

Pengaruh Perlakuan Permukaan Nitro-Karburasi Plasma Terhadap Kekerasan Dan Ketahanan Korosi Ss 316

Aris Widyo Nugroho¹, Sigit Prabowo², Tjipto Sujitno³

¹Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Lingkar Selatan Kasihan Bantul DIY 55183

³P3TM BATAN Yogyakarta Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta **55281**

E-mail: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

Abstrak

Baja tahan karat SS 316 banyak digunakan diberbagai industri karena mempunyai ketahanan korosi sangat baik karena adanya pembentukan lapisan lindung dipermukaan, namun mempunyai kelemahan antara lain kekerasan yang rendah dan sifat tribologis yang kurang baik. Paper ini membahas, pengaruh perlakuan permukaan plasma nitrocarburing dengan variasi waktu proses terhadap kekerasan dan ketahanan korosi material SS 316. Spesimen dengan diameter 14 mm dan tebal 3 mm dipotong dengan menggunakan gergaji mesin dari batang baja pejal. Permukaan spesimen dihaluskan dengan kertas amplas dengan mesh 400, 600, 800, 100, 1200 secara berurutan, kemudian dipoles dengan pasta intan. Pencucian dan pembersihan spesimen dengan alkohol dilakukan dengan *Ultrasonic cleaner*. Proses nitro-karburasi plasma dikerjakan pada tekanan vakum 1,6 mbarr, menggunakan campuran gas CH₄, H₂, N₂, dan dengan komposisi berurutan 3.05%, 19.31%, dan *balanced*. Waktu pendeposisian divariasi pada 60, 120, 180, 240, dan 300 menit, sementara temperatur proses dijaga konstan pada temperatur sekitar 500°C. Struktur mikro spesimen diamati dengan mikroskop electron (SEM). Komposisi kimia daerah difusi akibat nitro-karburasi diperoleh dengan EDS yang dikopel SEM. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Microhardness Tester MMT-X7 Matsuzawa, sedangkan uji korosi dalam larutan NaCl 0,9% menggunakan Potensiostat/Galvanostat PGS-201T. Hasil pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa pada spesimen yang telah dinitrocarburizing pada waktu 300 menit terlihat jelas adanya peningkatan kandungan atom-atom N dan C pada permukaan spesimen SS 316 dengan komposisi nitrogen sebesar 22,45% massa dan karbon sebesar 44,4% massa. Sedangkan kedalaman difusi dari nitrida maupun karbida sekitar 30 µm. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan rata-rata awal SS 316 sebesar 641,47 VHN, sedangkan setelah dilakukan proses nitro-karburasi kekerasan meningkat dimana diperoleh kekerasan tertinggi pada proses nitro-karburasi dengan waktu deposisi 300 menit dengan peningkatan 64,5% (1055,27 VHN). Hasil uji korosi dengan menggunakan larutan NaCl 0,9% pada semua variasi waktu nitro-karburasi menunjukkan bahwa pada semua variasi waktu pendeposisian ketahanan korosi mengalami sedikit penurunan dibandingkan dengan spesimen tanpa nitro-karburasi.

Keywords: Plasma nitro-karburasi, SS 316, plasma, korosi, kekerasan

Pendahuluan

Baja tahan karat austenitik SS 316 banyak digunakan di berbagai industri karena memiliki beberapa keunggulan yaitu ketahanan korosi secara umum yang baik, mudah dibentuk dan dapat dilas (Borgioli et al. 2010,). Ketahanan terhadap korosi baja tahan karat ini karena adanya lapisan pelindung krom-oksida Cr₂O₃ atau CrO₄ yang stabil sehingga permukaan logam bersifat pasif, tetapi logam ini dapat mengalami korosi pitting di larutan yang mengandung ion klorida. Selain itu baja tahan karat austenitik juga memiliki kekerasan dan sifat tribologi yang rendah sehingga dapat mengurangi umur pemakaian bila digunakan sebagai komponen yang saling bergesekan (Gontijo et al 2006a).

Untuk mengatasi hal tersebut berbagai cara dilakukan termasuk perlakuan mekanis (contoh shootpeening) ataupun proses perlakuan thermo-kimia seperti nitridasi/nitro-karburasi gas, nitridasi/karburasi plasma ataupun nitro-karburasi plasma (Chen, 2003, Chang dkk, 2003, Olivera dkk, 2003, Tutur 2007, Bangun dkk, 2008, Sudjadi, 2009). Diantara perlakuan tersebut, nitro-karburasi memiliki kelebihan untuk perbaikan sifat permukaan karena mengurangi besarnya distorsi dari benda akibat temperatur proses yang rendah (kurang dari 600°C), dan waktu proses yang lebih pendek dibandingkan dengan perlakuan nitridasi gas. Selain itu, untuk menghindari temperatur sensitiasi (500-580°C), dan mencegah presipitasi dan segregasi kromium karbida pada baja tahan karat austenitik ini proses thermokimia plasma dilakukan pada suhu di bawah 500°C (Suh dkk, 1997, Larisch dkk, 1999, Baldwin dkk,

1998, Yu dkk, 2002, Gill dkk, 2006). Namun temperatur proses yang rendah tersebut hanya dapat menghasilkan lapisan sangat tipis sehingga sensitif terhadap benturan. Ketebalan lapisan tersebut dapat ditingkatkan dengan menaikkan temperatur operasi (Borgioli dkk, 2010). Nitro-karburasi plasma di rentang suhu sensitiasi ternyata dapat meningkatkan kekerasan baja SS 316L. Chen dkk (2003) melakukan nitro-karburasi plasma pada baja SS 316L pada temperatur 570°C dengan kandungan CH₄ < 5%, dan waktu deposisi 300 menit. Namun demikian penelitian ini juga melaporkan terjadinya penurunan ketahanan korosi akibat perlakuan nitro-karburasi plasma. Senada dengan penelitian tersebut, Olivera dkk (2003) melaporkan bahwa dari tiga temperatur nitro-karburasi (400, 450 dan 500°C) dengan waktu deposisi sama, kekerasan optimum (1050 VHN) dengan ketebalan lapisan 30 µm dicapai pada temperatur operasi 500°C..

Pada penelitian ini, nitro-karburasi plasma pada baja tahan karat austenitik SS 316 dilakukan pada suhu kurang lebih 500°C dengan waktu deposisi 300 menit. Peralatan nitro-karburasi plasma yang digunakan merupakan hasil rekayasa dan dikembangkan oleh Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Badan Tenaga Nuklir Nasional (PPATB-BATAN) Yogyakarta. Kekerasan permukaan dan ketahanan korosi akibat perlakuan nitro-karburasi plasma diinvestigasi pada penelitian ini.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

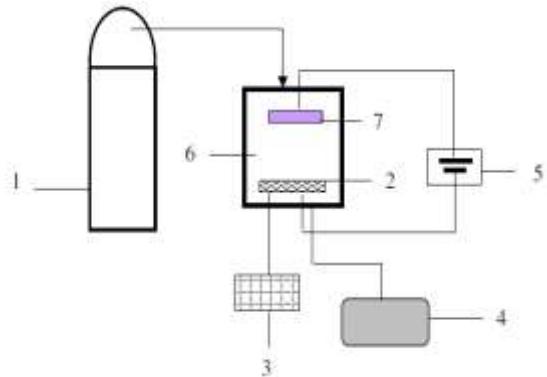
Spesimen dari *stainless steel* AISI 316 dipotong mesin pemotong dan mesin bubut menjadi bentuk keping dengan ukuran diameter 1,4 cm dan tebal 3 mm (Gambar 1). Setelah pemotongan, permukaan spesimen dihaluskan dengan kertas amplas dengan ukuran 400, 600, 800, 1000, dan 1200 secara berurutan. Pasta intan digunakan untuk memoles spesimen sampai mengkilap. Spesimen kemudian dicuci dengan alkohol dan dibersihkan dengan *ultrasonic cleaner* selama kurang lebih 30 menit.



Gambar 1. Foto spesimen

Proses *nitrocarburizing* dilakukan dengan menggunakan mesin plasma *nitrocarburizing* di laboratorium PTAPB-BATAN Yogyakarta. Secara

skematis alat nitro-karburasi ditunjukkan oleh Gambar 2. Spesimen dimasukkan ke dalam tabung reaktor plasma, selanjutnya tabung divakum hingga mencapai $2,5 \times 10^{-1}$ mbarr. Gas campuran antara N₂, H₂, dan CH₄ dengan komposisi CH₄ = 3,05%, H₂ = 19,31%, dan N₂ balance dimasukkan ke dalam reactor plasma, hingga tekanan menjadi 1,6 mbarr.



Keterangan :

1. Tabung dan sistem aliran gas.
2. Sistem pemanas dan benda uji / katoda.
3. Sistem pengatur dan kontrol temperatur.
4. Pompa dan sistem vakum.
5. Sistem tegangan tinggi.
6. Tabung reaktor plasma.
7. Anoda.

Gambar 2. Skema peralatan plasma nitro-karburasi

Plasma diaktifkan dengan menghidupkan dan mengatur tegangan tinggi hingga mencapai temperatur kurang lebih 500°C dan waktu deposisi yang diinginkan seperti ditampilkan pada table 1.

Tabel 1. Parameter proses nitro-karburasi plasma

No	Tekanan (mbarr)	Waktu (Menit)	Temperatur (°C)
1	1,6	60	503
2	1,6	120	508
3	1,6	180	505
4	1,6	240	496
5	1,6	300	508

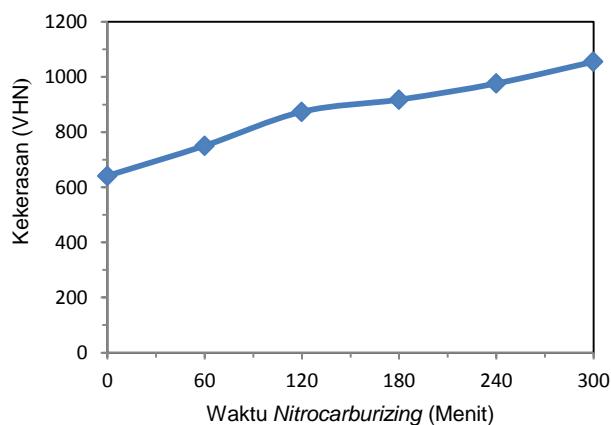
Setelah dilakukan proses *nitrocarburizing*, spesimen dipotong melintang, dihaluskan dan dipoles permukaannya untuk diuji kekerasan permukaan pada beban 5 gf dan waktu indentasi 5 detik dengan menggunakan alat uji *Micro Hardness Tester* MMT-X7 Matsuzawa. Pengujian kekerasan permukaan dilakukan sebanyak 8 titik secara acak untuk setiap spesimennya. Spesimen dengan nilai kekerasan permukaan yang paling tinggi akan diamati lebih lanjut meliputi struktur mikro dan kandungan karbon dan nitrogen dari penampang melintangnya. Pengamatan struktur mikro dan kedalaman difusi dari atom-atom karbon dan nitrogen pada permukaan specimen dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron

(Scanning Electron Microscopy) yang dikopel dengan EDS.

Pengujian korosi spesimen tanpa nitro-karburasi dan yang di nitrokarburasi pada berbagai variasi waktu proses di dalam larutan NaCl 0,9 % dilakukan dengan menggunakan alat Potensiostat/Galvanostat PGS-201T milik laboratorium PTAPB-BATAN Yogyakarta. Pengukuran dimulai dengan pemberian potensial pada elektroda kerja dari -2000 mV sampai dengan 2000 mV dengan laju scanning 20 mV/menit. Penentuan potensial korosdi (E_{kor}) dan intensitas arus korosi (I_{kor}) dengan cara analisa Tafel.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian kekerasan permukaan spesimen setelah dinitro-karburasi pada berbagai waktu pendeposisian ditunjukkan oleh gambar 3.



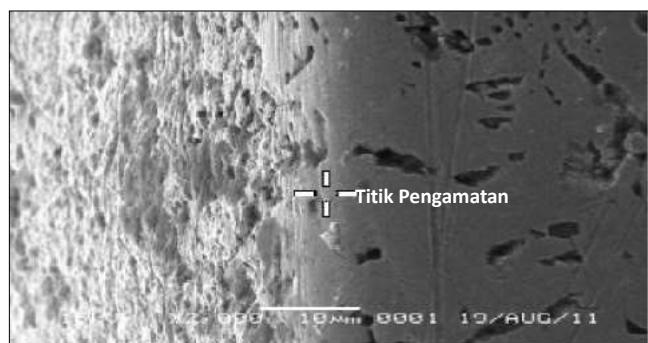
Gambar 3. Grafik hubungan antara kekerasan rata-rata dan waktu pendeposisian nitrocarburizing.

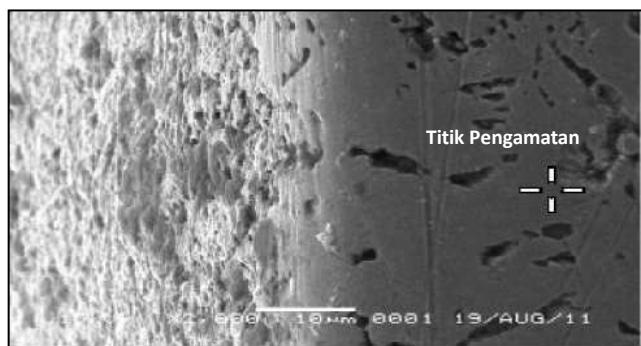
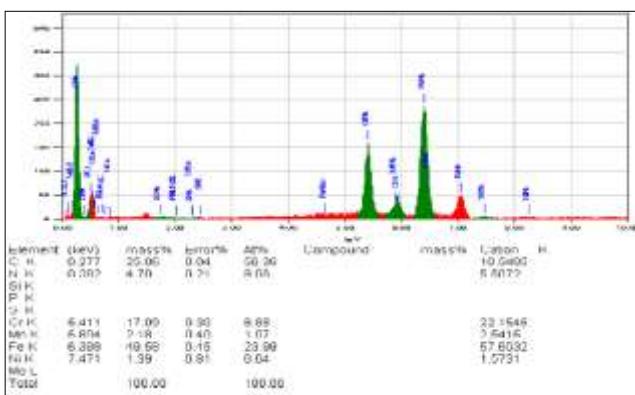
Gambar 1 menunjukkan bahwa kekerasan permukaan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pendeposisian, dan kekerasan tertinggi tercapai pada waktu deposisi 300 menit dengan nilai kekerasan sebesar 1055,27 VHN meningkat 64,5% dibandingkan dengan nilai kekerasan dari spesimen tanpa proses perlakuan. Nilai dari kekerasan tertinggi itu hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Olivera (2003) sebesar 1050 VHN. Didasarkan waktu deposisinya hasil penelitian ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Sumarmo, dkk (2006), dimana kenaikan nilai kekerasan seiring dengan lama waktu deposisi. Semakin lama proses nitrocarburizing, atom-atom nitrogen dan karbon yang terdifusi semakin banyak, sehingga kemungkinan terjadinya difusi dan reaksi pembentukan fasa baru yang keras dan stabil semakin besar. Atom-atom karbon dan nitrogen

yang masuk dalam permukaan spesimen mempunyai ukuran atom yang lebih kecil dibanding jarak antar atom Fe- γ dan akan menempati ruang di antara atom Fe- γ secara intertisi. Bila energi cukup, atom-atom karbon ini bergerak ke intertisi berikutnya dan pada suhu tinggi gerakannya akan meningkat. Kehadiran atom karbon ini akan mengakibatkan terhambatnya gerakan dislokasi. Gerakan dislokasi yang terhambat mengakibatkan peningkatan kekerasan. Penyisipan atom-atom karbon dan nitrogen ke dalam fasa austenit atau berikatan dengan krom itu membentuk fase-fase baru, seperti : fase S, beberapa fase krom nitrida dan beberapa fase krom karbida seperti yang dilaporkan oleh Chen dkk (2003), dan bila kandungan CH₄ pada atmosphere proses diperbesar (5%) maka terjadi pengurangan jenis fase krom karbida dan nitrida yang terbentuk. Fasa-S atau fasa metasable γ_N merupakan fasa austenit yang mengandung nitrogen yang dikenal selain keras juga tahan korosi (Gill dkk, 2006). Fase S ini terbagi menjadi empat fase tergantung dari kandungan/kejemuhan nitrogen yang terlarut di dalamnya (Gontijo, 2006b).

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan masih cenderung akan naik seiring dengan bertambahnya waktu deposisi sampai nilai maksimumnya tercapai, setelah itu nilai kekerasan akan menurun. Hal ini disebabkan karena setelah difusi atom-atom tersebut mencapai titik jenuhnya atom-atom C dan N tidak lagi dapat berdifusi membentuk ikatan karbida atau nitrida namun hanya akan terjadi penumpukan atom-atom itu pada permukaan. Pada kondisi itul kekerasan permukaan akan menurun.

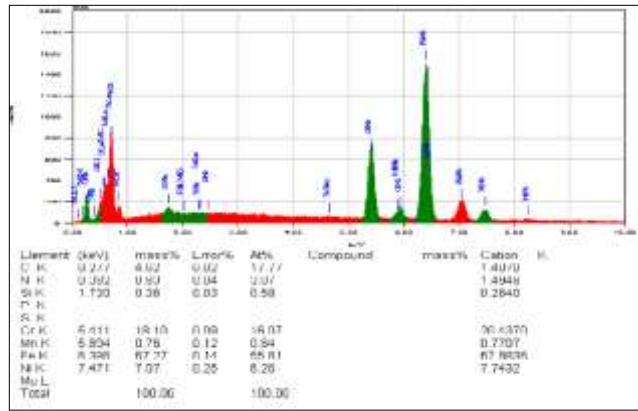
Spesimen dengan nilai kekerasan paling tinggi, perlakuan nitro-carburasi dengan waktu deposisi 300 menit, diamati struktur mikro, komposisi kimia dan profil kekerasan terhadap ketebalan lapisan dimana atom-atom nitrogen dan karbon berdifusi. Penurunan prosentase karbon dan nitrogen pada kedalaman ini menunjukkan bahwa pada waktu berdifusi atom-atom tersebut menempati posisi interstisi pada kisi-kisi kristal austenit yang berstruktur FCC di daerah dekat dengan permukaan terlebih dahulu dan membentuk fasa *metastable-S* sebelum selebihnya akan mengisi kisi-kisi kristal bagian yang lebih dalam sampai akhirnya berhenti pada kedalaman tertentu.





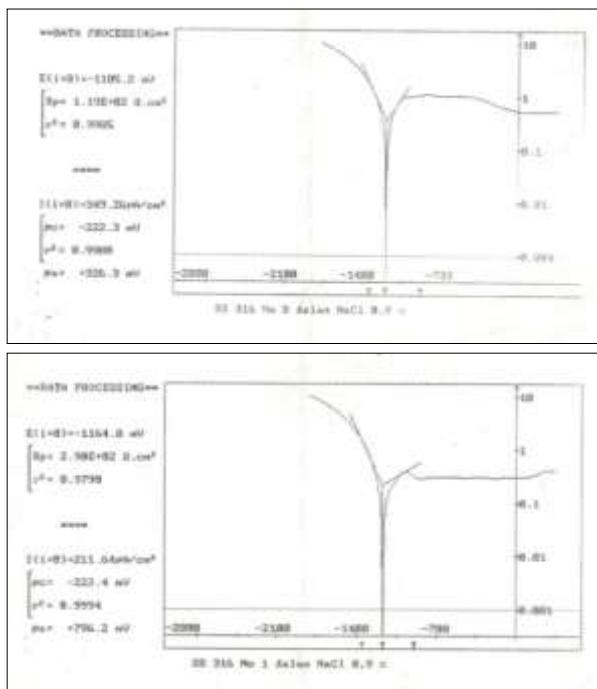
Gambar 4. Strukturmikro hasil pengamatan SEM (atas) dan komposisi kimia hasil EDS (bawah) potongan melintang pada posisi di tepi permukaan SS 316 dengan waktu pendeposisian 300 menit.

Gambar 4 dan 5 menampilkan strukturmikro dan komposisi kimia pada potongan melintang SS 316 yang di-nitrocarburizing 300 menit. Gambar tersebut diperoleh dari *secondary electron detector* sehingga tidak menampilkan secara kualitatif masing-masing fase yang terbentuk, sedangkan untuk mendapatkan komposisi kimia secara kuantitatif digunakan EDS yang dikopelkan ke SEM. Pada umumnya pada perlakuan nitro karburasi teramati adanya dua macam struktur yaitu struktur compound layer dan daerah difuse (Celik dkk, 2005). Pada penelitian ini tidak teramati adanya compound layer, tetapi terdeteksi adanya daerah difusi. Pengambilan data untuk mendeteksi daerah difusi dilakukan di tiga titik yaitu di tepi (Gambar 4), kedalaman kurang lebih 15 dan 30 μm (Gambar 5). Di titik-titik itu kandungan karbon dan nitrogen cenderung menurun seiring dengan kedalaman titik pengamatan sedangkan unsur-unsur paduan utama, Cr, cenderung stabil. Kandungan atom karbon dan nitrogen di tepi sebesar 44,40% dan 22,45% (Gambar 4). Pada titik pengamatan 15 μm 25.06% dan 4,7 %, dan pada kedalaman kurang lebih 30 μm kandungan karbon 4.6% dan nitrogen 0,93 % (Gambar 5). Ukuran atom karbon yang lebih kecil menyebabkan lebih banyak atom karbon yang dapat menyisip ke dalam ruang-ruang interstisi atom sehingga kandungan karbon cenderung lebih besar di setiap titik pengamatan (Pribadi dkk, 2008).



Gambar 5. Strukturmikro hasil pengamatan SEM (atas) dan komposisi kimia hasil EDS (bawah) potongan melintang pada jarak sekitar 30 μm dari permukaan SS 316 dengan waktu pendeposisian 300 menit.

Pengujian korosi di dalam larutan NaCl 0,9 % ini dilakukan dengan menggunakan alat Potensiostat /Galvanostat PGS-201T di laboratorium PTAPB-BATAN Yogyakarta terhadap spesimen SS AISI 316. Dari hasil pengujian ini diperoleh grafik Tafel untuk spesimen tanpa dan spesimen dengan perlakuan nitrocarburizing plasma seperti disajikan pada Gambar 6. Pada grafik Tafel ini, terdapat kurva yang menggambarkan hubungan antara potensial (E) dalam satuan mV dan sebagai fungsi log arus (I) dalam satuan ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$). Kurva polarisasi ini menunjukkan reaksi oksidasi dan reaksi reduksi pada elektroda kerja(specimen), dimana pada reaksi oksidasi terjadi peristiwa pelepasan elektron, sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi yang mengkonsumsi elektron. Potensial korosi dapat diukur ketika elektroda kerja bernilai arus nol dan rapat arus korosi dapat diukur dengan ekstrapolasi Tafel dari kurva polarisasi. Besar kecilnya nilai rapat arus korosi menunjukkan banyaknya sedikit ion-ion logam yang larut dalam larutan elektrolit yang dalam hal ini larutan yang dipakai adalah NaCl 0,9 %. Jika rapat arus yang terukur besar, maka ion-ion logam banyak yang larut ke dalam larutan elektrolit sehingga mengakibatkan logam berada pada kondisi yang tidak stabil, hal ini mengakibatkan logam mengalami korosi pada bagian permukaannya karena bereaksi dengan lingkungannya.



Gambar 6. Grafik tafel SS 316 sebelum (kiri) dan setelah proses *nitrocarburizing* (kanan) dengan larutan NaCl 0,9 %.

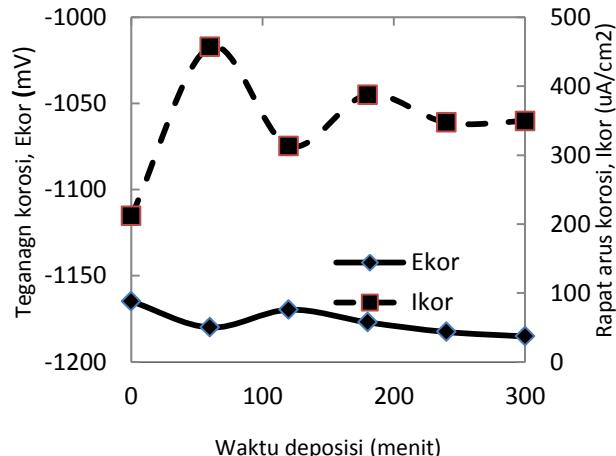
Hasil pengukuran yang meliputi E_{kor} dan I_{kor} pada masing-masing spesimen dengan variasi waktu deposisi ditampilkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji korosi sepesimen SS 316 di dalam larutan NaCl 0,9 %.

Waktu (menit)	E_{kor} (mV)	I_{kor} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
-	-1164.8	211.64
60	-1180.0	456.90
120	-1169.7	313.18
180	-1177.0	387.48
240	-1182.6	347.26
300	-1185.2	349.26

Tabel 2 menunjukkan bahwa spesimen dengan perlakuan nitro-karburasi plasma dengan berbagai variasi waktu deposisi menghasilkan ketahanan korosi yang hampir mendekati ketahanan korosi dari spesimen tanpa perlakuan. Hal ini ditunjukkan oleh tegangan korosi (E_{kor}) dari spesimen tanpa perlakuan nitro-karburasi sedikit lebih noble (-1164.8 mV) dari pada semua spesimen dengan perlakuan. Hasil pengukuran dari rapat arus korosi juga menunjukkan hasil yang sama dimana rapat arus I_{kor} untuk spesimen tanpa perlakuan nitro-karburasi plasma dalam media larutan NaCl 0,9 % $I_{kor} = 211,64 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ jauh lebih kecil dari rapat arus semua spesimen dengan perlakuan. Hal menarik dari hasil pengukuran ini adalah besarnya E_{kor} dan I_{kor} pada spesimen dengan perlakuan yang

menunjukkan harga yang berfluktuasi dengan perbedaan yang semakin mengecil seiring dengan lama waktu pendeposiasi seperti ditunjukkan oleh gambar 7. Perlakuan dengan metode plasma memungkinkan lapisan pasif dari krom okida dapat direduksi karena adanya tumbukan ion-ion ketika proses berlangsung (Chen dkk, 2003). Pada waktu deposisi 60 menit atau tahap awal proses diduga lapisan tersebut terbuka sebelum atom-atom yang menumbuk berdifusi ke permukaan sehingga ketahanan korosi menjadi turun lebih besar dibanding yang lainnya.



Gambar 7. Hasil pengukuran tegangan korosi (E_{kor}) dan rapat arus korosi (I_{kor}) sebagai fungsi dari waktu deposisi menunjukkan nilai yang berfluktuasi dengan beda yang mengecil.

Ditinjau dari unjuk kerja ketahanan korosinya maka perlakuan nitro-karburasi pada suhu 500°C tidak memperoleh hasil yang diharapkan yaitu tidak meningkatkan ketahanan korosi dari baja SS 316. Perilaku ini terutama diduga disebabkan oleh presipitasi dari karbida krom dan nitrida krom yang berkontribusi pada pengurangan kandungan krom di dalam matrik larut padat austenite (Gill, dkk 2006, Tutur, 2007). Pengurangan kandungan krom pada matrik ini berakibat menurunkan ketahanan korosi, apabila material ini diekspos pada larutan yang aggressive, larutan yang mengandung klorida. Kandungan nitrogen dan karbon yang tinggi di daerah permukaan seperti ditunjukkan oleh gambar 4 dan 5 mendukung pernyataan tentang adanya karbida dan nitride yang mungkin terbentuk.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian plasma *nitrocarburizing* pada material SS 316 dengan menggunakan variasi waktu deposisi 60, 120, 180, 240, dan 300 menit dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Plasma nitrocarburizing dapat meningkatkan kekerasan permukaan SS 316 pada semua variasi yang diujikan. Dari hasil uji kekerasan, menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses nitro-karburasi plasma, maka nilai kekerasannya (HV) semakin tinggi dengan kekerasan permukaan maksimum terjadi pada proses nitro-karburasi plasma 300 menit yaitu sebesar 1055,27 VHN atau meningkat 64,5% .
2. Perlakuan nitro-karburasi plasma pada semua variasi waktu deposisi menghasilkan ketahanan korosi SS 316 di dalam larutan NaCl 0,9% lebih rendah dibanding dengan SS 316 yang tanpa perlakuan.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PPATB BATAN Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan untuk menggunakan peralatan plasma nitrocarburising, alat uji korosi dan alat uji kekerasan dalam penelitian ini.

Referensi

- Baldwin, M. J., Fewell, M. P., Haydon, S. C., Kumar, S., Collins, G. A., Short, K. T., & Tendys, J. RF-plasma nitriding of stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 98(1), 1187-1191, (1998)
- Borgioli, F., Fossati, A., Galvanetto, E., & Bacci, T., Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment temperature. *Surface and Coatings Technology*, 200(7), 2474-2480, (2005).
- Borgioli, F., Fossati, A., Matassini, G., Galvanetto, E., & Bacci, T., Low temperature glow-discharge nitriding of a low nickel austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 204(21), 3410-3417, (2010).
- Celik, A., Karakan, M., Alsaran, A., Efeoglu, I., The investigation of structural, mechanical and tribological properties of plasma nitrocarburized AISI 1020 steel, *Surface & Coatings Technology* (200) 1926 – 1932, (2005)
- Chang, C. N., & Chen, F. S., Wear resistance evaluation of plasma nitrocarburized AISI 316L stainless steel. *Materials chemistry and physics*, 82(2), 281-287, (2003).
- Chen, F. S., & Chang, C. N. Effect of CH₄ addition on plasma nitrocarburizing of austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 173(1), 9-18,(2003).
- Gil, L., Brühl, S., Jimenez, L., Leon, O., Guevara, R., & Staia, M. H. Corrosion performance of the plasma nitrided 316L stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, (201), 4424-4429, (2006).
- Gontijo, L. C., Machado, R., Kuri, S. E., Casteletti, L. C., & Nascente, P. A. P., Corrosion resistance of the layers formed on the surface of plasma-nitrided AISI 304L steel. *Thin Solid Films*, 515(3), 1093-1096. *Coatings Technology*, 201(7), 4424-4429, (2006a).
- Gontijo, L. C., Machado, R., Miola, E. J., Casteletti, L. C., Alcantara, N. G., & Nascente, P. A. P. Study of the S phase formed on plasma-nitrided AISI 316L stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 431(1), 315-321, (2006b).
- Jones, D. *APrinciples and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York ,(1991).
- Larisch, B., Brusky, U., & Spies, H. J. Plasma nitriding of stainless steels at low temperatures. *Surface and Coatings Technology*, 116, 205-211, (1999).
- 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 Aplicacões de Vácuo* , vol. 22, 63-66. (2003)
- Pribadi, B., Suprapto, dan Priyantoro, D. *Pengerasan Permukaan Baja ST 40 Dengan Metode Carburizing Plasma Lucutan Pijar*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. PTAPB-BATAN. Yogyakarta. (2008).
- Sumarmo, Irianto dan Karmadi, *Pengujian Kekerasan Baja Karbon Rendah St 36 Hasil Nitridasi Menggunakan Teknik Plasma Lucutan Pijar*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir. PTAPB-BATAN. Yogyakarta. (2006).
- Sudjadi, U. *Studi Tentang Pengaruh Nitrocarburizing DC plasma Terhadap Perubahan Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Material Zr-4*. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir. BATAN. Yogyakarta,(2009).
- Suh, B. S., & Lee, W. J. Surface hardening of AISI 316L stainless steel using plasma carburizing. *Thin Solid Films*, 295(1), 185-192, (1997).
- Tutur, B., *Pengaruh Nitridasi Ion (plasma) terhadap Kekerasan dan Laju Korosi pada Material SS AISI 304 dan Baja Karbon Rendah*. Tugas Akhir Sarjana, Universitas Diponegoro Semarang, Semarang. (2007)

Yu, Z., Xu, X., Wang, L., Qiang, J., & Hei, Z., Structural characteristics of low-temperature plasma-nitrided layers on AISI 304 stainless steel with an α' -martensite layer. *Surface and Coatings Technology*, 153(2), 125-130. . (2002).