

## PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI MATERIAL IMPLAN SS316L DENGAN METODE NITRIDASI

**Wagiyo H.**

*Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN*

*Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314*

*e-mail: wagiyo@batan.go.id*

### ABSTRAK

**PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI MATERIAL IMPLAN SS316L DENGAN METODE NITRIDASI.** Telah dilakukan nitridasi pada material implan SS316L dengan memvariasikan suhu nitridasi pada 400 °C, 420 °C, 440 °C, 460 °C, 480 °C dan 500 °C selama 3 jam dan waktu 1 jam, 3 jam, 5 jam, 7 jam, 9 jam dan 11 jam pada suhu 420 °C. Kemudian dilakukan uji korosi dan karakterisasi. Uji korosi menggunakan metode potensiodinamik dengan media korosi larutan infus NaCl 0,9% pada pH 7,4 dan suhu 37 °C. Karakterisasi fasa dilakukan menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan analisis strukturmikro dan komposisi kimia permukaan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer (SEM-EDS)*. Hasil uji korosi sampel material implan SS316L menunjukkan peningkatan ketahanan korosi sebesar 16 kali dari laju korosi 0,1358 *mpy* untuk sampel yang tidak dinitridasi menjadi 0,0082 *mpy* untuk sampel yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam. Pola difraksi sinar-X material *implant* SS 316L yang tidak dinitridasi menunjukkan fasa austenit ( $\bar{a}$ ), sedang yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam adalah fasa  $\bar{a}'$  dengan adanya pergeseran sudut ( $2\theta$ ) meskipun tidak signifikan, sedangkan fasa S tidak teramati. Dari hasil pengamatan strukturmikro dan komposisi kimia permukaan dari SS316L yang tidak dinitridasi dan telah diuji korosi menunjukkan adanya korosi sumur dan terdapat unsur klor sebanyak 0,42 %massa, sedangkan sampel yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam menunjukkan topografi yang rata dengan bintik hitam. Dari pengamatan tampak lintang diperoleh lapisan nitrida dengan tebal sekitar 4  $\mu$ m dan terdapat unsur nitrogen 31,83 %massa.

**Kata kunci :** Nitridasi, Material implan, SS316L, Ketahanan korosi, Potensiodinamik

### ABSTRACT

**IMPROVED CORROSION RESISTANCE OF SS316L IMPLANT MATERIALS BY NITRIDING METHOD.** Nitriding has been carried out on SS316L implant materials by varying nitridation temperature of 400 °C, 420 °C, 440 °C, 460 °C, 480 °C and 500 °C for 3 hours, then followed by varying the nitridation time of 1 hour, 3 hours, 5 hours, 7 hours, 9 hours and 11 hours at optimum temperature of 420 °C. Corrosion test were conducted using potentiodynamic method with 0.9% NaCl intravenous solution as corrosion media of pH 7.4 at 37°C. The phase were characterized by using XRD (X-ray Diffractometer), while microstructure and surface chemical composition were analysed using SEM-EDS (Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectrometer). Corrosion test showed the corrosion resistance improvement by 16 times from corrosion rate of 0.1358 *mpy* for non nitrided SS316L to 0.0082 *mpy* for nitrided SS316L at 420 °C for 3 hours sample. X-ray diffraction pattern of SS316L implant materials as received shows the austenite phase ( $\bar{a}$ ), while the nitrided SS316L at 420 °C for 3 hours is  $\bar{a}'$  phase. There is  $2\theta$  angle shifting although not significantly, whereas the S phase was not observed. The observation of surface microstructure and chemical composition of non nitrided SS316L sample after corrosion test showed the existence of pitting corrosion with 0.42% mass of chlorine. Sample nitrided at temperature of 420 °C for 3 hours showed a flat topography with black spots and from its cross sections, a thick nitride layer of 4  $\mu$ m and nitrogen element up to 31.34% mass were observed.

**Key words :** Nitriding, SS316L, Implant materials, Corrosion resistance, Potentiodynamic

### PENDAHULUAN

Korosi merupakan proses alam yang banyak ditemui dalam kehidupan sehari-hari, baik itu dalam industri pembangkit daya (PLTN, PLTU, PLTG), *fuel cell*, industri petrokimia dan juga terjadi pada material *implant*

yang dicangkokkan pada tubuh manusia, selalu menjadi masalah. Dari hasil survei menunjukkan bahwa kerusakan material *implant* yang berfungsi sebagai pengganti bagian tubuh manusia hampir 70 %

disebabkan oleh korosi. Korosi dapat mengakibatkan berkurangnya sifat mekanik, selain itu juga produk korosi atau keluarnya ion logam dari material implan yang ikut dalam aliran darah dapat membahayakan keselamatan pemakainya. Oleh sebab itu korosi pada material implan sebagai pengganti bagian tubuh manusia merupakan hal yang menarik untuk diteliti [1-3].

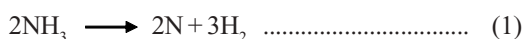
Banyak material logam yang dapat digunakan sebagai material implan pada manusia, diantaranya *Stainless Steel* 316L (SS316L), paduan kobalt-krom (Co-Cr), dan titanium (Ti) serta paduannya. Material ini dapat diterima oleh jaringan tubuh atau bersifat biokompatibel, mempunyai sifat fisik dan mekanik yang baik, juga tahan terhadap korosi pada lingkungan biologis.

Salah satu teknik rekayasa permukaan material dalam upaya untuk meningkatkan ketahanan korosi material implan SS316L adalah nitridasi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter proses nitridasi yang optimal pada material implan ini. Uji korosi dilakukan secara *in vitro* (luar tubuh) yaitu dalam lingkungan biologis tiruan (*simulated body fluid*) menggunakan larutan infus NaCl 0,9% (pH = 7,4) dengan suhu percobaan disesuaikan suhu tubuh manusia normal yaitu 37 °C [3,6].

## TEORI

### Nitridasi

Nitridasi adalah proses berdifusinya atom N pada substrat logam sehingga terbentuk nitrida. Umumnya, pada proses nitridasi digunakan gas amoniak (NH<sub>3</sub>). Disosiasi amoniak dapat dituliskan seperti pada Persamaan (1),



Disosiasi yang terjadi menghasilkan nitrogen dalam bentuk atom yang kemudian akan diserap oleh baja. Parameter difusi yang utama meliputi suhu dan waktu. Parameter tersebut akan mempengaruhi prosentase, kedalaman maupun profil distribusi konsentrasi atom-atom gas reaktif di dalam material target. Kedalaman difusi atom-atom pada material dapat ditentukan dengan Persamaan (2) :

$$x = 2\sqrt{Dt} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- $x$  = Kedalaman atom-atom yang berdifusi (cm)
- $D$  = Koefisien difusi (cm<sup>2</sup>/s)
- $t$  = Waktu proses perlakuan (s)

Harga koefisien difusi sebagai fungsi suhu yang nilainya dapat dihitung dari Persamaan (3) :

$$D = D^{\circ} \exp (-Q/RT) \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- $D^{\circ}$  = Koefisien difusi mula-mula (cm<sup>2</sup>/s)
- $Q$  = Energi aktivasi untuk difusi (kal/mol)
- $R$  = Konstanta gas (1,987 kal/mol K)
- $T$  = Suhu (K)

Nilai energi aktivasi (Q) untuk suatu atom yang rendah, mengindikasikan bahwa atom tersebut mudah berdifusi.

### Laju Korosi

Laju korosi (*corrosion rate*) adalah perubahan massa/berat per satuan waktu atau perubahan kedalaman (penetrasi) korosi per satuan waktu, dengan kata lain laju korosi menunjukkan mudah atau tidaknya suatu material bereaksi dengan lingkungannya. Untuk menentukan laju korosi tergantung pada metode yang digunakan. Satuan yang sering digunakan untuk laju korosi (*Corrosion Rate, CR*) adalah *mills per year (mpy)*.

Salah satu metode untuk menentukan laju korosi adalah metode potensiodinamik dengan menggunakan sel elektrokimia (sel tiga elektroda). Metode ini dilakukan dengan memberikan potensial (E, mV) yang bervariasi pada benda uji kemudian perubahan rapat arus ( $I, \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) diukur. Rapat arus korosi ( $I_{\text{corr}}$ ) terukur pada saat arus katodik sama dengan arus anodik. Laju korosi dapat diketahui menggunakan Hukum Faraday dengan memasukkan harga arus korosi  $I_{\text{corr}}$  ke dalam Persamaan (4) :

$$CR = 0,1288 I_{\text{corr}} \frac{EW}{Ad} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- $CR$  = Laju korosi/laju penetrasi *mills per year (mpy)*
- $I_{\text{corr}}$  = Arus korosi (iA/cm<sup>2</sup>)
- $EW$  = Berat ekuivalen dari sampel (g)
- $A$  = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)
- $d$  = Densitas (g/cm<sup>3</sup>)
- 0,1288 = Faktor konversi

## METODE PERCOBAAN

### Preparasi Sampel

Plat SS316L dengan tebal 0,15 cm dipotong menggunakan mesin pemotong mekanik, menjadi sampel berbentuk keping/koin dengan diameter 1,6 cm dan sampel bentuk persegi dengan sisi 1,0 cm. Sampel koin untuk pengujian korosi dan sampel persegi untuk proses karakterisasi. Untuk meratakan kedua permukaannya digunakan mesin poles dengan amplas *grit* 100, 200, 320, 400, 600, 800, 1000 dan 1200. Kemudian sampel dibersihkan dan dikeringkan.

## Nitridasi

Nitridasi dilakukan dengan meletakkan sampel di atas *fiber glass* yang berada dalam wadah (*boat*) sampel. Kemudian sampel dimasukkan ke tungku (*furnace*) dan dialirkan gas amoniak dengan laju aliran 5 mL/menit. Selanjutnya suhu tungku diatur dengan variasi suhu 400 °C, 420 °C, 440 °C, 460 °C, 480 °C dan 500 °C dengan waktu nitridasi selama 3 jam. Setelah diperoleh data suhu optimal untuk lama nitridasi 3 jam, kemudian dilakukan nitridasi lagi pada suhu optimal tersebut dengan variasi waktu nitridasi, yaitu 1 jam, 3 jam, 5 jam, 7 jam, 9 jam dan 11 jam.

## Pengujian Korosi

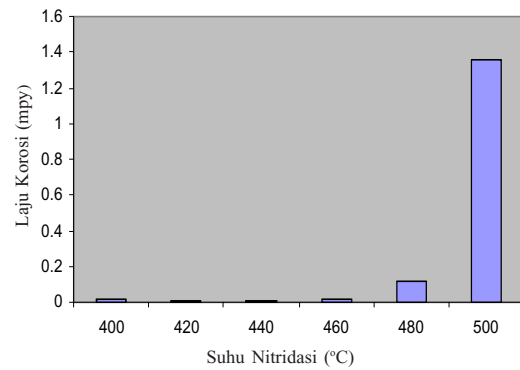
Pengujian korosi dilakukan dengan metode potensiodinamik menggunakan *Potensiostat/Galvanostat M 273* buatan *EG&G PAR* dan *Soficorr M342 EG&G PAR*. Sel korosi menggunakan sistem tiga elektroda: elektroda kerja (sampel uji), elektroda pembanding (Ag/AgCl), dan elektroda bantu (*glassy carbon*). Sampel yang akan diuji korosi dimasukkan sebagai elektroda kerja, selanjutnya dicelupkan dalam sel korosi yang sudah berisi larutan infus NaCl 0,9%, pH=7,4 sebanyak 600 mL sebagai media pengkorosi. Suhu pengujian pada 37°C untuk meniru suhu lingkungan tubuh manusia.

Untuk mengetahui parameter nitridasi yang optimal, sampel diuji korosi dan dikarakterisasi strukturmikro dan komposisi kimianya dengan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer (SEM-EDS)* merek *JEOL type JSM-6510 LA*. Fasa diidentifikasi dengan *X-Ray Diffractometer (XRD)* merek *Philips*.

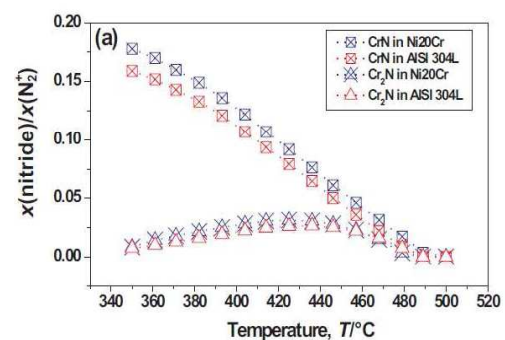
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Korosi

Pengujian korosi SS316L dalam media cairan tubuh buatan (infus) pada suhu 37°C, untuk sampel yang dinitridasi pada suhu 400 °C, 420 °C, 440 °C, 460 °C, 480 °C dan 500 °C selama 3 jam, hasilnya ditampilkan pada Gambar 1. Dari kurva tersebut terlihat laju korosi yang paling kecil terjadi pada sampel yang dinitridasi pada suhu 420 °C yaitu sebesar 0,0082 *mpy* sedang laju korosi paling besar diperoleh pada sampel yang dinitridasi pada suhu 500 °C sebesar 1,3541 *mpy*. Hal ini disebabkan karena pembentukan CrN maupun Cr<sub>2</sub>N pada *stainless steel* yang dinitridasi adalah fungsi suhu. Semakin tinggi suhu semakin kecil fraksi CrN yang terbentuk, sedangkan pembentukan fraksi Cr<sub>2</sub>N mempunyai nilai optimum pada suhu sekitar 420 °C hingga 450°C (Gambar 2) [7]. Oleh karena fraksi CrN maupun Cr<sub>2</sub>N dapat menaikkan ketahanan korosi, maka laju korosi sesuai dengan fraksi nitrida yang terbentuk.



Gambar 1. Kurva hasil uji korosi SS316L setelah dinitridasi pada suhu 400 °C, 420 °C, 440 °C, 460 °C, 480 °C dan 500 °C selama 3 jam

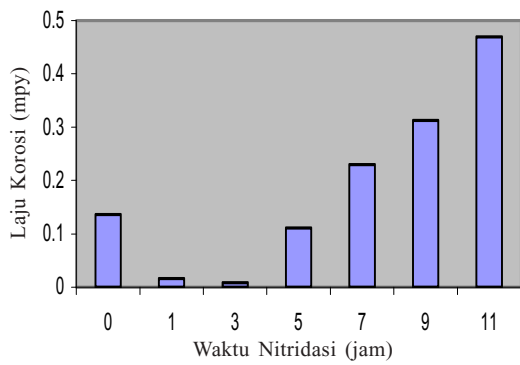


Gambar 2. Evolusi fraksi mol krom nitrida yang terbentuk pada SS304L sebagai fungsi suhu, sesuai perhitungan termokimia [7]

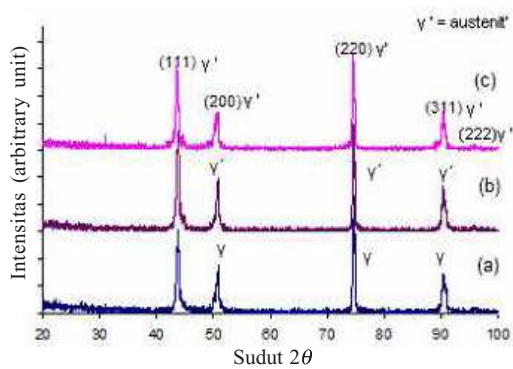
Hasil uji korosi sampel tidak dinitridasi (*as recieved*) dan sampel yang dinitridasi pada suhu 420 °C dengan variasi waktu 1 jam, 3 jam, 5 jam, 7 jam, 9 jam dan 11 jam ditampilkan pada Gambar 3. Kurva tersebut menunjukkan bahwa untuk waktu nitridasi lebih kecil dan lebih besar dari 3 jam laju korosinya cenderung semakin tinggi. Laju korosi sampel SS316L *as recieved* sebesar 0,1358 *mpy*, sedang laju korosi yang paling kecil atau yang mempunyai ketahanan korosi paling tinggi adalah yang dinitridasi selama 3 jam sebesar 0,0082 *mpy*, yang berarti ada peningkatan ketahanan korosi sebesar 16 kali. Hal ini dimungkinkan karena terbentuknya lapisan nitrida (*nitrided layer*) yang disebut fasa “S” atau ekspansi austenit yang mempunyai ketahanan terhadap korosi bentuk sumur (*pitting corrosion*) [8]. Fraksi nitrida akan bertambah sebagai fungsi waktu sehingga laju korosi menurun. Dengan bertambahnya waktu nitridasi, akan terjadi beda potensial antara lapisan kaya nitrida dan miskin nitrida, sehingga laju korosi meningkat kembali setelah waktu optimum.

### Pengujian Difraksi Sinar-X

Pola difraksi sinar-X pada material SS316L *as recieved* dan yang sudah dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam dan 11 jam, ditampilkan pada Gambar 3(a), Gambar 3(b) dan Gambar 3(c). Pola difraksi



Gambar 3. Kurva hasil uji korosi SS316L sebelum dan sesudah nitridasi pada suhu 420 °C dengan waktu 1 jam, 3 jam, 5 jam, 7 jam, 9 jam dan 11 jam



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X SS316L (a). sebelum (b). sesudah nitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam dan (c). sesudah nitridasi pada suhu 420 °C selama 11 jam

sinar-X *as received* (sebelum) dan yang sudah dinitridasi menunjukkan pola yang tidak jauh berbeda. Hampir semua sampel mempunyai fasa austenit yang merupakan fasa dari logam induk.

Gambar 4(a) dan Tabel 1 merupakan pola difraksi dari SS316L *as received* dan data puncak-puncak difraksi yang merupakan fasa  $\alpha$  (austenit) dan mempunyai struktur kristal *Face Centered Cubic (FCC)*.

Bila dibandingkan dengan pola difraksi *as received* (tidak dinitridasi) maka pola difraksi yang dinitridasi pada 420 °C selama 3 jam, sudut ( $2\theta$ )nya mempunyai kecenderungan bergeser menjadi lebih kecil (kecuali pada sudut  $2\theta$  sebesar 43,63°) meskipun tidak signifikan. Ini menunjukkan bahwa atom nitrogen sudah berdifusi larut padat interstisi pada fasa  $\alpha'$  atau ekspansi gamma. Dengan mengecilnya sudut  $2\theta$  maka parameter kisi akan menjadi lebih besar. Ekspansi gamma ini sering

Tabel 1. Pergeseran sudut  $2\theta$  antara pola difraksi SS316L sebelum dan sesudah nitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam.

Bidang	As Recieved	420 °C 3 jam	delta
(111)	43,61	43,63	-0,02
(200)	50,69	50,66	0,03
(220)	74,63	74,61	0,02
(311)	90,58	90,50	0,08
(222)	95,82	95,70	0,12

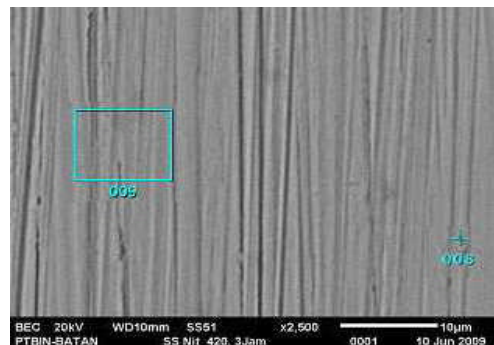
disebut juga fasa S. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya [9], fasa S muncul pada sudut ( $2\theta$ ) lebih kecil bila dibandingkan sudut ( $2\theta$ ) fasa austenit, yaitu pada 40,27°; 46,20°; 68,45° dan 82,45°. Dengan bidang-bidang kristal sama seperti pada austenit (111), (200), (220) dan (311), karena sudut ( $2\theta$ ) mengecil maka parameter kisi menjadi lebih besar karena adanya atom-atom nitrogen yang larut padat interstisi pada kisi-kisi kristal. Pada nitridasi 420 °C selama 3 jam belum menunjukkan puncak fasa S.

## Pengujian Strukturmikro dan Komposisi Kimia

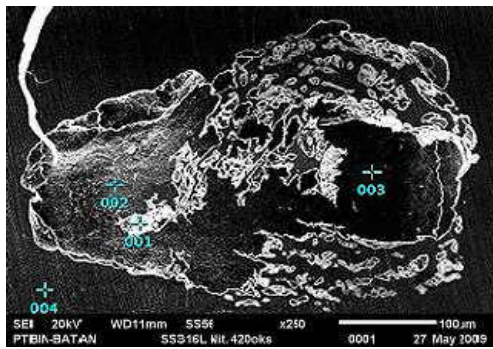
Strukturmikro material SS316L yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam ditunjukkan pada Gambar 5. Garis-garis vertikal merupakan goresan akibat dari pengamplasan, yang tidak rata meskipun sudah menggunakan amplas grit 1500. Pada perbesaran 2500 kali goresan masih terlihat tajam.

Hasil komposisi kimia permukaan setelah dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam, ditunjukkan pada Tabel 1. Pada pengamatan dengan metoda *spot* pada bintik hitam (008) terlihat adanya unsur nitrogen sebesar 1,33% massa, sedang pengamatan pada daerah (009) tidak teramati adanya unsur nitrogen. Hal ini dimungkinkan karena lapisan nitrida tidak homogen, sehingga untuk daerah tertentu rata-ratanya masih di bawah batas deteksi *EDS* dimana batas deteksi *EDS* untuk unsur dengan nomer atom di bawah 10 antara 1 %massa hingga 2 %massa, sedang batas deteksi untuk nomer atom sama dengan atau di atas 10 antara 0,1 %massa hingga 0,2 %massa [10].

Pengamatan strukturmikro sampel SS316L *as received* ditunjukkan pada Gambar 6. Strukturmikro dari material SS316L *as received* dan hasil uji korosi menunjukkan adanya korosi bentuk sumur (*pitting corrosion*). Korosi ini sering menyerang pada material yang media korosinya tidak mengalir dan pada atau lingkungan yang banyak mengandung ion-ion klorida [11]. Dari media korosi tersebut, juga sering terjadi korosi retak tegang.



Gambar 5. Strukturmikro SS316L nitridasi suhu 420 °C selama 3 jam



Gambar 6. Strukturmikro SS316L setelah uji korosi

Tabel 3. Komposisi kimia SS316L setelah uji korosi

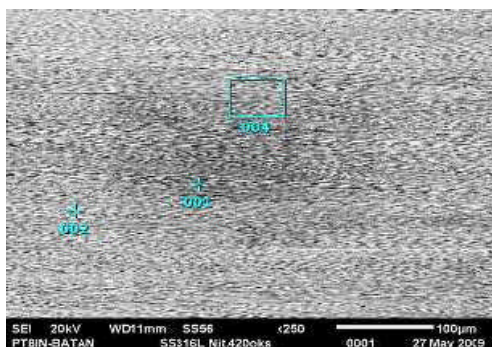
Nomer titik	Komposisi (% Massa)									
	C	O	Na	Si	S	Cl	Cr	Ni	Mo	Fe
001	4,23	3,53	0,14	-	0,99	0,25	18,75	9,41	-	balance
002	4,16	-	0,01	0,74	0,55	-	18,68	12,22	-	balance
003	3,54	2,51	0,35	0,25	-	0,14	26,80	3,78	1,60	balance
004	8,05	7,52	0,40	0,70	-	0,42	15,68	9,75	3,21	balance

Hal ini didukung dengan hasil uji komposisi menggunakan EDS (Tabel 3), yang menunjukkan adanya unsur natrium dan klor pada 3 titik pengamatan (001, 003 dan 004) dengan kandungan terbesar pada titik (004) yaitu sebesar 0,40 %natrium dan 0,42 %massa klor.

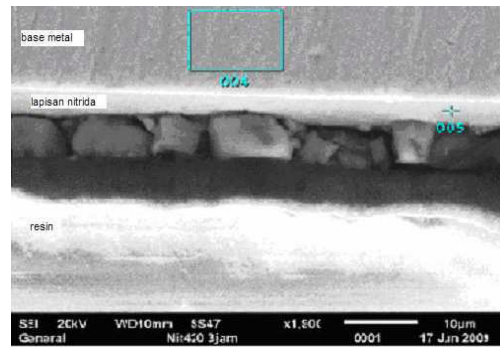
Hasil pengamatan strukturmikro sampel SS316L dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam dan telah diuji korosi dapat dilihat pada Gambar 7 dengan data komposisi kimia pada Tabel 4. Topografi dari SS316L yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam dan diuji korosi menunjukkan permukaan yang rata dengan bintik hitam, tidak terlihat adanya serangan korosi. Hal ini

Tabel 4. Komposisi kimia SS316L ternitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam setelah uji korosi

Nomer titik	Komposisi (% Massa)						
	C	O	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
001	7,36	2,60	0,54	16,76	11,32	2,04	balance
002	6,81	0,34	0,70	17,25	10,89	2,09	balance
004	1,89	0,78	0,60	18,17	11,52	1,14	balance



Gambar 7. Strukturmikro SS316L nitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam setelah uji korosi



Gambar 8. Strukturmikro tampang lintang SS316L nitridasi suhu 420 °C selama 3 jam

Tabel 5. Komposisi pada base metal dan pada lapisan nitrida

Nomer titik	Komposisi (% Massa)						
	C	N	O	Cr	Ni	Mo	Fe
(Base metal) (004)	-	-	-	18,84	12,23	2,23	sisanya
Lapisan nitrida (005)	47,62	31,83	19,85	0,07	0,16	0,09	sisanya

dimungkinkan karena fasa S yang terbentuk di permukaan meningkatkan ketahanan korosi [8].

Dari tiga daerah pengamatan (001, 002, 004) komposisi kimia permukaan SS316L nitridasi suhu 420 °C selama 3 jam dan telah diuji korosi, menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan. Unsur nitrogen tidak terdeteksi meskipun pengaruh nitridasi terhadap korosi telah terlihat perbedaannya, terlihat unsur karbon dan oksigen yang juga ada pada hasil nitridasi. Hal ini dimungkinkan karena ketidakmurnian gas amoniak atau terjadi sewaktu pendinginan atmosferik setelah nitridasi.

Strukturmikro tampang lintang SS316L ternitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam ditunjukkan pada Gambar 8. Lapisan tipis nitrida kelihatan kurang merata dengan tebal sekitar 4 µm, di atas lapisan adalah *base metal* (substrat), sedang di bawah lapisan nitrida ada rongga (yang terisi serbuk dari amplas) terjadi sewaktu preparasi yang kurang sempurna, sehingga resin tidak menempel pada sampel dan sewaktu pengamplasan serbuk amplas masuk ke rongga.

Komposisi kimia tampang lintang SS316L ternitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam ditunjukkan pada Tabel 5. Pengamatan komposisi pada *base metal* pada daerah (004), unsur nitrogen, karbon dan oksigen tidak terdeteksi, sedang unsur krom, unsur nikel dan molibdenum terdeteksi masing-masing sebesar 18,84 %massa, 12,23 %massa, 2,23 %massa dan unsur besi sisanya, artinya komposisi ini mirip dengan komposisi material *as received* (sebelum nitridasi). Sedang komposisi pada lapisan nitrida (005) terdeteksi unsur karbon (29,16 %massa), unsur nitrogen (31,83 %massa), unsur oksigen (19,85 %massa), unsur krom (0,07 %massa), unsur nikel (0,16 %massa) dan molibdenum (0,09 %massa) dan unsur besi sisanya. Kalau

dilihat dari komposisinya unsur nitrogen cukup tinggi namun itu belum mencirikan fasa S, karena kandungan unsur nitrogen pada fasa S dengan rumus  $\tilde{\alpha}$ -(Fe<sub>4</sub>N) berkisar antara 19,3 %atom hingga 20 %atom [12]. Oleh karena itu fasa S juga belum terdeteksi oleh alat XRD.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa nitridasi yang optimal diperoleh pada suhu 420 °C selama 3 jam. Terjadi peningkatan ketahanan korosi material implan SS316L sebesar 16 kali dari laju korosi 0,1358 *mpy* menjadi 0,0082 *mpy*. Pola difraksi sinar-X material implan SS 316L yang tidak dinitridasi menunjukkan fasa austenit (fasa  $\tilde{\alpha}$ ), sedang yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam adalah fasa  $\tilde{\alpha}'$ , terjadi pergeseran sudut ( $2\theta$ ) meskipun tidak signifikan, sedang fasa S belum teramati. Dari hasil pengamatan strukturmikro dan komposisi kimia permukaan dari SS316L yang tidak dinitridasi dan telah diuji korosi menunjukkan adanya korosi sumur dan terdapat unsur klor sampai 0,42 %massa. Sampel yang dinitridasi pada suhu 420 °C selama 3 jam menunjukkan topografi yang rata dengan bintik hitam dan dari pengamatan tampak lintang diperoleh lapisan nitrida dengan tebal sekitar 4  $\mu$ m dan terdapat unsur nitrogen 31,83 %massa.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. S. DATTA and S. DAS, *India Bull. Mater. Sci.*, **28** (7) (2005) 689-696
- [2]. M. KUMACHI and B. SRIDHAR, *Metalurgy and Materials Group*, **28** (3 & 4) (2003) 601-637
- [3]. S. VIRTANEN, I. MILOSJEVIC, G. BARRENA, R. TREBS, Y.T. KONTTINEN, *Acta Biomaterialia*, **4** (2008) 468-476
- [4]. F. MACIONZ, B. GEROLD and R. THULL, *Surface & Coatings Technology*, **142-144** (2001) 1084-1087
- [5]. X. XU, Z. YU, L. WANG, J. QIANG and Z. HEI, *Surface & Coatings Technology*, **162** (2003) 242-247
- [6]. L. GIL, S. BRUHL, L. JIMENEZ, O. LEON, R. GUEVARA and H. MARIANA, *Surface & Coatings Technology*, **201** (2006) 4424-4429
- [7]. F. PEDRAZA, *Materials and Technology*, **42**(4) (2008) 157-169
- [8]. A.M. OLIVIERA, R. M. RIOFANO, L. C. CASTELETTI, G. F. TREMILIOSI, C. A. BENTO, *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, **22** (2003) 63-66
- [9]. H. CONRAD, KNEER, *Metlab, Surface Hardening of Steel: Gas Nitriding of Steels, ASM Handbook*, ASM International, **4** (2003) 906-909
- [10]. L.T. KUHN, *Sample Morphology and Element Analysis by SEM and EDS Super Conductivity*, Laboratory Exercise No.3, (2003)
- [11]. H. SHAIKH, B.G. RAO, S. GUPTA, R. GEORGE, SASI, B. VENUGAVOL, S. JAYAKUMAR, KHATAK, *British Corrosion Journal*, **37**(2) (2002)
- [12]. W. LIANG, L. XIAO and J. YAQIN, *Thin Solid Film*, **391** (2001)