

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Shot Peening merupakan salah satu metode perlakuan permukaan yang termasuk metode *cold working* yang selama proses nya sisi penampang material sampel ditembak menggunakan bola baja/material *abrasive* dengan menggunakan waktu, tekanan dan ukuran diameter dari material *abrasive* tersebut sehingga terjadinya proses deformasi plastis pada permukaan akibat dari benturan yang terjadi (de los Rios *et al*, 1995).

Penggunaan metode ini dapat dikatakan bukan sebagai hal yang baru di dunia *engineering*, karena sudah banyak yang melakukan penelitian mengenai metode *shot peening*. Dengan didasari hal tersebut, penulis melakuakan penelitian yang tidak menyimpang dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Pada waktu sebelumnya terdapat beberapa peneliti yang melakukan penelitian dengan metode *shot peening* dengan menggunakan parameter pengujian berupa pengujian struktur mikro, kekerasan, kekasaran, kelelahan (*fatigue*), keausan, laju korosi dan *wettability*, diantaranya Arifvianto *et al* (2012 dan 2013), Sunardi *et al* (2013), Biehler *et al* (2017), Ahmed *et al* (2015), Azar *et al* (2010), Bagherifard *et al* (2015), Hashemi *et al* (2011), Menezes *et al* (2016), Jayalakshmi *et al* (2016) dan Marcela *et al* (2016), Al-Obaid *et al* (1995), Wang, Tiansheng *et al* (2006), de los Rios *et al* (1995).

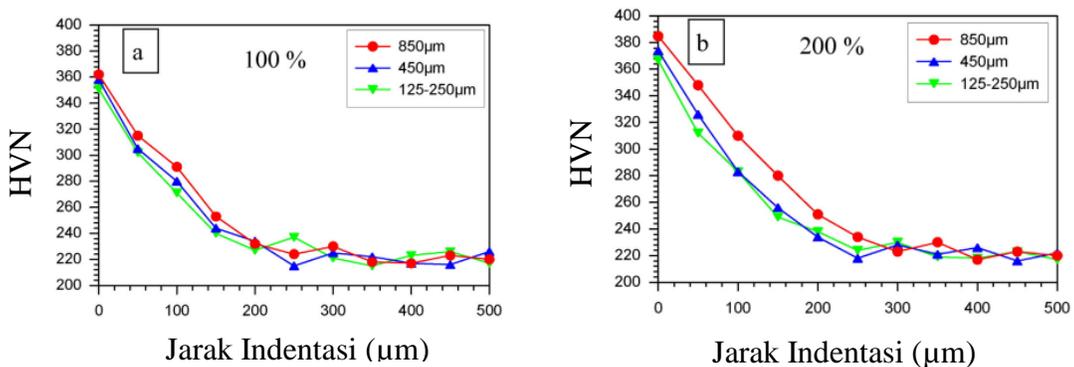
Pada penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti diatas menggunakan material yang sama yaitu *stainless steel* AISI 316L, penulis memasukkan beberapa peneliti yang menggunakan material berbeda sebagai tambahan, seperti Titanium (Arifvianto,2013), SS AISI 304 (Sunardi, 2013), SS AISI 304L dan 316L (Biehler *et al*,2017), 2205-Duplex SS (Al-Obaid *et al*, 1995), SS AISI 316L (Menezes *et al* (2016), Ahmed *et al* (2015), Azar *et al* (2010), Bagherifard *et al* (2015), dan Hashemi *et al*, (2011)).

Agar pada saat penelitian dilakukan tidak terlalu jauh dari tujuan, maka kelima penelitian terakhir akan penulis jadikan referensi selama melakukan penelitian.

2.1.1 Variasi Diameter *Steel Ball*

Ahmed *et al* (2015) menggunakan *ceramic balls* dengan diameter 125-250, 450 dan 850 μ m. Pada penelitian ini parameter pengujian yang dilakukan diantaranya pengujian korosi, kekerasan mikro, *wettability*, *residual stress* dan kekasaran. Selama pembuatan spesimen, Ahmed *et al* menggunakan pelapisan permukaan menggunakan *Hydroxyapatite* setelah dilakukan *shot peening*. Selama perlakuan, Ahmed *et al* juga menggunakan cakupan luasan penembakan yang diantaranya 100%, 200% dan Intensitas Almen dengan cakupan luasan penembakan sebesar 100%.

Dari penelitian yang dilakukan Ahmed *et al* menggunakan parameter pengujian kekasaran permukaan, *wettability* dan laju korosi pada spesimen. Dari pengujian kekasaran yang dilakukan di dapat hasil kekerasan dari ketiga variasi cakupan luasan penembakan tersebut. Grafik kekerasan dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.1 Grafik pengujian kekerasan spesimen *shot peening* dengan (a) cakupan luasan penembakan 100%; (b) cakupan luasan penembakan 200%.

(Sumber: Ahmed *et al*, 2015)

Dari grafik diatas, dapat terlihat pada gambar 2.1(b) memiliki nilai kekerasan paling tinggi dengan parameter variasi cakupan luasan penembakan. Hal ini dikarenakan dengan berubahnya cakupan luasan penembakan, maka semakin kecil pula kemungkinan bagian dari spesimen yang tidak terkena perlakuan. Sehingga hasil

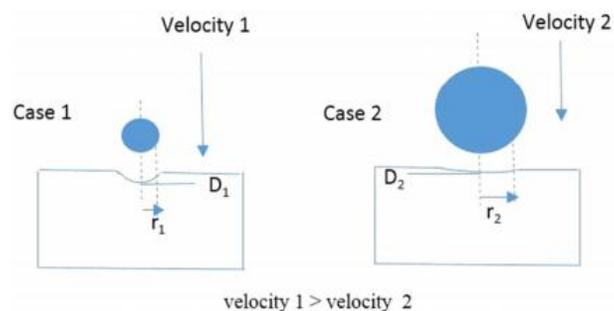
yang didapat juga semakin baik. Akan tetapi, hasil yang berbeda, bahkan dapat dikatakan terbalik justru terjadi pada pengujian kekasaran permukaan. Untuk hasil pengujian kekasaran dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.1 Hasil pengujian kekasaran permukaan
(Sumber: Ahmed *et al*, 2015)

Almen intensity/mmA	surface conditions	$R_{max}/\mu\text{m}$	$R_a/\mu\text{m}$	$R_z/\mu\text{m}$
0.22	RE	0.55	0.05	0.44
	SP, 850 μm	4.96	0.57	3.21
	SP, 450 μm	7.20	0.74	4.20
	SP, 125–250 μm	8.55	0.87	4.91
	SP at 850 μm and 200%	7.10	0.65	3.52
	SP at 450 μm and 200%	10.41	1.29	6.45
	SP at 125–250 μm and 200%	13.18	1.32	8.43

Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai kekasaran paling tinggi dimiliki oleh spesimen yang diberi perlakuan SP menggunakan bola keramik ukuran 125-250 μm , hal yang menarik juga terjadi pada spesimen SP menggunakan bola keramik ukuran 850 μm yang memiliki nilai kekasaran paling rendah dari semua spesimen SP yang ada.

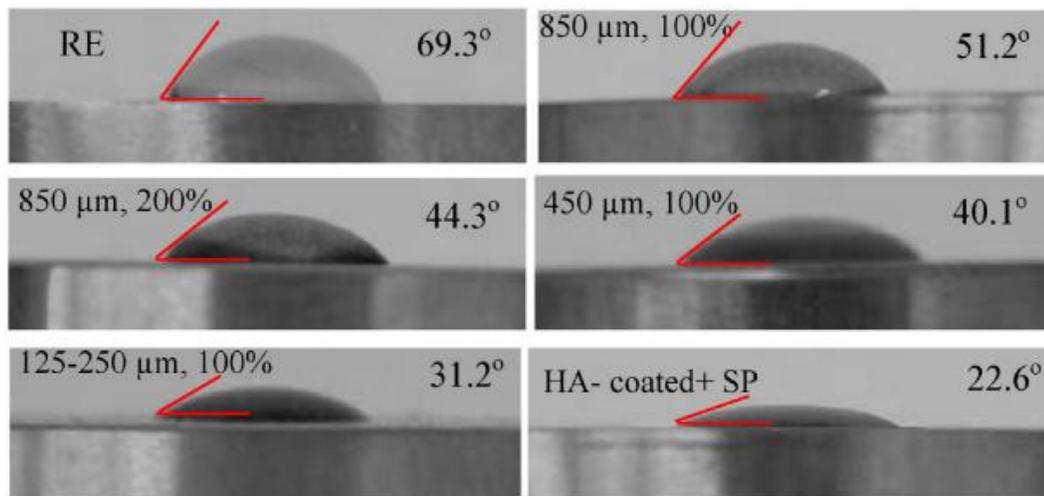
Hal ini dikarenakan pengaruh dari kecepatan yang terjadi selama perlakuan. Ahmed *et al* menjelaskan bahwa kecepatan perlakuan yang terjadi berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.



Gambar 2.2 Studi kasus pengaruh kecepatan penembakan terhadap kekasaran.
(Sumber : Ahmed *et al*, 2015)

Dari gambar 2.2 dijelaskan bahwa semakin rendah kecepatan penembakan meskipun menggunakan diameter bola keramik yang lebih besar justru akan memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap kekasaran permukaan. Dari studi kasus ini dapat dihubungkan dengan tabel hasil uji kekasaran diatas bahwa besarnya ukuran diameter bola keramik dengan rendahnya kecepatan selama penembakan maka akan menghasilkan nilai kekasaran yang kecil.

Pada pengukuran *wettability* diawali dengan mengukur *wetness* dari spesimen yang tidak diberi perlakuan (RE). Spesimen ini memiliki nilai sudut kontak sebesar $\pm 69,3^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen RE memiliki tingkat *hydrophilic* yang rendah. Untuk sudut kontak spesimen SP dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hasil pengujian sudut kontak pada masing-masing spesimen.
(Sumber : Ahmed *et al*, 2015).

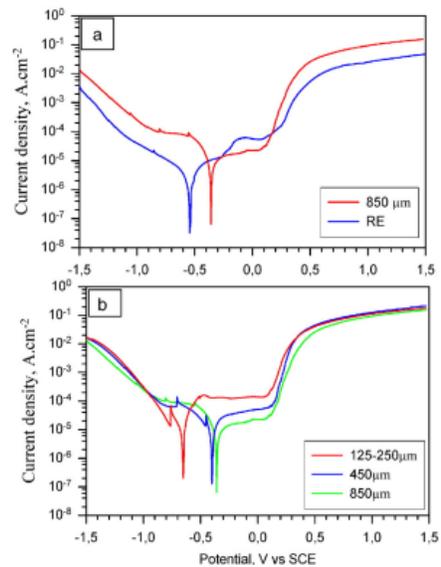
Pada gambar 2.3 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai sudut kontak dari $\pm 51,2^\circ$ menjadi $\pm 31,2^\circ$ yang dimana hal ini diikuti dengan meningkatnya nilai kekasaran permukaan spesimen. Nilai sudut kontak paling rendah di dapat pada spesimen SP yang dilapisi menggunakan *Hydroxiapatite* (HA) dengan sudut kontak sebesar $\pm 22,6^\circ$. Mengutip F. Rupp (2014) pada Ahmed *et al*, bahwa *wettability* dari suatu material tergantung pada karakteristik permukaan itu sendiri seperti topografi

permukaan dan unsur kimia yang ada pada permukaan. Untuk karakteristik fisik yang ada pada permukaan seperti kekasaran, adanya rongga mikro, besaran pori-pori, pelapisan, lembaran penyerap, dan serangkaian pembersihan thermal ataupun ion) dapat mempengaruhi penyebaran tetesan air pada permukaan spesimen. Dari gambar diatas juga dapat diambil kesimpulan bahwa semakin kasar permukaan maka nilai sudut kontak yang terjadi pada spesimen juga semakin kecil.

Pengujian korosi yang dilakukan menunjukkan bahwa spesimen SP dengan menggunakan ukuran bola keramik 850 μm memiliki ketahanan korosi yang paling baik diantara semua spesimen SP yang ada. Berikut tabel hasil pengujian korosi pada masing-masing spesimen.

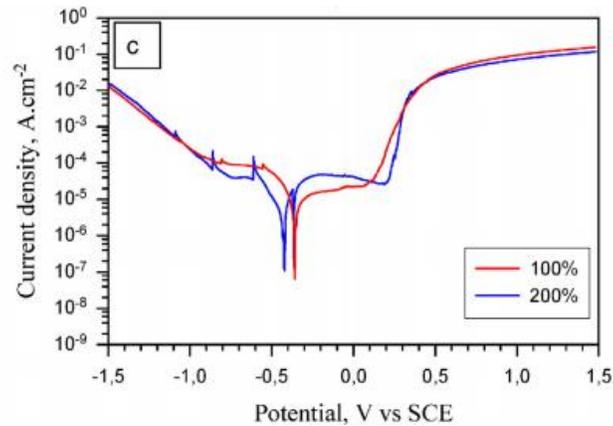
Tabel 2.2 Hasil pengujian korosi pada masing-masing spesimen
(Sumber : Ahmed *et al*, 2015).

Shot peening conditions	Current density, $I_{\text{corr}}/\mu\text{A}/\text{cm}^{-2}$	Potential $E_{\text{corr}}/\text{mV}$	Corrosion rate/mpy
RE	4.2	- 541	0.89
850 μm , 100%	13.27	- 358	1.74
450 μm , 100%	16.58	- 399	1.91
125-250 μm , 100%	35.42	- 779	3.42
850 μm , 200%	15.54	- 424	1.81
HA-coated + SP 0.28 mmA [8]	0.43	- 330	0.18



Gambar 2.4 Kurva potensiodinamik dari (a) spesimen SP dengan spesimen RE; dan (b) pengaruh terhadap ukuran bola keramik. (Sumber : Ahmed *et al*, 2015)

Dari kurva 2.4(a) terlihat bahwa spesimen SP menggunakan ukuran bola keramik 850 μm mengalami peningkatan nilai massa jenis arus (I_{corr}) dari 0.89 mpy menjadi 1.73 mpy. Pengaruh dari ukuran bola keramik juga memiliki pengaruh terhadap laju korosi yang terjadi. Terlihat dari kurva diatas bahwa semakin kecil ukuran bola keramik maka nilai laju korosi juga semakin menurun. Pada gambar 2.4 juga terlihat kurva perbandingan nilai ketahanan korosi dengan menggunakan parameter cakupan luasan penembakan.



Gambar 2.5 Pengaruh cakupan luasan penembakan terhadap laju korosi.
(Sumber : Ahmed *et al*, 2015).

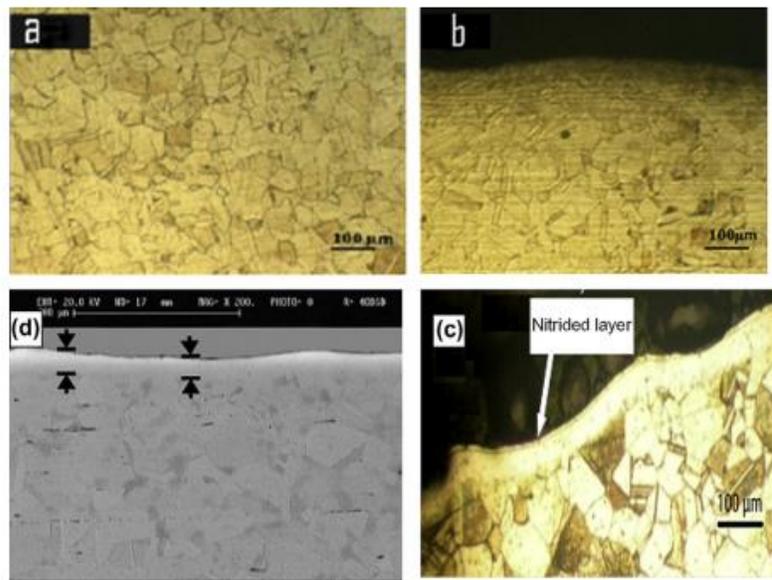
Dari kurva pada gambar 2.5 terlihat sedikit peningkatan nilai massa jenis arus yang menyebabkan naiknya nilai ketahanan korosi pada spesimen SP 200%. Meskipun nilai massa jenis arus mengalami peningkatan, variasi luasan penembakan permukaan memiliki pengaruh yang tidak terlalu signifikan terhadap nilai ketahanan korosi.

Hashemi *et al* (2011) menggunakan *steel ball* dengan variasi diameter 1-2mm. Pada penelitian ini Hashemi *et al* menggunakan pelapisan permukaan menggunakan metode pelapisan Nitrida. Selama persiapan, terdapat dua macam spesimen yang di siapkan yaitu spesimen yang langsung di Nitrida dan spesimen yang sudah diberi perlakuan *shot peening*. Kedua spesimen baik yang sudah diberi perlakuan *shot peening* dan tidak diberi perlakuan dimasukkan ke dalam tungku yang dialiri gas NH_3 pada suhu $570^{\circ}C$ selama 8 jam.

Dari penelitian yang dilakukan spesimen diuji dari segi kekerasan, keausan dan ketahanan korosi setelah diberi pelapisan permukaan. Untuk melihat hasil dari pelapisan menggunakan NH_3 diperiksa melalui media foto SEM dan diagram XRD (*X-Ray Diffraction*), untuk pemeriksaan XRD menggunakan radiasi $Cu K\alpha$ dan laju pemindaian sebesar 5 derajat/menit. Untuk pemeriksaan struktur mikro spesimen di etsa menggunakan komposisi seperti pada tabel 2.3. Hasil yang didapat dapat dilihat pada gambar 2.5.

Tabel 2.3 Komposisi larutan etsa (Sumber : Hashemi *et al*, 2011).

Compound	HCl	HNO ₃	CH ₃ COOH
Volume (ml)	15	10	10

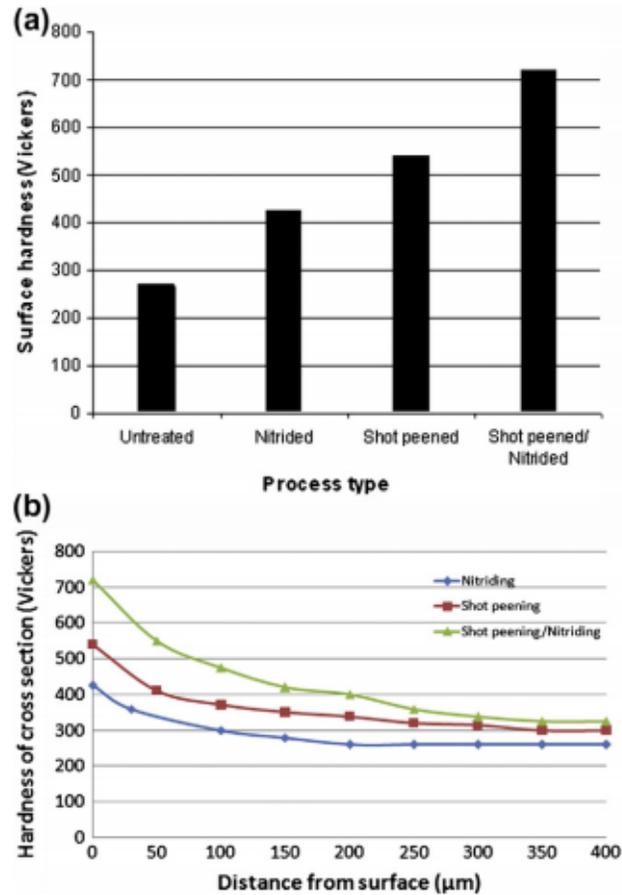


Gambar 2.6 Foto struktur mikro dari contoh spesimen (a) tidak diberi perlakuan; (b) diberi perlakuan *Shot Peening*; (c) diberi pelapisan NH_3 ; dan (d) diberi perlakuan *shot peening* dan NH_3 (Sumber : Hashemi *et al*, 2011).

Dari gambar 2.6 (c) dan (d) terlihat pada bagian permukaan lebih tebal dari gambar 2.6 (a) dan (b). Hal ini dikarenakan pengaruh dari pelapisan permukaan menggunakan nitridasi setelah diberi perlakuan *shot peening*. Dengan spesimen diberi perlakuan *shot peening* terlihat juga perbedaan dari bentuk butiran yang lebih rapat pada bagian dibawah permukaan (Gambar 2.6 (b), (c) dan (d)) dibandingkan dengan spesimen yang belum diberi perlakuan sama sekali (gambar 2.6 (a)).

Pengujian kekerasan pada spesimen juga dilakukan menggunakan alat pengujian kekerasan *micro Vickers* dengan beban sebesar 10 g dan dilakukan pada 10 titik pada

luas permukaan sebesar 120 mm^2 , jarak antar indentor sebesar $50 \mu\text{m}$. Untuk hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kekerasan *Vickers* di (a) permukaan spesimen; (b) di penampang potongan spesimen. (Sumber : Hashemi *et al*, 2011)

Dari data pada gambar diatas dapat dilihat dengan jelas bahwa spesimen dengan perlakuan *shot peening* ditambah dengan pelapisan NH_3 memiliki nilai kekerasan paling tinggi di permukaan spesimen. Kekerasan pada penampang potongan spesimen menurun seiring dengan bertambahnya jarak indentor. Akan tetapi, pengaruh dari proses ini (*shot peening* + pelapisan NH_3) memiliki nilai kekerasan yang hampir sama.

Seperti yang diketahui bahwa perlakuan *shot peening* memiliki pengaruh secara langsung terhadap kekerasan permukaan, induksi kompresi tegangan sisa, perbaikan butiran dan transformasi martensit induksi-tegang pada lapisan permukaan material. Dengan ditambahkan lapisan pada permukaan menggunakan NH_3 maka kekerasan pada permukaan juga semakin meningkat karena dipengaruhi oleh ketebalan lapisan yang terdapat pada spesimen *shot peening* tersebut. Sehingga, hal ini memiliki efektivitas tinggi apabila dibandingkan dengan spesimen yang hanya diberi lapisan NH_3 saja.

Pada pengujian korosi, Hashemi *et al* menggunakan media korosi berupa cairan infus *Ringer Solution* dan metode yang digunakan yaitu arus langsung menggunakan alat potenstiostat. Berikut dibawah ini perincian cairan infus yang digunakan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi larutan Ringer (Sumber : Hashemi *et al*, 2011).

Compounds in the solution	NaCl	KCl	CaCl ₂ ·2H ₂ O	pH
Concentration (g/l)	8.6	0.3	0.33	7.4



Gambar 2.8 Elektroda yang digunakan selama pengujian korosi.
(Sumber: Hashemi *et al*, 2011)

Selama pengujian dilakukan, polarisasi yang dilakukan yaitu polarisasi siklus. Dari pengujian ini diketahui bahwa spesimen yang tanpa perlakuan memiliki nilai ketahanan korosi paling tinggi diantara spesimen yang lain. Hal ini dikarenakan

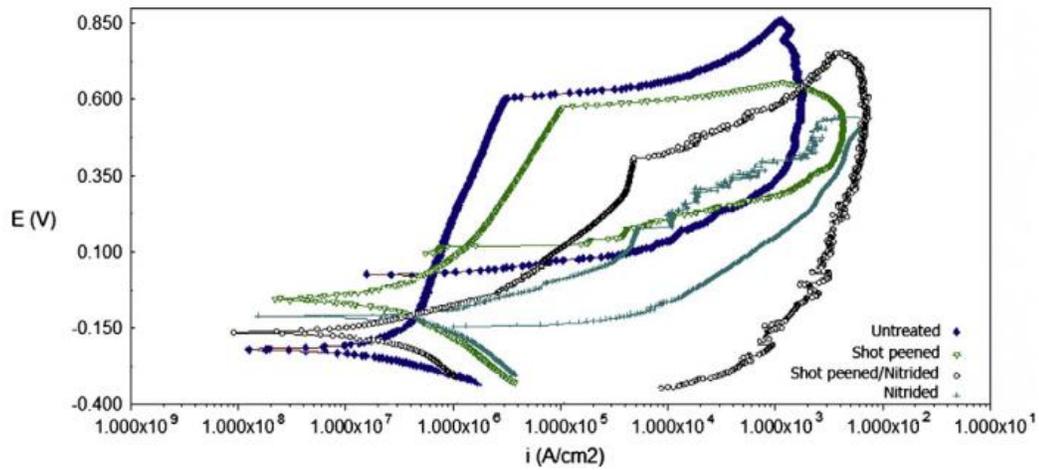
spesimen yang tanpa perlakuan memiliki nilai potensial yang paling tinggi dan massa jenis arus yang paling kecil.

Pada spesimen yang diberi perlakuan *shot peening* saja, nilai potensial dan massa jenis arus menurun apabila dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan. Meskipun perlakuan *shot peening* memiliki pengaruh meningkatkan kekasaran permukaan, akan tetapi pada pengujian korosi justru terdapat beberapa bagian yang menghasilkan daerah yang memiliki pengaruh terhadap ketahanan laju korosinya. Pada spesimen yang diberi pelapisan NH_3 memiliki ketahanan korosi paling buruk. Pelapisan permukaan menggunakan senyawa tersebut pada suhu tertentu pada umumnya dapat menghasilkan endapan senyawa Kromium Nitrida (CrN) yang dapat menurunkan ketahanan korosi pada baja diikuti dengan berkurangnya jumlah Kromium yang terdapat pada matriks baja nya.

Pada spesimen yang diberi perlakuan *shot peening* dan pelapisan NH_3 memiliki peningkatan dalam hal ketahanan korosinya dibandingkan dengan spesimen yang hanya diberi pelapisan NH_3 saja. Hal ini dikarenakan terbentuknya lapisan tipis dari endapan Nitrida pada spesimen yang mempengaruhi ketahanan laju korosinya. Penyebabnya adalah semakin tinggi laju difusi pada lapisan permukaan maka semakin mudah juga fasa Nitrida terbentuk daripada spesimen yang hanya diberi pelapisan NH_3 saja. Berikut dibawah ini gambar tabel dan kurva dari pengujian korosi pada tabel 2.5 dan gambar 2.8.

Tabel 2.5 Rincian besaran potensial dari lembaran pasif dan massa jenis arus selama pengujian korosi (Sumber : Hashemi *et al*, 2011).

Specimen	Initial	Shot peened	Nitrided	Shot peened-nitrided
Break down potential of the passive layer (mV)	573	480	625	550
Corrosion current density (A/cm ²)	3.8×10^{-7}	13×10^{-7}	2.9×10^{-7}	5.7×10^{-7}



Gambar 2.9 Kurva siklus polarisasi pada setiap spesimen.
(Sumber : Hashemi *et al*, 2011)

Kesimpulan dari semua pengujian yang dilakukan adalah bahwa spesimen yang diberi perlakuan *shot peening* dan pelapisan Nitrida mengalami peningkatan sifat mekanis seperti kekerasan mikro. Perlakuan *shot peening* dan pelapisan Nitrida juga memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan laju korosi dari masing-masing spesimen.

2.1.2 Variasi Tekanan Perlakuan

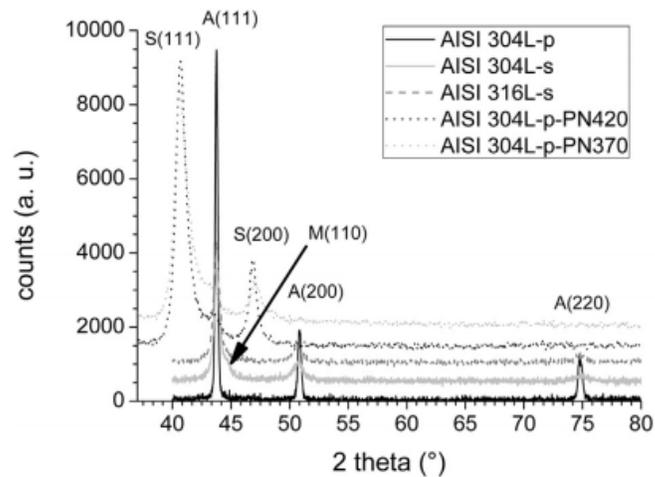
Penggunaan variasi tekanan pada proses perlakuan *shot peening* dilakukan oleh para peneliti sebelumnya seperti Biehler *et al* menggunakan variasi tekanan perlakuan 3-4 bar. Pada penelitian yang dilakukan oleh Biehler *et al*, spesimen yang digunakan tidak hanya *stainless steel* AISI 316 L saja, tetapi ditambah dengan menggunakan *stainless steel* AISI 304 L. Spesimen tersebut kemudian di anil pada temperature 1050°C dalam waktu 30 menit. Setelah di anil, spesimen di beri pengkilap pasta permata setebal 3µm. Spesimen yang diberi pengkilap, kemudian di beri perlakuan *shot peening* menggunakan media bola kaca sebesar 100-200 µm selama 30 detik.

Setelah itu, spesimen diberi pelapisan plasma nitrat pada waktu dan temperature yang berbeda untuk menghasilkan ketebalan difusi pelapisan setebal 5 μ m. Untuk keterangan parameter pelapisan dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Parameter pelapisan plasma nitrida (Sumber: Biehler *et al*, 2017).

	Temp. (°C)	Time (min)	Gas	Pressure (Pa)	BIAS (V)	Pulse duration (μ s)	Pulse pause (μ s)
Sputtering	370 or 420	30	50% N ₂ + 50% Ar	300	500	100	1000
PN420	420	360	20% H ₂ +	300	500	100	300
PN370	370	960	80% N ₂				

Setelah diberi pelapisan tersebut, spesimen didinginkan dengan cara divakum. Beberapa spesimen juga diberi perlakuan panas sebagai tambahan dan memiliki nomor seri berbeda dari spesimen yang diberi pelapisan plasma (TA370). Untuk mengetahui sifat material dari spesimen setelah di plasma, dilakukan anil tambahan untuk mengetahui apakah unsur Kromium Oksida atau Karbida akan terbentuk dan nitrogen akan berdifusi atau mengendap. Total spesimen yang di uji dalam penelitian ini sebanyak 19 spesimen. Untuk mengetahui kandungan austenit pada spesimen diperiksa menggunakan XRD (*X-Ray Diffractor*).



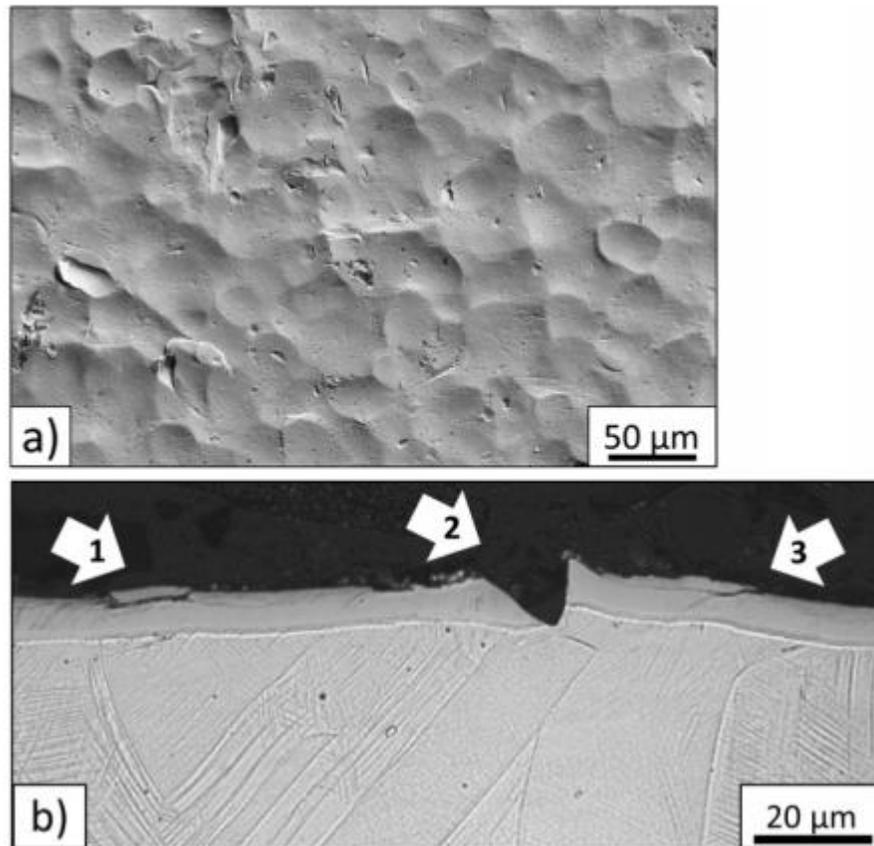
Gambar 2.10 hasil pengujian XRD pada spesimen yang di beri pengkilap, *shot peening* dan pelapisan plasma nitride (Sumber : Biehler *et al*, 2017).

Tabel 2.7 kandungan austenit pada spesimen yang tidak diberi perlakuan (Sumber : Biehler *et al*, 2017).

Material	Surface	Austenite content (%)
AISI 304L	p	99.8 ± 0.2
	s	94.8 ± 0.4
AISI 316L	p	99.9 ± 0.1
	s	99.6 ± 0.1

Pada gambar 2.10, dapat diketahui bahwa pada spesimen yang memiliki kandungan austenit memiliki nilai 2θ yang cukup kecil apabila dibandingkan dengan puncak diagram difraksi yang lain. Dari perlakuan menggunakan nitrida ini terdapat sedikit perubahan yang terjadi pada bagian oktahedral yang diawali dengan tergabungnya nitrogen menjadi kisi kristal yang menyebabkan adanya kisi yang diputarbalikkan dengan sedikit pemanjangan pada axis-c. Tetapi, karena fasa material masih berbentuk kubik sehingga tidak terlihat adanya puncak kisi tetragonal yang terlihat. Tingginya puncak dari *S-phase* diakibatkan adanya perapatan butiran atau dapat juga diakibatkan banyaknya cacat yang terjadi. Setelah dilihat menggunakan mikroskop, tidak terlihat adanya perapatan butiran setelah pelapisan nitrida. Hal ini mengindikasikan banyaknya cacat dan kisi yang diputarbalik setelah proses nitridasi.

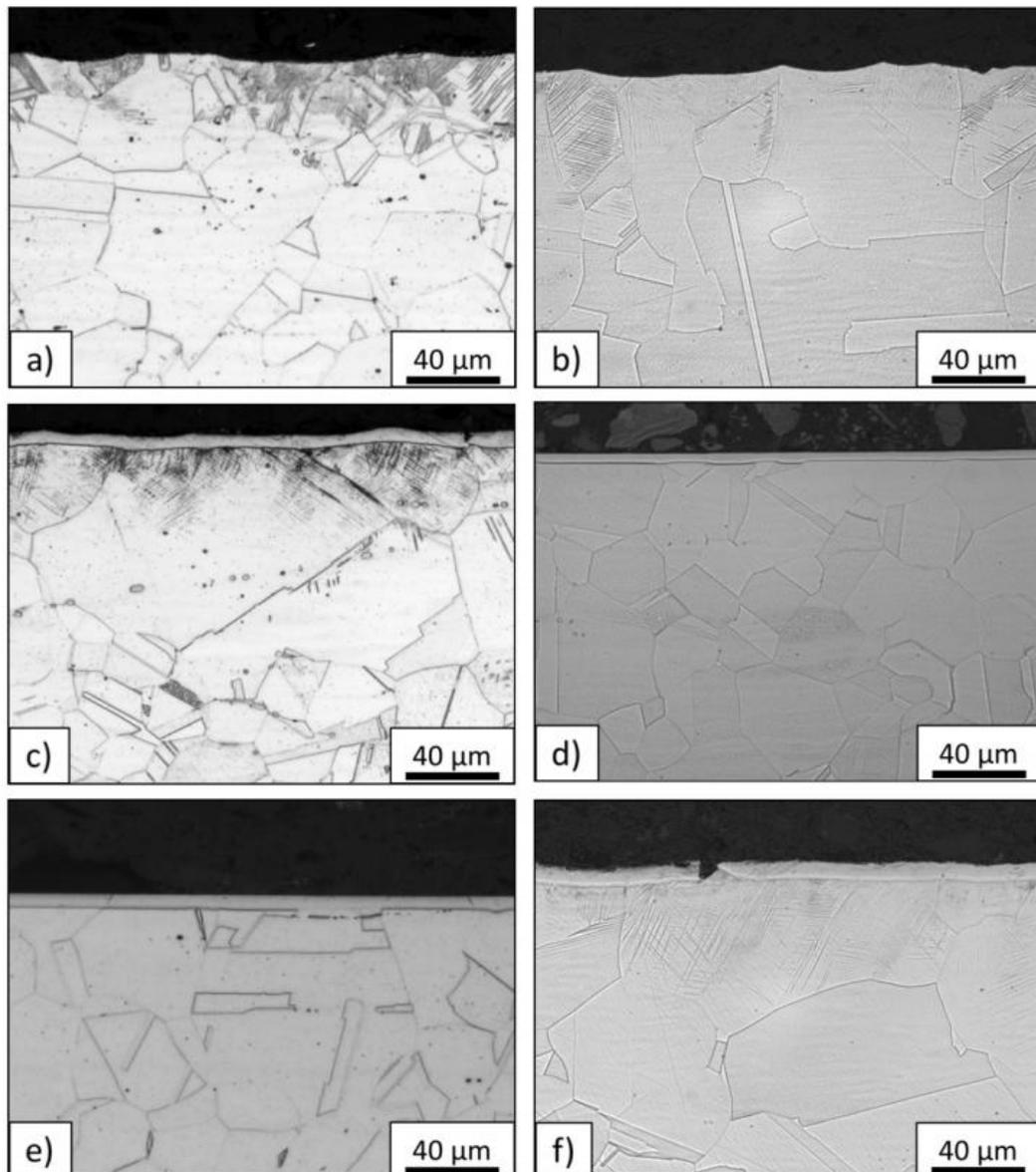
Sebagai tambahan, tidak ada endapan nitrida ataupun karbida yang dapat menurunkan laju korosi.



Gambar 2.11 foto hasil perlakuan *shot peening* (a) permukaan spesimen SP AISI 316L-s dan (b) penampang potong spesimen SP AISI 316L-s-PN240 dengan 1) Spalasi ; 2) bekas penembakan dan 3) retak.

(Sumber : Biehler *et al*, 2017).

Gambar 2.13 adalah foto makro dari spesimen *shot peening* yang diberi pelapisan nitrida yang terlihat bekas setelah perlakuan. Pada gambar (b) terdapat bekas berupa cekungan, spalasi, cacat retak pada permukaan. Meskipun telah diberi pelapisan nitrida, struktur mikro di dalam material masih dapat terlihat. Pada gambar (b) juga terdapat beberapa pecahan kaca pada saat diperiksa sehingga dapat mengganggu permukaan.



Gambar 2.12 foto pada penampang potong dari masing-masing spesimen dengan kondisi diberi lapisan pengkilap (p) dan yang diberi perlakuan *shot peening* (s). a) AISI 304L-s ; b) AISI 316L-s ; c) AISI 304L-s-PN420 ; d) AISI 316L-p-PN370 ; e) AISI 304L-p-PN370-PA370 dan f) AISI 316L-s-PN420-TA420. (Sumber : Biehler *et al*, 2017).

Pada material *stainless steel* AISI 316 L, dikarenakan tidak terdapat adanya α' -martensit pada diagram XRD, sehingga struktur mikro yang berbentuk seperti jarum dianggap sebagai cacat hasil perlakuan. Area difusi nitrogen terlihat sebagai struktur yang menyerupai pita hampir paralel di permukaan, sehingga hal ini mengindikasikan difusi dalam jumlah yang besar. Anil *thermal* juga tidak merubah struktur mikro baik itu pada spesimen yang di *shot peening* ataupun pada spesimen yang di lapisi nitrida. Lapisan setebal 1 μ m terlihat setelah dilakukan anil pada suhu ruangan.

Tabel 2.8 Tabel ketebalan lapisan nitrida menggunakan mikroskop optik (Sumber : Biehler *et al*, 2017).

Sample	d_N (μ m)
304L-p-PN370	3.4 \pm 0.3
304L-s-PN370	4.9 \pm 0.5
304L-p-PN420	4.2 \pm 0.5
304L-s-PN420	5.8 \pm 1.1
304L-p-PN370-TA370	5.3 \pm 0.4
304L-p-PN420-TA420	6.1 \pm 0.6
316L-p-PN370	3.6 \pm 0.4
316L-s-PN370	4.2 \pm 0.5
316L-p-PN420	4.7 \pm 0.5
316L-s-PN420	5.7 \pm 0.6
316L-p-PN370-TA370	6.0 \pm 0.4
316L-s-PN420-TA420	7.2 \pm 0.7

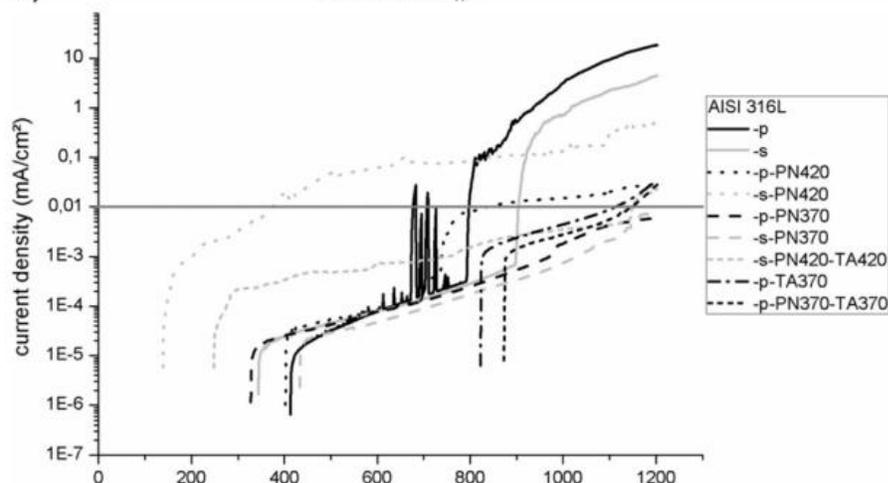
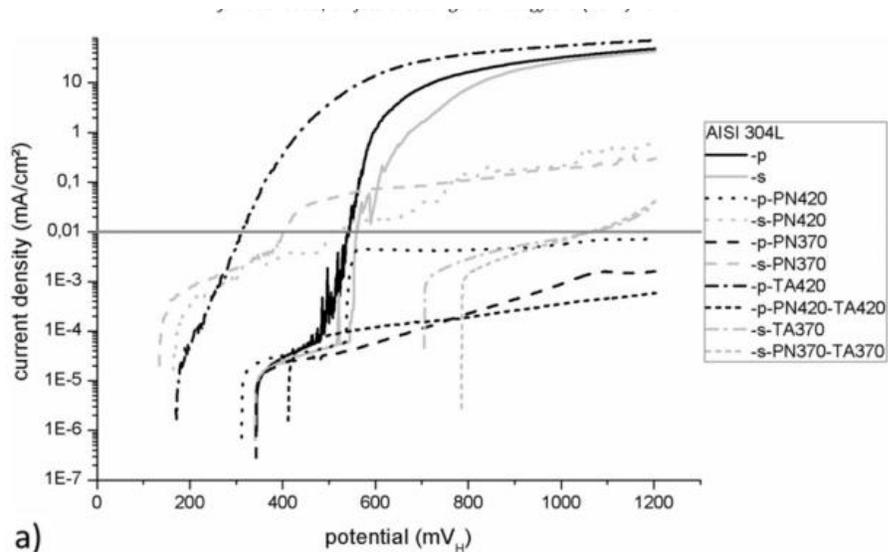
Pada tabel 2.8 terlihat perbandingan ketebalan lapisan nitrida pada setiap spesimen. Untuk spesimen *stainless steel* AISI 316 L lapisan nitrida yang paling tebal terdapat pada spesimen 316L-s-PN240-TA420. Tebalnya hasil pelapisan nitrida pada spesimen yang di *shot peening* memiliki dampak yang cukup signifikan karena terdapat pengaruh dari cacat yang terjadi dan susunan martensit yang terdapat pada

bagian difusi. Dengan istilah lain hal ini dapat disebut dengan “terowongan penghubung” untuk nitrogen.

Tabel 2.9 Tabel perbandingan nilai kekerasan spesimen yang dilapisi nitrida dan tidak dilapisi nitrida (Sumber : Biehler *et al*, 2017).

Sample	HV0.005
304L-p	276 ± 18
304L-s	583 ± 50
304L-p-PN370	1590 ± 105
304L-s-PN370	1539 ± 157
304L-p-PN420	1357 ± 84
304L-s-PN420	1578 ± 179
316L-p	270 ± 18
316L-s	593 ± 45
316L-p-PN370	1444 ± 109
316L-s-PN370	1662 ± 182
316L-p-PN420	1312 ± 90
316L-s-PN420	1615 ± 247

Pada tabel 2.9 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen 316L-s-PN420 dengan nilai kekerasan sebesar 1615 ± 247 HV0.005. Hasil ini diperoleh dari pengaruh yang diakibatkan dari perlakuan *shot peening* yang ditambah dengan pelapisan nitrida. Sehingga, dengan dilakukannya dua perlakuan tersebut akan meningkatkan nilai kekerasan pada permukaan.



Gambar 2.13 kurva potensiodinamik dari pengujian korosi setiap spesimen.
(Sumber : Biehler *et al*, 2017).

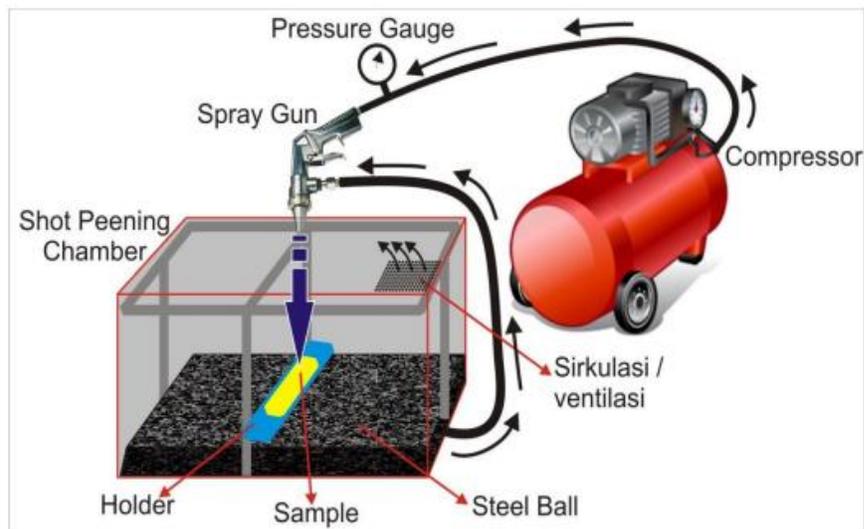
Pengujian korosi dilakukan menggunakan media korosi berupa cairan *Saline 5%* (NaCl). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kondisi ambien ($T = 23^{\circ}\text{C} \pm 1$) dengan laju pemindaian 1 mV/s sampai dengan 1200 mV . Dari hampir semua spesimen yang ada, pada saat di uji mengalami korosi kecuali pada spesimen 316L-s-PN370. Spesimen ini memiliki nilai massa jenis arus kurang dari 0.01 mA/cm^2 pada potensial maksimum sebesar 1200 mV_H yang dimana hasilnya adalah tidak adanya serangan korosi yang signifikan. Spesimen yang memiliki nilai diatas 0.01 mA/cm^2 mengalami serangan korosi pada permukaannya. Pada spesimen yang tidak diberi perlakuan dan hanya di lapisi pengkilap mengalami serangan korosi yang cukup signifikan, sementara pada spesimen yang diberi perlakuan *shot peening* dan lapisan nitrida menunjukkan ketahanan laju korosi yang cukup bagus yang mengindikasikan tidak adanya penurunan ketahanan laju korosi yang selama proses pelapisan plasma nitrida dapat mengurangi ketahanan laju korosinya.

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan *shot peening* dapat mempengaruhi kekerasan dan kekasaran permukaan dan juga merubah struktur mikro. Perubahan struktur mikro yang terjadi memiliki dampak positif terhadap difusi nitrogen selama proses pelapisan plasma nitrida.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Shot Peening*

Perlakuan *Shot Peening* merupakan salah satu metode perlakuan permukaan dengan menembakkan bola baja dengan kecepatan tinggi secara terus menerus, sehingga menghasilkan deformasi plastis, pergeseran regangan, dan tegangan sisa tekan pada permukaan material yang akan meningkatkan sifat mekanik material (Sunardi *et al.*, 2013).



Gambar 2.14 Skema perlakuan *shot peening*
(Sumber : Zamhari, 2016)

Tumbukan yang terjadi antara bola baja dengan permukaan akan menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan baik itu dari segi sifat mekanis, kimiawi dan juga sifat fisis dari material yang dijadikan bahan uji. Dengan tingginya kecepatan yang digunakan pada saat perlakuan berlangsung, maka akibatnya adalah munculnya tegangan sisa di area tembakan bola baja tersebut.

2.2.2 Pengujian Struktur Makro dan Mikro

2.2.2.1 Pengujian Struktur Makro

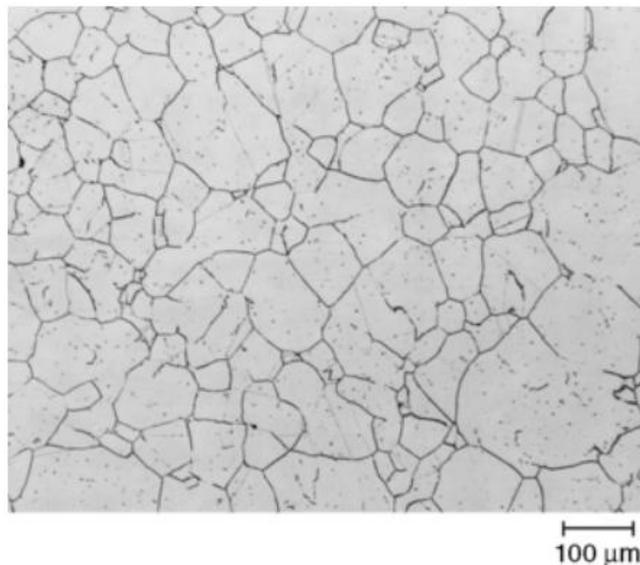
Pengujian ini adalah salah satu metode evaluasi dengan detail yang cukup mendalam untuk mengetahui perbedaan dari komposisi, morfologi dan/atau massa jenis dari suatu material. Ketidaksamaan ini dapat terlihat dari bagaimana material ini dibuat atau dibentuk dengan menggunakan beberapa metode permesinan seperti teknik *casting*, ekstrusi, *forging*, pengerolan dan pengelasan atau juga bisa di dapat dari bagaimana material tersebut digunakan. Pengamatan berskala makro pada permukaan juga merupakan salah satu metode yang esensial untuk dilakukan karena dapat mengetahui apakah pada permukaan tersebut terdapat cacat atau tidak.

Selama pengamatan/pengujian berlangsung, spesimen tidak dituntut untuk memiliki permukaan sehalus mungkin seperti pada pengamatan/pengujian struktur mikro. (ASM *Metal Handbook* Vol : 9, 2004). Persiapan spesimen pengamatan makro hanya di etsa secukupnya dan apabila permukaan spesimen bersih/mengkilap.

2.2.2.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian ini merupakan proses lanjutan dari pengamatan/pengujian struktur makro. Proses pengamatan struktur mikro ini dapat mengetahui bagaimana bentuk, ukuran, dan distribusi dari partikel fasa kedua memiliki peran penting untuk mengetahui sifat dari material itu sendiri. Alat yang digunakan minimal berupa mikroskop cahaya, apabila cahaya ruangan cukup maka dapat dilakukan pengamatan struktur mikro.

Saat ini, para peneliti tidak hanya mengandalkan mikroskop cahaya saja, akan tetapi menggunakan tambahan alat berupa SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui fraktografi material yang diamati. Hal ini dikarenakan mikroskop cahaya memiliki maksimum nilai pembesaran hingga 1500x. Sehingga, apabila peneliti ingin mengamati lebih dalam struktur mikro yang lebih dalam mikroskop ini tidak mampu karena butiran tersebut terlalu kecil, seperti adanya dislokasi butiran, macam-macam partikel fasa kedua, struktur spinodal dan struktur martensit yang terdapat di dalam material akan sulit untuk diketahui karena terlalu kecil bagi mikroskop cahaya. (*ASM Metal Handbook Vol : 9, 2004*). Contoh dari mikrostruktur dapat dilihat di gambar 2.19.



Gambar 2.15 Struktur Mikro dari SS AISI 316 yang sudah di anil dan di sensitisasi dan di etsa menggunakan *waterless Kalling's reagent* untuk memperlihatkan ikatan butiran karbida $M_{23}C_6$.
(Sumber : ASM *Metal Handbook* Vol : 9, 2004)

2.2.3 Pengujian Kekasaran Permukaan

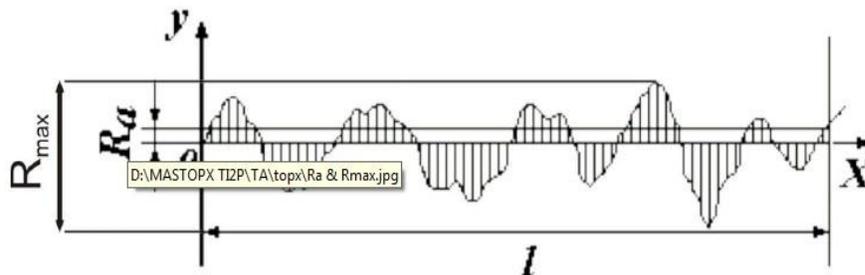
Kekasaran merupakan ukuran dari tekstur permukaan. Tingkat kekasaran yang dimiliki oleh suatu material tidak cukup menggunakan indra peraba, apalagi hanya dilihat secara kasat mata. Harus ada acuan dan parameter-parameter yang digunakan peneliti untuk mengetahui seberapa kasar material tersebut.

Parameter pengukuran kekasaran permukaan umumnya menggunakan tiga buah parameter, yaitu R_a , R_z dan R_{max} . R_a adalah nilai rata-rata kekasaran, R_z adalah nilai rata-rata maksimum kekasaran dan R_{max} adalah nilai maksimum kekasaran permukaan. Perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui nilai R_a dapat menggunakan rumus dibawah ini (Zamhari, 2016 dalam Rochim, 1993).

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

Dimana :

- R_a = 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



Gambar 2.16 Grafik profil permukaan Ra dan Rmax (Hidayat, 2013)

Pengukuran kekasaran pada permukaan material dapat dilakukan dengan cara kontak langsung antara jarum pengukur dengan material. Cara kerja teknik pengukuran ini yaitu jarum pada alat pengukur bergerak di sepanjang permukaan material. Jarum ini memiliki bentuk seperti tabung yang dapat menyesuaikan dengan tingkat akurasi hasil pengukuran kekasaran yang dilakukan. Selama pengukuran berlangsung jarum tersebut akan turun naik mengikuti kontur yang dimiliki oleh permukaan material.

2.2.4 Pengukuran *Wettability*

Tingkat kekasaran yang berbeda-beda menjadi hal yang perlu untuk diperhatikan karena berkaitan dengan mikrostruktur, sifat dan properti suatu material. Dalam pengamatan *wettability*, terdapat dua macam sifat fluida terhadap material saat berinteraksi satu sama lain. Diantaranya sifat *hydrophilic* dan *hydrophobic*.

Sifat *hydrophilic* dapat diartikan sebagai material yang dapat berinteraksi dengan fluida (Wilson *et al*, 2005 dalam Zamhari, 2016). Sementara untuk sifat *hydrophobic* dapat diartikan sebagai material yang tidak dapat berinteraksi dengan fluida. Dalam prakteknya, pada saat air diteteskan ke atas permukaan material maka air tersebut memiliki bentuk tetesan yang hampir bulat dengan besaran cukup kontak yang dapat melebihi 90° (Gusrita *et al*, 2014 dalam Zamhari, 2016).

Data yang didapat dari pengamatan *wettability* ini juga memiliki peran penting dalam menentukan respon yang diperlihatkan oleh material saat berkontak dengan air, sehingga hal ini juga dapat disimpulkan dengan protein yang ada dalam tubuh dapat berinteraksi dengan baik atau tidak dengan implan (Faghili *et al*, 2007 dalam Bagherifard, 2016).

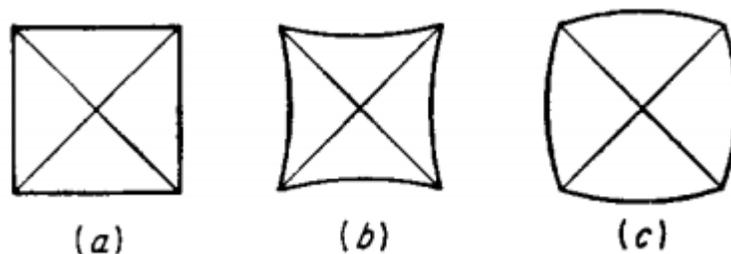
2.2.5 Pengujian Kekerasan Mikro

Pengujian ini dapat diartikan sebagai salah satu teknik pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu material saat diberi beban berupa indentasi pada satu bagian di material tersebut (Dieter, 1988). Kekerasan pada penampang potong dilakukan untuk mengetahui kekuatan satu material setelah diberi perlakuan pada bagian permukaan. Karena, perlakuan pada permukaan, terutama menggunakan media *steel ball*, tidak hanya berpengaruh sampai di permukaan saja, akan tetapi berpengaruh sampai ke dalam material. Hal ini dilakukan karena agar mengetahui tentang sifat metalurgi yang dimiliki oleh material sampai ke bagian terkecil.

Secara umum, pengujian kekerasan terbagi menjadi 3 teknik pengukuran. Teknik yang pertama yaitu pengukuran kekerasan gesek, kekerasan indentasi dan kekerasan pantulan. Tetapi, umumnya dalam dunia *engineering* lebih umum menggunakan teknik pengukuran kekerasan indentasi.

Pada pengukuran kekerasan mikro, beban yang digunakan termasuk kecil karena bagian yang diukur juga merupakan bagian kecil dari material. Persiapan spesimen pengukuran pun memerlukan persiapan yang hati-hati. Karena, pada pengukuran ini diperlukan perlakuan khusus pada permukaan area pengukuran. Contohnya adalah permukaan area pengukuran perlu dibersihkan dan di poles bersih agar permukaan area pengukurannya dapat terlihat.

Umumnya, pada pengukuran mikro menggunakan metode pengukuran menggunakan metode *Knopp*. Akan tetapi, pada pengukuran kali ini peneliti menggunakan metode *Vickers*. Dilapangan, pengujian ini menggunakan indentor berupa prisma dengan sudut kontak pada indentornya sebesar 136° . Besaran sudut ini dipilih karena dapat menentukan besaran diameter yang diperlukan apabila akan dilakukan pengukuran kekerasan menggunakan metode *Brinell*. (Sumber: Dieter, 1988)



Gambar 2.17 Macam-macam bentuk indentasi pada metode kekerasan Vickers.
 a) Indentasi sempurna ; b) Indentasi berbentuk bantalan karena indenter tenggelam dan c) Indentasi barrel karena akibat kerutan.
 (Sumber: Dieter, 1988)

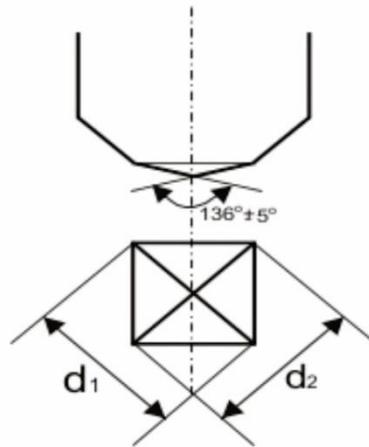
$$VHN = \frac{1,854P}{d^2} 1000 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

VHN = Nilai Kekerasan *Vickers* (kgf)

P = Beban yang digunakan selama pengujian (gf)

D = Besaran rata-rata diagonal bekas injakan (μm)



Angka kekerasan Vickers didefinisikan sebagai berikut:

$$VHN = 0,1891 \times \frac{P}{d^2}$$

Gambar 2.18 Pengukuran Bekas Injakan Kekerasan Mikro
 (Sumber: <https://image.slidesharecdn.com/modul-metalurgi-2011-2012-141115023324-conversion-gate02/95/modul-metalurgi20112012-9-638.jpg?cb=1416018975>)

2.2.6 Pengujian Korosi

Korosi merupakan bentuk kerusakan/cacat yang diakibatkan dari pengaruh reaksi elektrokimia maupun reaksi kimia antara material dengan lingkungan sekitarnya. Bukti nyata yang ada di lapangan, umumnya korosi akibat reaksi kimia di lingkungan dibarengi dengan penurunan kualitas material. Sebutan bagi jenis korosi ini antara lain korosi-erosi, korosi aus, dan korosi pahat (Revie dan Uhlig, 2007).

Secara umum, korosi memiliki beberapa jenis, diantaranya korosi di lingkungan air, korosi udara, korosi retak tegang dan korosi dalam laut. Pada penelitian ini, pengujian korosi yang dilakukan berupa korosi di lingkungan air (elektrokimia). Selama pengukuran, parameter yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar laju korosi yang terjadi yaitu dengan menggunakan nilai laju korosi.

Nilai laju korosi ditentukan berdasarkan nilai arus korosi yang dimana nilai korosi suatu logam yang berada pada lingkungan korosif adalah sebanding dengan nilai arus korosinya. (Wibowo *et al*, 2015 dalam Zamhari 2016).

Untuk mengetahui nilai laju arus korosi yaitu dengan menggunakan diagram *tafel* potensial yang berbanding dengan log intensitas arus yang ditampilkan pada monitor. Agar bisa mendapatkan nilai intensitas arus korosi yang tepat dibuat garis singgung pada kurva katoda dan anoda (Herlani *et al*, 2011 dalam Zamhari, 2016).

Rumusan untuk mencari harga laju korosi dengan tiga sel elektroda *tafel* ditunjukkan pada persamaan dibawah ini (Nurosyid, 2012 dalam Zamhari, 2016):

$$r = 0,129 \frac{a x i}{n x D} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- r = Laju korosi (mpy)
- i = Arus korosi ($\mu A/cm^2$)
- a = Berat atom
- n = Valensi atom
- D = Berat jenis sampel ($gram/cm^3$)

Untuk perhitungan laju korosi paduan perlu dilakukan perhitungan untuk mencari berat ekuivalensinya (*equivalent weight* = EW) dengan persamaan sebagai berikut :

$$EW = N_{EQ}^{-1} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$N_{EQ} = \sum \left(\frac{\omega_i}{a_i} \right) = \sum \left(\frac{\omega_i \cdot n_i}{a_i} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- EW = Berat Equivalen
- N_{EQ} = Total Nilai Equivalen
- ω_i = Fraksi berat
- a_i = Nomor massa atom
- n_i = Valensi atom

dengan demikian, persamaan (2.1) berubah menjadi :

$$r = 0,129 \frac{i \times EW}{D} \dots \dots \dots (2.5)$$

Pada pengujian laju korosi ini menggunakan tiga sel elektroda, yaitu:

1 Elektroda kerja (*working electrode*)

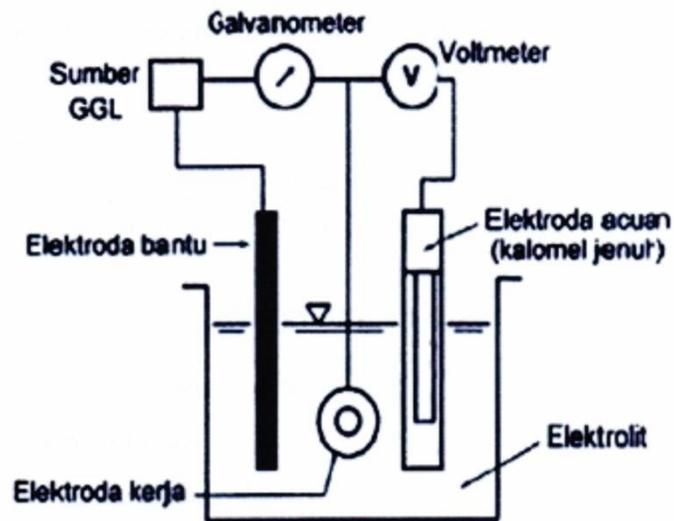
Elektroda kerja berfungsi sebagai elektroda yang akan diteliti. Elektroda kerja ini merupakan istilah sebagai pengganti dari anoda, mengingat penelitiannya tidak terbatas pada perilaku yang diteliti dengan anoda, tetapi juga tentang perilaku katodanya.

2 Elektroda pembantu (*counter / auxiliary electrode*)

Elektroda ini berfungsi khusus untuk mengangkut / mendistribusikan arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian ini, namun elektroda ini tidak digunakan dalam mengukur potensial.

3 Elektroda acuan (*reference electrode*)

Elektroda ini berfungsi sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacu pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Elektroda acuan yang sering digunakan adalah elektroda kalomel jenuh.



Gambar 2.19 Skema alat uji korosi tipe tiga sel elektroda (Trethewey dan Chamberlain, 1991 dalam Zahmari, 2016)

2.2.7 *Stainless Steel*

Material *stainless steel* adalah besi campuran (*iron-based alloy*) yang memiliki kandungan kromium minimal sebanyak 10.5%. Jumlah ini dibutuhkan untuk dapat mencapai kemampuan ketahanan terhadap karat yang diakibatkan oleh lingkungan

sekitar. Material ini dapat mencapai kemampuan tahan karat berasal dari pembentukan yang tidak terlihat yang berasal dari material penyokong *Chromium-rich oxide film*. Dengan adanya oksida ini, *stainless steel* dapat tahan dan melindungi diri dari oksigen yang berada disekitarnya (*Handbook of Materials for Medical Devices*, ASM International, 2003).

Secara umum, *stainless steel* sendiri terbagi menjadi lima jenis yaitu *Martensitic Stainless Steel*, *Ferritic Stainless Steel*, *Austenitic Stainless Steel*, *Duplex Stainless Steel* dan *Precipitation – Hardenable (PH) Stainless steel*.

Martensitic Stainless Steel merupakan salah satu jenis SS yang memiliki kandungan campuran Fe-Cr-C dan kristal yang berbentuk BC tetragonal pada saat dipanaskan. Logam ini termasuk ke dalam logam feromagnetik, dapat dikeraskan menggunakan perlakuan panas, dan umumnya tahan korosi pada lingkungan yang lembut. Kandungan Kromium di dalam SS ini berada pada rentang 10.5% - 18% dengan unsur karbon dapat dinaikkan sebesar 1.2% dari ukuran normal. Karena keseimbangan antara unsur Kromium dan Karbon inilah sehingga dapat menjaga struktur martensit nya.

Logam ini banyak diaplikasikan pada pembuatan alat di bidang kedokteran gigi dan alat operasi. Contohnya seperti kuret tulang, alat pahat tulang, bor gigi, pahat gigi, kuret gigi, dan lain-lain.

Tabel 2.10 Komposisi kimia dari SS martensit dalam penggunaan dalam kedokteran gigi dan alat operasi
(a) nilai maksimum ; (b) opsional
(Sumber : ASM International, 2003).

UNS No.	Type/designation	Composition(a), %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
S41000	410	0.15	1.00	1.00	11.5–13.5	...	0.04	0.03	...
S41600	416	0.15	1.25	1.00	12.0–14.0	...	0.06	0.15 min	0.6 Mo(b)
S42000	420	0.15 min	1.00	1.00	12.0–14.0	...	0.04	0.03	...
S42010	TrimRite	0.15–0.30	1.00	1.00	13.5–15.0	0.25–1.00	0.040	0.030	0.40–1.00 Mo
S42020	420F	0.15 min	1.25	1.00	12.0–14.0	...	0.06	0.15 min	0.6 Mo(b)
S43100	431	0.20	1.00	1.00	15.0–17.0	1.25–2.50	0.04	0.03	...
S44002	440A	0.60–0.75	1.00	1.00	16.0–18.0	...	0.04	0.03	0.75 Mo

Ferritic stainless steel merupakan salah satu jenis SS yang memiliki kandungan campuran antara besi dan Kromium dengan struktur kristal BCC. Kandungan Kromium di dalam logam ini terdapat pada rentang 11% - 30%. Beberapa jenis logam ini ada yang memiliki kandungan molibdenum, silicon, aluminum, titanium dan niobium untuk menambah karakteristiknya. Sementara sulfur dan selenium dapat juga ditambahkan untuk meningkatkan kemampuan permesinannya.

Logam jenis ini tidak dapat dikeraskan menggunakan perlakuan panas, berbanding terbalik dengan jenis SS pada penjelasan sebelumnya. Hal lain yang perlu diketahui adalah logam jenis ini memiliki tingkat pengerasan regangan dari ferit rendah, dan apabila diberi perlakuan dingin justru semakin menurunkan elastisitasnya maka logam ini sangat jarang dikeraskan menggunakan perlakuan dingin. Aplikasi pada bidang medis dari logam jenis ini sedikit. Contohnya ada pada pegangan solid untuk keperluan instrumen, baut implan dan *guide pins*.

Austenitic Stainless steel banyak digunakan untuk proses pembuatan implan seperti plat osteosintesis dan sambungan lutut (Ahmed *et al*, 2015). Kandungan yang terdapat pada material ini bukan hanya terdapat Krom saja, tetapi untuk semakin meningkatkan ketahanan terhadap korosi juga ditambahkan kandungan Nikel (Biehler *et al*, 2017) meskipun dalam penggunaan tidak untuk penggunaan jangka panjang (*Handbook of Materials for Medical Devices*, ASM International, 2003).

Logam jenis ini memiliki kesamaan dengan feritik SS, tidak bisa dikeraskan menggunakan perlakuan panas. Tapi, logam ini dapat dikeraskan menggunakan perlakuan dingin dan tidak bersifat feromagnetik. Logam jenis ini memiliki sifat pendinginan yang luar biasa, kekuatan pada temperatur tinggi dan ketahanan terhadap oksidasi. Kandungan Kromium dari SS jenis ini berkisar antara 16% - 26%, kandungan nikel nya bisa kurang atau sama, dengan perkiraan kandungan sebesar 35%, kandungan mangan di dalamnya juga kurang atau sama, dengan perkiraan kandungan sebesar 15%. Logam SS seri 300 memiliki lebih banyak kandungan nikel dan mangan lebih banyak sebesar 2%. Unsur molibdenum, tembaga, silikon, aluminum, titanium dan niobium dapat ditambahkan untuk menambahkan karakteristik logam, seperti ketahanan

terjadinya lubang halida dan ketahanan oksidasi. Logam SS jenis ini memiliki kemampuan pembentukan yang sangat bagus dan respon terhadap deformasi dapat dikendalikan dengan adanya unsur nikel di dalamnya (ASM *International*, 2003).

Aplikasi dari logam SS ini yaitu terdapat pada alat medis non-implan seperti *canulae*, *dental impression tray*, *guide pins*, alat-alat mengkilap, jarum hipodermik, pensteril uap, lemari penyimpanan dan tempat penyimpanan alat-alat medis, reactor *thoracic* dan yang lainnya (ASM *International*, 2003). Berikut tabel 2.11 tentang komposisi kimia dari SS austenitik.

Tabel 2.11 Komposisi kimia dari SS austenitik.
(a) nilai maksimum kandungan ; (b) opsional
(Sumber : ASM *International*, 2003).

UNS No.	Type/designation	Composition(a), %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
S30100	301	0.15	2.0	1.00	16.0–18.0	6.0–8.0	0.045	0.03	...
S30200	302	0.15	2.0	1.00	17.0–19.0	8.0–10.0	0.045	0.03	...
S30300	303	0.15	2.0	1.00	17.0–19.0	8.0–10.0	0.20	0.15 min	0.6 Mo(b)
S30400	304	0.08	2.0	1.00	18.0–20.0	8.0–10.5	0.045	0.03	...
S30500	305	0.12	2.0	1.00	17.0–19.0	10.5–13.0	0.045	0.03	...
S31600	316	0.08	2.0	1.00	16.0–18.0	10.0–14.0	0.045	0.03	2.0–3.0 Mo
S31700	317	0.08	2.0	1.00	18.0–20.0	11.0–15.0	0.045	0.03	3.0–4.0 Mo

Duplex SS merupakan salah satu jenis SS yang memiliki campuran dua fasa dalam sistem Fe-Cr-Ni. Logam ini memiliki kesamaan fasa ferit dan austenit dalam struktur mikro nya memiliki kandungan karbon yang rendah (<0,03%) dengan tambahan molibdenum, nitrogen, tungsten dan tembaga. SS ini memiliki kandungan nikel 20% - 30% dan 5% - 8%. Kelebihan yang paling terlihat dari logam ini melebihi dari logam SS seri 300 konvensional yaitu lebih kuat, memiliki kekuatan dan duktilitas tinggi dan ketahanan terhadap korosi retak tegang dan korosi lubang yang sangat baik. Aplikasi dari logam SS ini yaitu pada area migas, petrokimia dan industri pembuatan kertas (ASM *International*, 2003).

Precipitation – Hardenable (PH) SS adalah salah satu jenis logam SS yang dapat dikeraskan menggunakan teknik *aging*. Teknik *aging* sendiri merupakan salah satu teknik pemanasan logam dimana pada saat logam di *quench*, maka elemen campuran yang berada di dalamnya akan terkunci sehingga menghasilkan logam yang lembut. Jenis dari logam SS ini yaitu austenitik, semi-austenit atau martensitik. Jenis tersebut didapat dari komposisi anil di struktur mikro nya. Aplikasi dari logam SS ini di bidang medis ada pada SS semi austenit dan martensit. Salah satu contohnya yaitu pada alat klip *microvascular* (ASM International, 2003). Komposisi dari logam SS ini dapat dilihat pada tabel 2.12.

Dari penjelasan sebelumnya, disebutkan bahwa logam SS austenit digunakan pada bidang medis yang tidak menghasilkan korosi. Tetapi, ada beberapa seri dari SS jenis ini yang digunakan sebagai material pembuatan implan, yaitu seri 316L. SS seri 316L (18Cr-14Ni-2.5Mo) merupakan seri logam yang banyak penggunaannya di bidang medis. Logam ini termasuk kedalam varian komposisi SS 316. Dibuat dengan menggunakan metode pelelehan vakum sehingga menghasilkan logam yang bersih, dan untuk komposisi kimia di desain secara khusus sehingga logam ini memiliki ketahanan korosi lubang dan menghasilkan struktur mikro yang terbebas dari unsur feritik (ASM International, 2003).

Dalam aplikasinya logam SS 316L ini meskipun digunakan sebagai implan, tetapi penggunaannya tidak dapat untuk jangka panjang karena ketahanan korosi yang tidak terlalu baik dari material implan lainnya. Jadi, logam SS ini hanya digunakan sebagai implan sementara sebelum ada implan permanen. Salah satu contohnya adalah pada implan berbentuk batang dan kawat pengikat tulang (ASM International, 2003).

2.2.8 Synthetic Body Fluid

Synthetic body fluid adalah larutan yang memiliki konsentrasi ion hampir sama dengan cairan tubuh manusia karena memiliki konsentrasi ion yang hampir mirip dengan cairan tubuh. Fungsi dari cairan SBF adalah sebagai larutan pengganti unsur *electrolit* dalam pengujian laju korosi. Cairan *Synthetic body fluid* merupakan cairan yang sudah umum digunakan para peneliti untuk meneliti laju korosi pada material

biomedik yang bersinggungan langsung dengan tubuh manusia (Doyahudin, 2008 dalam Zahmari, 2013).



Gambar 2.20 Synthetic Body Fluid

Tabel 2.13 Konsentrasi ion dalam cairan tubuh manusia (Doyahudin 2008)

Ion	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻
Konsentrasi (mM)	142.0	103.0	27.0	5.0	1.5	2.5	1.0	0.5

Pada penelitian kali ini komposisi larutan SBF yang digunakan sama dengan yang dilakukan oleh Wibowo *et al*, 2015, yaitu cairan merk Otsu RL sebagai media pengujian laju korosi dengan susunan komposisi terdiri dari 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 HCO₃⁻, 1,55 gr C₃H₅NaO₃, 0,1 gr CaCl₂, 500 ml Aquades steril.