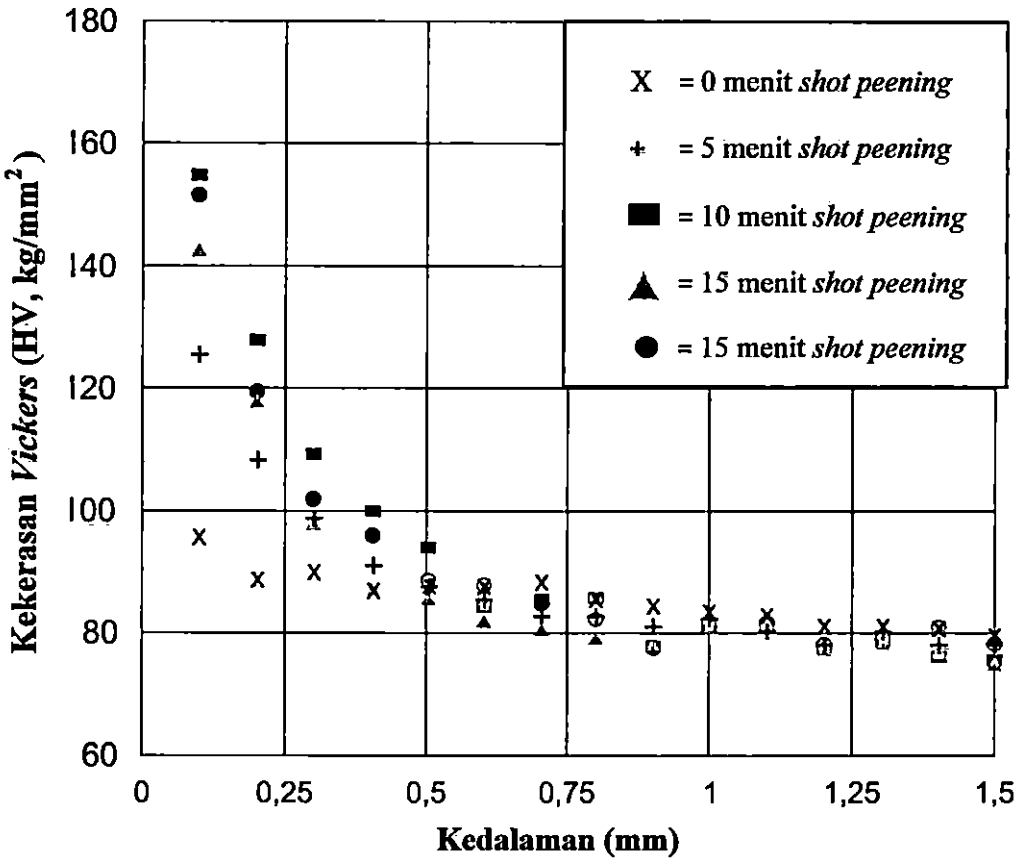
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

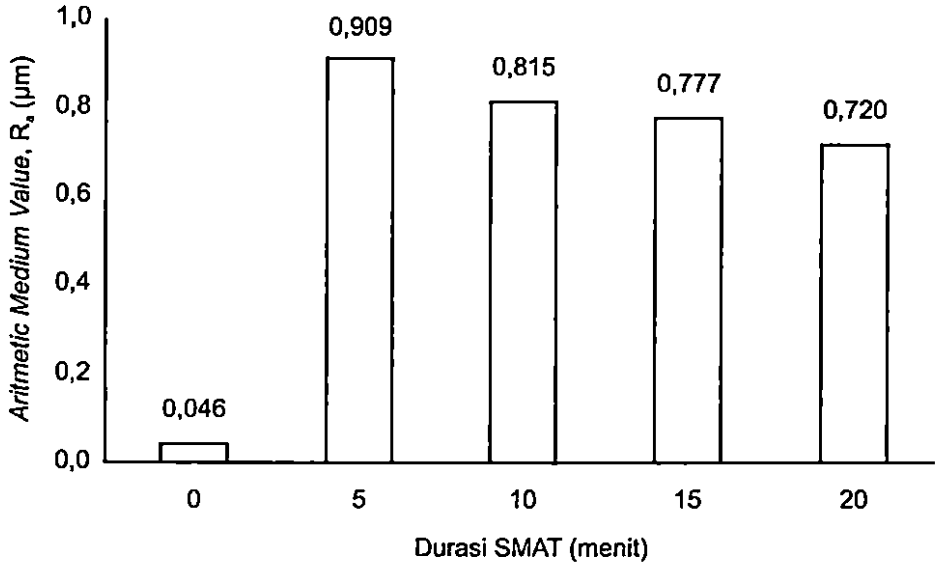
2.1 Kajian Pustaka

Arifvianto dkk (2009) melakukan penelitian tentang efek dari perlakuan dingin SMAT (*Surface Mechanical Attrition Treatment*) terhadap kekerasan dan *wettability* pada *stainless steel* AISI-316L. *Wettability* merupakan sifat material setelah dilakukan proses perlakuan permukaan terhadap ketahanan fluida cair ketika berada diatas permukaan material. Variasi durasi perlakuan SMAT dilakukan terhadap 5 sampel ukuran 100 × 50 × 4 mm. Masing-masing sampel diberi perlakuan selama 0 menit (tanpa perlakuan), 5, 10, 15, dan 20 menit. Bola-bola yang digunakan dalam perlakuan SMAT memiliki diameter 3/16 inci sebanyak 150 buah. Sedangkan putaran poros yang digunakan adalah 1400 rpm. Pengujian kekerasan permukaan dilakukan sebanyak 30 titik pada permukaan secara merata. Pengujian kekerasan permukaan alat uji BUEHLER yang menggunakan metode Vickers sebanyak 15 titik dengan jarak 10 μm. Pengujian *wettability* menggunakan materi *droplet* berupa air destilasi yang dijatuhkan pada 5 titik di permukaan sampel. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali tiap titik. Pengambilan gambar menggunakan *high speed camera* MEMRECAM C3.

Gambar 2.1., menunjukkan distribusi nilai kekerasan mikro terhadap kedalaman permukaan. Nilai kekerasan dinyatakan dengan *Vickers Hardness Number* (HV). HV pada sampel tanpa perlakuan relatif konstan pada semua titik yang diukur (HV = 80 - 100 kg/mm^2). Kekerasan tertinggi ditunjukkan pada permukaan yang diberi perlakuan SMAT yaitu berkisar antara 126 sampai 150 kg/mm^2 dan terus menurun hingga kedalaman 1 mm. Setelah kedalaman 1 mm nilai HV relatif sama dengan sampel tanpa perlakuan. Peningkatan HV pada permukaan dan sub-permukaan berbanding lurus dengan durasi SMAT. Semakin lama durasi SMAT maka semakin tinggi pula kekerasan permukaan.



Gambar 2.1. Grafik distribusi nilai kekerasan mikro (*microhardness*) terhadap kedalaman permukaan 0 (x); 5 (+); 10 (■); 15 (▲); dan 20 (●) menit. (Arifvianto dkk, 2009)



Gambar 2.2. Grafik nilai kekasaran permukaan (R_a) terhadap durasi SMAT (Arifvianto dkk, 2009)

Gambar 2.2. menunjukkan perbedaan kekasaran permukaan antara sampel yang mendapat perlakuan dan yang tidak mendapat perlakuan SMAT. Perlakuan SMAT meningkatkan kekasaran permukaan hingga 20 kali lipat dibanding sebelum perlakuan. Peningkatan durasi SMAT antara 5 sampai 20 menit menurunkan R_a dari $\pm$ 0,9 μm menjadi $\pm$ 0,7 μm.

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

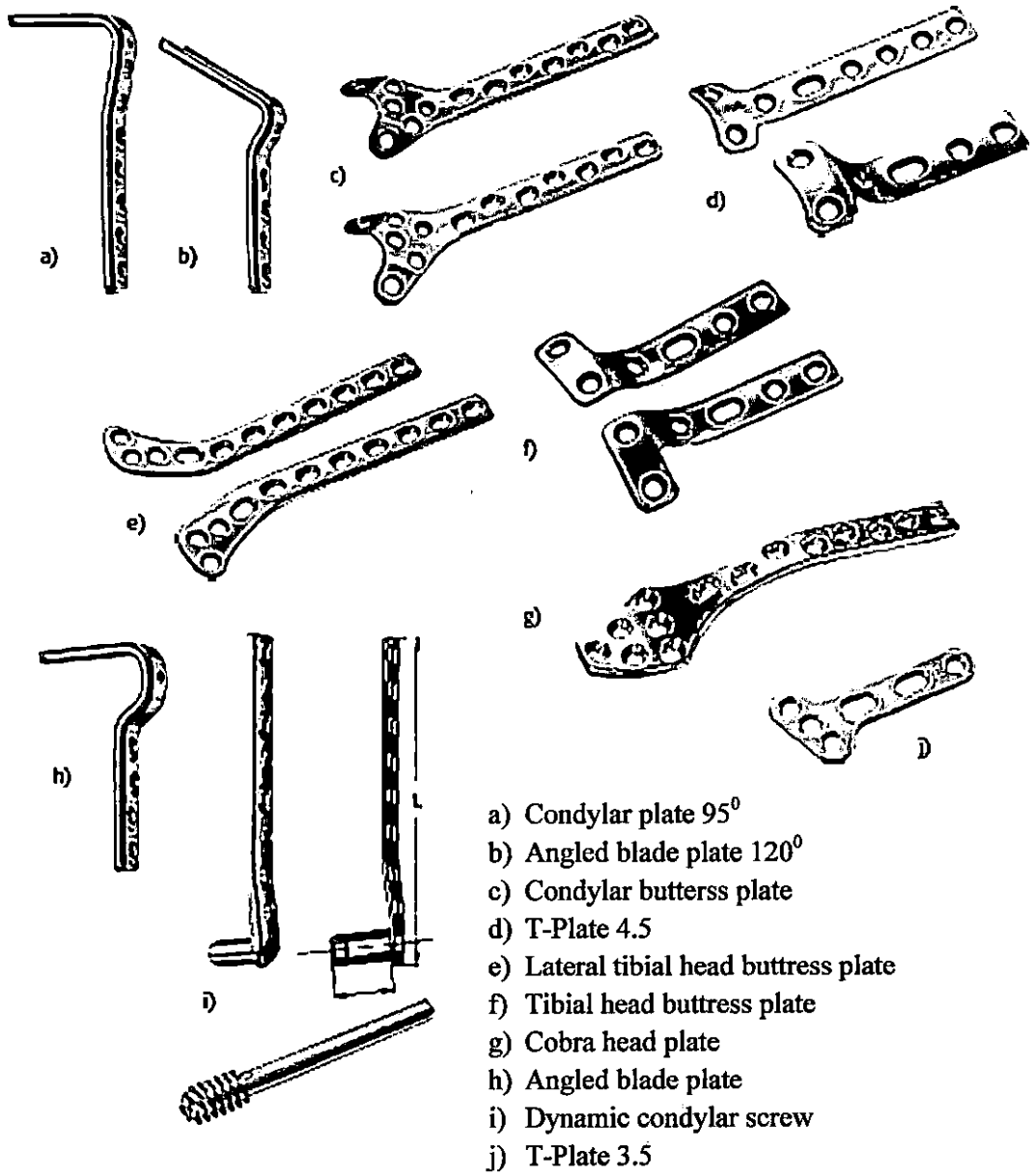
Sand blasting (Elias dkk, 2008; Pattelli dkk, 1996; Aparicio dkk, 2003) dan *shot peening* (Oshida dkk, 1993; Azar dkk, 2010; Mordyuk dan Prokopenko, 2007) menjadikan permukaan lebih kasar dan *hydrophilic* karena tabrakan berulang dari material *abrasive* menimbulkan deformasi. Akibat yang ditimbulkan tidak hanya pada perubahan *hydrophilic* dan kekasaran, tetapi berpengaruh juga dengan meningkatnya kekuatan karena terbentuknya formasi *grain* yang baik, tegangan sisa, dan fase martensit pada lapisan permukaan benda akibat perlakuan tersebut (Elias dkk, 2008; Mordyuk dan Prokopenko, 2007; Xing dan Lu, 2004). AISI-316L sangat luas penggunaannya dalam *engineering* dan aplikasi kedokteran karena sifatnya yang sangat baik dalam ketahanan korosi dan ketahanan oksidasi (Chen dkk, 2005), serta bersifat *biocompatible* (Azar dkk, 2010).

Pada penelitian kali ini digunakan metode *shot peening*. Seperti halnya metode SMAT, *shot peening* adalah metode perlakuan dingin. Perbedaannya pada SMAT butiran *abrasive* bergerak secara acak dengan arah yang berbeda-beda, sedangkan pada *shot peening* material *abrasive* ditembakkan secara langsung dari satu arah yang tetap. Pada *shot peening*, energi kinetik benda *abrasive* berasal dari tekanan udara dari kompresor, sedangkan pada SMAT, gerak bahan *abrasive* berasal dari getaran. Kelebihan pada metode *shot peening* adalah material *abrasive* dapat digunakan material yang bermasa kecil, tidak banyak terpengaruh oleh gravitasi, dan tekanan material *abrasive* lebih dapat disesuaikan dengan mengatur tekanan udara pada kompresor. Beberapa material *abrasive* lain yang pernah digunakan oleh peneliti lain adalah serbuk besi standar ISO 9001 yang digunakan oleh As'ad (2008), Alumina (Al_2O_3) berukuran 750m digunakan oleh Multigner dkk (2009), *slag ball* dengan variasi ukuran digunakan oleh Adriawan (2011), pasir silika berukuran 0,5-0,8 mm oleh Mukhsen (2012).

2.2. *Osteosynthesis Plate*

Kemampuan untuk memproduksi alat-alat industri manufaktur secara mandiri sangat dibutuhkan oleh semua pihak. Industri manufaktur yang lebih lengkap dan baik akan menghasilkan produk-produk manufaktur yang baik pula. Hal ini mempengaruhi pula pada nilai jual dan persaingan dalam industri manufaktur. Penulis diharuskan untuk meneliti produk yang sudah dikerjakan dengan proses permesinan dengan alat-alat industri manufaktur untuk menemukan efek yang terjadi akibat dari proses permesinan pada benda kerja yang dibuat. Fokus penelitian ini membahas mengenai struktur mikro, kekerasan mikro dan kekasaran permukaan benda kerja yang dibuat agar diperoleh hasil yang baik.

Osteosynthesis plate yang merupakan alat yang digunakan untuk menyambung tulang pada penderita patah tulang. Hal tersebut akan berdampak positif dalam dunia industri, dalam hal ini khususnya dibidang kedokteran. Proses pembuatan produk untuk penyambung tulang atau dengan istilah asing *osteosynthesis plate* masih dilakukan di negara-negara lain. Pembuatan *osteosynthesis plate* tentu saja berdasarkan dari data yang dibutuhkan dan dimensi tulang dalam melakukan riset. Berdasarkan hal itu, hasil produk yang sudah ada ketika digunakan atau dipasang pada tulang manusia khususnya di indonesia, mengalami kesulitan karena data riset yang digunakan berbeda dengan data tulang pada masyarakat indonesia. Desain suatu produk dapat diproduksi dengan baik yaitu memenuhi standar mutu dan fungsi secara maksimal. Gambar jenis-jenis *osteosynthesis plate* ditunjukan pada Gambar 2.3.



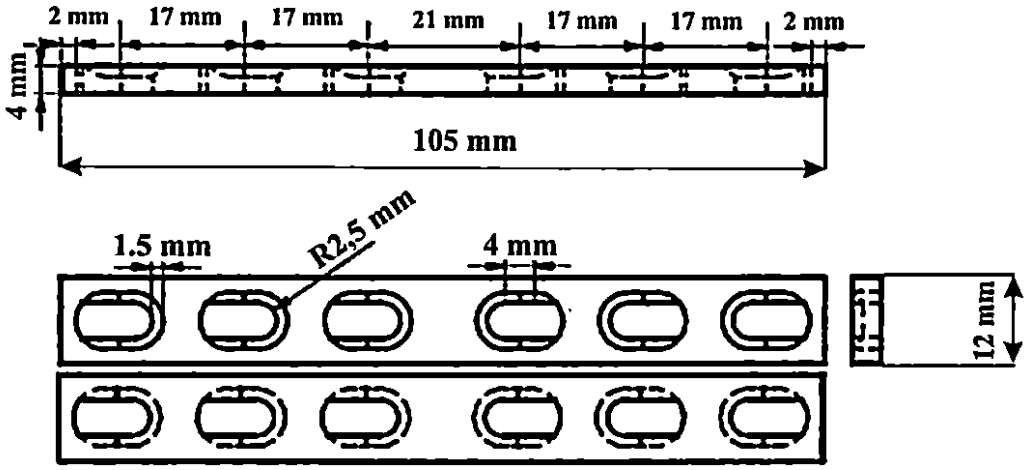
a) Condylar plate 95^0
b) Angled blade plate 120^0
c) Condylar butterss plate
d) T-Plate 4.5
e) Lateral tibial head buttress plate
f) Tibial head buttress plate
g) Cobra head plate
h) Angled blade plate
i) Dynamic condylar screw
j) T-Plate 3.5

Gambar 2.3. Gambar jenis-jenis *osteosynthesis plate.*

(Miclau T, Martin RE, 1997)

Osteosynthesis plate merupakan plat penyambung tulang dengan berbagai macam bentuk berkembang pesat dewasa ini. *Osteosynthesis plate* ini biasanya digunakan untuk menyambung tulang lengan tangan, kaki, paha, tulang punggung, jari-jari, dan lain sebagainya. Produk ini akan sangat membantu dalam proses penyembuhan tulang yang diharapkan dapat memberikan hasil yang maksimal. Penulis akan mencoba menganalisis efek permesinan *osteosynthesis plate. Osteosynthesis plate* pada penelitian ini mempunyai karakteristik sebagai berikut (Angraini, Y., 2012):

1) Material yang digunakan adalah *stainless steel.*
2) Lubang pelat berbentuk *elips.*
3) Dimensi pelat: panjang 105 mm, lebar 12 mm, dan tebal 4 mm.
4) Jarak lubang *elips* pertama dengan ujung pelat 2 mm, pada bagian tengah lubang 22 mm dan 17 mm antar lubang pelat.



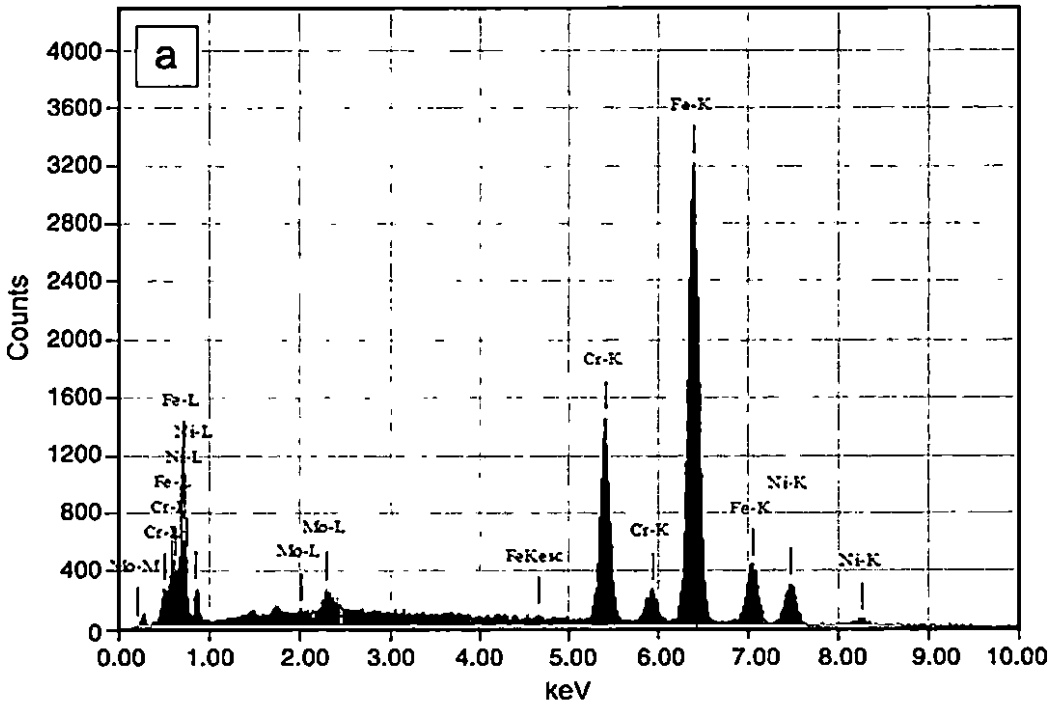
Gambar 2.4. Desain pelat penyambung tulang (Angraini, Y., 2012).

Gambar 2.5. Produk pelat penyambung tulang.

2.3. *Stainless steel* AISI-316L

Baja tahan karat memiliki daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya fenomena *pasivation. Pasivation* adalah fenomena terbentuknya lapisan tipis krom 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. Pada bidang bedah tulang, *stainless steel* AISI-316L sudah sering digunakan. Biasa digunakan untuk pembuatan alat medis tapi juga tidak menutup kemungkinan bila digunakan untuk pembuatan *implant.* Implantasi dalam bedah tulang merupakan usaha yang dilakukan untuk memperbaiki atau mengganti bagian tulang yang rusak atau cacat dengan material sintetis.

Selain mudah didapat dan harga relatif murah, *stainless steel* AISI-316L memiliki karakteristik yang menguntungkan sebagai bahan *implant. Stainless steel* AISI-316L bersifat relatif ringan, mudah dibentuk, dan tahan karat. *Stainless steel* AISI-316L merupakan baja austenit yang memiliki struktur *face-centered cubic* (FCC). Struktur ini terbentuk karena penambahan unsur paduan seperti nikel, mangan, dan nitrogen. Selain itu tidak bersifat magnetik pada kondisi anil dan hanya dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin (*cold worked*). *Stainless steel* AISI-316L merupakan baja tahan karat yang memiliki kandungan karbon rendah 0,03% dan kandungan kromium 16-18%. Baja ini memiliki ketahanan terhadap korosi lebih tinggi dibanding baja karbon rendah dan telah memenuhi standar medis. Komposisi kimia dari *stainless steel* AISI-316L dapat dilihat pada tabel komposisi dan gambar hasil EDX berikut.



Gambar 2.6. Hasil EDX *stainless steel* AISI-316L (Arifvianto dkk, 2012).

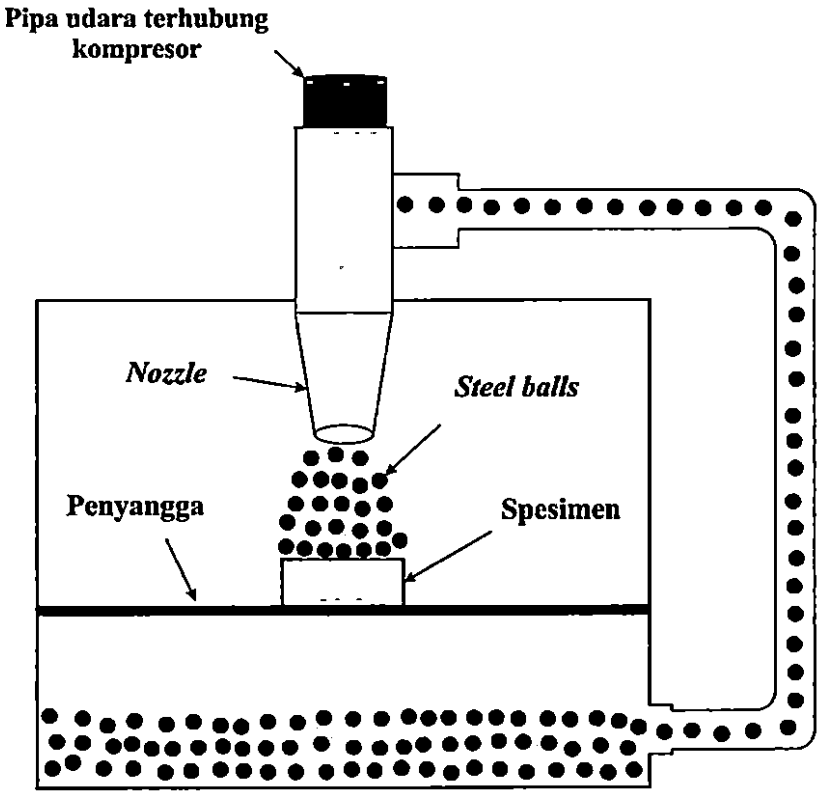
Tabel 2.1. Komposisi kimia *stainless steel* AISI-316L

(Martin, 2007: 410)

Elemen		Berat (wt%)
Carbon	C	0,03
Manganese	Mn	1,5
Silicon	Si	1,5
Chromium	Cr	17 – 21
Nickel	Ni	9 – 13
Phosphorus	P	0,04
Sulfur	S	0,04
Molybdenum	Mo	2 – 3

2.4. Metode *Shot Peening*

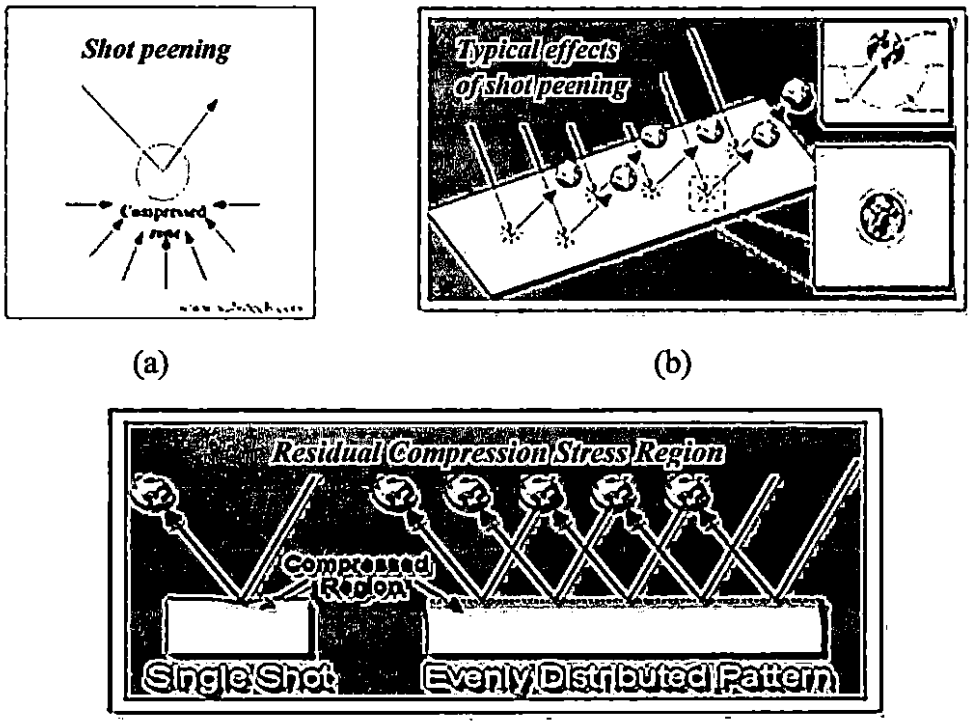
Shot peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin (*cold worked*). Seperti *sand blasting,* yang bertujuan untuk memadatkan permukaan material dengan cara menyemprotkan material *abrasive* ke permukaan material target pada tekanan dan kecepatan tinggi dari kompresor udara. Hasil penelitian dari beberapa peneliti menunjukkan bahwa adanya peningkatan kekerasan permukaan pada material uji karena deformasi plastis dan terbentuknya struktur *nanocrystalline*. Peningkatan kekerasan mikro paling tinggi terjadi pada permukaan kemudian semakin dalam semakin menurun.



Gambar 2.7. Proses *shot peening*

Pada umumnya digunakan kompresor sebagai media penyembur udara bertekanan dan *spray gun* yang berfungsi sebagai *nozzle* untuk meningkatkan kecepatan material-material *abrasive*. Tumbukan partikel *abrasive* dalam kecepatan tinggi menyebabkan permukaan mengalami penekanan sehingga menimbulkan tegangan tekan sisa (*compression residual stress*) pada permukaan

material. Proses kerja metode *shot peening* ditunjukan pada Gambar 2.7. Mekanisme pembentukan tegangan tekan dapat dilihat pada Gambar 2.8. Selain itu, tumbukan partikel menekan permukaan secara acak sehingga menyebabkan permukaan material menjadi lebih kasar.



(a) (b)

(C)

Gambar 2.8. Mekanisme pembentukan tegangan tekan akibat tumbukan (a) *Single shot* (www.substech.com, diakses 27 Oktober 2015); (b) *Typical affect of shot peening*; (c) *Compression stress region* (abrasivefinishingcompany.com, diakses 27 Oktober 2015).

2.5. Pengamatan Struktur Mikro

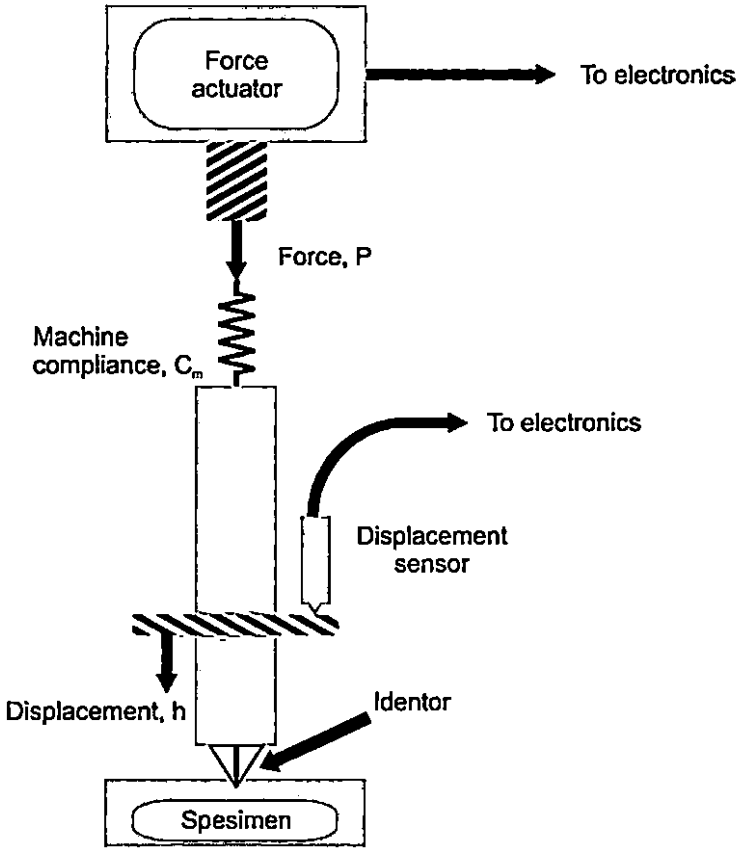
Pengamatan struktur mikro permukaan merupakan salah satu cara untuk mengidentifikasi sifat material dan juga merupakan indikasi keberhasilan dari perlakuan permukaan. Dikarenakan sifat mekanik yang dimiliki suatu material dipengaruhi oleh struktur mikronya. Hasil pengamatan yang dilakukan dapat dibandingkan struktur sebelum dilakukannya perlakuan dan struktur setelah terjadinya perlakuan.

Pengamatan struktur mikro membutuhkan beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahap pertama adalah pemotongan (*sectioning*), lalu pengamplasan (*grinding*), pemolesan (*polishing*) dan terakhir pengetsaan (*etching*). Pada proses pemotongan, material dipotong dengan ukuran yang disesuaikan dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Setelah itu dilakukan proses pengamplasan. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan retak dan goresan yang terdapat pada permukaan. Proses pengamplasan dilakukan dengan nomor amplas kecil sampai besar secara bertahap, yaitu 600, 1200, 2000 dan 2500. Hal ini dimaksudkan agar hasil pengamplasan menjadi optimal. Proses selanjutnya adalah pemolesan spesimen dengan menggunakan pasta pemoles logam (*metal polish*) berupa autosol. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghasilkan permukaan yang mengkilat seperti kaca dan tidak ada goresan, maka proses pengetsaan dapat dilakukan. Proses pengetsaan untuk material *stainless steel* menggunakan alkohol konsentrasi 30%. Setelah dilakukan proses *etching* maka sampel telah siap untuk diuji struktur mikronya.

2.6. Pengujian Kekerasan permukaan (*Vickers*)

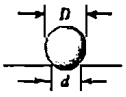
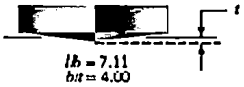
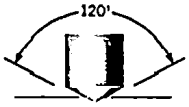
Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menahan goresan dan menahan penekanan agar tidak terdeformasi. Pada uji kekerasan, sebuah identor yang keras ditekankan ke permukaan logam benda uji. Deformasi yang terjadi kemudian diamati untuk diambil datanya. Ada beberapa metode pengukuran kekerasan permukaan yang dikelompokkan berdasarkan dari identornya. Metode yang sering digunakan diantarannya adalah metode *Brinell, Vickers,* dan *Rockwell.* Pada penelitian kali ini akan digunakan metode *Vickers.* Hal ini dimaksudkan, metode *Vickers* digunakan untuk menguji nilai kekerasan mikro dari suatu material. Metode *Vickers* (H.W. Hayden dkk, 1965), dikhususkan untuk mengukur kekerasan material kisaran 500 HV dengan beban (gaya tekan) rendah dan tanpa perlu menggantinya. Besarnya beban (gaya tekan) yang digunakan kisaran 1–120 kg. Sedangkan metode *Brinell* dan *Rockwell* biasanya dilakukan pengujian secara manual dan rentang terjadinya kesalahan. Metode *Brinell* dan *Rockwell* digunakan pada material yang bersifat lebih lunak. Besar beban (gaya

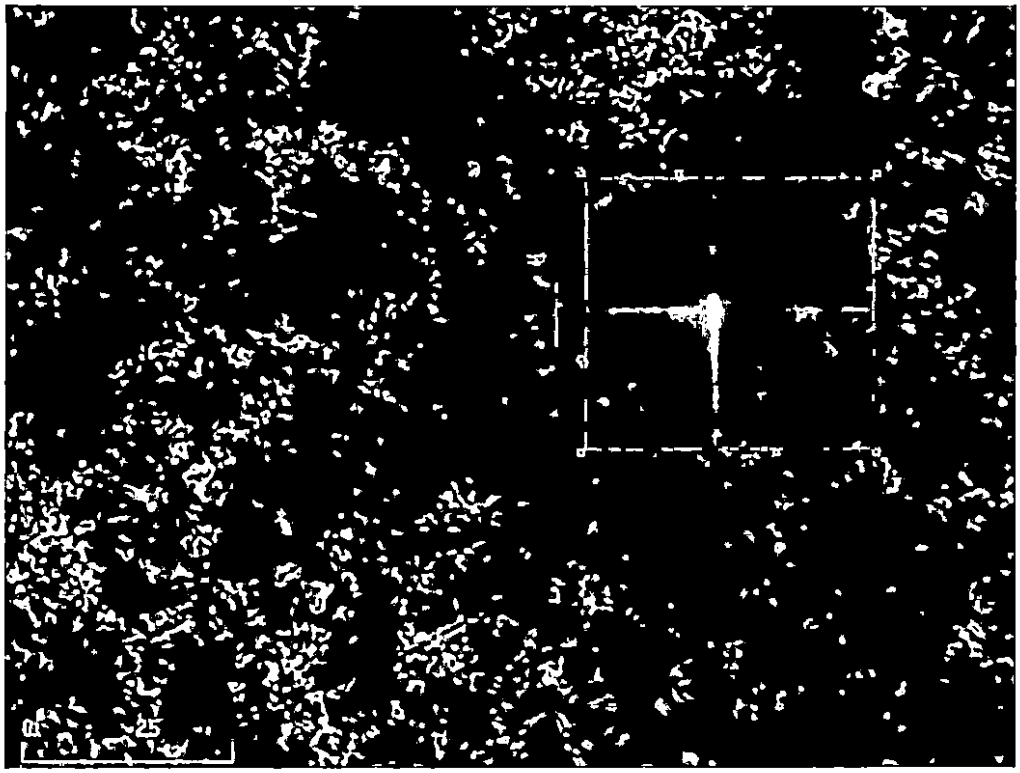
tekan) yang digunakan kisaran 500–1000 N. Dikarenakan beban (gaya tekan) yang digunakan pada metode *Brinell* dan *Rockwell* cukup besar, maka akan mempengaruhi perubahan nilai kekerasan permukaan material. Sehingga metode *Vickers* dianggap paling akurat ketika dilakukan pengujian dan pengambilan data dibanding metode *Brinell* dan *Rockwell*.



Gambar 2.9. Skema proses uji kekerasan permukaan. (Kuhn, 2000)

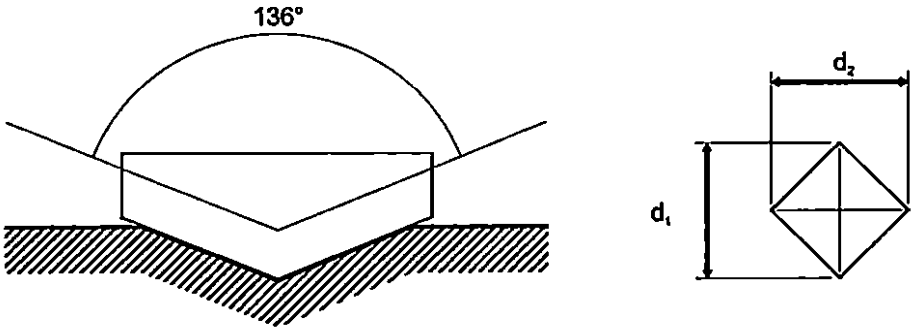
Tabel 2.2. Teknik pengujian kekerasan. (H.W. Hayden dkk, 1965)

Test	*Indenter*	*Shape of Indentation* — *Side View*	*Shape of Indentation* — *Top View*	*Load*	*Formula for Hardness Number*[a]
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone; $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres			60 kg, 100 kg, 150 kg: Rockwell 15 kg, 30 kg, 45 kg: Superficial Rockwell	



Gambar 2.10. Bekas injakan identor Vickers

Metode *Vickers* menggunakan identor intan piramida dengan sudut 136° seperti terlihat pada Gambar 2.10. Prinsip pengujiannya mirip dengan metode *Brinell,* perbedaannya hanya pada identor dan hasil pijakan. Metode *Vickers* menghasilkan ijakan berbentuk bujur sangkar. Panjang diagonal dari bujur sangkar tersebut yang kemudian diukur dengan skala pada mikroskop pengukur. Nilai kekerasan material diukur dengan menggunakan persamaan Standar ASTM E384-84 (Brandes dan Brook, 1992).



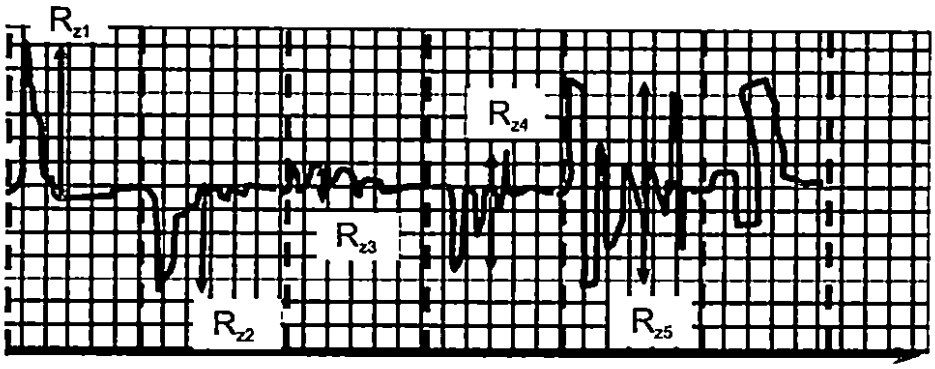
Gambar 2.11. Pengukuran bekas injakan identor *Vikers*

HV adalah *Vickers Hardness* (kgf/mm^2) **P** adalah beban yang diberikan (kgf), **d** adalah panjang rata-rata diagonal identor (μm). Bekas injakan proses pengujian kekerasan berbentuk persegi (Gambar 2.10). Bekas injakan diukur dengan panjang rata-rata kedua diagonalnya agar dapat dihitung hasil dari nilai kekerasannya.

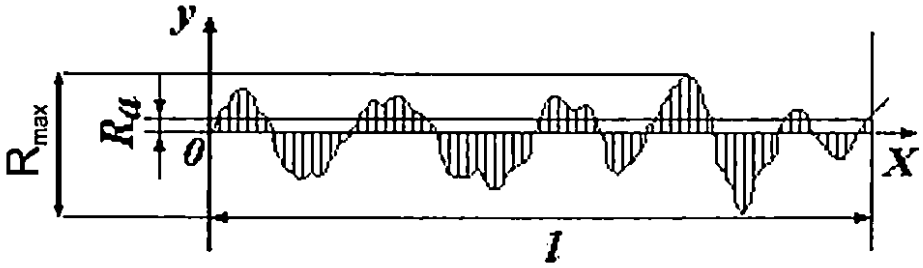
2.7. Pengujian Kekasaran Permukaan

Kekasaran merupakan ukuran dari tekstur permukaan suatu benda atau material. Perbedaan tingkat kekasaran suatu material tidak cukup hanya dengan rabaan tangan atau melihat langsung permukaannya, tetapi harus ada standar baku sebagai acuan para peneliti. Standar pengukuran yang biasa digunakan dalam pengukuran permukaan yaitu R_a, R_z, atau R_{max}. Ra adalah tinggi rata-rata. Rz adalah rata-rata dari tinggi maksimum, sedangkan Rmax adalah jarak antara bukit tertinggi dengan lembah terendah. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.12. Satuan kekasaran berupa "μm" yang dapat diukur menggunakan alat *surface roughness* (Gambar 2.13).

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. Pengukuran 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 kekasaran permukaan menggunakan *stylus* bergerak naik turun. *Sytlus* merupakan jarum indakator yang berfungsi sebagai alat pembaca bentuk kekasaran permukaan pada suatu material. Kemudian hasil pembacaan akan diteruskan ke alat *surface roughnes* yang selanjutnya dapat diketahui besarnya nilai kekasaran suatu permukaan.

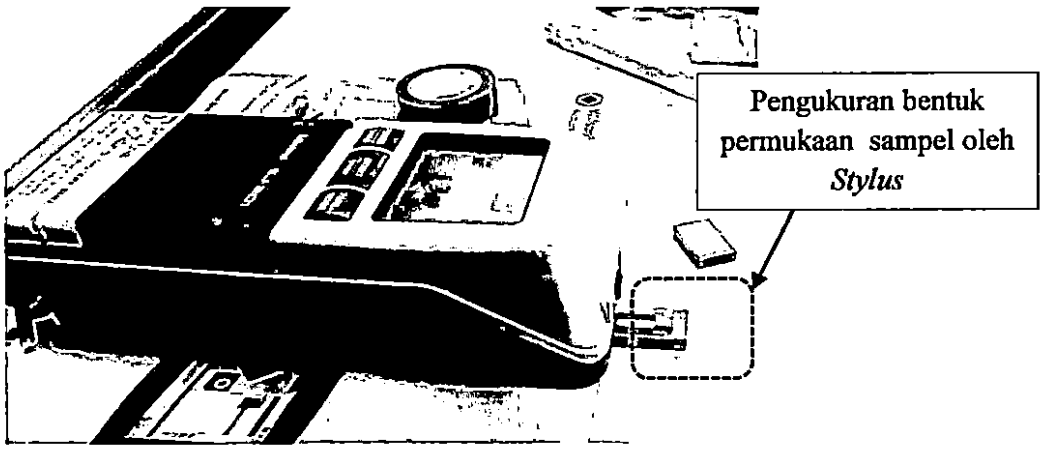


(a)



(b)

Gambar 2.12. Grafik nilai kekasaran permukaan suatu material terhadap nilai (a) R_z (b) R_a dan R_{max}. (www.palmatech.co.kr, diakses 13 November 2015)



Gambar 2.13. Skema *stylus* membaca permukaan sampel.

Data hasil pergerakan *stylus* dengan gerak naik turun ini yang kemudian diubah menjadi data digital yang dapat diolah dengan komputer. Data yang telah terkumpul disajikan sesuai standar parameter yang digunakan. Dikarenakan

bentuk permukaan material setelah dilakukan perlakuan *shot peening* tidak merata sehingga nilainya acak (*random*). Parameter nilai R_z tidak dapat digunakan karena parameter ini hanya mengukur nilai tinggi maksimum dari suatu permukaan. Sedangkan ketinggian permukaan yang diukur tidak merata tingginya. Paramater nilai R_{max} juga tidak dapat digunakan karena pengambilan data terfokus pada nilai maksimum jarak antara puncak tertinggi hingga titik terendah dari bentuk suatu permukaan, lihat Gambar 2.12. Oleh karena itu, parameter yang sering digunakan dalam penelitian kekasaran permukaan yaitu parameter R_a. Dikarenakan parameter pengambilan data dari hasil pengukuran menggunakan nilai tinggi rata-rata dari bentuk suatu permukaan yang dinyatakan dengan parameter Ra.