

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Perlakuan *shot peening* merupakan salah satu *treatment* yang bertujuan untuk memberikan tegangan sisa tekan pada permukaan suatu komponen yang dapat memperbaiki sifat bahan terhadap beban dinamis. Selain dapat memperbaiki karakteristik ketahanan terhadap beban dinamis proses *shot peening* juga berpengaruh terhadap karakteristik statis yang berupa kekerasan bahan. Beberapa peneliti sebelumnya diantaranya penelitian yang dilakukan oleh (Sunardi dkk, 2013). Melakukan penelitian tentang proses *shot peening*, material yang digunakan, tekanan kompresor yang digunakan, dan waktu *shot peening* yang digunakan. Material yang digunakan adalah *stainless steel* AISI-304, tekan pada kompresor yang digunakan pada penelitian 6-7 Bar, kemudian waktu *shot peening* yang digunakan 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit, dan menggunakan diameter bola baja yang digunakan adalah 0,6 mm. selanjutnya diameter plat yang digunakan pada penelitian Widiyarta dkk (2015) 20 x 15 x 5 mm dan menggunakan variasi sudut penyemprotan *sand blasting* menggunakan sudut 30°, 45°, 60°, 75° dan 90°.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. *Stainless steel*

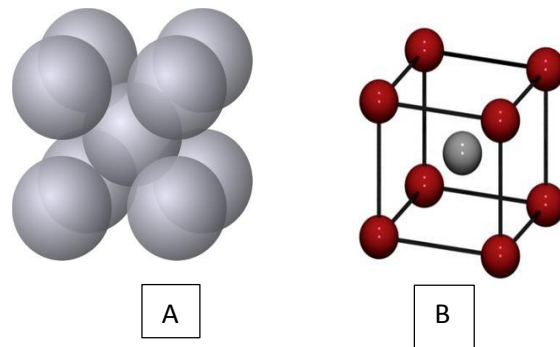
Stainless steel juga dikenal sebagai baja paduan dengan kandungan minimal kromium 11 %. *Stainless steel* merupakan baja tahan korosi atau karat dibandingkan dengan baja biasa. Baja karbon akan mengalami korosi jika terkena udara yang lembab. Oksida besi (karat) akan mempercepat korosi dengan membentuk lebih oksida besi. *Stainless steel* memiliki cukup jumlah kromium sehingga film pasif membentuk kromium oksida yang mencegah korosi permukaan lebih lanjut dan blok korosi dari logam menyebar ke struktur internal (Kusuma, 2009).

Dalam ilmu *metallurgy*, baja tahan karat biasa disebut *inox steel* atau *inox* yang berasal dari bahasa perancis “*inoxydable*”. Ini disebabkan karena baja tahan karat memiliki daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasa dapat dicapai karena adanya tambahan krom (Mukhsen, 2012). Lapisan kromium tersebut akan membentuk lapisan yang sangat tipis dan bersifat tidak aktif, sehingga lapisan tersebut dapat melindungi material baja saat kontak langsung dengan oksigen. *Stainless Steel AISI 304* merupakan salah satu dari tipe material yang banyak digunakan sebagai alat *orthopedic*, walaupun jika dilihat dari segi tingkat ketahanan kualitasnya masih dibawah *Stainlees Steel 316* dan juga titanium. Tetapi baja tahan karat ini telah memenuhi standar medis sehingga dapat dipergunakan untuk keperluan medis.

Baja tahan karat terbagi menjadi 4 bagian yaitu:

a. *Ferrite*.

Baja tahan karat *ferrite* yang paling sederhana hanya mengandung besi dan kromium dengan struktur kristal BCC (Gambar 2.1) yang anti karat. Ini disebabkan karena klorida magnetik dan kekuatan luluhnya sangat tinggi tetapi rendah keuletannya, dalam artian getas. Secara umum *ferritic stainless steel* memiliki beberapa properti yang dibutuhkan dalam bidang keteknikan dibanding jenis baja tahan karat yang lain. Tetapi disamping itu jenis baja tahan karat ini memiliki tingkat ketahanan korosi yang kurang karena lebih sedikitnya kandungan nikel dan kromium yaitu sekitar 10,5 - 27% kadar kromium. *Ferritic* secara umum memiliki jenis yaitu 18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo, 29Cr-4Mo, and 29Cr-4Mo-2Ni.

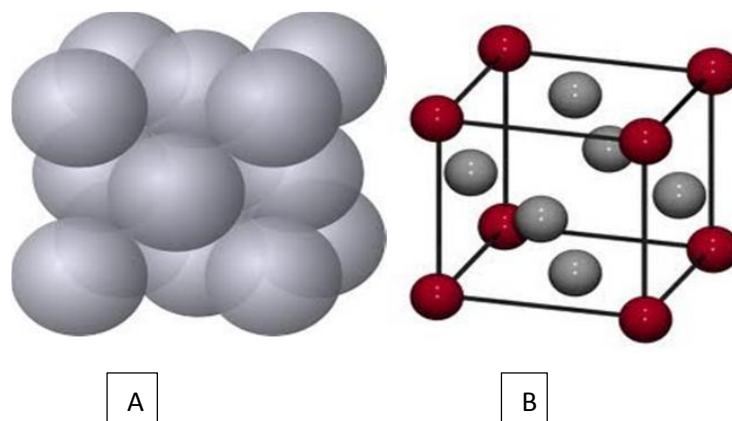


Gambar 2.1. Struktur kristal *ferrite stainless steel body centered cubic* (BCC),

(A) sel atom bulat penuh, (B) sel atom sederhana (Calister 2001)

b. *Austenite*.

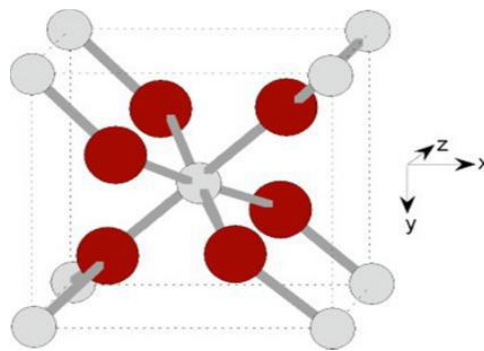
Austenitic stainless steel memiliki struktur kristal FCC (Gambar 2.2) didapatkan dari fase *ferrite stainless steel* dengan penambahan nikel, mangan, dan nitrogen pada suhu ruang. *Austenitic* ini memiliki kekuatan luluh yang agak rendah, tetapi ketangguhannya lebih tinggi (Davis, 2001). Baja tahan karat jenis ini sangat umum hampir 70% baja tahan karat adalah jenis ini. Baja jenis ini memiliki kandungan 0,15% karbon, 16% kromium, dan beberapa mangan atau nikel untuk menahan struktur pada saat temperature dari *cryogenic* sampai titik leleh.



Gambar 2.2. Struktur kristal *austenitic stainless steel face centered cubic* (FCC), (A) sel atom bulat penuh, (B) sel atom sederhana (Calister 2001)

c. *Martensite*.

Martensitic stainless steel memiliki struktur kristal *body centered tetragonal* (Gambar 2.3) dengan tingkat krom yang rendah dan tingkat karbonnya tinggi, dengan mendapatkan struktur *austenitic* pada temperature tinggi kemudian didinginkan secara tiba-tiba untuk mengubah fase *austenitic* ke *martensite* (Davis, 2001). Pada baja tahan karat jenis ini, tidak begitu memiliki ketahanan karat yang begitu baik tetapi memiliki sifat yang kuat dan tangguh, dan tingkat *machineable* yang sangat baik, dan juga dapat diberi perlakuan panas. Jenis ini memiliki paduan: kromium (12-14%), *molybdenum* (0,2 - 1%), nikel (kurang dari 2%), dan karbon (0,1 - 1%).



Gambar 2.3. Struktur kristal *martensitic stainless steel body centered Tetragonal* (Callister, 2001).

d. *Duplex*

Duplex stainless steel dapat dianggap sebagai *kromium-molibdenum*. Baja tahan karat *ferrite* dibentuk dengan keseimbangan *ferritic* dan *austenitic* pada suhu kamar menghasilkan kromium yang tinggi dan molibdenum, bertujuan agar ketahanan korosi yang baik dari *ferrite stainless steel* serta menguntungkan sifat mekanik *austenitic stainless steel* (Davis, 2001). Biasanya *duplex* memiliki campuran 50:50 antara *austenite* dan *ferite*, dan secara umum di komersial bahkan mencapai 60:40. Jenis memiliki paduan yaitu, kromium yang sangat tinggi (19-32%), *molybdenum* (sampai 5%), dan sedikit kandungan nikel.

Stainless steel merupakan baja tahan karat yang sulit untuk bereaksi terhadap udara dan air karena memiliki kandungan karbon (Callister,2001: S-231). *Stainless steel AISI 304* merupakan salah satu tipe material yang sering digunakan oleh para medis sebagai alat bantu implan pada jaringan tulang manusia, tetapi jika dilihat dari segi ketahanan korosi masih dibawah material titanium. Baja tahan karat AISI 304 merupakan material yang mudah didapat di pasaran, sudah secara umum diproduksi massal, dan relatif murah. Baja tahan karat ini memiliki sifat mudah dibentuk (*machinability*), tahan karat, dan ringan.

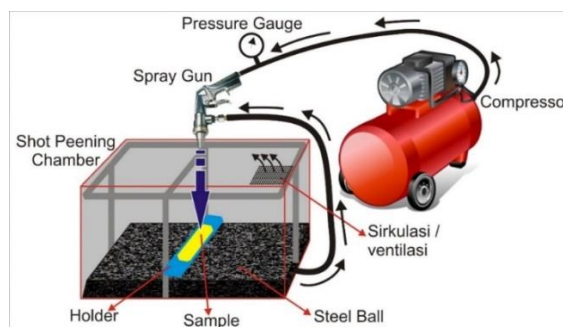
Aplikasi baja tahan karat AISI 304 banyak digunakan pada material implan (Wibowo dkk, 2015) tabung tekanan tinggi, pipa pada reaktor nuklir, pesawat terbang (Adriawan, 2011), material kawat implan.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Stainless steel AISI 304* (PT. Wijaya Makmur Sentosa)

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
Min	0,022	0,530	1,03	0,043	0,003	18,34	8,01	0,054
Max	0,070	0,750	2,00	0,045	0,030	19,50	10,50	0,100

2.2.2. Shot peening

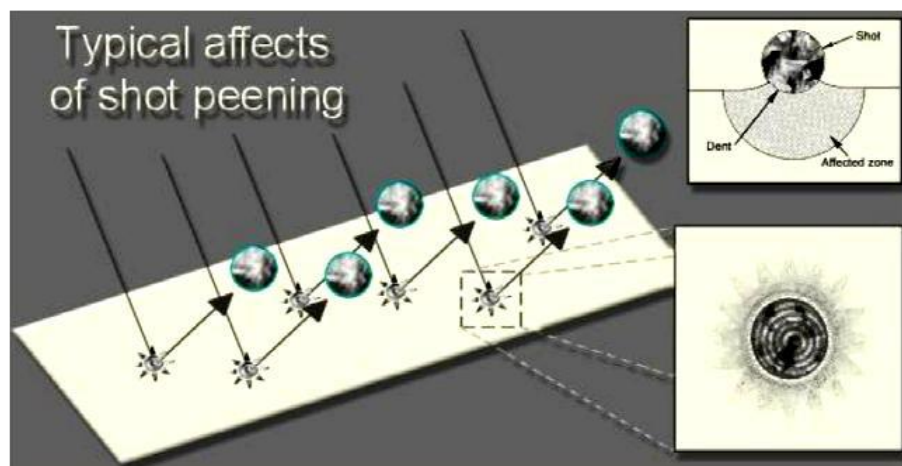
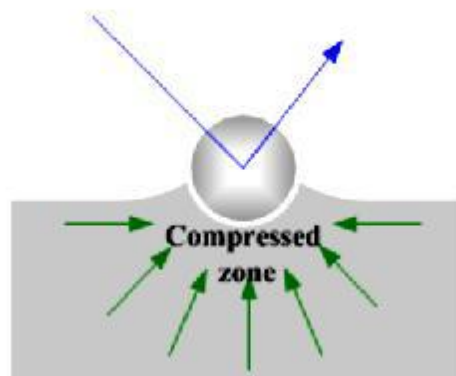
Shot peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin (*cold worked*) dengan cara memadatkan sekitar permukaan material dengan cara menyembrotkan *steel ball* ke permukaan sampel dengan kecepatan tinggi. Dari beberapa peneliti pendahulu menunjukkan bahwa ada peningkatan kekerasan permukaan pada material sampel uji karena deformasi plastis.



Gambar 2.4 Skema Proses shot peening (Zamhari, 2016)

Penumbukan *steel ball* secara tidak beraturan pada permukaan sehingga menyebabkan permukaan lebih kasar. Sehingga tumbukan dengan kecepatan tinggi pada permukaan akan mengalami penekanan sehingga timbulnya tegangan tekan sisa pada permukaan material uji. Proses *shot peening* dapat menghasilkan permukaan logam menjadi lebih kasar dan rata, deformasi plastis, pengerasan regangan, menutup porositas, meningkatkan ketahanan terhadap *fretting* dan tegangan sisa tekan pada permukaan material yang akan meningkatkan sifat mekanik material (Sunardi dkk 2013).

Shot peening



Gambar 2.5. Mekanisme pembentukan tegangan tekan sisa (Hidayat, 2013)

Prinsip kerja dari perlakuan *shot peening* yaitu udara dan bola – bola baja secara bersamaan menumbuk permukaan material yang diuji. Pada gambar 2.4 menunjukkan proses shot peening yang dimana steel ball akan ikut tersembur bersama dengan udara karena adanya tekanan dari kompresor yang bertekanan tinggi. Pada penelitian ini kompresor digunakan sebagai media penyembur udara bertekanan tinggi dan *spray gun* digunakan sebagai *nozzle* untuk meningkatkan kecepatan *steel ball* yang akan disebarkan ke material uji.

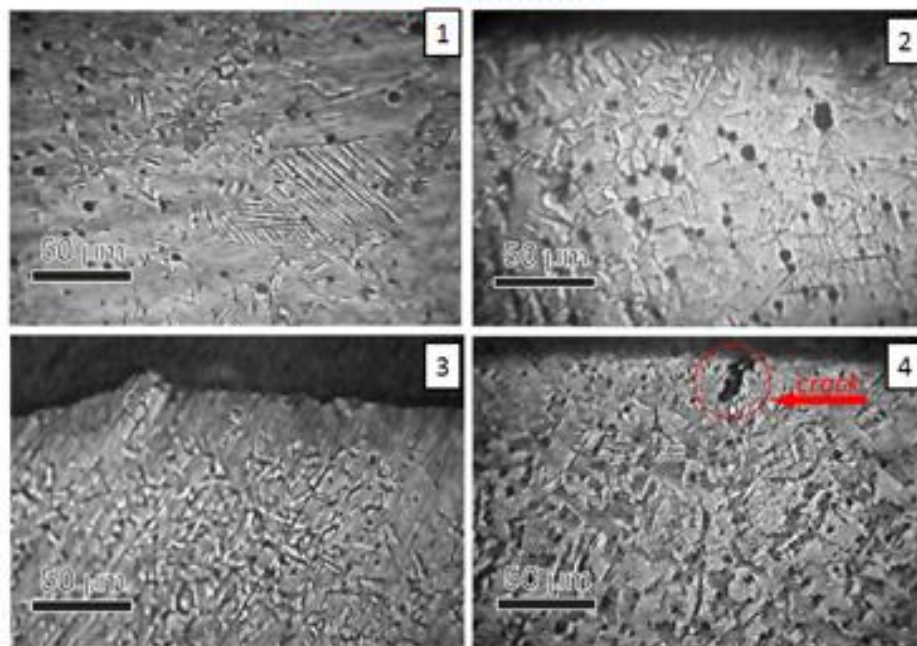
2.2.3. Pengamatan Struktur Mikro

Pada proses pengamatan struktur mikro bertujuan mengamati bentuk butiran dan batas-batas butir pada permukaan material. Struktur mikro dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik bertujuan untuk mengamati salah satu sifat mekanik dari bahan material uji.

Pada pengamatan struktur mikro terdiri dari beberapa proses yaitu proses pembuatan *holder*, pengamplasan permukaan, pengetsaan, dan pengambilan gambar struktur mikro. Proses pembuatan *holder* bertujuan supaya sampel mudah untuk dipegang pada saat proses pengamplasan. Proses pengamplasan terdiri dari beberapa tingkatan kekasaran mulai dari amplas kasar hingga amplas halus. Sedangkan pada proses pemolesan dilakukan menggunakan *autosol* yang dioleskan pada kain beludru, kemudian pasta *autosol* digosokkan pada sampel hingga goresan tidak terlihat lagi di bagian permukaan.

Untuk pengetsaan dilakukan dengan menggunakan cairan etsa yang terdiri dari berbagai macam campuran disesuaikan dengan plat material yang akan di etsa. Semisalkan pada logam *stainless steel* yang menggunakan cairan *aqua regia* dengan kandungan *nitrid acid* (NH_3) dicampurkan *hydrochloric acid* (HCl) dengan perbandingan 1:1. Fungsi dari Cairan *aqua regia* untuk menghilangkan lapisan oksidasi pada permukaan sampel dengan meneteskan pada permukaan dan menunggu beberapa detik sampai bereaksi tepat sebelum terjadi reaksi gelembung udara, kemudian sampel disiram menggunakan air bersih. Kemudian Setelah permukaan sampel di etsa maka dapat dilakukan pengambilan gambar menggunakan mikroskop optik dan direkam oleh kamera digital.

Hukum Hall-Petch menyatakan bahwa kekerasan akan meningkat seiring dengan penurunan ukuran butir. Untuk ukuran butiran yang mengalami pengecilan butiran hingga berukuran nano (Multigner dkk, 2009) dan akan kembali membesar seiring dengan jarak kedalaman pada permukaan hingga mencapai ukuran butiran yang menyerupai material dasarnya. Hasil pengambilan struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 2.6. dibawah ini.



Gambar 2.6. hasil uji Struktur mikro (mikroskop optik).(1) sampel Raw material, (2) durasi 5 menit, (3) durasi 10 menit, (4) durasi 15 menit (Hidayat 2013)

2.2.4. Kekasaran permukaan (*surface roughness*)

Kekasaran permukaan material merupakan ukuran dari tekstur permukaan yang setelah selesai proses penumbukan bola – bola baja. untuk mengetahui kekasaran suatu permukaan tidak bisa hanya dengan melihat langsung atau dengan rabaan tangan, tetapi harus menggunakan standar baku untuk acuan penelitian. Pengukuran standar yang biasa digunakan dalam pengujian kekasaran permukaan yaitu R_a , R_z , atau R_{max} . R_a adalah tinggi rata-rata. R_z adalah, sedangkan R_{max} adalah jarak antara bukit tertinggi dengan lembah terendah. Adapun

analisis dalam penentuan nilai Ra yaitu menggunakan rumus dan visualisasinya pada Gambar 2.5.

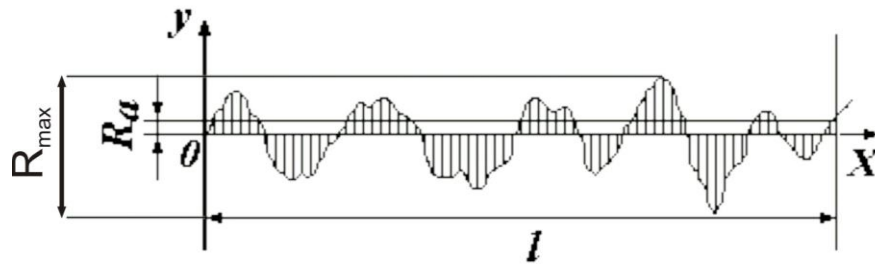
$$\mathbf{Ra} = \frac{1}{s} \int_0^1 h^2 \cdot dx \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- Ra = kekasaran rata-rata (μm)
- s = panjang sampel yang diuji (mm)
- hi = Tinggi rata-rata kekasaran (μm)

Penggunaan parameter pengukuran kekasaran diukur dengan menghitung selisih simpangan permukaan asli dari permukaan ideal dengan besaran jarak. Simpangan besar dapat diketahui bahwa permukaan kasar, begitu pula sebaliknya simpangan kecil menunjukkan bahwa permukaannya halus. Untuk mengukur kekasaran suatu permukaan dapat menggunakan metode kontak-langsung pada permukaan material. Prinsip kerja metode ini menggunakan jarum yang berjalan sepanjang permukaan material. Jarum tersebut memiliki ukuran tersendiri tergantung dari keakuratan alat *surface roughness* yang digunakan. Sepanjang perjalanan, pengukuran *stylus* bergerak naik turun mengikuti bentuk kekasaran permukaan.

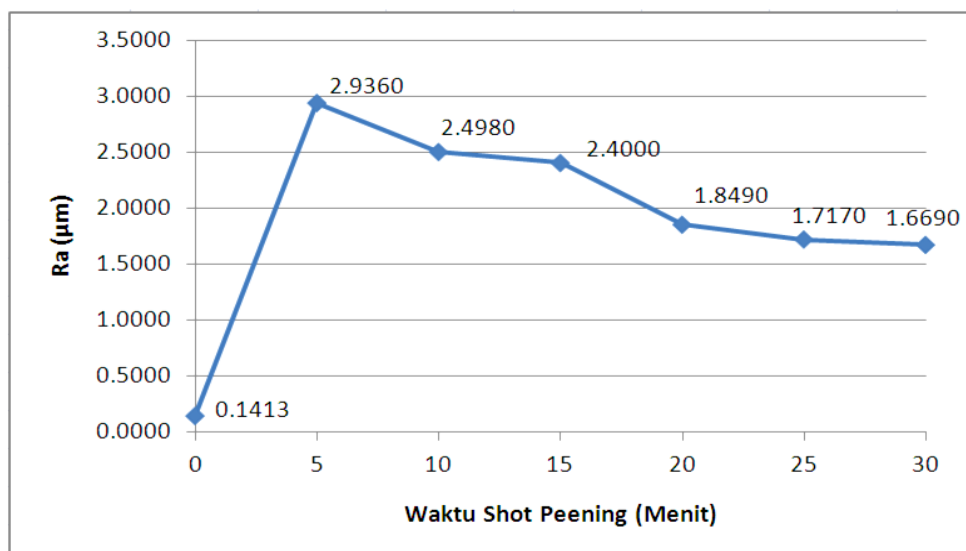
Prinsip kerja metode kontak dengan menggunakan jarum yang berjalan sepanjang permukaan material. Jarum tersebut memiliki ukuran tersendiri tergantung keakuratan dari mesin *surface roughness*. Sepanjang perjalanan pengukuran *stylus* bergerak naik turun mengikuti bentuk kekasaran permukaan. Data hasil pergerakan *stylus* dengan gerak horizontal dan vertikal dirubah menjadi data digital yang bisa diolah secara komputerisasi dengan standar parameter yang digunakan.



Gambar 2.7. Profil permukaan Ra dan Rmax (Hidayat, 2013).



Gambar 2.8. Struktur *stylus* membaca permukaan sampel (hidayat, 2013)



Gambar 2.9. Grafik Nilai kekasaran rata-rata (Ra) hasil uji kekasaran permukaan spesimen sebelum dan setelah perlakuan *shot peening* dengan variasi waktu penembakan (Sunardi dkk, 2013).

Pada roses pengujian hasil kekasaran permukaan (Sunardi dkk, 2013) bahwasannya nilai kekasaran rata-rata permukaan (Ra) pada sampel ss AISI 304 terjadi peningkatan pada kekasaran permukaan dari sampel raw material dan setelah dilakukan perlakuan. Menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih kasar di bandingkan dengan sampel sebelum dilakukan *shot peening*, hal ini merupakan efek dari identasi-identasi pada permukaan spesimen yang dihasilkan dari penembakan butiran bola-bola baja dengan tekanan dan kecepatan tinggi kepermukaan spesimen uji.

Pada pengujian ini durasi waktu dalam proses *shot peening* mempengaruhi terhadap kekasaran permukaan dimana menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kekasaran rata-rata dari waktu 5 menit pada permukaan spesimen dengan bertambahnya waktu proses perlakuan *shot peening* dari 5, 10, 15, 20, 25 sampai 30 menit, hal ini disebabkan karena semakin lama waktu proses perlakuan *shot peening* yang diberikan maka permukaan spesimen yang belum terkena benturan bola-bola baja akan terkena tembakan bola-bola baja sehingga menghasilkan permukaan spesimen yang semakin rata dan halus dengan dilihat dari hasil nilai kekasaran rata-rata yang semakin turun.

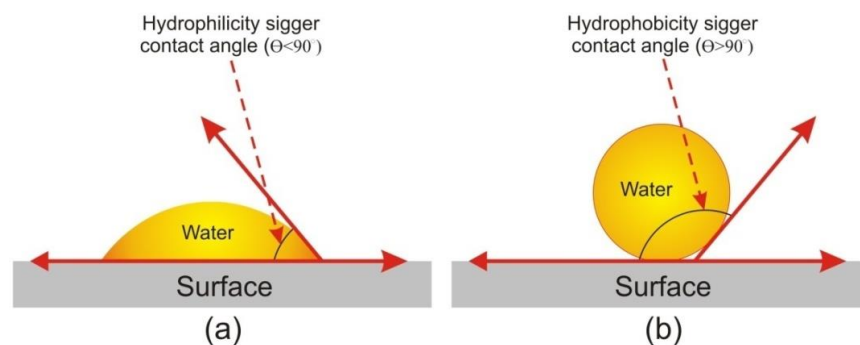
2.2.5 Wettability

Permukaan yang dikatakan *hydrophobic* jika permukaan tersebut tidak basah bila terkena air, permukaan selalu terlihat bersih. Jika ada kotoran yang menempel pada permukaan maka disaat terkena air, kotoran tersebut akan terhalau oleh air yang menggelinding di permukaan tersebut. Untuk mengetahui permukaan *hydrophobicity* dapat diketahui dengan mengukur besarnya sudut kontak yang terbentuk pada permukaan bahan uji. Sudut kontak yaitu sudut yang terbentuk oleh permukaan sampel dengan fluida yang ditetaskan pada permukaan sampel bersangkutan (Dahlia Gusrita dkk, 2014).

Studi tentang karakter suka air dan tidak suka air ini terbagi dalam beberapa jenis pengukuran. Contact angle kecil ($<90^\circ$) menunjukkan sangat hydrophilic, sementara contact angle besar ($>90^\circ$) menunjukkan rendahnya

karakter hydrophilic suatu permukaan (Yuliwati dan Desi, 2014). Pada permukaan yang dikatakan lebih kasar dan *hydrophilic* dikarena tabrakan yang berulang dari material *steel ball* menimbulkan deformasi. Serta menguntungkan dalam penyerapan protein dalam pembentukan rangkaian sel-sel tulang yang menempel pada implan (Azar dkk, 2010 dan Wilson dkk, 2015). Pada Gambar 2.10 di bawah ini menunjukkan sudut pengukuran yang akan dihasilkan pada permukaan sampel. Besar sudut yang dihasilkan akan menentukan karakter *hydrophilic* (suka air) dan *hydrophobic* (tidak suka air).

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air yang diteteskan ke permukaan bahan uji yang bersangkutan. Sudut kontak berkaitan dengan karakteristik isolator yaitu sifat menyerap air (*hydrophilic*) atau sifat menolak air (*hydrophobic*) (Asy'ari dan Budiman, 2009).



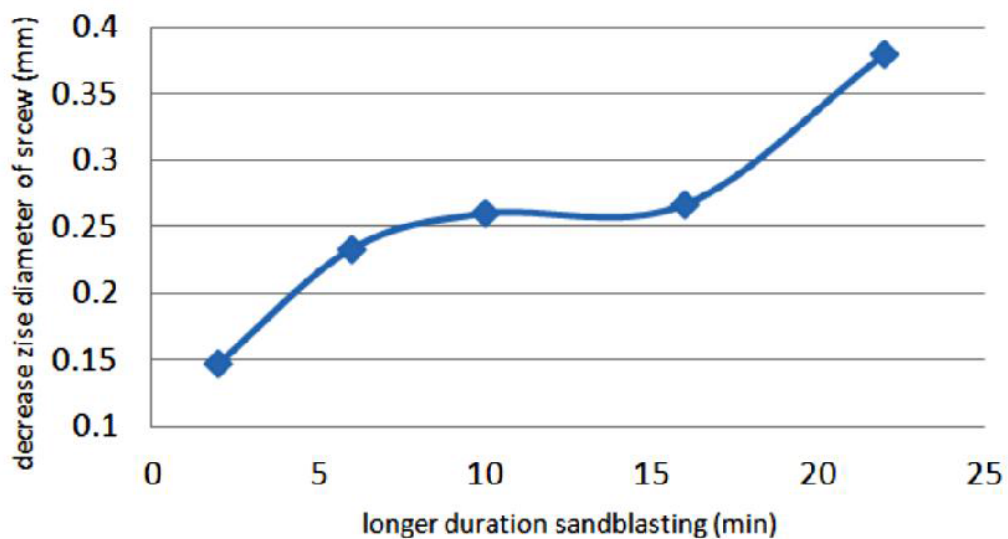
Gambar 2.10. Skema bentuk *contact angles* (a) *Hydrophilic* dan (b) *Hydrophobic* (Yuliwati dan Desi, 2014).

2.2.6. Ketebalan plat (*thickness*)

Pada permukaan sampel yang membuat terjadinya deformasi plastis/pengkikisan permukaan dan struktur mikro dibagian permukaan cenderung terjadi pemipihan yang disebabkan oleh proses *shot peening* akibat pengaruh penumbukan *steel ball*. Pada pengujian ketebalan plat akibat deformasi plastis telah dilakukan penelitian oleh Arifvianto dkk (2011), Adriawan (2011), Mukhsen (2012), dan Pramudia (2011). Bawasannya pada plat sampel uji terjadi pemadatan, pengkikisan permukaan, pemipihan pada struktur mikro, dan serta

terjadi perbedaan batas butir antara daerah permukaan material dengan daerah inti material.

Pada gambar 2.11. menunjukkan bahwasannya dimensi sampel uji yang setelah dilakukan proses *shot peening* mengalami pemipihan/pengurangan ukuran diameter sampel yang dilakukan penelitian oleh Iqbal, dkk (2011). Dapat ditarik kesimpulan bahwa perlakuan penumbukan *steel ball* pada permukaan material sampel dapat menyebabkan deformasi plastis yang terjadi kemungkinan karena pepadatan permukaan, dan pengikisan permukaan sampel.



Gambar 2.11. Nilai rata-rata pengurangan diameter spesimen setelah perlakuan *sandblasting* (Iqbal dkk, 2011)

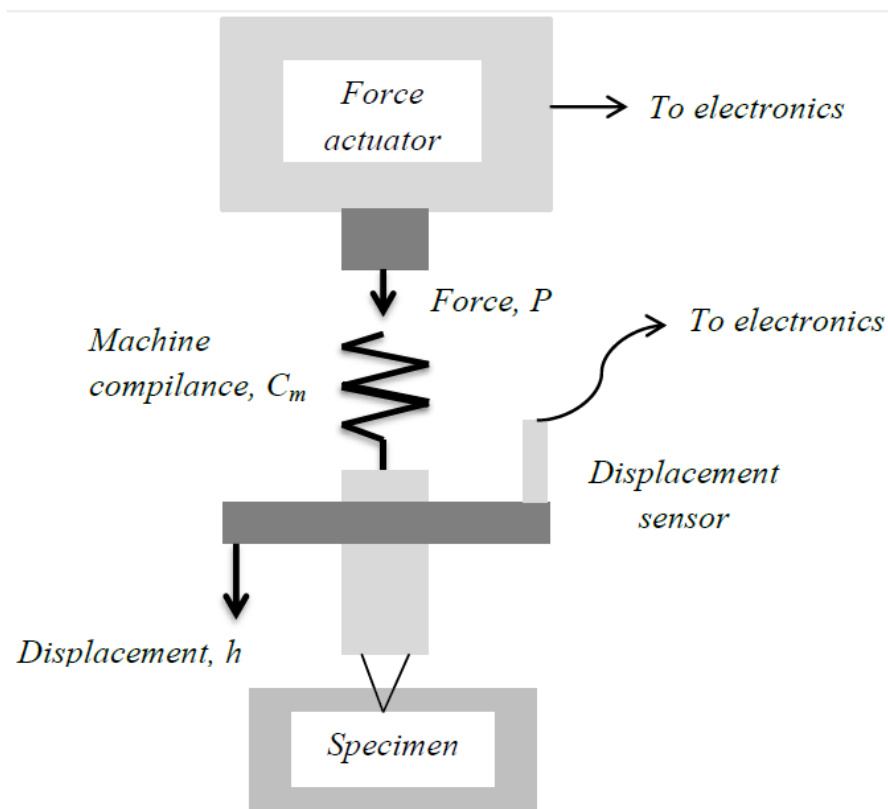
Pengukuran suatu ketebalan objek benda kerja dilakukan menggunakan alat ukur. Selain Setiap alat ukur mempunyai fungsi atau kegunaan yang berbeda-beda.

Serta fungsinya yang berbeda, setiap alat ukur memiliki karakteristik dan skala yang berbeda. Salah satunya alat ukur dimensi benda yaitu mikrometer. Mikrometer adalah suatu alat untuk mengukur benda dengan ukuran kecil dan tipis, seperti mengukur ketebalan plat, diameter kawat, serta untuk mengukur berbagai benda lainnya. Mikrometer merupakan alat ukur yang dapat melihat dan mengukur benda dengan ketelitian ketelitian ukur 0,01 mm. pada penelitian ini menggunakan variabel tekanan penyemprotan *shot peening* yang pada akhirnya

dapat melihat pengaruh perlakuan *shot peening* terhadap pengurangan dimensi ketebalan akibat pemadatan dan pengikikisan suatu permukaan plat.

2.2.7. Kekerasan permukaan (*micro hardness*)

Kekerasan permukaan umumnya menyatakan ketahanan terhadap deformasi ukuran permukaan logam atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Kekerasan permukaan merupakan ketahanan sebuah permukaan material terhadap deformasi akibat tumbukan. Sebuah *stell ball* yang keras di tumbukan ke permukaan material uji. kemungkinan deformasi yang terjadi yaitu kombinasi perilaku elastis, plastis, serta kekerasan yang dimiliki suatu material bersifat mekanik. Menurut (Callister, 2001) kekerasan merupakan suatu material yang mampu menahan goresan.

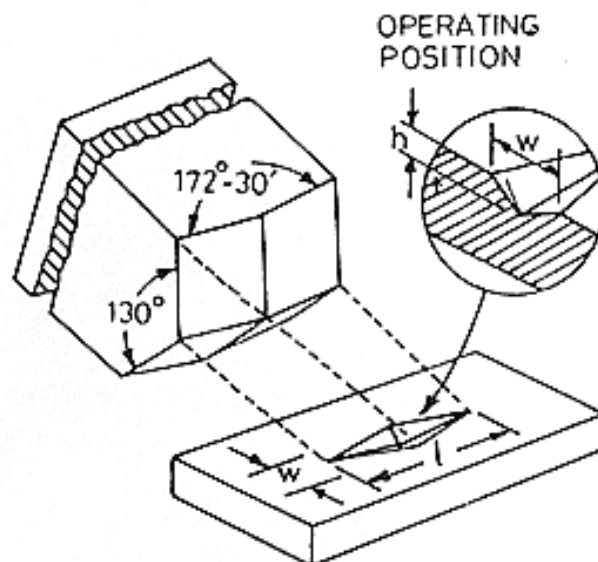


Gambar 2.12. Skema proses pengujian kekerasan permukaan (Kuhn, 2000).

Dalam sistem pengujian terdapat tiga jenis pengujian kekerasan, yaitu kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*), dan kekerasan pantulan (*rebound*), tergantung dengan cara melakukan pengujian. Pada permukaan sampel metode indentasi digolongkan berdasarkan pada perbedaan jenis indentornya.

Pada alat pengujian kekerasan *universal* dapat menggunakan beberapa macam indentor yang berguna sebagai acuan pengukuran kekerasan permukaan material sampel. prinsip kerja dari mesin kekerasan permukaan hanya memberi tekan tertentu pada permukaan sampel uji. Metode indentasi pengujian kekerasan permukaan yang sering digunakan yaitu metode *Vickers* yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, metode *Brinnell*, dan metode pengujian *Rockwell*.

Alat pengujian kekerasan *Vickers* pada umumnya menggunakan indentor piramida intan yang berbentuk bujur sangkar. Kemudian besar antar sudut permukaan piramida yang saling berhadapan yaitu 136° . Karena pada nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai pembanding yang diinginkan antara lengkungan diameter serta diameter bola penumbuk pada alat uji kekerasan brinnell (Dieter, 1987).

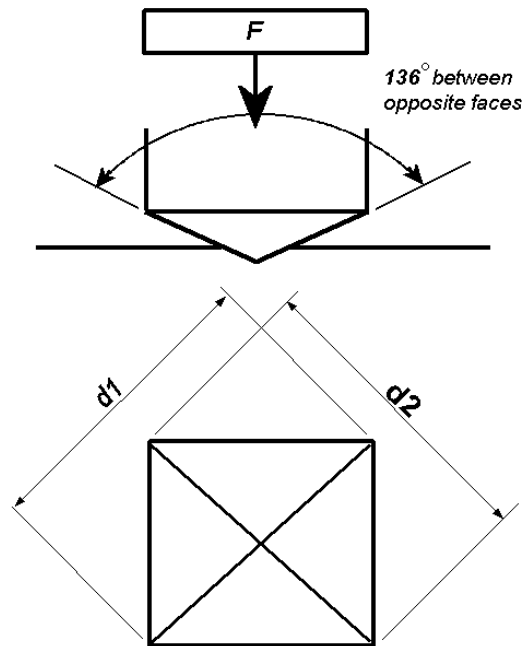


Gambar 2.13. Skematik prinsip indentasi dengan metode Vickers (Kuhn, 2000)

Pada metode pengujian *Vickers* menggunakan indenter intan piramida dengan sudut 136° yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14. pengujian ini menggunakan prinsip yang hamper sama dengan metode *Brinell*, hanya yang membedakan dibagian mencolokkan indenter dan hasil injakan. Beban yang digunakan saat pengujian lebih kecil dibandingkan dengan uji *Rockwell* dan *Brinell* yaitu antara 1 sampai 1000 gram. Kemudian panjang diagonal injakan diukur menggunakan skala pada mikroskop pengukur. Untuk mengukur nilai kekerasan suatu material menggunakan persamaan standars ASTM E384-84 (Brandes dan Brook 1992):

$$HV = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1854,4)P}{d^2} (\text{kg/mm}^2) \quad (3.2)$$

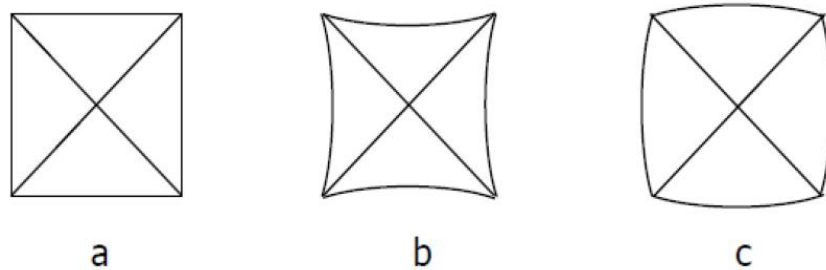
HV = *Vickers Hardness* (Kg/mm²), P = beban (kg), d = diagonal rata-rata (mm)



Gambar 2.14. Skema pengujian kekerasan *Vickers*

Untuk menentukan sifat mekanis suatu bahan menggunakan indenter *Vickers* konvensional, pada penggunaannya alat ini digunakan sejak lama karena tahan terhadap deformasi plastis (kekerasan), modulus elastis, faktor intensitas tegangan, tegangan elastis, tegangan sisa dan tegangan tarik bahan (Zeng, 1995).

Sifat-sifat ini diperkirakan berdasarkan ukuran benda pengujian pada suatu injakan sisa (Malau, 2011). Bekas injakan pada proses pengujian kekerasan yang berbentuk persegi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15. pada Bekas injakan diukur berdasarkan panjang rata-rata kedua diagonalnya agar dapat dihitung hasil dari nilai kekerasannya.



Gambar 2.15. Tipe-tipe lekukan piramid intan: (a) lekukan yang sempurna, (b) lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbentuk tong (Dieter, 1987)

Pada gambar 2.15. merupakan bentuk lekukan piramid intan, Pada tipe (a) atau pada gambar 2.16 merupakan bentuk bekas injakan yang benar pada proses pengujian kekerasan dengan bentuk persegi. Untuk mengukur bekas injakan dengan panjang rata-rata kedua diagonal agar bisa dihitung hasil nilai dari kekerasannya. Selanjutnya pada tipe (b) merupakan bentuk lekukan bantalan jarum akibat adanya penurunan logam diantara 24 permukaan piramida yang datar. Keadaan tersebut terjadi pada logam yang dilunakkan dan dapat mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Kemudian lekukan berbentuk tong ditunjukkan pada tipe (c) yang diakibatkan penimbunan ke atas pada logam sekitar permukaan penekanan terdapat pada logam-logam yang mengalami terjadinya proses perlakuan dingin.