

## PENGARUH TEKANAN DAN LAMA PLASMA NITRIDING TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KOROSI BAJA TAHAN KARAT AISI 410

Clara Nova<sup>1</sup>, Viktor Malau<sup>2</sup>, Tjipto Sujitno<sup>3</sup>

<sup>1,2)</sup> Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55281 Telp: 0274 513665 Fax: 0274 589659

<sup>3)</sup> Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta  
Jl Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281 Telp: 0274 488435  
e-mail: [claranova29@yahoo.com](mailto:claranova29@yahoo.com)

### Abstrak

Baja tahan karat martensitik AISI 410 diaplikasikan secara luas dalam bidang industri maupun peralatan kedokteran. Sifat tahan karat baja AISI 410 dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan permukaan dengan plasma nitriding. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh lapisan tipis nitrogen terhadap kekerasan, laju korosi, komposisi dan struktur mikro hasil proses plasma nitriding pada baja tahan karat AISI 410. Metode yang digunakan adalah plasma lucutan pijar DC. Parameter Plasma nitriding yang digunakan adalah variasi tekanan 1,6; 1,8 dan 2,0 mbar dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam dengan suhu konstan 350°C. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mikro-Vickers hardness tester, pengujian korosi dilakukan menggunakan potensiostat dengan media korosi NaCl 0,7% dan pengujian struktur mikro menggunakan SEM dan EDS. Hasil penelitian ini memperlihatkan kekerasan tertinggi AISI 410 dengan proses plasma nitriding sebesar 278,1 VHN, dimana kekerasan material dasar sebesar 210,2 VHN. Kondisi optimum ini terjadi pada  $P = 2,0$  mbar dan  $t = 6$  jam. Hasil pengujian korosi diperoleh nilai arus korosi material dasar sebesar  $2,32 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , dari hasil pengujian menunjukkan kecenderungan menurun hingga mencapai nilai terendah sebesar  $0,04 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Kondisi optimum terjadi pada  $P = 1,6$  mbar dan  $t = 6$  jam dan  $P = 2,0$  mbar dan  $t = 5$  jam. Dari analisa komposisi dan struktur mikro menggunakan EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) dan SEM (Scanning Electron Microscope), menunjukkan pada kondisi kekerasan optimum kandungan nitrogen sebesar 5,73 mass% or 16,91 at%. Berdasarkan diagram fase Fe-N, nitrogen dengan kandungan 5,73 mass% or 16,91 at% adalah membentuk fase baru mendekati fase  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

**Kata Kunci :** AISI 410, Plasma nitriding, Stainless steel

### Pendahuluan

Penerapan teknologi rekayasa material saat ini semakin bervariasi hal ini disebabkan oleh tuntutan untuk memenuhi kebutuhan manusia yang beraneka ragam, oleh sebab itu manusia dituntut untuk semakin kreatif dan produktif dalam mengembangkan teknologi rekayasa material. Adapun tujuan utama rekayasa material adalah merekayasa permukaan suatu material agar diperoleh material baru yang mempunyai sifat lebih baik, diantaranya kekerasan dan ketahanan terhadap korosi meningkat (Malau, 2003). Baja tahan karat AISI 410 merupakan material baja tahan karat jenis martensitik yang banyak digunakan dalam bidang industri dan kesehatan. Material ini sifat ketahanan korosinya sangat baik namun nilai kekerasan rendah dibandingkan baja tahan karat jenis martensitik lainnya (Roberge, 1999). Salah satu cara untuk mengendalikan korosi dan meningkatkan kekerasan adalah dengan teknik perlakuan permukaan menggunakan plasma nitriding.

Plasma Nitridasi merupakan cara pengerasan permukaan dengan mendeposisikan ion nitrogen pada permukaan benda kerja sehingga terbentuk fase nitrida yang keras dipermukaan benda kerja (Sujitno, 2003). Proses plasma nitriding dilakukan pada tekanan rendah dan diberi beda potensial untuk melucutkan atom gas yang mengandung nitrogen sehingga terjadi lucutan pijar yang disebut *glow discharge*. Pada plasma nitridasi terjadi 2 proses yaitu proses penguraian nitrogen dan proses ionisasi. Pada proses penguraian nitrogen ini terjadi peristiwa disosiasi yaitu pemisahan molekul gas menjadi atom-atom penyusunnya akibat tumbukan antara elektron-elektron bebas dengan partikel-partikel gas, hasil dari penguraian nitrogen ini terbentuk ion-ion positif nitrogen. Ion-ion positif nitrogen yang terbentuk kemudian masuk ke permukaan spesimen membentuk lapisan tipis. Sedangkan pada proses ionisasi, ion nitrogen yang terbentuk karena adanya beda potensial akan bergerak menuju katoda dan menumbuk spesimen yang terdapat pada katoda, tumbukan tersebut menyebabkan atom-atom yang terdapat pada permukaan spesimen terlepas dan selanjutnya bereaksi dengan ion nitrogen membentuk nitrida. Sebagian atom-atom nitrogen akan berdifusi ketempat yang lebih dalam dan membentuk larutan padat. Proses pendeposisian atom-atom nitrogen kedalam permukaan spesimen tergantung suhu spesimen. Dengan naiknya suhu, maka atom-atom dalam spesimen akan bergetar dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar dan memungkinkan atom-atom karbon masuk lebih dalam diantara celah-celah atom atau menempati posisi kekosongan yang ada.

Parameter yang berpengaruh terhadap hasil akhir pada proses ini adalah dimensi tabung reaktor, laju aliran gas, tingkat kevakuman, jarak antar elektroda, tegangan antar elektroda, temperatur benda kerja serta lamanya proses (Sujitno, 1996). Untuk mendapatkan kondisi optimal tingkat kevakuman pada kondisi  $10^{-2}$ - $10^{-3}$  torr, beda potensial diantara elektroda 1-3kV dan suhu dalam ruang nitridasi berkisar antara 350-590°C (Badriyana, 2003 dan Sujitno 2003). Beberapa keuntungan proses plasma nitriding dibanding dengan metode konvensional adalah proses lebih cepat sehingga dapat menghemat waktu sekitar 50-55%, bersih karena proses harus dilakukan dalam ruang hampa, distorsi kecil, temperatur lebih rendah dengan waktu operasi lebih pendek, operasi lebih teliti, tidak menghasilkan limbah berbahaya, kekerasan lebih tinggi dengan pengaturan, ongkos untuk benda kecil jauh lebih murah dan dapat digunakan diseluruh bahan baja.

Aplikasi teknologi plasma nitriding dalam meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan korosi permukaan logam telah dilakukan oleh Sunarto (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan dan waktu HSS ASSAB 17 dapat meningkatkan kekerasan sebesar 477 % dari bahan dasar 402 VHN menjadi 1918 VHN pada tekanan 1,4 mbar, suhu 500°C dan waktu nitridasi 5 jam. Pinedo, C. (2010) ) melakukan penelitian menggunakan plasma nitriding terhadap martensit *stainless steel* AISI 420 pada temperatur 480–560 °C dan waktu 4-16 jam, menghasilkan kekerasan sebesar 1400 HV. Sedangkan Oliveira, dkk (2003) melakukan penelitian dengan plasma nitriding untuk mengetahui pengaruh dari temperatur dalam proses nitridasi plasma pada material AISI 316L dengan menggunakan campuran gas 20% N<sub>2</sub> dan 80% H<sub>2</sub>, tekanan  $8 \times 10^{-2}$  mbar, variasi temperatur yaitu 400-500 °C dengan waktu nitridasi selama 5 jam. Kekerasan optimum permukaan material hasil nitridasi meningkat dari 200 VHN menjadi 1050 VHN pada temperatur 500 °C. Pada hasil kekerasan yang optimum (temperatur 500 °C) ketebalan dari lapisan nitridasi mencapai 30µm.

Tujuan Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari dan mengetahui pengaruh deposisi lapisan tipis ion nitrogen terhadap kekerasan, laju korosi dalam lingkungan NaCl, struktur mikro dan komposisi pada permukaan baja tahan karat tipe AISI 410.

### Pembentukan fase nitrida

Dalam proses nitridasi terdapat dua buah lapisan yang terbentuk pada permukaan yaitu zona-senyawa (*compound-zone*) dan zona-difusi (*diffusion-zone*). Berikut penjelasan kedua zona tersebut :

1. Zona-senyawa (*compound-zone*). Merupakan lapisan yang lebih keras dibandingkan dengan zona-difusi dibawahnya. Pembentukan senyawa keras pada zona ini ditentukan oleh jumlah nitrogen yang dideposisikan dan dapat dilihat dari diagram fase. Dari diagram fase dan data percobaan, untuk mendapatkan fase keras Fe<sub>4</sub>N jumlah nitrogen yang harus dideposisikan masing-masing 20% atom atau 6% berat; dan untuk Fe<sub>2</sub>N diperlukan 33,5% atom atau 11,2% berat.

2. Zona-difusi (*diffusion-zone*). Merupakan lapisan keras dibawah zona-senyawa dan lapisan ini disebut zona-difusi. Zona difusi sedikit lebih lunak dan terdiri dari nitrogen terlarutkan. Hal ini terjadi karena ukuran nitrogen yang relatif kecil (0,71 Å), sehingga nitrogen-elementer bisa dengan cukup mudah menemukan ruang pada *interstitial-space* pada kisi logam/paduan.

### Perhitungan dalam proses plasma nitriding

Parameter difusi yang utama meliputi temperatur dan waktu yang akan mempengaruhi prosentase kedalaman maupun distribusi konsentrasi atom-atom gas reaktif didalam material target (Sujitno, 2003). Kedalaman difusi atau tebal lapisan difusi atom-atom gas reaktif dalam material target diekspresikan dengan persamaan :

$$x = 2\sqrt{Dt} \quad (1)$$

D adalah koefisien difusi sebagai fungsi temperatur yang nilainya dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (2)$$

dengan,

X	= kedalaman penyisipan atom-atom dopan (mm)
D	= koefisien difusi (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
D <sub>0</sub>	= koefisien difusi mula-mula (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
Q	= energi aktivasi atom yang berdifusi (kJmol <sup>-1</sup> )
R	= tetapan gas universal = 8.314 (j/mol.K)
T	= temperatur (K)
t	= lamanya proses (detik)

### Metodologi Penelitian

#### Material

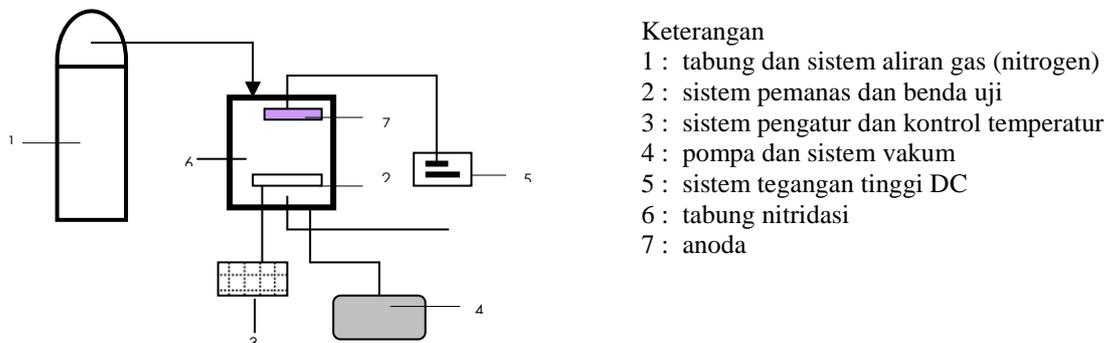
Dalam penelitian ini sebagai material adalah baja karbon rendah tipe AISI 410 dalam bentuk lonjoran. Kemudian dipotong-potong dalam bentuk kepingan-kepingan tebal 3 mm dan diameter 14mm. Selanjutnya kepingan-kepingan tadi diampas dengan kertas ampas dari ukuran 600 sampai ukuran 2000 mesh, sesudah diampas penghalusan lanjut dengan proses pempolosan dengan menggunakan pasta intan (*diamond paste*) sehingga

diperoleh permukaan yang halus dan mengkilap. Sesudah proses pemolesan selesai dilanjutkan dengan proses pencucian dengan alkohol atau ethanol, maka cuplikan siap dinitridasi

Uji komposisi material dilakukan dengan menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui jenis dan spesifikasi material yang digunakan.

**Reaktor Plasma Lucutan Pijar**

Pada penelitian ini mesin nitridasi plasma/ion yang digunakan adalah mesin nitridasi ion yang dibuat oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Yogyakarta tahun 2006.



Gambar 1. Skema peralatan plasma nitridasi lucutan pijar DC

Pada prinsipnya reaktor terdiri dari pelat sejajar yang berada dalam ruang yang bisa dihampakan. Kemudian untuk menghasilkan plasma maka kedua pelat dibuat sejajar, yang merupakan sistim elektrode tersebut dihubungkan dengan tegangan DC dengan anode sistim grounded (ditanahkan). Reaktor tersebut juga dilengkapi dengan sistim pemanas yang berfungsi untuk memanaskan sampel. Suhu di ruang nitridasi dijaga dengan alat kontrol temperatur pada suhu 350–590°C yang diberikan oleh sistem pemanas. Suhu operasi yang optimal perlu ditentukan untuk setiap aplikasi yang berbeda. Pada suhu lebih tinggi, lapisan keras yang dihasilkan bisa lebih dalam namun dengan resiko terjadi perubahan dimensi dan penurunan kekerasan maksimum yang bisa dicapai. Dalam pelaksanaannya sampel yang akan dinitridasi diletakan pada anode. Kemudian gas nitrogen dialirkan ke ruang hampa dengan aliran konstan yaitu sebesar 0,6 liter/menit dan plasma dihasilkan diantara pelat sejajar (elektrode) pada tegangan DC. Kemudian elektron yang dihasilkan pada peristiwa discharge akan menumbuk gas nitrogen sehingga gas nitrogen terionisasi. Ion-ion nitrogen tersebut oleh medan listrik dipercepat menuju sasaran dan selanjutnya berinteraksi dengan permukaan sasaran.

**Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan Stainless Steel AISI 410. Peralatan yang digunakan uji kekerasan Micro Hardness Tester MMT-X7 Matsuzawa. Untuk menghitung kekerasan Vickers menggunakan rumus:

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2} \tag{3}$$

**Pengujian Korosi**

Uji elektrokimiawi dilakukan menggunakan sel potensial tiga elektroda sementara elektroda pembantu yang digunakan adalah platinum. Uji korosi dilakukan di lingkungan NaCl 0,7%. Laju korosi dalam (mpy) dihitung menurut persamaan berikut :

$$r = 0,129 \frac{i_{kor} \cdot EW}{D} \tag{4}$$

**Hasil dan Pembahasan**

**Karakterisasi Material**

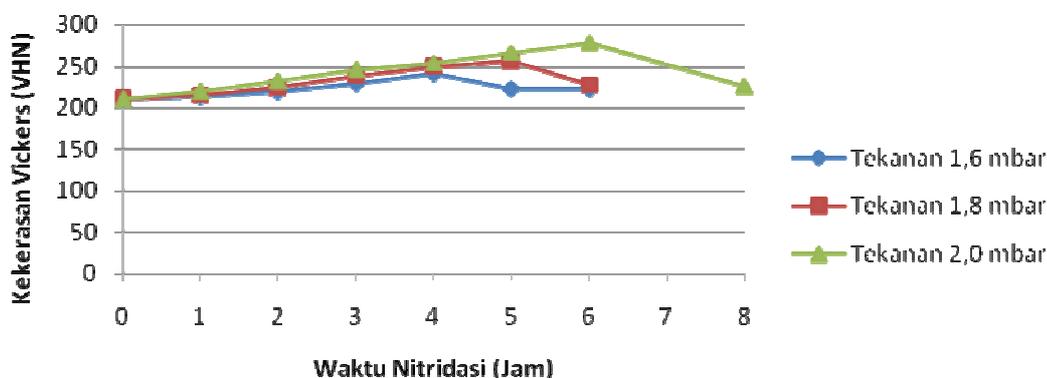
Hasil uji komposisi pada material yang diteliti dibandingkan dengan komposisi standar dari material tersebut. Hasil pengujian komposisi memperlihatkan bahwa spesimen yang diteliti mempunyai komposisi yang masih dalam batasan standar komposisi material AISI 410 (Roberge, 1999) seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Komposisi Kimia Baja Tahan Karat AISI 410

Material	Komposisi Kimia (wt%)								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ni	N
Material Uji	0,12	0,4275	0,3385	0,0199	0,025	12,8251	0,055	0,2119	-

### Analisa kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Micro Hardness Tester MMT-X7 Matsuzawa dilaboratorium Pustek Akselator dan Proses Bahan PT. APB BATAN Yogyakarta.



Gambar 2. Kurva Tekanan dan Waktu Nitridasi dengan nilai Kekerasan Permukaan Baja Tahan karat AISI 410 yang dinitridasi dengan temperatur 350°C

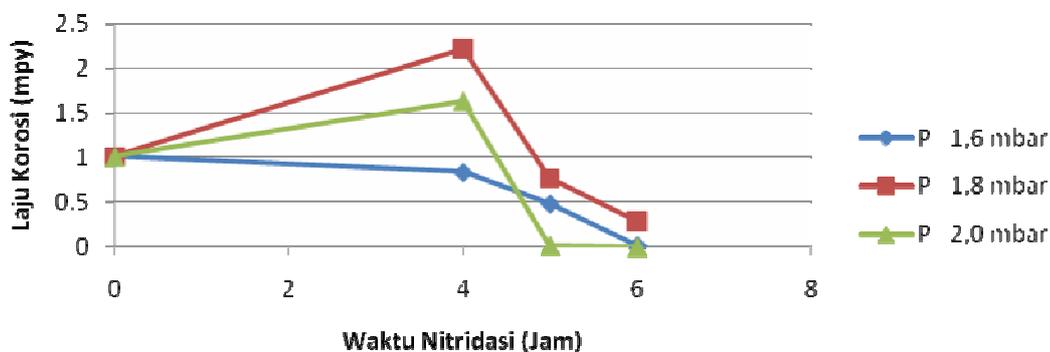
Gambar 2 dapat dilihat pada tekanan 1.6 mbar waktu 1 jam kekerasan meningkat dari 210,2 VHN menjadi 212,9 VHN. Pada tekanan 1.8 mbar waktu 1 jam peningkatan juga terlihat dari 210,2 VHN menjadi 215,7 VHN demikian juga peningkatan kekerasan terlihat pada tekanan 2.0 mbar waktu 1 jam dari 210,2 VHN menjadi 218,9 VHN. Kekerasan material terus meningkat pada masing-masing variasi tekanan dan waktu namun kondisi optimum yang diperoleh berbeda-beda pada masing-masing tekanan. Pada Untuk tekanan 1,6 mbar kondisi optimum diperoleh pada variasi waktu 4 jam, pada kondisi tersebut kekerasannya sebesar 240,7 VHN. Pada tekanan 1,8 mbar kondisi optimum diperoleh pada variasi waktu 5 jam, pada kondisi tersebut kekerasannya sebesar 256,5 VHN. Sedangkan pada tekanan 2,0 mbar kondisi optimum diperoleh pada variasi waktu 6 jam, pada kondisi tersebut kekerasannya sebesar 278,1 VHN. Dari kondisi optimum masing-masing tekanan dapat dilihat bahwa hasil kekerasan terbesar diperoleh dari variasi tekanan 2,0 mbar dengan waktu 6 jam, hal ini disebabkan karena pada tekanan rendah jumlah ion nitrogen yang masuk kepermukaan lebih sedikit dari pada tekanan tinggi. Menurut Suprpto (2010) semakin tinggi tekanan makin banyak atom nitrogen dan makin tinggi rapat plasma sehingga makin banyak ion nitrogen yang terbentuk dan terdeposisi pada permukaan, dengan semakin banyak ion nitrogen yang terdeposisi pada permukaan maka semakin banyak atom nitrogen yang berdifusi dan membentuk lapisan nitrida besi (FeN) yang memiliki sifat keras. Peningkatan kekerasan pada penelitian ini tidak terlalu signifikan hal ini kemungkinan besar disebabkan pada pemilihan suhu yang terlalu rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Sujitno (1996) yang menyatakan pada suhu rendah yang dominan hanyalah terbentuknya pasangan kekosongan dan sisipan atom-atom Fe dan ion-ion nitrogen akibat tumbukan dengan ion-ion nitrogen. Untuk membuktikan nilai kekerasan pada variasi tekanan 2,0 mbar dengan waktu 6 jam sudah mencapai nilai optimal maka perlu dilakukan kembali nitridasi pada variasi tekanan 2,0 mbar dengan waktu 8 jam, dari data yang ada dapat dilihat nilai kekerasan cenderung menurun. Hal ini kemungkinan besar disebabkan material sudah jenuh sehingga dengan penambahan waktu lebih lanjut justru akan menurunkan kekerasannya, menurut Sunarto (2010) pada tekanan 2,0 mbar laju deposisi menjadi lebih besar, akibatnya tidak terjadi keseimbangan antara laju deposisi, difusi dan reaksi ion nitrogen pada permukaan spesimen. Apabila laju deposisi terlalu besar sementara difusi dan reaksi atom nitrogen (N) dengan spesimen (Fe) tidak dapat mengikuti besarnya laju deposisi, maka akan terjadi penumpukan atom nitrogen pada permukaan, dengan demikian kekerasan permukaan tidak naik melainkan menurun dari kondisi optimum.

### Analisa Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan tiga sel elektroda didasarkan pada metode ekstrapolasi tafel menggunakan potensiostat PGS-273 dilaboratorium Pustek Akselator dan Proses Bahan PT. APB BATAN Jakarta.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa proses plasma nitriding dapat menurunkan laju korosi pada baja tahan karat AISI 410. Setelah proses plasma nitriding variasi tekanan 1,6; 1,8 dan 2,0 mbar dan variasi waktu 4, 5 dan 6 jam diperoleh laju korosi yang lebih rendah dari laju korosi pada material awal. Pada tekanan 1,6 mbar variasi waktu nitridasi 4 jam mulai terjadi penurunan, laju korosi yaitu 0,83 mpy dari laju korosi material awal 1,0004 mpy. Sedangkan laju korosi optimum diperoleh pada waktu 6 jam yaitu 0,017 mpy. Pada variasi tekanan 1,8 dan 2,0 mbar untuk variasi waktu nitridasi 4 jam dari data yang ada laju korosi justru meningkat untuk tekanan 1,8 dan 2,0 mbar laju korosi yaitu 2,21 mpy dan 1,62 mpy memiliki ketahanan paling buruk dan bahkan lebih buruk dari sampel yang belum dinitridasi. Hal ini disebabkan karena pada proses plasma nitriding untuk tekanan yang lebih tinggi pada waktu 4 jam tabung nitridasi belum cukup vakum, sehingga ion nitrogen belum melapisi permukaan. Reaksi yang

terjadi pada kondisi tersebut justru menyebabkan spesimen lebih korosif dibandingkan material awal. Untuk waktu 5 dan 6 jam laju korosi mulai menunjukkan nilai yang lebih kecil dari laju korosi material awal, untuk laju korosi optimum tekanan 1,8 mbar yaitu 0,28 mpy dan tekanan 2,0 mbar yaitu 0,017 mpy.

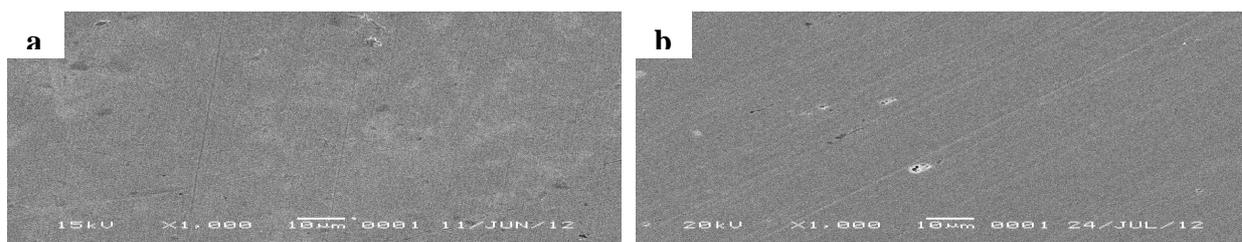


Gambar 3. Kurva hubungan tekanan dan waktu optimum proses plasma nitriding dengan laju korosi pada AISI 410.

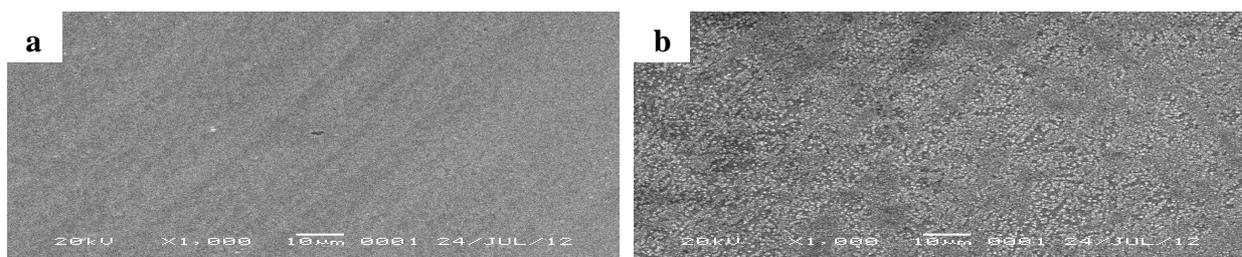
Dari pengujian struktur mikro (SEM) pada Gambar 3.b, material yang dikorosi menunjukkan terjadinya gejala korosi terutama jenis korosi sumuran/lubang (*pitting corrosion*) yang disebabkan oleh ion-ion klorida. Menurut Linda (2006), banyaknya terjadi korosi lubang yang terjadi pada sampel yang dinitridasi mengindikasikan bahwa kromium nitrida mengendap dalam matrik fasa-S. Mikrostruktur yang tidak homogen ini membentuk sel galvanis lokal sehingga dapat meningkatkan reaksi sel antara partikel-partikel fase kedua dan matrik. Sedangkan mikrostruktur yang homogen relatif lebih bebas dari reaksi sel. Penurunan laju korosi ini disebabkan karena adanya lapisan nitrida pada permukaan baja. Hal ini sesuai dengan pendapat Borgioli (2005), perbedaan ketahanan korosi pada sampel-sampel yang disebutkan di atas, terkait dengan fasa-fasa yang hadir pada saat nitridasi yang berfungsi sebagai lapis lindung. Terbentuknya fasa-S sendiri pada lapisan nitrida pada sampel dapat meningkatkan ketahanan korosi.

*Analisa Struktur Mikro*

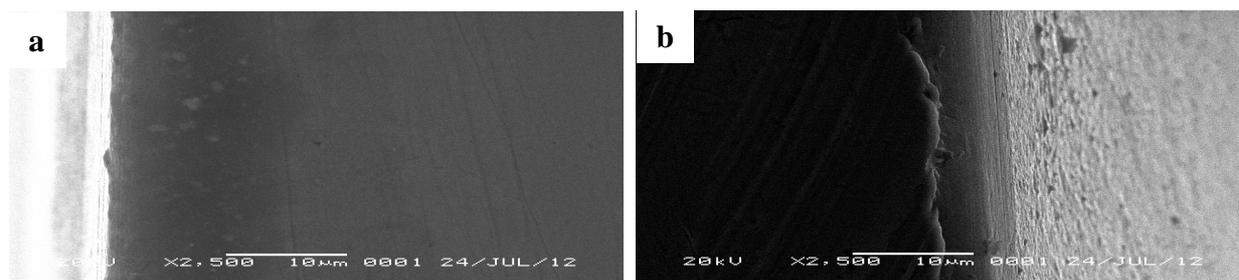
Perubahan struktur mikro dari sebelum dan sesudah nitridasi dapat diamati dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Untuk dapat menampilkan struktur mikro maka sampel hasil nitridasi dipotong melintang kemudian dimounting dengan resin dan selanjutnya dipolis sampai halus sekali kemudian diuji dengan larutan nital 5 %. Hasil perubahan struktur mikro ditampilkan pada Gambar 4, 5 dan 6.



Gambar 4.a. Hasil uji SEM material AISI 410 tanpa proses plasma nitriding bagian permukaan. b. Hasil uji SEM material AISI 410 tanpa proses plasma nitriding bagian permukaan dan diuji korosi dalam media NaCl 0,7%



Gambar 5.a. Hasil uji SEM material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar dan waktu 6 jam bagian permukaan. b. Hasil uji SEM material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar dan waktu 6 jam bagian permukaan dan diuji korosi dalam media NaCl 0,7%.



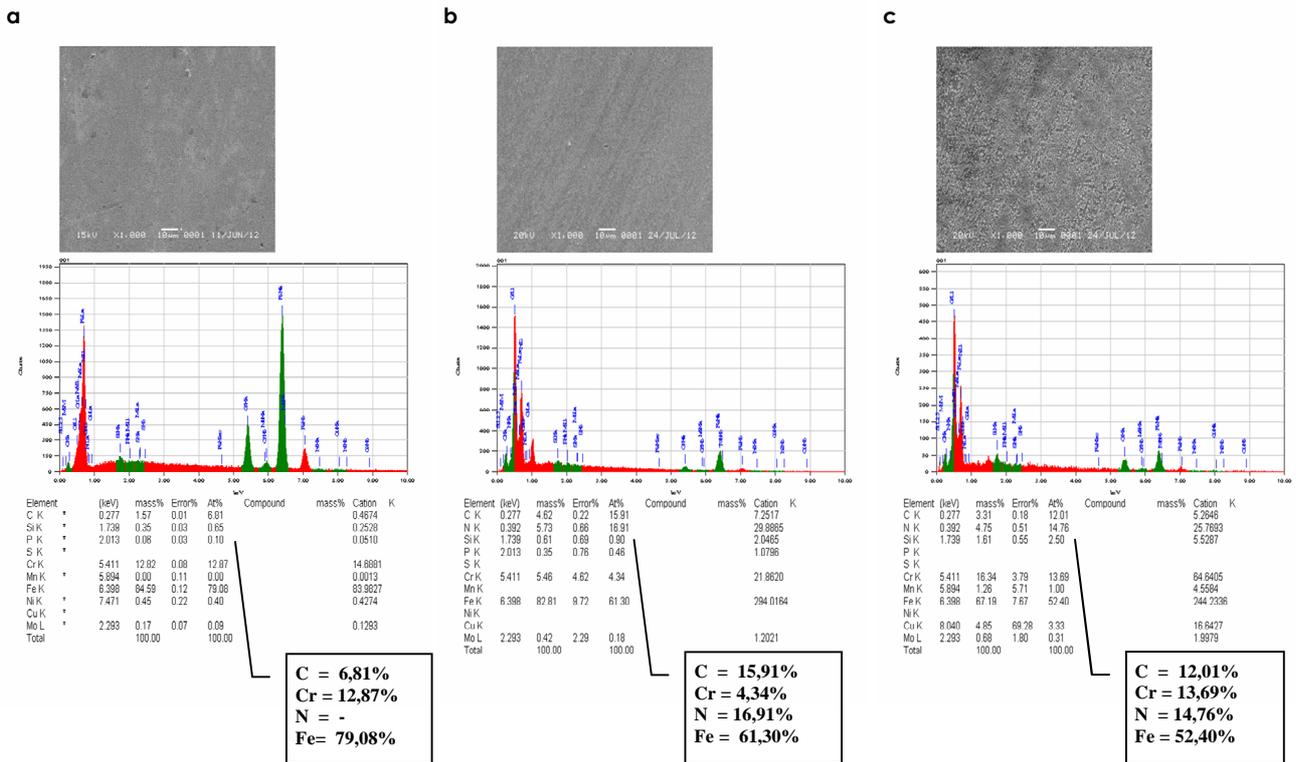
Gambar 6.a. Hasil uji SEM material AISI 410 tanpa proses plasma nitriding bagian penampang. b. Hasil uji SEM material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar dan waktu 6 jam bagian penampang.

Pada Gambar 4.b dapat dilihat pengaruh uji korosi dalam media NaCl 0,7%. Dibandingkan gambar (a), pada gambar (b) terdapat lubang yang menunjukkan material yang terkorosi. Berdasarkan pengamatan, Gambar 5.a yang merupakan material hasil proses plasma nitriding yang dilakukan pada tekanan 2,0 mbar dan waktu 6 jam efektif menghasilkan lapisan nitrida, hal ini ditunjukkan dengan warna kuning keemasan yang tampak sebagai warna gelap apabila dilihat tanpa bantuan mikroskop optik maupun mikroskop elektron (Setiawan, 2009). Dengan pembesaran gambar yang sama 1000 kali, jika dibandingkan Gambar (b) memperlihatkan adanya titik-titik hitam sebagai tanda pengaruh uji korosi dalam media NaCl 0,7%. Gambar 4.a material AISI 410 tanpa dinitridasi ion bagian penampang tidak terlihat adanya lapisan. Gambar 6.b terlihat adanya perbedaan antara material induk dengan lapisan-lapisan di atasnya. Sedangkan lapisan yang paling dekat dengan material induk diperkirakan adalah lapisan nitrida (lapis pelindung) yang dikenal sebagai fasa-S karena terlihat jelas perbedaan warna antara material induk. Hal ini sesuai dengan pendapat Oliviera, A., M. (2003) yang menyatakan dengan meningkatnya temperatur nitridasi, maka apabila lapisan nitrida dilihat tampak lintangnya (*crosssection*) menggunakan SEM, maka akan tampak sebagai lapisan warna gelap.

#### Analisa Komposisi

Pengujian EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) menggunakan JEOL JSM 6360LA di laboratorium Geologi Kuartar LP3G Bandung. Gambar 9.a merupakan hasil uji komposisi material AISI 410 tanpa proses plasma nitriding, hasil pengujian menunjukkan unsur nitrogen (N) tidak ditemukan pada material dasar. Gambar 9.b merupakan hasil pengujian komposisi material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar selama 6 jam, hasil pengujian menunjukkan pengaruh proses plasma nitriding dimana hasil uji komposisi menunjukkan adanya kandungan unsur nitrogen sebesar 16,91% atom. Sedangkan pada Gambar 9.c merupakan hasil pengujian komposisi material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar selama 6 jam dan dikorosi NaCl 0,7%, menunjukkan pengaruh material yang terkorosi dalam media NaCl dimana terlihat material hasil pengujian tampak berlubang-lubang. Dari hasil uji komposisi terlihat kandungan unsur Nitrogen menurun jika dibandingkan dengan hasil uji komposisi pada Gambar 9.b, penurunan ini disebabkan karena korosi pada permukaan material, permukaan yang sudah dilapisi ion nitrogen terkorosi sehingga lapisan yang terbaca adalah lapisan dibawah zona senyawa yaitu zona difusi. Lapisan yang terbentuk pada zona difusi lebih lunak dibandingkan lapisan yang terbentuk pada zona senyawa

Berdasarkan pengamatan struktur mikro dan komposisi Stainless steels AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar dan waktu 6 jam jumlah nitrogen yang terdeposisi adalah 5,73% berat atau 16,91% atom. Jika dikomparasikan dengan diagram FeN untuk mendapatkan lapisan keras Fe<sub>4</sub>N jumlah nitrogen yang harus dideposisikan masing-masing 20% atom atau 6% berat, dari hasil yang diperoleh kemungkinan diperoleh senyawa Fe<sub>4</sub>N, dari kandungan unsur nitrogen yang baru mencapai 16,91% atom maka proses nitridasi belum mencapai kondisi optimal, karena untuk mencapai optimal seharusnya kandungan unsur nitrogen sekitar 20% atom sehingga dapat diperoleh senyawa Fe<sub>4</sub>N yang mempunyai sifat sangat keras.



Gambar 7.a. Hasil Pengujian komposisi material AISI 410 tanpa plasma nitriding b. Hasil Pengujian komposisi material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar selama 6 jam. c. Hasil Pengujian komposisi material AISI 410 proses plasma nitriding dengan variasi tekanan 2,0 mbar selama 6 jam dan dikorosi NaCl 0,7%.

**Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Plasma nitriding pada permukaan baja tahan karat tipe AISI 410 dengan variasi tekanan variasi tekanan 1,6; 1,8 dan 2,0 mbar dan waktu 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam dengan temperatur 350°C terbukti dapat meningkatkan kekerasan permukaan bahan sebesar 32,3% dari kekerasan material dasar sebesar 210,2 VHN menjadi 278,1 VHN. Kondisi optimum ini terjadi pada tekanan 2,0 mbar dan waktu 6 jam. Peningkatan kekerasan terjadi karena ion-ion nitrogen dideposisikan pada permukaan benda kerja supaya terjadi difusi sehingga membentuk lapisan nitrida(FeN) yang memiliki sifat keras.
2. Plasma nitriding pada permukaan baja tahan karat tipe AISI 410 dengan variasi tekanan variasi tekanan 1,6; 1,8 dan 2,0 mbar dan waktu 4, 5 dan 6 jam dengan temperatur 350°C terbukti dapat menurunkan laju korosi dengan ketahanan korosi relatif outstanding. Laju korosi material awal 1,0004 mpy setelah proses plasma nitriding nilai laju korosi mengalami penurunan, laju korosi mencapai nilai terendah yaitu 0,017 mpy.
3. Proses plasma nitriding terhadap baja tahan karat tipe AISI 410 pada kekerasan optimum setelah diuji SEM efektif menghasilkan lapisan nitrida. Pada pengujian EDS menunjukkan bahwa proses nitridasi dapat berdifusi kepermukaan hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya fase baru nitrida besi (Fe4N) dengan jumlah nitrogen yang terdposisi adalah 5,73% berat atau 16,91% atom

**Daftar Pustaka**

Badriyana, B., (2003), “Desain Peralatan Nitridasi Plasma untuk Pengerasan Komponen Industri”, *Prosiding Seminar Teknologi Akselator P3TM-BATAN*, Vol 4 (1) pp. 39-49

Budi, 2010, *Pengaruh Waktu dan Temperatur Nitridasi terhadap Kekerasan Bantalan Bola yang Dinitridasi Menggunakan Plasma Nitriding*, Tugas Akhir, STTN-BATAN, Yogyakarta, pp. 70-75

Borgioli, F., (2005), “Glow discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: Influence of treatment pressure“, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 200 (2006) 5505 – 5513

- Callister, W.D., (2000), “*Materials Science and Engineering An Introduction*”, fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA
- Fontana, M.G., (1986), “*Corrosion Engineering*”, Third Edition, New York, McGraw Hill Book Company.
- Hilca, B., (2012), “Plasma Nitrocarburizing pada komponen Camshaft Tipe GL-PRO dan GL-100”, Akhir, STTN-BATAN, Yogyakarta, pp. 12-32
- Hubbard, P., (2007), “*Characterisation of a Commercial Active Screen Plasma Nitriding System*”, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, RMIT University, Australia, pp. 7-12
- Linda, G., Brühl, S., (2006), “*Corrosion Performance of the Plasma Nitrided 316L Stainless Steel*”, *Surface & Coatings Technology*, vol. 201, hal. 4424–4429.
- Malau, V., (2003), “*Perlakuan Permukaan*”, Diktat Kuliah, Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, pp. 1-27
- Muhammad, (2009), “*Pengaruh Implantasi Ion Titanium Nitride (TiN) terhadap Laju Korosi pada baja VCL 140 dalam lingkungan NaCl (Natrium Chlorida) 0,5%*”, Tesis, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, pp. 10-15
- Oliveira, A. M., Riofano, R. M., Casteletti, L. C., Tremiliosi, G. F., Bento C. A. S., (2003). “Effect Of Temperature Of Plasma Nitriding In AISI 316L Austenitic Stainless Steel”, *Revista Brasileira de Aplicações de Vácu*, vol. 22 (2), pp. 63-66
- Purnomo, (2009), “Pengaruh Perubahan Tekanan dan Waktu Proses Plasma/Ion Nitriding Terhadap Kekerasan Permukaan Pahat Bubut HSS”, *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, ISBN: 978.979.704.8839, pp. 334-339
- Putra, R., (2009), “*Pengaruh Implantasi Ion Chromium (Cr) dan Chromium Nitrida (CrN) terhadap Kekerasan, Laju korosi dan Struktur Mikro pada Machinery Steels VCL 14*”, Tesis, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pp.
- Pinedo, C., (2010), “Influence of Heat Treatment and Plasma Nitriding Parameters on Hardening an AISI 420 Martensitic Stainless Steel”, *International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering, Rio de Janeiro, RJ, Brazil*, ISSN: 1516-392X, pp.4750-4757.
- Roberge, P., (1999), “*Handbook of Corrosion Engineering*”, Mcgraw Hill, New York, pp. 711-736, 1096
- Setiawan, D., Triwikantoro., (2009), “Pengaruh Nitridasi Terhadap Ketahanan Korosi Stainless Steel AISI 316L Dalam Cairan Tubuh Tiruan”, *Seminar Nasional Pascasarjana IX ITS, Surabaya*, Vol. ( ), pp.
- Sinha, A.K., (2003), “*Physical Metallurgy Handbook*”, Mcgraw Hill, New York.
- Smith, W.F., (1993), “*Structure and Properties of Engineering Alloy*”, second Edition, Mc. Graw Hill Inc.
- Sujitno, T., (1996), “Pengaruh Suhu dan Waktu Nitridasi Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah AISI 1010 yang dinitridasi dengan Teknik Plasma Lucutan Pijar”, *Jurnal, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*, Yogyakarta, ISSN: 0216-3128, pp. 1-7
- Sujitno, T., (2003), “Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering Untuk Surface Treatment”, *Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM-BATAN, Yogyakarta, pp.1-30
- Sunarto., (2010), “Metode Plasma Nitriding untuk Meningkatkan Kekerasan Pahat Bubut Potong Bahan Baja Kecepatan Tinggi (HSS) ASSAB 17”, *TEKNIS*, Vol. 5 (1), pp 15-19
- Suprpto., (2008), “Perangkat nitridasi ion untuk perlakuan mesin”, *Pusat Kemitraan Teknologi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jurnal tekno ekonomi*, Volume 3 (1) pp. 156-166
- Suprpto., (2010), “Pengaruh Nitridasi Plasma terhadap Kekerasan AISI 304 dan Baja Karbon Rendah”, *Jurnal, Iptek Nuklir Ganendra*, Vol. 13 No.2, pp. 93-100
- Ukuwan., (2006), “*Pengerasan Permukaan Roda Gigi dengan Teknik Plasma Nitridasi*”, Tugas akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, pp. 9-21
- Wicaksono, T.B., (2007), “*Pengaruh Nitridasi Ion (Plasma) Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi pada material AISI 304 dan Baja Karbon Rendah*”, Tugas akhir, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, pp. 9-21
- Wibowo, A.I., (2007), “*Pengaruh nitridasi Ion Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Pada Material Baja Poros dan SS 304*”, Tugas akhir, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, pp. 10-15