

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perlakuan *shot peening* ini bukanlah suatu hal yang baru di dalam dunia *engineering*. Karena sudah banyak peneliti-peneliti yang sudah melakukan penelitian dengan metode *shot peening*. Para peneliti terdahulu memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh *shot peening* terhadap kondisi benda uji yang meliputi kekasaran permukaan (*surface roughness*), kekerasan mikro (*microhardness*), struktur mikro dan *wettability*. Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian yang berpedoman pada parameter dan variabel yang digunakan dari penelitian-penelitian sebelumnya.

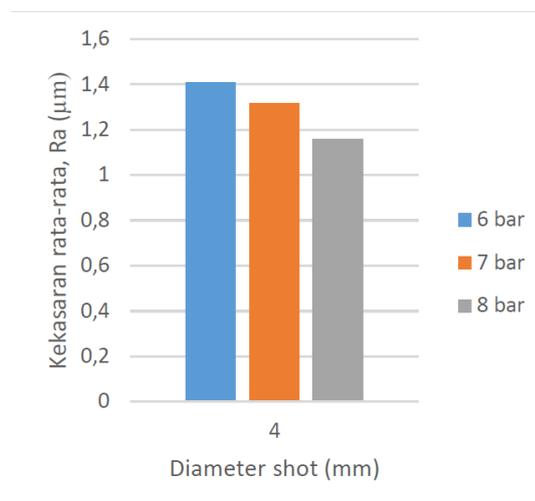
Dimana sebelumnya terdapat beberapa penelitian yang melakukan penelitian dengan metode *shot peening*, diantaranya Arifvianto dkk (2012 dan 2013), Sunardi dkk (2013), Ahmed dkk (2015), Azar dkk (2010), Hashemi dkk (2011), Menezes dkk (2016), Jayalakshmi dkk (2016), Wibowo dan Setianingrum (2015), Saputra (2016). Pada peneliti sebelumnya yang menggunakan material *stainless steel* 316L (Arifvianto (2012), Ahmed dkk (2014), Azar dkk (2010), Hashemi dkk (2011), Marteau dkk (2013), dan Menezes dkk (2016)). Sedangkan ada beberapa peneliti yang menggunakan material berbeda, seperti *stainless steel* AISI 304 (Sunardi dkk (2013), Wibowo dan Setianingrum (2015)), SS AISI 316VLM (Multigner dkk, 2009).

Untuk penggunaan variasi diameter *steel ball* dari beberapa penelitian ditunjukkan seperti *ceramic balls* dengan diameter 125-250, 450 dan 480 μm (Ahmed dkk, 2015), *steel ball* dengan variasi 1-2 mm (Hashemi dkk, 2011), *steel ball* dengan variasi 0,4 mm, 0,6mm, 0,7 mm (Zamhari, (2016) dan Sukarno, (2017)). Sedangkan penggunaan variasi tekanan penyemprotan ditunjukkan seperti, tekanan sebesar 350 kPa (Multigner dkk, 2009), tekanan 8 kg/cm² (Arifvianto dkk, 2011), tekanan 6-7 kg/cm² (Sunardi dkk, 2013), tekanan 4-6 kg/cm² (Yoga dkk, 2015)

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas menunjukkan adanya peningkatan kekasaran permukaan (*surface roughness*), peningkatan kekerasan mikro (*microhardness*), pengecilan struktur mikro pada butiran permukaan dan pengurangan ukuran/dimensi spesimen.

2.1.1 Kekasaran Permukaan

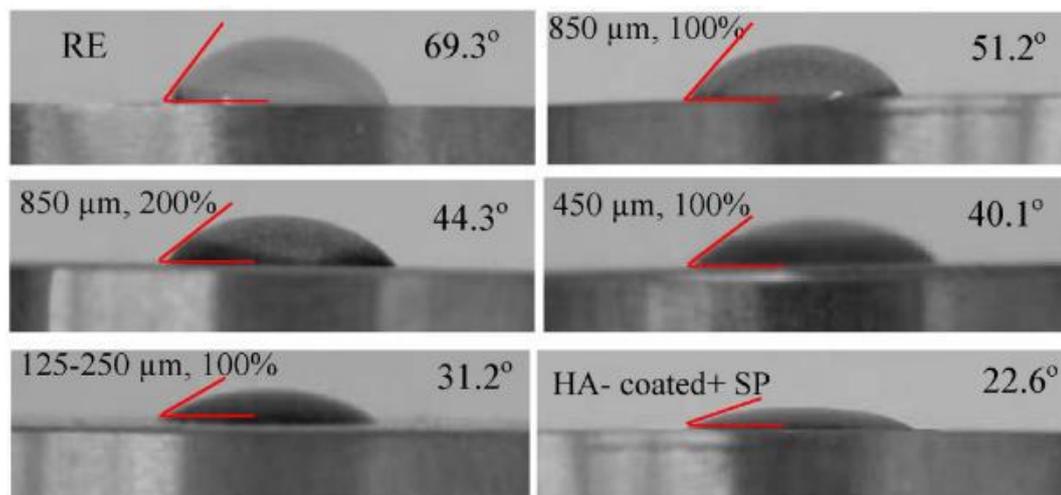
Peningkatan kekasaran permukaan dapat terjadi setelah perlakuan *shot peening*. Pengaruh kekasaran permukaan melibatkan pada perubahan struktur mikro, sifat maupun properti bahan dan beberapa faktor ,seperti ukuran butiran abrasif dan lamanya proses penembakan pada material uji. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa nilai kekasaran rata-rata tertinggi yang didapatkan setelah *shot peening* adalah diameter 4 mm dengan tekanan 6 bar sebesar 1.41 Ra, tekanan 7 bar sebesar 1.31 Ra dan tekanan 8 bar sebesar 1.15 Ra. Perlakuan *shot peening* mengakibatkan penumbukan permukaan yang terjadi secara acak lebih luas pada permukaan sehingga permukaan pada AISI 316L memiliki bukit kekasaran yang sedikit dan nilai kekasaran menurun. Dengan tekanan *shot peening* yang besar maka memiliki massa yang lebih besar akan menumbuk di permukaan dengan gaya yang lebih besar sehingga distribusi bentuk permukaan hasil tumbukan akan lebih rata. Dapat disimpulkan bahwa tekanan penyemprotan yang digunakan akan mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Semakin besar tekanan penyemprotan yang digunakan akan menghasilkan kekasaran yang lebih rendah.



Gambar 2.1 Diagram Efek tekanan *shot peening* terhadap kekasaran permukaan *stainless steel* AISI 316L (Raharjo dkk,2015)

2.1.2 Wettability

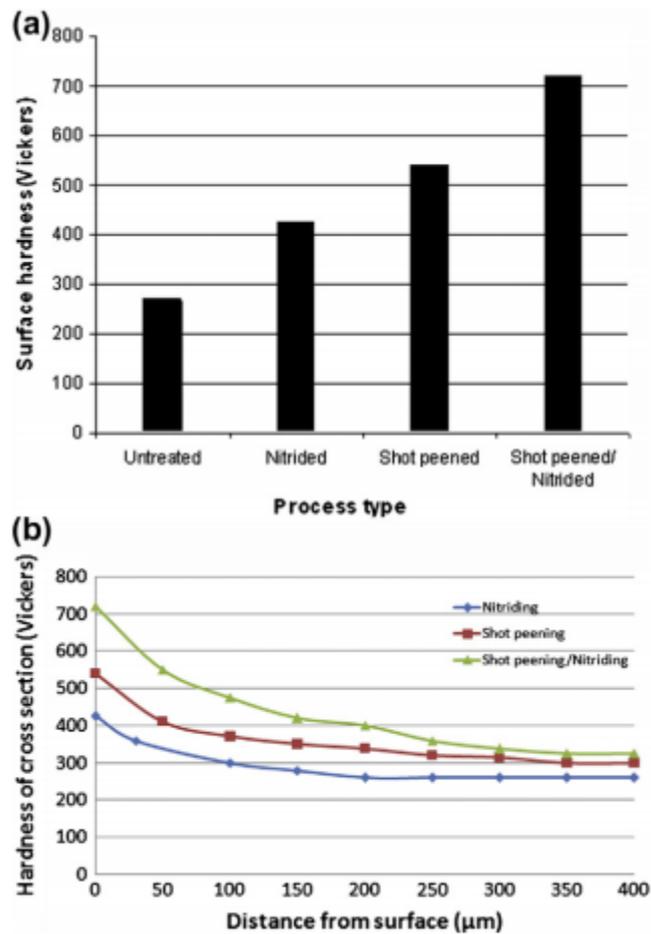
Ahmed dkk (2009) melakukan penelitian dengan menggunakan parameter pengujian kekasaran permukaan, *wettability* dan laju korosi pada spesimen. Pada gambar 2.2 memperlihatkan bahwa spesimen yang tidak diberi perlakuan (RE) memiliki nilai sudut kontak sebesar $\pm 69,3^\circ$, sehingga spesimen RE memiliki tingkat *hydrophilic* yang sangat rendah. Kemudian terjadi penurunan nilai sudut kontak dari $\pm 51,2^\circ$ menjadi $\pm 31,2^\circ$ yang dimana hal ini diikuti dengan meningkatnya nilai kekasaran permukaan spesimen dan nilai sudut kontak paling rendah di dapat pada spesimen SP yang dilapisi menggunakan *Hydroxiapatite* (HA). Dapat disimpulkan bahwa semakin kasar permukaan maka nilai sudut kontak yang terjadi pada spesimen juga semakin kecil. Mengutip Arima dkk (2007) dalam Ahmed dkk, bahwa parameter permukaan berupa kekasaran dan *wettability* mempengaruhi interaksi dari material dengan lingkungan sekitarnya. Kasar dan permukaan *hydrophilic* sesuai untuk adhesi sel tulang dan generasi perlekatan tulang dengan implan. Secara umum, adhesi sel secara langsung cenderung terjadi lebih efisien pada permukaan *hydrophilic*, akan tetapi tidak efisien pada permukaan *hydrophobic*. Sedangkan adhesi sel secara tidak langsung mendominasi pada permukaan halus dan *hydrophobic*.



Gambar 2.2 Hasil pengujian sudut kontak pada masing-masing spesimen. (Ahmed dkk, 2015).

2.1.3 Kekerasan permukaan

Hasil uji kekerasan yang ditunjukkan oleh Multigner dkk (2009), Arivianto dkk (2011), Hashemi dkk (2011) dan Sunardi (2014) memperlihatkan perbandingan kekerasan dengan jarak kedalaman material setelah perlakuan permukaan dengan menggunakan metode *shot peening*. Pada Gambar 2.3 memperlihatkan bahwa daerah permukaan material uji yang terkena perlakuan *shot peening* ditambah dengan pelapisan NH_3 memiliki kekerasan yang paling tinggi di permukaan dibandingkan dengan spesimen lainnya. Tingkat kekerasan pada penampang potongan spesimen menurun seiring dengan bertambahnya jarak indenter, semakin jauh dari permukaan maka tingkat kekerasan akan menurun mendekati dengan material dasarnya *Shot peening* memiliki efek yang lebih signifikan pada kekerasan permukaan dibandingkan dengan pelapisan NH_3 . Hal ini dapat dikaitkan dengan induksi kompresi tegangan sisa, perbaikan butiran dan transformasi martensit induksi-tegang pada lapisan permukaan material akibat perlakuan *shot peening*. Dengan ditambahkan lapisan pada permukaan dengan menggunakan NH_3 maka kekerasan pada permukaan mengalami peningkatan karena dipengaruhi oleh ketebalan lapisan yang terdapat pada spesimen *shot peening* tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa proses *shot peening* ditambah pelapisan NH_3 lebih efektif daripada spesimen yang hanya diberi lapisan NH_3 saja.



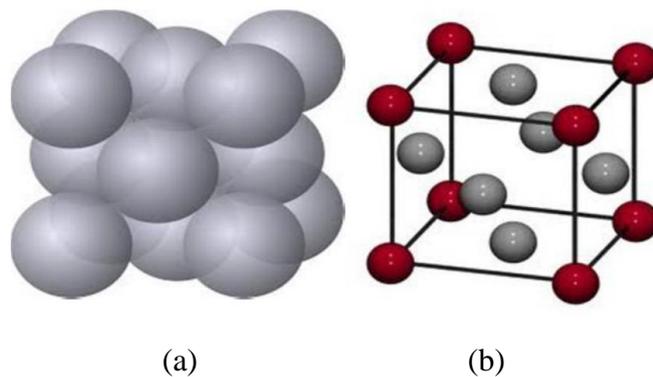
Gambar 2.3 Kekerasan *Vickers* di (a) permukaan spesimen; (b) di penampang potongan spesimen. (Hashemi dkk, 2011)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Stainless steel 316L (SS-316L)*

Stainless steel 316L merupakan baja tahan karat dengan kandungan karbon rendah, sehingga memiliki daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasa. Hal ini dapat terjadi karena adanya fenomena *pasivation*. *Pasivation* adalah fenomena terbentuknya lapisan tipis krom dan nikel yang melindungi material baja ketika bertemu dengan oksigen. Lapisan tipis ini merupakan senyawa oksida krom yang transparan, sangat tipis berupa *film*, tidak larut, dan menjadikan logam tetap terlihat berkilau dan menghasilkan tingkat korosi rendah dari logam (Hidayat, 2013).

Pada bidang bedah tulang, *stainless steel* AISI-316L sudah sering digunakan untuk pembuatan alat medis dan material implan. *Stainless steel* 316L juga merupakan bahan yang efisien dikembangkan pada aplikasi medis dikarenakan harganya murah dan dapat ditingkatkan kualitasnya. Selain itu SS-316L memiliki keunggulan pada ketahanan korosi, sifat fisik, sifat mekanik dan permukaan yang mudah dibersihkan (Sutowo, 2014). *Stainless steel* AISI-316L merupakan baja austenit yang memiliki struktur *face-centered cubic* (FCC) dengan struktur kristal seperti gambar 2.4. Struktur ini terbentuk karena adanya penambahan unsur paduan seperti mangan, nikel, dan nitrogen. Selain itu tidak bersifat magnetik pada kondisi anil dan hanya dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin (*cold worked*) (Panji, 2016).



Gambar 2.4. Struktur kristal *austenitic stainless steel face centered cubic* (FCC); (a) sel atom bulat penuh, (b) sel atom yang disederhanakan. (Callister, 2001)

Tabel 2.1. Komposisi kimia SS-316L (Azar, 2010)

Element	wt. %
Fe	67,603
C	0,023
Ni	10,547
Cr	16,934
Mo	2,033
Mn	1,624
P	0,031
S	0,015
Cu	0,345
Si	0,449
Etc.	0,396

Komposisi kimia dari *stainless steel* 316L telah dikembangkan untuk memperoleh struktur austenit yang stabil dan memiliki banyak keuntungan, yaitu : memiliki struktur FCC sehingga lebih unggul dari *stainless steel* feritik dalam ketahanan terhadap korosi karena kepadatan atom kristalografi yang tinggi, rasio kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang rendah sehingga mampu bentuk yang tinggi, *cold working* dan *successive aging treatment* dapat diterapkan untuk meningkatkan kekuatan (Sutowo,2014).

2.2.2 Dynamic Compression Plate (DCP)

Biomaterial adalah material yang mengalami kontak langsung dengan sistem biologis pada makhluk hidup, material diharuskan memiliki beberapa persyaratan, yakni tidak menimbulkan pengaruh buruk pada tubuh, memiliki kekuatan baik terutama ketangguhan dan memiliki ketahanan terhadap korosi. Dalam pengaplikasiannya biomaterial digunakan untuk menggantikan fungsi dari komponen tulang yang mengalami kerusakan (Bombac, 2007). *Bone plate* adalah salah satu alat medis yang dibuat untuk menggantikan struktur dan fungsi bagian biologis yang berfungsi sebagai perangkat yang ditempatkan sebagai pengganti tulang untuk menyangga faktor dalam tubuh dan memberikan fungsi sebagai alat untuk menyangga tulang yang patah pada tubuh (Sutowo,2014).

Dynamic Compression Plate (DCP) merupakan salah satu jenis dari plat penyambung tulang (*bone plate*). DCP (Gambar 2.5) masih diakui sebagai solusi penyembuhan terbaik untuk kasus patah tulang seperti di lengan bawah. Sejak tahun 1960-an, baik teknik dan implan digunakan untuk fiksasi internal yang telah berkembang untuk memperbaiki penyembuhan. Metode ini berusaha menjaga suplai darah sehingga meningkatkan laju penyembuhan patah tulang, mengurangi kebutuhan cangkok tulang dan mengurangi terjadinya infeksi (Miclau,1997).

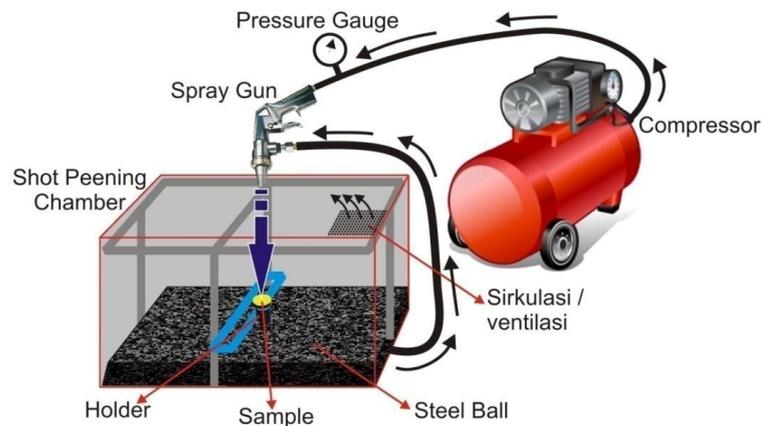


Gambar 2.5. *Dynamic compression plate* (Anggriani, 2012)

2.2.3 Perlakuan *Shot peening*

Shot peening adalah suatu metode rekayasa perlakuan permukaan yang digunakan untuk meningkatkan kekasaran dan kekerasan pada permukaan material dengan cara menembakkan partikel *steel ball* secara tegak lurus ke permukaan material secara berulang-ulang dan *progressive* dengan tekanan dan kecepatan tinggi dari kompresor udara, sehingga menghasilkan deformasi plastis dan pengecilan ukuran butir. (Sunardi, dkk, 2015). Peningkatan kekerasan mikro paling tinggi terjadi pada permukaan kemudian semakin dalam semakin menurun.

Pada proses kerja dari perlakuan *shot peening* yaitu *steel ball* dan udara secara bersamaan menyemprot permukaan material. Pada gambar 2.6 menunjukkan skema *shot peening* dimana *steel ball* akan ikut tersempot bersamaan karena adanya kevakuman dalam *box camber*, sehingga *steel ball* akan ikut tersempot bersama udara bertekanan tinggi. Biasanya dalam proses *shot peening* yang digunakan sebagai media penyembur udara adalah kompresor yang bertekanan tinggi dan *spray gun* digunakan sebagai *nozzle* untuk meningkatkan kecepatan *steel ball* yang akan ditembakkan ke material uji.



Gambar 2.6 Skema proses *shot peening* (Zamhari,2016)

2.2.4 Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

2.2.4.1 Pengamatan Struktur Makro

Proses pengamatan struktur makro adalah salah satu metode berskala makro untuk mengetahui dan menganalisa suatu permukaan spesimen apakah terdapat cacat atau tidak, serta untuk mengevaluasi kondisi material yang mungkin terdapat penyebab kegagalan pada permukaan. Selama pengamatan berlangsung, spesimen tidak diharuskan untuk memiliki permukaan sehalus mungkin seperti pada pengamatan mikro (ASM Metal Handbook Vol : 9, 2004). Pada pengamatan struktur makro hanya diberi proses pengampelasan permukaan spesimen uji untuk memastikan bahwa permukaan rata dan menghilangkan retakan pada permukaan.

2.2.4.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pada proses pengamatan struktur mikro ini bertujuan untuk melihat dan melakukan analisa bentuk butiran dan batas-batas butir pada permukaan material. Alat yang digunakan dalam pengamatan struktur mikro adalah mikroskop optik (*optical microscope*). Mikroskop optik memiliki batas maksimum nilai pembesaran hingga 1500x. Sehingga, apabila peneliti akan mengamati lebih dalam struktur mikronya, mikroskop ini tidak mampu karena butiran tersebut terlalu kecil seperti adanya macam-macam partikel fasa kedua, dislokasi butiran dan struktur martensit yang terdapat di dalam material akan sulit untuk diamati karena terlalu kecil bagi mikroskop cahaya. Hal ini, para peneliti tidak hanya

mengandalkan mikroskop optik saja, akan tetapi menggunakan tambahan alat berupa SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui fraktografi material (ASM *Metal Handbook* Vol:9,2004).

Pada pengamatan struktur mikro terdiri dari beberapa tahapan, yaitu : proses pengikisan/pengampelasan permukaan spesimen uji untuk memastikan bahwa permukaan spesimen rata dan menghilangkan retakan atau goresan pada permukaan, proses pemolesan untuk menghasilkan permukaan yang mengkilap pada kondisi awal dengan pasta poles logam, proses pengetsaan untuk melarutkan dengan cepat bagian-bagian tertentu dari spesimen uji , dan proses pengambilan gambar mikro untuk proses analisis.

2.2.5 Pengujian Kekasaran permukaan (*surface roughness*)

Kekasaran merupakan ukuran tekstur dari permukaan suatu benda atau material. Peningkatan kekasaran permukaan dapat terjadi setelah perlakuan *shot peening*. Untuk menentukan perbedaan tingkat kekasaran suatu material tidak cukup hanya dengan melihat langsung atau rabaan tangan pada permukaannya, tetapi harus ada standar baku untuk acuan penelitian. Parameter pengukuran standar yang biasa digunakan dalam pengukuran permukaan yaitu Ra, Rz, atau Rmax. Ra adalah tinggi rata-rata. Rz adalah tinggi maksimum rata-rata, sedangkan Rmax adalah jarak antara bukit tertinggi dengan lembah terendah.

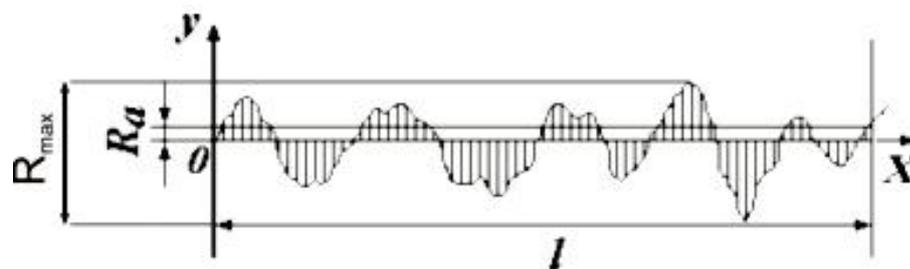
Adapun cara analisis dalam penentuan nilai Ra yaitu menggunakan rumus dan visualisasinya pada gambar 2.7 dibawah ini (Zamhari,2016 dalam Rochim, 1993).

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

Dimana :

- Ra = Kekasaran rata-rata (μm)
- a = Nilai Hasil uji Kekasaran 1 (μm)
- b = Nilai Hasil uji Kekasaran 2 (μm)
- c = Nilai Hasil uji Kekasaran 3 (μm)
- n = Jumlah banyaknya data

Penggunaan parameter pengukuran kekasaran diukur dengan menghitung selisih simpangan 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. Metode kontak langsung ini menggunakan ketelitian yang tergantung alat pengukurnya. Prinsip kerja metode ini menggunakan jarum yang berjalan sepanjang permukaan material. Jarum ini memiliki bentuk seperti tabung yang dapat menyesuaikan dengan tingkat akurasi hasil pengukuran yang dilakukan. Sepanjang pengukuran berlangsung jarum akan naik turun mengikuti bentuk yang dimiliki oleh permukaan material.



Gambar 2.7. Profil permukaan yang dilukiskan berlembah (Hidayat, 2013)

2.2.6 Pengukuran geometri plat

Pengukuran suatu benda dilakukan menggunakan alat ukur. Setiap alat mempunyai kegunaan yang berbeda-beda. Salah satu alat ukur dimensi benda yaitu jangka sorong. Jangka sorong merupakan alat ukur yang biasa digunakan untuk mengukur panjang, diameter dalam, diameter luar, dan kedalaman benda. Jangka sorong adalah alat ukur yang dapat melihat dan mengukur benda dengan satuan ukur yang memiliki ketelitian 0,01 mm.

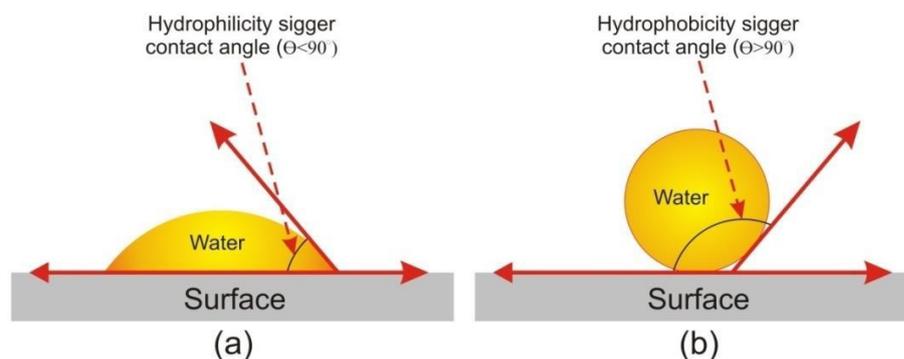
Pada penelitian ini, jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan dari plat sampel, mengukur diameter lubang plat dan mengukur diagonal dari lubang *elips*. Jangka sorong dengan tampilan digital dipilih karena memiliki akurasi dan ketelitian alat yang cukup baik untuk digunakan dalam pengukuran spesimen uji.

2.2.7 Pengujian *Wettability*

Dalam pengamatan *wettability*, terdapat dua macam sifat fluida terhadap material saat berinteraksi satu sama lain. Diantaranya sifat *hydrophilic* (suka air) dan *hydrophobic* (tidak suka air). Suatu permukaan yang dikatakan *hydrophobic* jika permukaan tersebut tidak basah bila terkena air, permukaan selalu terlihat bersih. Untuk menentukan permukaan *hydrophobic*nya dapat diketahui dengan mengukur besarnya sudut kontak yang terbentuk pada permukaan bahan uji. (Dahlia Gusrita dkk, 2014).

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air yang ditetaskan 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).

Studi tentang karakter suka air dan tidak suka air ini terbagi dalam beberapa jenis pengukuran. Gambar 2.8 memperlihatkan *contact angle* kecil ($<90^\circ$) menunjukkan sangat *hydrophilic*, sementara *contact angle* besar ($>90^\circ$) menunjukkan rendahnya karakter *hydrophilic* suatu permukaan (Yuliwati dan Desi, 2014).



Gambar 2.8. Skema bentuk *contact angles* (a) *Hydrophilic* dan (b) *Hydrophobic* (Yuliwati dan Desi, 2014).

2.2.8 Pengujian Kekerasan Permukaan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menahan goresan dan menahan penekanan terhadap deformasi. Pada uji kekerasan, sebuah indenter yang keras ditekan dengan gaya tertentu ke permukaan logam benda uji. Deformasi yang terjadi yaitu kombinasi perilaku

elastis, plastis ,serta kekerasan yang dimiliki suatu material yang bersifat mekanik. Ada beberapa metode pengukuran kekerasan permukaan yang dikategorikan berdasarkan dari indentornya. Metode pengukuran kekerasan dengan indentasi yaitu metode *Brinell*, *Rockwell*, *Knoop* dan *Vickers*. Prinsip dasar dari metode ini adalah dengan menekankan indentor dengan gaya tertentu pada permukaan benda uji, sehingga terlihat bekas injakan dari indentor tersebut. Pada pengukuran kali ini peneliti akan menggunakan metode *Vickers*. Metode *Vickers* (Gambar 2.9) menggunakan indentor berupa intan piramida yang berbentuk bujur sangkar dengan sudut kontak pada indentornya sebesar 136° . Besaran sudut ini dipilih karena pada nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara lengkung diameter serta bola penumbuk pada metode *brinell* (Dieter, 1987)

Untuk mengukur nilai kekerasan material menggunakan persamaan standar ASTM E384-84 (Brandes dan Brook 1992):

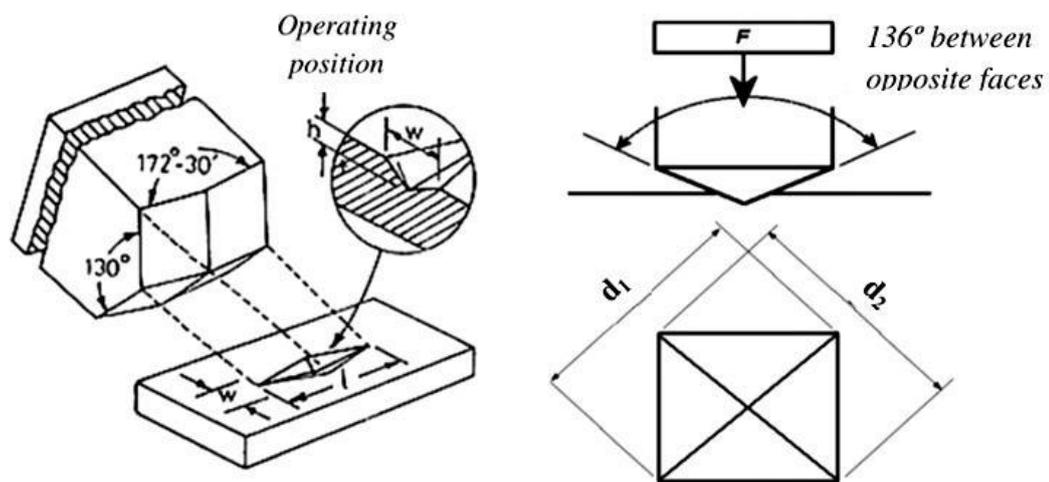
$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1854,4)P}{d^2} \left(\frac{kg}{mm^2}\right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

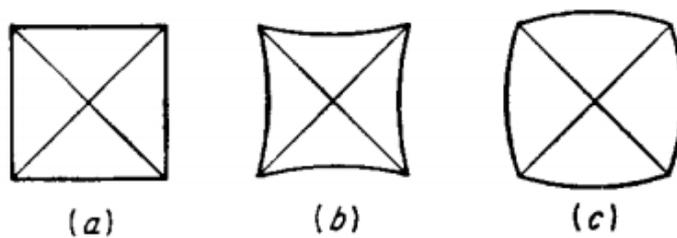
VHN = Nilai Kekerasan *Vickers* (kg/mm^2)

P = Beban yang digunakan selama pengujian (kg)

D = diagonal rata-rata bekas injakan (mm)



Gambar 2.9. Skematik prinsip indentasi dengan metode *Vickers* (Kuhn, 2000)



Gambar 2.10 Tipe-tipe bentuk indentasi pada metode kekerasan Vickers. (a) Indentasi sempurna, (b) Indentasi berbentuk bantalan karena indenter tenggelam, (c) Indentasi barel karena akibat kerutan. (Dieter, 1988)