

Studi Korosi Lapisan Plasma Nitriding dan Plasma Nitrocarburizing pada Permukaan Baja AISI 410

Viktor Malau¹, Clara Nova², Edy Iriyanto³, Tjipto Sujitno⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

⁴ Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta

e-mail: malau@ugm.ac.id

Abstrak

Baja tahan karat martensitik AISI 410 banyak diaplikasikan dalam bidang industri maupun peralatan kedokteran / orthodontal. Pemakaian baja ini dalam bidang kodokteran masih memiliki kelemahan dalam hal kekerasan dan ketahanan korosinya. Kekerasan dan ketahanan korosi baja AISI 410 dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan permukaan berupa pemberian lapisan tertentu pada permukaannya. Salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi baja ini adalah dengan melakukan proses plasma *nitriding* (melapisi permukaan spesimen dengan nitrogen, N₂) atau proses plasma *nitrocarburizing* (melapisi dengan campuran nitrogen dan karbon, N₂+C). Proses pelapisan dengan teknik *plasma nitriding* atau *plasma nitrocarburizing* sedang berkembang dewasa ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lapisan tipis nitrogen (N₂) dan nitrocarburizing (N₂+C) yang dilapiskan dengan teknik plasma terhadap kekerasan dan laju korosi baja AISI 410 dalam larutan 0,9 % NaCl.

Proses plasma nitriding dilaksanakan dengan mengalirkan gas nitrogen (N₂) kedalam dapur plasma, sedang proses plasma nitrocarburizing dilakukan dengan mengalirkan gas berupa campuran CH₄, H₂ dan N₂ dengan perbandingan 3,08 : 19,31 : 77,61. Plasma nitriding dan nitrocarburizing dilakukan dalam dapur pada temperatur konstan 400 °C dengan variasi tekanan 1,6; 1,8 dan 2,0 mbar serta lama pelapisan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mikro-Vickers hardness tester, sedangkan pengujian laju korosi dilakukan dengan metode potensiostat tiga sel elektroda dalam media korosif 0,9 % NaCl. Struktur mikro diamati dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dan komposisi kimia permukaan spesimen diamati dengan EDS (Energy Dispersive Spectroscopy).

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa lapisan tipis plasma nitriding dan nitrocarburizing pada permukaan baja AISI 410 dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan menurunkan laju korosi untuk tekanan 1,6 mbar. Logam dasar (substrat) mempunyai kekerasan sebesar 210 VHN (Vickers Hardness Number) dengan laju korosi sebesar 1 mpy (mils/year). Kekerasan tertinggi dari lapisan plasma nitriding adalah sebesar 278,5 VHN pada tekanan 2,0 mbar dengan lama pelapisan 6 jam, sedangkan kekerasan tertinggi lapisan nitrocarburizing adalah 368 VHN pada tekanan 1,6 mbar dengan lama pelapisan 5 jam.

Penurunan laju korosi cukup signifikan jika lama pelapisan lebih besar dari 5 jam. Laju korosi dari logam dasar (substrat) AISI 410 adalah 1 mpy (mils per year). Lapisan nitriding pada permukaan substrat memberikan laju korosi relatif kecil jika lama pelapisan lebih besar dari 5 jam. Hasil pengamatan struktur mikro dengan SEM menunjukkan bahwa lapisan plasma nitriding terserang korosi sumuran (*pitting corrosion*) dalam larutan 0,9 % NaCl.

Keywords: nitriding, nitrocarburizing, hardness, corrosion rate.

Pendahuluan

Teknologi rekayasa permukaan suatu material saat ini semakin bervariasi karena tuntutan untuk memenuhi kebutuhan yang beraneka ragam. Tujuan utama rekayasa ini dimaksudkan untuk mendapatkan sifat permukaan lebih baik sesuai kebutuhan seperti lebih keras, lebih tahan aus dan korosi, bersifat konduktif atau bersifat isolator. Baja AISI 410 merupakan material baja tahan karat jenis martensitik yang banyak digunakan dalam bidang industri dan

kedokteran. AISI 410 memiliki ketahanan korosi yang baik namun nilai kekerasan rendah sehingga cepat aus dibandingkan baja tahan karat jenis martensitik lainnya (Roberge, 2008).

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi adalah dengan memberi lapisan pada permukaan bahan dengan teknik plasma nitriding maupun plasma nitrocarburizing. Teknik plasma nitriding merupakan cara pengerasan permukaan dengan mendeposisikan ion nitrogen (N₂), sedangkan teknik plasma

nitrocarburizing mendeposisikan nitrogen dan karbon (N_2+C) pada permukaan material sehingga terbentuk fase nitrida yang keras pada permukaan benda kerja. Parameter yang berpengaruh terhadap hasil plasma nitriding dan nitrocarburizing adalah dimensi tabung reaktor, laju aliran gas, tingkat kevakuman, jarak antar elektroda, tegangan antar elektroda, temperatur benda kerja serta lamanya proses. Agar diperoleh kondisi optimal, tingkat kevakuman pada kondisi $10^{-2} - 10^{-3}$ torr, beda potensial antara elektroda 1 – 3 kV dan suhu dalam ruang nitridasi berkisar antara 350-590°C (**Badriyana**, 2003 dan **Sujitno**, 2003). Teknik plasma nitriding dapat meningkatkan kekerasan (**Fernandes**, 2010, **Sunarto**, 2010) dan ketahanan korosi permukaan material (**Kolesárová** and **Janíková**, 2013, **Díaz**, dkk, 2013) dengan perubahan bentuk dan dimensi yang minimum karena suhu proses pelapisan relatif rendah (**Reese**, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lapisan plasma nitriding atau plasma nitrocarburizing terhadap struktur mikro, kekerasan dan laju korosi baja AISI 410. Penelitian dilaksanakan pada suhu 400 °C dengan variasi tekanan (1,6; 1,8; dan 2,0 mbar) dan lama pelapisan (1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam).

Studi Puataka

Plasma nitrocarburizing pada permukaan baja AISI 4140 menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus maksimum dengan koefisien gesek minimum pada suhu pelapisan 570 °C (**Sohi**, dkk, 2010). Plasma nitrocarburizing yang dilakukan pada suhu 460 °C dapat memperbaiki sifat mekanis dan ketahanan korosi baja tahan karat 17-4PH. Kekerasan naik menjadi tiga kali lipat dari kekerasan logam dasarnya dan kedalaman lapisan meningkat parabolik seiring dengan bertambahnya waktu pelapisan (**Liu**, dkk, 2010).

Lapisan plasma nitrocarburizing yang berasal dari campuran $N_2-H_2-CH_4$ dan dilapiskan pada suhu 570 °C selama 5 jam pada permukaan baja SCM435 dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan fatik baja tersebut (**Yan**, dkk, 2008) dimana kekuatan fatik tersebut berbanding terbalik dengan lama pelapisan.

Talib, dkk (2011) telah meneliti pengaruh rasio antara metan dan nitrogen terhadap sifat mekanis dan tribologi dari lapisan plasma nitrocarburizing yang dilapiskan dengan teknik *Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (MPECVD) pada baja AISI 316. Kenaikan jumlah gas metan akan meningkatkan kekerasan dan kekasaran permukaan, tetapi koefisien gesek akan menurun.

Plasma nitriding, plasma carburizing dan plasma nitrocarburizing yang dideposisikan pada suhu 430 °C selama 20 jam pada baja AISI 410 memberi hasil bahwa plasma nitriding dan plasma nitrocarburizing meningkatkan kekerasan, ketahanan aus dan

ketahanan korosi secara signifikan, sedangkan plasma carburizing hanya memberi pengaruh kecil terhadap kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan korosi (**Li** and **Bell**, 2007).

Lee (2009) telah meneliti pengaruh lapisan plasma nitrocarburizing yang berasal dari campuran N_2 , H_2 dan CH_4 pada permukaan baja 304L. Proses pelapisan dilakukan pada suhu 380–430 °C dengan lama pelapisan 4–20 jam dan diperoleh hasil bahwa kekerasan dan tebal lapisan meningkat (kekerasan naik sampai 1200 VHN_{0,01} dan tebal lapisan sampai 15 μ m), sementara laju korosinya hampir konstan seiring dengan kenaikan suhu dan lama pelapisan.

Lee dan **Jeong** (2008) meneliti tentang plasma nitrocarburizing dan plasma post oksidasi (spesimen yang telah mendapat plasma nitrocarburizing masih dilanjutkan lagi dengan plasma oksidasi) terhadap baja SKD 61. Perlakuan plasma nitrocarburizing pada temperatur 540 °C selama 12 jam yang dilanjutkan dengan plasma post oksidasi pada suhu 500 °C selama 1 jam memberi hasil bahwa plasma nitrocarburizing meningkatkan ketahanan korosi, tetapi plasma post oksidasi menurunkan ketahanan korosi baja SKD 61.

Proses plasma nitriding terhadap baja AISI 420 yang dilakukan pada suhu 480 – 560 °C dengan lama nitridasi 4–16 jam dapat menaikkan kekerasan menjadi 1400 VHN (**Pinedo**, 2010). Plasma nitriding dengan kandungan gas 20% N_2 dan 80% H_2 , tekanan 8×10^{-2} mbar, suhu nitridasi 400 – 500 °C dengan lama nitridasi selama 5 jam terhadap AISI 316L (**Oliveira**, dkk, 2003) menghasilkan kenaikan kekerasan dari 200 menjadi 1050 VHN. Plasma nitriding yang dilakukan selama 40 menit terhadap lapisan multilayer TiN/TiCN dapat menurunkan koefisien gesek dan laju keausan permukaan (**Zheng**, dkk, 2012).

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa lapisan plasma nitriding atau nitrocarburizing dapat memodifikasi sifat-sifat permukaan suatu material. Sifat-sifat tersebut akan dipengaruhi oleh bahan substrat, komposisi dari sumber bahan pelapis (N_2 , H_2 , CH_4), lama pelapisan, suhu dan tekanan proses pelapisan. Dengan demikian penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengetahui lebih mendalam karakteristik lapisan plasma nitriding dan nitrocarburizing.

Landasan Teori

Plasma nitriding dan plasma nitrocarburizing merupakan dua teknik pelapisan permukaan baja dimana unsur N_2 (pada proses nitriding) dan N_2+C (proses nitrocarburizing) terdifusi ke dalam substrat. Pelapisan dilakukan pada suhu 350 – 590 °C dengan tekanan rendah (lebih kecil dari 1 atm). Proses difusi terjadi secara intertisi karena atom N_2 maupun C

mempunyai ukuran jauh kecil dari atom Fe dari baja (substrat). Kedalaman lapisan difusi pada permukaan datar suatu substrat merupakan fungsi lama proses dan koefisien difusi. Kedalaman lapisan dan koefisien difusi dinyatakan dengan (Mitchell, 2004):

$$x = 2\sqrt{Dt} \quad \text{dan} \quad D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (1)$$

dengan x = kedalam lapisan (mm)

D = koefisien difusi (m^2/s)

D_0 = koefisien difusi mula-mula (m^2/s)

Q = energi aktivasi atom terdifusi (kJ/mole)

R = tetapan gas universal = 8,314 J/mole K

T = temperatur (K) dan t = lama proses (s).

Proses plasma nitriding dilaksanakan pada tekanan rendah dan diberi beda potensial untuk melucutkan atom gas yang mengandung nitrogen (N_2) sehingga terjadi lucutan pijar yang disebut dengan *glow discharge*. Plasma nitridasi memiliki 2 proses yaitu proses penguraian nitrogen dan proses ionisasi. Saat proses penguraian nitrogen ini, peristiwa disosiasi terjadi yaitu pemisahan molekul gas menjadi atom-atom penyusunnya akibat tumbukan antara elektron-elektron bebas dengan partikel-partikel gas. Hasil penguraian nitrogen ini membentuk ion-ion positif nitrogen. Kemudian ion-ion positif nitrogen masuk ke permukaan spesimen dan membentuk lapisan tipis. Pada saat 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 pada suhu spesimen. Kenaikan suhu akan menyebabkan atom-atom dalam spesimen akan bergetar dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar dan memungkinkan atom-atom karbon masuk lebih dalam di antara celah-celah atom atau menempati posisi kekosongan yang ada. Hal yang sama terjadi juga pada proses nitrocarburizing. Proses difusi yang terjadi akan mengubah sifat material seperti kekerasan, ketahanan korosi dan ketahanan aus permukaan.

Metode Penelitian

Bahan.

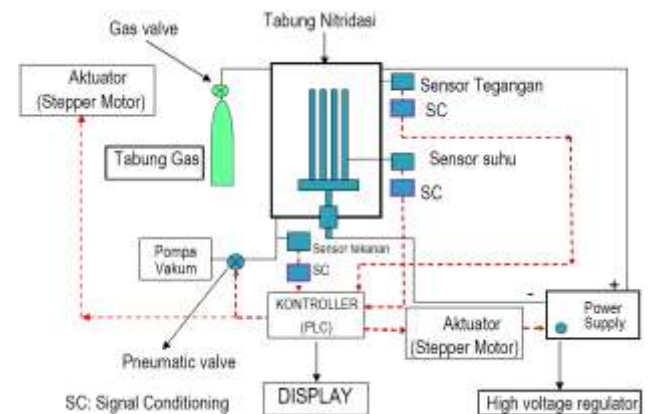
Spesimen penelitian berupa potongan baja AISI 410 dengan tebal 3 mm dan diameter 14 mm.

Alat.

Alat yang digunakan terdiri dari (a) dapur plasma nitriding dan nitrocarburizing, (b) alat uji kekerasan mikro Vickers, (c) alat uji korosi tipe polarisasi sel potensial tiga elektroda dan (d) alat Scanning Electron Microscope (SEM).

Pengujian

Permukaan spesimen terlebih dahulu dihaluskan dengan kertas amplas dan autosol. Selanjutnya permukaan spesimen dilapisi dengan teknik plasma nitriding atau dengan plasma nitrocarburizing pada suhu 400 °C, tekanan 1,6; 1,8; 2,0 mbar dan lama pelapisan 1, 2, 3, 4, 5, 6 jam. Proses plasma nitriding dilakukan dengan mengalirkan gas nitrogen (N_2) sebesar 0,6 liter/menit, sedang proses nitrocarburizing dilaksanakan dengan mengalirkan campuran CH_4 , H_2 dan N_2 dengan perbandingan 3,08 : 19,31 : 77,61 ke dalam dapur plasma. Gambar 1 memperlihatkan skema dari dapur plasma yang digunakan.



Gambar 1. Skema plasma nitriding dan nitrocarburizing

Kekerasan permukaan spesimen dengan mikro Vickers dicari dengan rumus konvensional:

$$VHN = \frac{1,854 F}{d^2} \quad (2)$$

dengan VHN = Vickers Hardness Number (kg/mm^2)

F = beban indentasi (kg)

d = diagonal bekas injakan (mm).

Laju korosi dapat diketahui berdasarkan rumus berikut (Malau, dkk, 2011):

$$r = 0,129 \frac{I_{kor}(E_w)}{\rho} \quad (3)$$

dengan r = laju korosi (mpy = mils/year)

I_{kor} = arus korosi ($\mu A/cm^2$)

E_w = berat ekuivalen spesimen

= 25,504 untuk baja AISI 410

ρ = berat jenis spesimen (g/cm^3)

= 7,7 g/cm^3 untuk baja AISI 410.

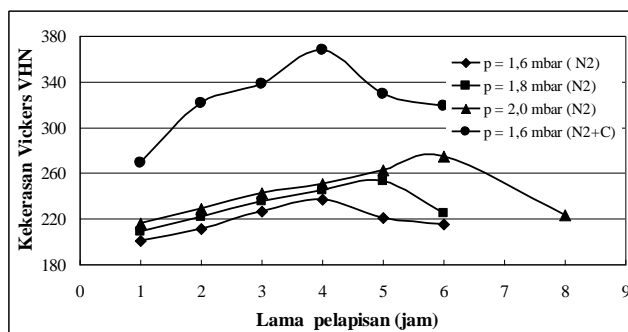
Pengujian korosi dilakukan dalam larutan 0,9 % NaCl. Dengan mengukur arus korosi (I_{kor}) yang mengalir

lewat rangkaian, maka laju korosi r dapat dihitung berdasarkan persamaan (3) di atas.

Hasil dan Pembahasan

Komposisi kimia dari logam dasar AISI 410 adalah sebagai berikut (% wt): 0,12 C; 0,34 Si; 0,03 S; 0,02 P; 0,43 Mn; 0,21 Ni; 12,83 Cr; 0,03 Mo; 0,06 Cu; 0,01 W; 0,01 Sn; 0,01 Ca; 0,02 Zn dan 85,90 Fe (Malau, dkk, 2011). Logam dasar AISI 410 memiliki kekerasan 210 VHN dan laju korosi sebesar 1 mpy.

Gambar 2 menunjukkan pengaruh lama dan tekanan pelapisan terhadap kekerasan permukaan spesimen yang dilapisi dengan teknik plasma nitriding maupun nitrocarburing. Gambar tersebut menginformasikan bahwa kekerasan meningkat dari 210 menjadi 237 VHN bila tekanan 1,6 mbar dan lama proses nitriding naik dari 1 sampai 5 jam. Kekerasan juga naik dari 209 menjadi 253 VHN jika tekanan 1,8 mbar dan lama proses plasma nitriding naik dari 1 sampai 5 jam. Demikian juga dengan tekanan 2,0 mbar, kekerasan naik dari 216 menjadi 275 VHN apabila lama proses nitriding berlangsung dari 1 sampai 6 jam. Semakin besar tekanan yang dipilih, semakin besar pula kekerasan yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena ion nitrogen yang masuk permukaan semakin banyak sehingga kerapatan meningkat dan membentuk lapisan nitrida besi yang memiliki sifat keras (Suprpto, 2010) yang dapat berupa ϵ -Fe₃N dan γ 'Fe₄N (Singh, dkk, 2008, Taherkhani and Taherkhani, 2010). Jika lama pelapisan ditingkatkan lagi, kekerasan ternyata mengalami penurunan. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh jenuhnya lapisan yang diikuti penurunan kekerasan (Sunarto, 2010). Kondisi yang sama terjadi juga pada lapisan plasma nitrocarburing.

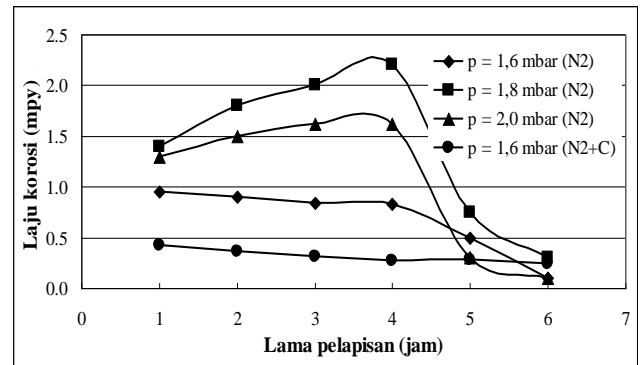


Gambar 2. Pengaruh lama dan tekanan pelapisan terhadap kekerasan permukaan baja AISI 410 dengan temperatur pelapisan 400 °C

Secara umum, kekerasan meningkat sampai harga maksimum dengan lama pelapisan tertentu dan selanjutnya kekerasan tersebut akan menurun jika lama pelapisan ditingkatkan. Lapisan plasma nitrocarburing memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan lapisan plasma

nitriding.

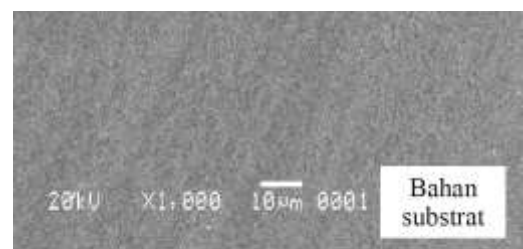
Gambar 3 memperlihatkan distribusi laju korosi sebagai fungsi lama dan tekanan pelapisan.



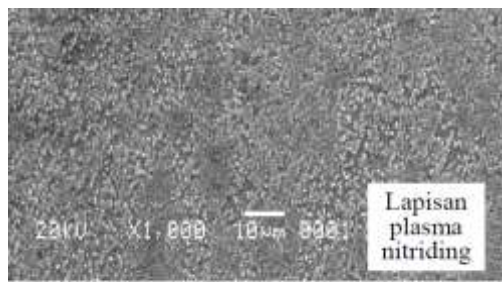
Gambar 3. Pengaruh lama dan tekanan pelapisan terhadap laju korosi baja AISI 410 dalam media 0,9 % NaCl

Lapisan plasma nitriding menghasilkan laju korosi yang semakin besar untuk tekanan 1,8 dan 2,0 mbar jika lama pelapisan naik dari 1 sampai 4 jam, dan selanjutnya laju korosi tersebut menurun apabila lama pelapisan lebih besar dari 4 jam. Lapisan plasma nitriding untuk tekanan 1,8 dan 2,0 mbar memberikan harga puncak pada lama pelapisan 4 jam, sedangkan lapisan dengan tekanan pelapisan 1,6 mbar tidak memiliki harga puncak. Lapisan plasma nitrocarburing tidak menghasilkan harga puncak, tetapi laju korosi cenderung menurun jika lama pelapisan meningkat. Laju korosi lapisan plasma nitrocarburing lebih rendah dibandingkan dengan laju korosi lapisan plasma nitriding sebagai akibat kehadiran fase nitrogen-karbon superjenuh pada plasma nitrocarburing (Mukherjee, dkk, 2012).

Gambar 4 menunjukkan pengamatan struktur mikro dengan SEM. Permukaan spesimen substrat relatif halus dibandingkan dengan spesimen yang dilapisi plasma nitriding atau nitrocarburing.

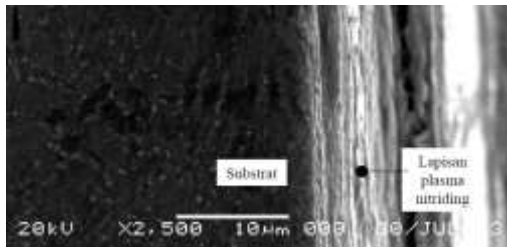


(a)



(b)

Gambar 4. Struktur mikro (a) bahan substrat (tanpa lapisan) dan (b) plasma nitriding ($p = 1,8$ mbar, lama pelapisan 4 jam, uji korosi dalam larutan 0,9 % NaCl)



Gambar 5. Penampang melintang lapisan plasma nitriding ($p = 1,8$ mbar, lama pelapisan 4 jam, uji korosi dalam larutan 0,9 % NaCl)

Spesimen plasma nitriding dengan tekanan 1,8 mbar, lama pelapisan 4 jam dan di uji korosi dalam larutan 0,9 % NaCl menunjukkan bahwa permukaan spesimen mengalami gejala korosi terutama jenis korosi sumuran (*pitting corrosion*) yang disebabkan oleh ion-ion klorida. Terjadinya korosi sumuran pada permukaan spesimen mengindikasikan bahwa kromium nitrida mengendap dalam matriknya (Linda dan Brühl, 2006) dan hal ini menyebabkan laju korosi meningkat. 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) bahwa perbedaan ketahanan korosi pada spesimen yang disebutkan di atas, terkait dengan fasa-fasa yang hadir pada saat nitridasi yang berfungsi sebagai lapis lindung sehingga laju korosi menurun.

Kesimpulan

a. Secara umum lapisan plasma nitriding dan nitrocarburizing meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 410. Lapisan plasma nitriding yang dideposisikan dengan tekanan 2,0 mbar, lama pelapisan 6 jam menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 275 VHN. Lapisan plasma nitrocarburizing menghasilkan kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan plasma nitriding. Plasma nitrocarburizing memberi kekerasan tertinggi sebesar

368 VHN dengan lama pelapisan 4 jam.

b. Laju korosi lapisan plasma nitriding dan nitrocarburizing relatif rendah (lebih kecil dari laju korosi substrat) jika tekanan proses yang digunakan adalah 1,6 mbar untuk suhu pelapisan 400 °C dan media korosifnya adalah larutan 0,9 % NaCl. Secara umum, laju korosi akan kecil apabila lama pelapisan yang dipilih lebih besar dari 5 jam.

c. Lapisan plasma nitriding mengalami serangan korosi sumuran dalam larutan 0,9 % NaCl.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini dilakukan atas kerjasama dengan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, dengan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada selaku penyanggah dana. Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada Fakultas Teknik UGM yang telah membiayai penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- Badriyana, B., Desain Peralatan Nitridasi Plasma untuk Pengerasan Komponen Industri”, *Prosiding Seminar Teknologi Akselator P3TM-BATAN*, Vol 4 (1) p. 39-49 (2003)
- Borgioli, F., Glow Discharge Nitriding of AISI 316L Austenitic Stainless Steel: Influence of Treatment Pressure, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 200, p. 5505 – 5513 (2005)
- Díaz-Guillén, J.C., Díaz-Guillén, J.A., Granda-Gutiérrez, E.E., Díaz-Guillé, M.R., González-Albarrán, M.A., Electrochemical Corrosion Performance of AISI D2 Tool Steel Surface Hardened by Pulsed Plasma Nitriding, *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 8, p. 973 – 982 (2013).
- Fernandes, F.A.P., Heck, S.C., Pereira, R.G., Lombardi-Neto, A., Totten, G. E., Casteletti, L.C., Wear of Plasma Nitrided and Nitrocarburized AISI 316L Austenitic Stainless Steel, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 40, Issue 2, p. 175-179 (2010)
- Kolesárová, L. and Janíková, Z., Plasma Nitriding as Tool to Improve the Corrosion Resistance of Gun Parts, *Transfer Inovácií*, Vol. 25, p. 162-165 (2013).
- Lee, I., Influence of Temperature and Time on Low-Temperature Plasma Nitrocarburizing of AISI 304L Austenitic Stainless Steel, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 54, No. 3, p. 1131-1135 (2009)
- Lee, I., Jeong, K. H., Plasma Post Oxidation of

- Plasma Nitrocarburized SKD 61 Steel, *Journal Material Science Technology*, Vol. 24, No.1 (2008)
- Li, C.X., Bell, T., A Comparative Study of Low Temperature Plasma Nitriding, Carburising and Nitrocarburising of AISI 410 Martensitic Stainless Steel, *Materials Science and Technology*, 23 (3). p. 355-361. ISSN 0267-0836 (2007)
- Linda, G., Brühl, S., Corrosion Performance of the Plasma Nitrided 316L Stainless Steel, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 201, p. 4424-4429 (2006)
- Liu, R. L., Yan, M. F., Improvement of Wear and Corrosion Resistances of 17-4 PH Stainless Steel by Plasma Nitrocarburizing, *Material and Design*, Volume 31, p.2355-2359 (2010)
- Malau, V., Jatisukamto, G., Salahudin, X., Kekerasan dan Laju Korosi Lapisan Nitrida Titanium (TiN) yang Dideposisikan Dengan Teknik Sputtering dan Implantasi Ion pada Permukaan Baja Tahan Karat AISI 410, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin X*, 2-3 November, ISBN: 978-602-19028-0-6, p. 1003-1009, Universitas Brawijaya Malang (2011)
- Mitchell, B. S., An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers, *John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, New Jersey (2004).
- Mukherjee, S, Jhala, A.J.G., Satyapal, M., Khanna, A. S., Rayjada, P., Chauhan, N., Raja, V. S., Effect of Plasma Nitriding and Nitrocarburising Process on the Corrosion Resistance of Grade 2205 Duplex Stainless Steel, *13th International Conference on Plasma Surface Engineering*, September 10-14, in Garmisch-Partenkirchen, Germany (2012).
- Oliveira, A. M., Riofano, R. M, Casteletti, L. C., Tremiliosi, G. F., Bento, C. A. S., Effect of Temperature of Plasma Nitriding in AISI 316L Austenitic Stainless Steel”, *Revista Brasileira de Aplicações de Vácu*, Vol. 22 (2), pp. 63-66 (2003)
- Pinedo, C., 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 (2010)
- Reese, G.L., Heat Treatment of Large Components, AGMA Technical Paper, American Gear Manufacturers Association, Alexandria, Virginia 22314, ISBN: 978-1-61481-079-7, p. 1-21 (2013).
- Roberge, P. R., Corrosion Engineering: Principles and Practice, The McGraw-Hill Companies, Inc, USA (2008).
- Singh, G.P., Joseph, A., Raole, P.M., Barhai, P.K., and Mukherjee, S., Phase formation in Selected surface-roughened plasma-nitrided 304 Austenite Stainless Steel, *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol. 9 (2008).
- Sohi, M. H., Ebrahimi, M., Raouf, A. H., Mahboubi, F., Effect of Plasma Nitrocarburizing Temperature on the Wear Behavior of AISI 4140 Steel, *Proceedings of the 7th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering-AEPSE* (2010)
- Sujitno, T., Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering untuk Surface Treatment, *Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM-BATAN, Yogyakarta, pp.1-30 (2003)
- Sunarto, Metode Plasma Nitriding untuk Meningkatkan Kekerasan Pahat Bubut Potong Bahan Baja Kecepatan Tinggi (HSS) ASSAB 17, *TEKNIS*, Vol. 5 (1), pp 15-19 (2010)
- Suprpto., (2010), Pengaruh Nitridasi Plasma terhadap Kekerasan AISI 304 dan Baja Karbon Rendah, *Jurnal, Iptek Nuklir Ganendra*, Vol. 13 No.2, pp. 93-100 (2010)
- Taherkhani, F., and Taherkhani, A., Surface Characterization of Through Cage Plasma Nitriding on the Surface Properties of Low Alloy Steel, *Transaction B: Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 4, p. 253-263 (2010)
- Talib, R. J., Hashim, A. H., Hamid, M. A., Mohamed, J. J., The Effect of Methane and Nitrogen Ratio on the Mechanical and Tribological Properties of Plasma Carbonitrided Stainless Steel, *Journal of Engineering Science*, Vol. &, 63-75 (2011)
- Yan, N., Sun, J., Lee, I., Murakami, R., Effect of Plasma Nitrocarburizing on Fatigue Strength of SCM435 Steel, *Journal of Pressure Equipment and Systems* 6, 25-28 (2008)
- Zheng, J., Hao, J., Liu, X., and Liu, W., Properties of TiN/TiCN Multilayer Films by Direct Current Magnetron Sputtering, *Journal of Physics D: Applied Physic*, Vol. 45 (2012)