* dengan diameter 0,8 mm, Arifvianto (2012) dengan menggunakan *slag ball* dengan \emptyset 1-2 mm, Saputra (2016) menggunakan *steel ball* dengan diameter 0.4 mm, Wahyudin (2016) dengan diameter *steel ball* 0,7 mm, Sunardi (2015) menggunakan *steel ball* dengan diameter 0.6 mm, Setyarini dan Sulistyoyo (2011) menggunakan mesh pasir silika 250.

Pada penelitian-penelitian terdahulu dengan menggunakan variasi *steel ball* dapat diketahui bahwa semakin besar diameter *steel ball*, maka kekasaran spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* akan bertambah tergantung lama waktu penembakan.

Dari hasil penelitian dengan berbagai parameter dan pengujian diatas, maka dapat disimpulkan secara umum perlakuan *shot peening* akan berpengaruh pada struktur mikro yang menjadi lebih padat dan menjadikan strukturnya lebih kecil, kekasaran yang semakin meningkat, akan meningkatkan kekerasan permukaan. Akan tetapi, saat ini pada penelitian yang menggunakan variasi waktu pada material *stainless steel* AISI 316L belum banyak melakukan penelitian dengan parameter pengujian yang lain seperti pengamatan dan analisa pada struktur makro, *wettability*, dan laju korosi pada *stainless steel* AISI 316L. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan membahas tentang pengaruh variasi waktu penembakan *shot peening* terhadap struktur makro, struktur mikro, kekasaran, kekerasan, *wettability*, dan laju korosi pada *stainless steel* AISI 316L.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Stainless Steel*

Baja tahan karat memiliki ketahanan terhadap suhu lingkungan biasa pada oksidasi yang tinggi di udara. Keadaan tersebut terjadi karena adanya fenomena *pasivation*. *Pasivation* adalah fenomena terbentuknya lapisan krom tipis yang melindungi permukaan material baja ketika bersinggungan langsung dengan oksigen. Lapisan yang sangat tipis hingga menyerupai *film* dan terlihat berkilau serta tidak larut.

Stainless steel adalah baja paduan yang membentuk lapisan pasif yang dapat membuat *stainless steel* itu sendiri tahan terhadap korosi. Banyak kategori untuk klasifikasi material *stainless steel*, diantaranya adalah *Austenitic Stainless Steel*, *Ferritic Stainless Steel*, *Martensitic Stainless Steel*, *Precipitation Hardening Stainless Steel*, dan *Duplex Stainless Steel*.

Stainless steel 316L termasuk dalam kategori *Austenitic Stainless Steel* yang terdapat unsur paduan 18% chrom, 8% nikel, dan didominasi oleh kandungan karbon 0.08%. Krom merupakan elemen yang paling penting dalam paduan *stainless steel*, dimana unsur ini yang dapat menjadikan *stainless steel* tahan terhadap korosi (Sunardi 2013).

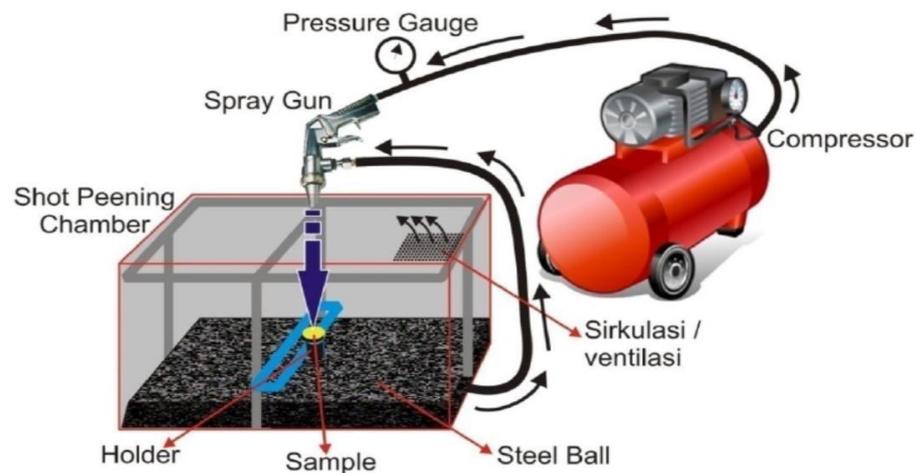
Karena konsentrasi ion klorida yang tinggi (Cl-) dan suhu tubuh manusia berkisar antara (36.7-37.2 ° C), maka dari itu cairan di dalam tubuh manusia dianggap lingkungan yang sangat korosif (Azar, 2010). Tabel 2.1 Dibawah menunjukkan komposisi kimia dari *stainless steel* 316L.

Tabel 2.1 *Chemical composition of 316L stainless steel* (Azar, 2010)

Element		Berat (wt %)
Fe	Fero	67.603
C	Carbon	0.023
Ni	Nickel	10.547
Cr	Chromium	16.934
Mo	Molybdenum	2.033
Mn	Manganese	1.624
P	Phosporus	0.031
S	Sulfur	0.015
Cu	Cuprum	0.345
Si	Silicon	0.449

2.2.2 *Shot peening*

Shot peening merupakan salah satu metode perlakuan pada permukaan suatu benda kerja dengan menggunakan material *abrasive* berupa (*steel ball*) atau bola-bola baja yang ditembakkan ke permukaan suatu material dengan kecepatan tembak/tekanan tertentu sehingga menghasilkan (*residual stress*) atau tegangan sisa tekan dan dapat menambah kekuatan lelahnya. Gambar 2.7 menunjukkan skema dan proses *shot peening*.



Gambar 2.7 Skema *Shot peening* (Zamhari, 2016)

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh M. Badaruddin dan Sugiyanto, 2015 menyatakan bahwa meningkatnya nilai kekerasan pada benda kerja yang diberi perlakuan *shot peening* mempunyai dampak deformasi plastis pada permukaannya, dan berakibat pada kekerasan yang semakin meningkat. Serta tidak ditemukannya korosi retak tegang (SCC) pada benda kerja yang menunjukkan bahwa proses perlakuan permukaan *shot peening* adalah salah satu metode yang dapat diterapkan dalam lingkungan korosif seperti didalam tubuh manusia untuk mencegah terjadinya korosi retak tegang pada material pelat penyambung tulang.

2.2.3 *Synthetic Body Fluid (SBF)*

Synthetic Body Fluid adalah larutan yang mempunyai kandungan ion seperti kandungan cairan di dalam tubuh manusia. Adapun fungsi dari cairan ini adalah sebagai pengganti unsur elektrolit pengujian laju korosi. Tabel 2.2 menunjukkan kandungan larutan *synthetic body fluid* yang sangat banyak digunakan peneliti untuk pengujian laju korosi pada material biomedik yang akan bersinggungan langsung didalam tubuh manusia.

Tabel 2.2 Konsentrasi ion cairan tubuh manusia (Doyahudin, 2008)

Ion	Konsentrasi (mM)
K^+	5.0
Ca^{2+}	2.5
Cl^-	103.0
SO_4^{2-}	0.5
Na^+	142.0
HCO_3^-	27.0
Mg^{2+}	1.5
HPO_4^{2-}	1.0

Cairan *Synthetic Body Fluid* yang digunakan untuk pengujian laju korosi adalah merk Otsu RL yang dibuat di Jepang dengan kandungan 130 mEq/L Na^+ , 4 mEq/L K^+ , 0,15 gr KCl, 2,7 mEq/L Ca^{++} , 108,7 mEq/L Cl, 28 mEq/L HCO_3 , 1,55 gr $C_3H_5NaO_3$, 0,1 gr $CaCl_2$, 500 ml Aquades steril. Gambar 2.8 merupakan cairan yang digunakan penulis sebagai bahan pengujian untuk mengetahui nilai laju korosi.

**Gambar 2.8** *Synthetic Body Fluid (SBF)*

2.2.4 Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan pada struktur makro merupakan salah satu metode yang cukup penting, dikarenakan pada struktur berskala makro dapat untuk mengetahui dan menganalisa suatu permukaan terluar spesimen apakah terdapat cacat atau tidak, serta untuk mengevaluasi kondisi material yang mungkin terdapat penyebab kegagalan.

Pada penelitian struktur makro yang dilakukan oleh Wahyudin, 2016 suatu permukaan material apabila diberi perlakuan *shot peening* dengan jarak yang lebih jauh menyebabkan permukaan material tersebut sedikit lebih kasar. Hal ini terjadi karena dengan jarak penembakan yang jauh akan membuat gaya dari bola-bola baja lebih besar dan membuat kawah-kawah cekung pada permukaan menjadi lebih banyak dan kasar. Gambar 2.9 adalah contoh hasil uji struktur makro yang diamati dengan mikroskop optik perbesaran sampai dengan 30x.



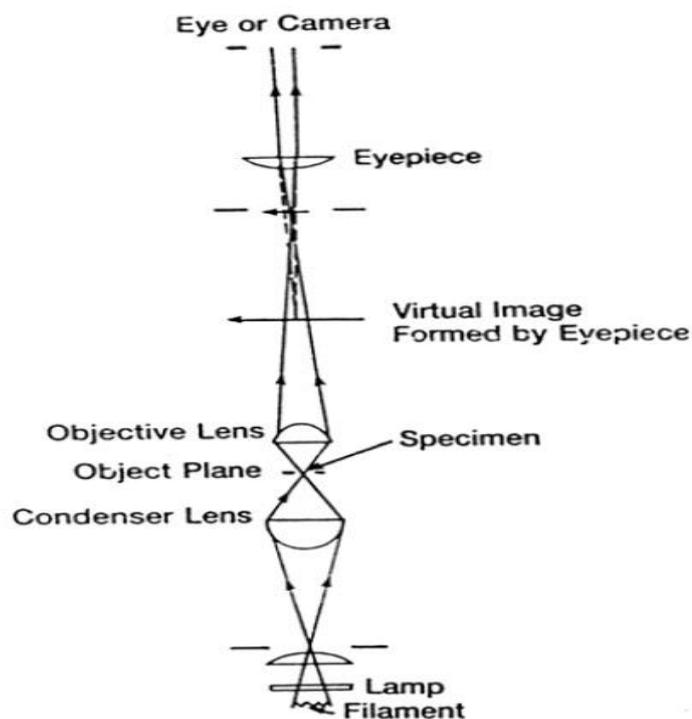
Gambar 2.9 Hasil uji struktur makro (Wahyudin, 2016)

2.2.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pada analisa dan pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati dan mengetahui bentuk butiran dan batas pemisah antar butiran pada permukaan suatu material. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran (sampai dengan 1000x) supaya dapat dilihat bentuk butirannya ilustrasi pengambilan gambar struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Sebelum pengamatan struktur mikro benda kerja perlu dilakukan pembuatan *holder*, pemotongan, pengamplasan, pemolesan, dan proses pemberian etsa. Dimana pembuatan *holder* bertujuan agar spesimen mudah dipegang saat pengambilan gambar struktur mikro, bahan yang digunakan untuk pembuatan *holder* dengan menggunakan campuran katalis dan resin.

Proses pemotongan dilakukan dengan ukuran yang disesuaikan, selanjutnya spesimen yang sudah dipotong di amplas dengan ukuran 400-1000 mesh, setelah di amplas spesimen dipoles menggunakan autosol dengan bantuan kain untuk menggosok materialnya. Proses pemolesan berfungsi supaya menyamarkan bekas goresan amplas pada spesimen. Langkah selanjutnya proses pengetsaan untuk material *stainless steel* 316L dengan menggunakan cairan *aqua regia* dengan kandungan *Nitrid Acid* (HNO_3) dan *Hidrocloric Acid* (HCl) dengan komposisi 1:1. Setelah permukaan spesimen dietsa maka spesimen sudah siap dilakukan pengambilan gambar.



Gambar 2.10 Skema pengambilan gambar struktur mikro (Paul, 1988)

2.2.6 Pengujian Kekasaran Permukaan

Kekasaran adalah bentuk tekstur dari suatu permukaan spesimen setelah mendapat perlakuan *shot peening*. Untuk menyimpulkan kekasaran pada suatu permukaan spesimen yang sudah di uji harus menggunakan standar baku penelitian. Pengukuran standar penelitian kekasaran permukaan adalah R_a, R_z atau R_{max} . Dengan keterangan R_a adalah tinggi rata-rata, R_z adalah rata-rata dari tinggi maksimum, dan R_{max} adalah jarak dari ujung tertinggi (bukit) dengan ujung terendah (kawah).

Analisa dalam menentukan nilai dari R_a dengan menggunakan persamaan 2.1 dengan visualisasi pada Gambar 2.11 (b).

$$R_a = \frac{a + b + c + \dots + n}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- R_a = Kekasaran rata-rata
- a = Nilai hasil uji kekerasan 1 (μm)
- b = Nilai hasil uji kekerasan 2 (μm)
- c = Nilai hasil uji kekerasan 3 (μm)
- n = Jumlah banyaknya data

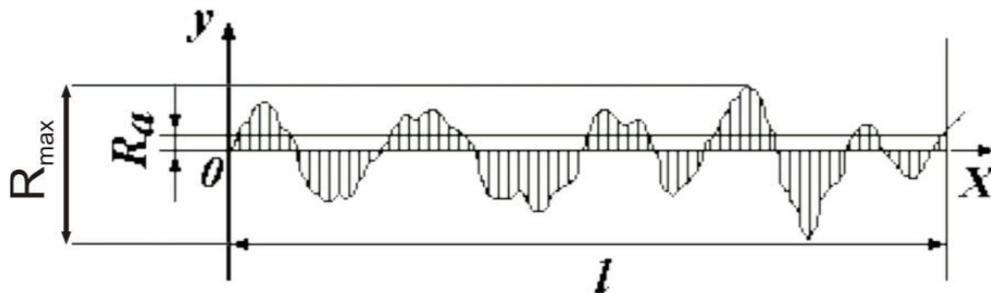
Parameter untuk pengukuran kekasaran dengan menghitung nilai selisih dari perbedaan cabang permukaan ideal dan permukaan asli dengan besaran jarak. Bila terdapat percabangan besar dapat diketahui bahwa permukaannya terlihat kasar, sedangkan permukaan yang halus menandakan bahwa percabangannya lebih kecil.

Metode pengukuran kekasaran dengan kontak langsung pada spesimen, dimana pengukur *stylus* bergerak mengikuti kekasaran permukaan suatu material. Jarum tersebut memiliki akurasi sesuai bentuk kekasaran yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 (a), data yang di ambil oleh *stylus* akan diolah menjadi data digital dan dapat di kalibrasi dengan standar parameter yang akan digunakan.

2.11 (a)



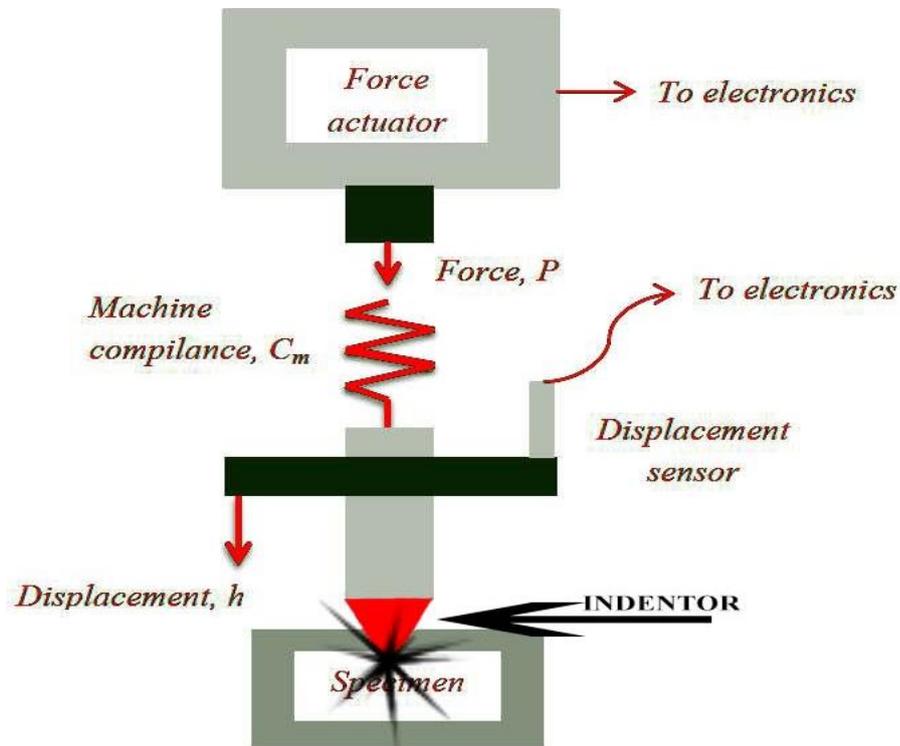
2.11 (b)



Gambar 2.11 (a) Proses *stylus* mengambil data kekasaran,
(b) Hasil permukaan R_a dan R_{max} (Hidayat, 2013)

2.2.7 Pengujian Kekerasan Permukaan

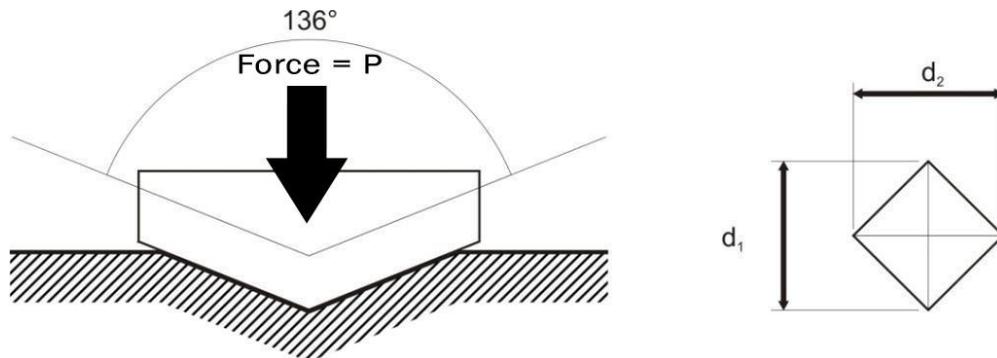
Kekerasan yaitu kekuatan material dalam menahan deformasi karena suatu material pasti memiliki tingkat kekerasan yang merupakan sifat mekanis dari material itu sendiri. Gambar 2.12 menunjukkan prinsip kerja dari pengujian kekerasan dengan permukaan spesimen ditekan menggunakan indenter pada beban tertentu sehingga terjadi deformasi plastis. Tekanan indenter tersebut dapat berupa penggoresan (*scratching*), atau dengan metode pantulan/elastis, dan metode indentasi pada pengujian permukaan (Fauji, 2010)



Gambar 2.12 Skema proses pengujian kekerasan permukaan (Kuhn, 2000)

Menurut bentuk dan jenis indentornya pengujian kekerasan mempunyai beberapa metode, diantaranya metode *Vickers*, *Brinell*, dan *Rockwell*. Penulis menggunakan metode *Vickers* karena indentor pada metode ini dapat menjangkau sisi suatu material yang diuji lebih luas. prinsip kerja dari metode *Vickers* sebenarnya tidak berbeda jauh dengan metode pengujian kekerasan lainnya dan dapat digunakan untuk menguji berbagai jenis metal.

Gambar 2.13 memperlihatkan prinsip dari pengujian kekerasan menggunakan indentor intan yang berbentuk piramida dengan sudut ujung indentor 136° dengan metode *Vickers* yang mirip dengan metode *Brinell*, yang membedakan adalah indentor dari hasil metode *Brinell* berbentuk bujur sangkar diagonal.



Gambar 2.13 Metode *Vickers* dengan menggunakan indentasi (Kuhn, 2000)

Pengukuran hasil bekas injakan indenter dapat dihitung dengan mengukur panjang rata-rata kedua diagonal, sehingga didapat nilai dari kekerasannya. Gambar 2.14 menunjukkan hasil bekas injakan indenter pada metode *Vickers*



Gambar 2.14 Bekas injakan indenter *vickers* (Purwanto, 2017)

Nilai kekerasan metode *Vickers* dapat dinyatakan dalam persamaan 2.2 (ASM Metals Handbook Vol.8)

$$VHN = \frac{2 \cdot P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

VHN = Nilai kekerasan spesimen ($\frac{kg}{mm^2}$)

P = Beban (kgf)

d = Diameter rata-rata bekas injakan indenter (mm)

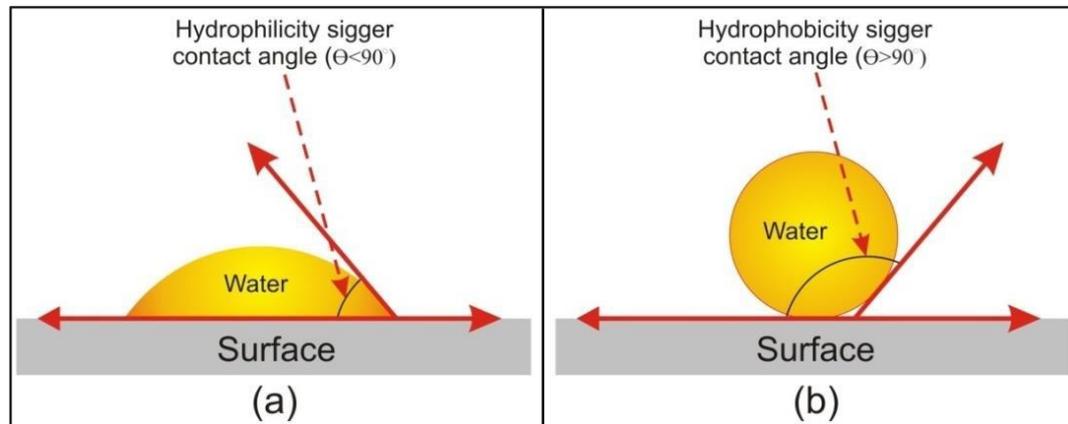
θ = Sudut piramida intan (136°)

2.2.8 Pengujian *Wettability*

Wettability adalah proses mengukur sudut kontak yang terbentuk pada permukaan spesimen dengan menggunakan cairan fluida yang ditetaskan. Sudut kontak yang terbentuk sebesar ($<90^\circ$) dapat dikatakan sebagai material *hydrophilic*, sedangkan sudut kontak yang terbentuk sebesar ($>90^\circ$) dikatakan sebagai material yang bersifat *hydrophobic*.

Spesimen dikatakan bersifat *hydrophilic* apabila permukaan sampel lebih kasar dan tidak basah oleh air dikarenakan deformasi oleh tabrakan *steel ball* yang berulang-ulang. Sifat tersebut menjadikan keunggulan karena dapat menyerap protein saat pembentukan rangkaian sel-sel tulang untuk implan semi permanen (Azar, dkk, 2010 dan Wilson, dkk 2015). Sedangkan material *hydrophobic* jika permukaan material tersebut tidak basah apabila kontak langsung dengan air dan permukaan selalu terlihat bersih karena saat terkena air kotoran tidak akan terserap oleh material tetapi akan mengalir bersama air tersebut.

Karakteristik sampel yang berkaitan dengan sudut kontak yaitu sifat suka air (*hydrophilic*) pada Gambar 2.15 (a), dan sifat tidak suka air (*hydrophobic*) ditunjukkan pada Gambar 2.15 (b) (Asy'ari dan Budiman, 2009).

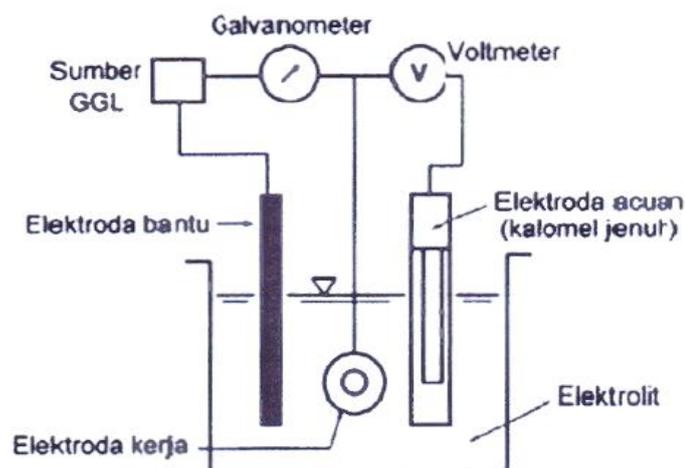


Gambar 2.15 Bentuk sudut kontak (a) *Hydrophilic*, (b) *Hydrophobic*
(Yuliawati dan Desi, 2014)

2.2.9 Pengujian Laju Korosi

Korosi merupakan akibat reaksi atau interaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Dengan kata lain korosi adalah proses perubahan kimawi struktur logam yang disebabkan adanya reaksi dengan zat kimia di sekitarnya. Laju korosi dapat ditentukan dengan nilai I_{corr} (arus korosi), dimana arus korosi sebanding dengan harga laju korosi pada suatu logam (Wibowo, dkk, 2015).

Gambar 2.16 merupakan sketsa metode pengujian laju korosi dengan mencelupkan tiga elektroda dalam tabung elektrokimia yang dihubungkan dengan *potensiostat/galvanostat*.



Gambar 2.16 Skema uji korosi tipe tiga elektroda
(Trethewey dan Chamberlain, 1991)

Tipe 3 sel elektroda untuk pengujian laju korosi, yaitu:

1. Elektroda kerja
Berfungsi sebagai elektroda yang nantinya akan diteliti. Elektroda ini adalah pengganti dari anoda.
2. Elektroda acuan
Berfungsi sebagai titik dasar dan sebagai acuan untuk pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja.
3. Elektroda pembantu
Berfungsi khusus untuk menyebarkan arus di dalam rangkaian, namun elektroda ini tidak digunakan untuk mengukur potensial.

Persamaan untuk menghitung nilai laju korosi dengan acuan pada grafik *tafel* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Nurosyid, 2012):

$$r = 0,129 \frac{a x i}{n x D} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- r = Laju korosi (mpy)
 a = Berat Atom
 i = Arus korosi ($\mu A / cm^2$)
 n = Valensi atom
 D = Berat jenis sampel (gr / cm^2)

Pada persamaan laju korosi untuk bahan paduan memerlukan perhitungan berat ekuivalen, untuk mencari berat ekuivalen (*Equivalent Weight = EW*) dari Stainless steel AISI 316L adalah:

$$EW = N_{EQ}^{-1} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana persamaan untuk nilai ekuivalen total N_{EQ} :

$$N_{EQ} = \sum \left(\frac{\omega_i}{a_i/n_i} \right) = \sum \left(\frac{\omega_i \cdot n_i}{a_i} \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

- EW = Berat ekuivalen

N_{EQ} = Nilai equivalen total

ω_i = Fraksi berat

a_i = Nomor massa atom

n_i = Valensi atom

Maka, persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah:

$$r = 0,129 \frac{i^{(EW)}}{D} (mpy) \dots \dots \dots (2.6)$$

Berdasarkan persamaan 2.6 menggunakan satuan laju korosi *mili meter per years* yang mempunyai makna sebagai hilangnya sebagian berat dari spesimen dikarenakan pengaruh dari korosi. Dimana konversi satuan *Mils per year* ke satuan metrik dengan persamaan berikut:

$$1mpy = 0.0254 \frac{mm}{yr} = 25.4 \frac{\mu m}{yr} = 22.9 \frac{nm}{hr} = 0.809 \frac{pm}{sec} (mpy) \dots \dots \dots (2.7)$$

Standar konversi nilai laju korosi untuk pelat implan dari satuan *mpy* dan satuan metrik ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kategori *relative corrosion resistance* (Chodijah, 2008)

Relative Corrosion Resistance	<i>mpy</i>	$\frac{mm}{yr}$	$\frac{\mu m}{yr}$	$\frac{nm}{hr}$	$\frac{pm}{sec}$
Sangat Tahan	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Tahan	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	5 – 50
Sedang	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Mudah	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Sangat Mudah	>200	>5	>5000	>500	>200