

PENGARUH NITRIDASI PLASMA TERHADAP KEKERASAN AISI 304 DAN BAJA KARBON RENDAH

Suprpto, Sudjtmoko, Tjipto Sujitno
PTAPB – BATAN Yogyakarta
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

Diterima 03 Pebruari 2010; Diterima dalam bentuk perbaikan 01 Juni 2010; Disetujui 01.Juni 2010

ABSTRAK

PENGARUH NITRIDASI PLASMA TERHADAP KEKERASAN AISI 304 DAN BAJA KARBON RENDAH. Telah dilakukan nitridasi dengan teknik nitridasi plasma/ion untuk perlakuan permukaan AISI 304 dan baja karbon rendah sebagai material komponen mesin. Perlakuan permukaan dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas permukaan khususnya kekerasan. Untuk mencapai kondisi optimum dilakukan dengan memvariasi tekanan gas saat proses nitridasi, sedangkan untuk mengetahui hasilnya dilakukan uji kekerasan, struktur mikro dan kandungan nitrogen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa: kekerasan maksimum diperoleh pada tekanan 1,8 mbar yaitu 624,9 VHN atau 2,98 kali kekerasan awal (210,3 VHN) untuk AISI 304 dan 581,6 VHN atau 3,07 kali kekerasan awal (142,9 VHN) untuk baja karbon rendah. Ketebalan lapisan nitrida logam sekitar 30 μm baik untuk AISI 304 maupun baja karbon rendah. Kandungan nitrogen setelah nitridasi 10,74% massa atau 30,32% atom untuk AISI 304 dan 6,81% massa atau 21,76% atom untuk baja karbon rendah.

Kata Kunci : Nitridasi plasma/ion, AISI 304, baja karbon rendah, uji keras dan komposisi.

ABSTRACT

INFLUENCE OF PLASMA NITRIDING ON THE HARDNESS OF AISI 304 AND LOW CARBON STEEL. Nitriding with plasma/ion nitriding technique for surface treatment of AISI 304 and low carbon steel as a machine component material has been done. Surface treatment is meant to improve the surface quality of metal especially its hardness. To reach the optimum condition it has been done a variation of nitriding pressure, while to analyse the result it has been done the hardness and microstructure test, and the nitrogen content. Result of the test indicates that: the optimum hardness obtained at 1,8 mbar of pressure that is 624,9 VHN or 2,98 times while the initial hardness is 210,3 VHN for AISI 304 and 581,6 VHN or 3,07 times compare with initial hardness 142,9 VHN for low carbon steel. The thickness of nitride layer for AISI 304 and low carbon steel is around 30 μm . Nitrogen contents after nitriding are 10,74% mass or 30,32% atom for AISI 304 and 6,81% mass or 21,76% atom for low carbon steel.

Keywords : Plasma/ion nitriding, AISI 304, low carbon steel, composition and hardness tests.

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri baik industri otomotif, perkakas (pisau potong permesinan) maupun komponen-komponen mesin lainnya diperlukan bahan baku logam yang sesuai. Jenis bahan baku logam yang diperlukan untuk masing-masing jenis komponen maupun perkakas tidak sama dan memerlukan sifat-sifat sesuai dengan fungsi komponen tersebut. Untuk komponen otomotif misalnya poros, poros engkol (*crankshaft*), bantalan, piston, cincin piston, pena piston dan batang piston. Pada kondisi operasi, poros dan poros engkol berputar pada bantalan dan menopang beban sehingga terjadi gesekan antar permukaannya dan menimbulkan keausan. Disamping itu juga harus menopang beban yaitu: beban yang menyebabkan terjadinya momen puntir, beban yang menyebabkan momen lengkung dan kombinasi dari kedua beban tersebut. Untuk piston dan cincin piston bergesekan dengan silinder saat digunakan untuk mengubah tenaga potensial (tekanan) menjadi tenaga mekanik (gerak), sedangkan pena piston dan batang piston saling bergesekan saat meneruskan tenaga mekanik tersebut. Karena komponen ini disamping bergesekan juga menahan tekanan sehingga beban akibat tekanan tersebut ditumpu pada permukaannya dan mengakibatkan terjadinya keausan. Untuk perkakas diperlukan sifat yang tajam, tangguh, tahan aus dan tahan korosi sehingga tahan lama (awet) dan tidak mudah patah saat digunakan. Untuk memenuhi kebutuhan bahan ini harganya sangat mahal dan juga diperlukan biaya produksi pembuatan komponen yang mahal. Mahalnya pembuatan komponen tersebut dikarenakan sifat keras dari bahan yang digunakan sehingga sukar pengerjaannya. Dengan demikian dihasilkan komponen yang harganya

mahal. Untuk mengatasi kebutuhan ini, maka dapat dilakukan dengan cara menggunakan bahan dengan kualitas lebih rendah dan setelah diproduksi menjadi komponen-komponen dilakukan perlakuan (*treatment*) khususnya perlakuan permukaan (*surface treatment*) untuk meningkatkan kualitasnya^[1,2].

Beberapa jenis perlakuan permukaan secara konvensional untuk meningkatkan sifat mekanik permukaan logam antara lain cara karburasi, nitridasi, karbonitridasi, nyala api, maupun induksi listrik^[1,2,3]. Dengan kemajuan teknologi untuk memperbaiki sifat mekanik permukaan logam, saat ini mulai dikembangkan cara lain dalam membentuk lapisan tipis dan memperbaiki sifat-sifat pada permukaannya. Cara tersebut meliputi metode evaporasi, implantasi ion, plasma lucutan pijar RF, dan plasma lucutan pijar DC^[4,5]. Pada penelitian ini digunakan metode plasma lucutan pijar DC yang diaplikasikan untuk proses nitridasi yang disebut nitridasi ion/plasma. Dengan teknologi ini mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan teknologi nitridasi secara konvensional. Keuntungan ini diantaranya adalah: proses nitridasi berlangsung pada waktu dan suhu relatif rendah, tidak memerlukan *quenching* sehingga mengurangi distorsi, efisien pemakaian gas dan energi listrik, dan tidak menimbulkan polusi^[2-7]. Di PTAPB-BATAN telah dilakukan rancangbangun sistem nitridasi ion/plasma^[8]. Untuk mengetahui kinerjanya maka perlu digunakan untuk proses nitridasi baik material komponen mesin maupun komponen mesin yang sudah jadi. Sebagai langkah awal digunakan untuk proses nitridasi material komponen mesin yaitu AISI 304 dan baja karbon rendah. Adapun dipilihnya material ini karena banyak digunakan untuk bahan komponen mesin. Disamping sebagai langkah awal proses nitridasi juga untuk mengetahui pengaruh nitridasi dengan teknik nitridasi ion/plasma terhadap perubahan kekerasan permukaan dan ketahanan korosi.

DASAR TEORI

Nitridasi adalah suatu proses pengerasan permukaan dengan menambahkan unsur nitrogen pada permukaan benda kerja. Proses nitridasi umumnya menggunakan paduan gas N₂ dan H₂ pada 460°C-600°C dan diterapkan untuk pengerasan baja karbon rendah dan baja paduan sehingga membentuk senyawa nitrida logam^[2,3,6]. Senyawa-senyawa tersebut bersifat keras dan sebagai *protective layer* yang dapat meningkatkan kekerasan permukaan, ketahanan aus dan ketahanan korosi. Pada proses nitridasi secara konvensional dibedakan menjadi 2 (dua) cara yaitu proses nitridasi dengan gas (*gas nitriding*) dan proses nitridasi dengan cairan (*liquid nitriding*). Dari 2 (dua) cara tersebut proses nitridasi dengan gas (*gas nitriding*) lebih banyak digunakan. Sehubungan dengan perkembangan teknologi telah dikembangkan teknologi terkini untuk proses nitridasi yaitu teknik nitridasi ion/plasma (*ion/plasma nitriding*)^[2-7].

a. Proses nitridasi dengan gas (*gas nitriding*)

Pada proses nitridasi ini menggunakan gas amonia (NH₃), nitridasi dilakukan di dalam tanur (*furnace*) pada suhu antara 460 °C s/d. 600 °C. Pada suhu ini amonia akan berdesosiasi sehingga menghasilkan atom hidrogen dan nitrogen dengan reaksi sebagai berikut:^[3]



Dari desosiasi ini selanjutnya atom nitrogen larut pada permukaan benda yang dinitridasi sehingga membentuk nitrida logam. Penggunaan metode ini umumnya untuk *valve guide*, *valve setting*, roda gigi (*gear* dan *pinion*), pena piston, cincin piston, dan *spiral springs*^[2,7].

b. Proses nitridasi dengan teknik nitridasi ion/plasma

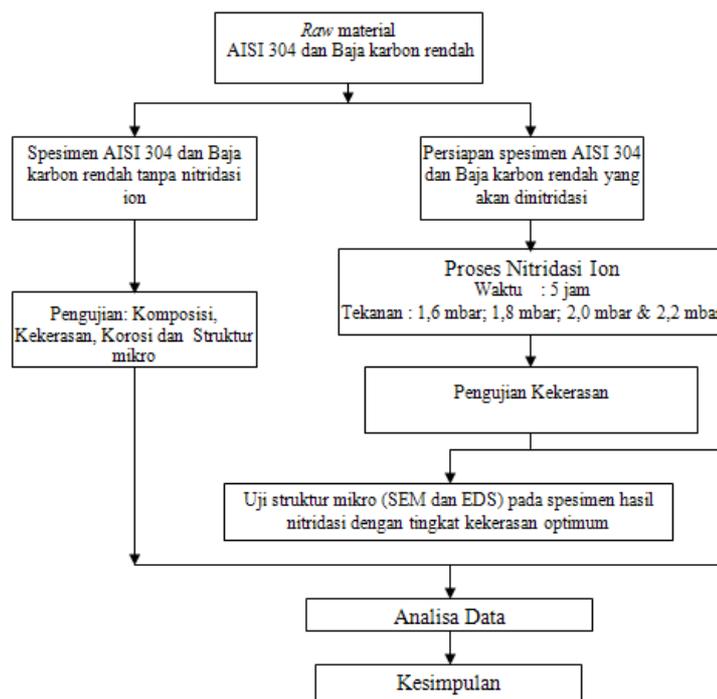
Cara lain yang digunakan dalam proses nitridasi untuk pengerasan permukaan adalah dengan teknik nitridasi ion/plasma (*ion/plasma nitriding*)^[2-7]. Teknik nitridasi ini termasuk teknologi terkini yang digunakan untuk proses pengerasan permukaan yang merupakan satu diantara pengembangan pemanfaatan teknologi plasma. Pada nitridasi ini, proses nitridasi dilakukan dengan mendeposisikan ion nitrogen pada permukaan yang dikeraskan. Untuk membentuk ion nitrogen dilakukan dengan cara memplasmakan gas nitrogen di dalam tabung reaktor plasma sehingga terbentuk pasangan ion nitrogen dan elektron. Untuk memplasmakan ini digunakan tegangan tinggi DC dengan polaritas positif pada anoda dan polaritas negatif pada katoda sehingga terjadi lucutan pijar dan terbentuk plasma. Pada saat terjadi lucutan pijar terjadi reaksi antara elektron dan atom nitrogen membentuk ion nitrogen sebagai berikut^[3].



Pada proses nitridasi, benda kerja/cuplikan ditempatkan pada katoda sehingga ion-ion nitrogen yang terbentuk terdeposisi pada permukaan cuplikan. Ion-ion nitrogen yang terdeposisi pada permukaan selanjutnya berdifusi dan larut secara interstisi membentuk lapisan nitrida. Jika yang dinitridasi adalah baja dengan unsur utama Fe maka akan terbentuk lapisan nitrida besi (FeN) pada permukaan. Nitrida besi (FeN) mempunyai sifat sangat keras sehingga membentuk lapisan keras pada permukaan baja yang dinitridasi.

TATA KERJA

Langkah-langkah dalam melakukan proses nitridasi dengan perangkat nitridasi ion/plasma dan pengujiannya digambarkan dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1. Proses nitridasi dimulai dengan persiapan yaitu pembuatan cuplikan (substrat) dan pengkondisian alat. Material yang digunakan adalah AISI 304 dan baja karbon rendah yang berbentuk silinder dengan diameter 14 mm dan tebal 3 mm. Pengujian yang dilakukan antara lain, uji komposisi material, uji metalografi, uji keras Vickers dan uji korosi. Dalam pengamatan material sebelum dinitridasi dilakukan di PT. Karya Hidup Sentosa, sedangkan untuk pengamatan metalografi dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan untuk pengamatan unsur nitrogen akibat nitridasi dilakukan menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*). Untuk pengukuran kekerasan digunakan *Digital Micro Hardness Tester* jenis MXT 70. Proses nitridasi plasma dilakukan menggunakan gas N₂ dengan waktu selama 5 jam pada suhu sekitar 550 °C serta variasi tekanan ruang plasma dari 1,6 - 2,2 mbar.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji komposisi

Pada proses nitridasi, unsur-unsur yang dapat membentuk nitrida logam adalah unsur-unsur tertentu antara lain: Fe, Cr, Al, Mo, V, W dan Ti sehingga terbentuk senyawa-senyawa nitrida: Fe₂N, Fe₃N, Fe₄N, Cr₂N, AlN, Mo₂N, VN, WN dan TiN yang mempunyai sifat keras dan sebagai *protective layer* yang dapat meningkatkan kekerasan permukaan, ketahanan aus dan ketahanan korosi [2,3,6]. Untuk memprediksi terjadinya senyawa sehingga terbentuk nitrida logam maka dilakukan analisis komposisi dari material komponen mesin baik untuk

AISI 304 maupun baja karbon rendah yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1. Uji komposisi ini dilakukan di PT. Karya Hidup Sentosa, Yogyakarta.

Tabel 1. Hasil uji komposisi AISI 304 dan baja karbon rendah

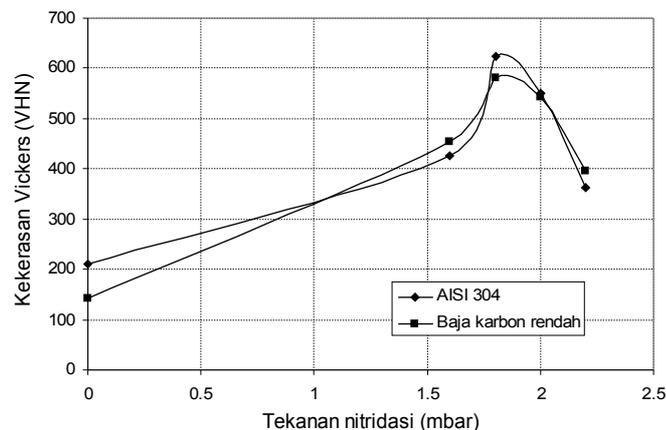
AISI 304		Baja Karbon rendah	
Unsur	Komposisi (%)	Unsur	Komposisi (%)
C	0,0699	C	0,1049
Si	0,5702	Si	0,0837
S	0,0043	S	0,0100
P	0,0221	P	0,0092
Mn	1,2827	Mn	0,5290
Ni	8,1205	Ni	0,0217
Cr	24,6415	Cr	0,0439
Mo	0,2071	Mo	0,0049
Cu	0,5731	Cu	0,0602
W	0,0338	W	0,0022
Ti	0,0090	Ti	0,0025
Sn	0,0117	Sn	0,0129
Al	0,0128	Al	0,0095
Pb	0,0000	Pb	0,0039
Ca	0,0014	Ca	0,0028
Zn	0,0318	Zn	0,0068
Fe	64,4100	Fe	99,09

Dari analisis tersebut baik untuk AISI 304 maupun baja karbon rendah mengandung unsur yang dapat membentuk nitrida logam kecuali unsur V (vanadium). Komposisi unsur-unsur tersebut (AISI 304 dan baja karbon rendah) sangat bervariasi sehingga akan memungkinkan komposisi kandungan nitrida logam hasil nitridasi bervariasi. Untuk komposisi unsur yang paling besar yaitu unsur Fe baik untuk AISI 304 dan baja karbon rendah, sedangkan untuk AISI 304 kandungan unsur yang paling banyak setelah Fe adalah Cr. Dari kandungan unsur dan sifat keras nitrida logam yang terbentuk memungkinkan akan menentukan peningkatan kekerasan hasil nitridasi.

Untuk mengetahui tingkat kekerasan hasil nitridasi dilakukan pengujian kekerasan Vickers yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3. Dari hasil pengujian diperoleh kekerasan material awal 210 VHN untuk AISI 304 dan 143 VHN untuk baja karbon rendah, sedangkan kekerasan optimum diperoleh untuk nitridasi plasma pada tekanan 1,8 mbar yaitu: 624,8 VHN untuk material AISI 304 dan 581,6 VHN untuk baja karbon rendah. Dari hasil nitridasi ini diperoleh peningkatan kekerasan sebesar 415 VHN (198%) untuk AISI 304 atau 2,98 kali kekerasan awal dan 439 VHN (207,%) untuk baja karbon rendah atau 3,07 kali kekerasan awal. Hal ini disebabkan karena pada tekanan 1,8 mbar dimungkinkan terjadi kesetimbangan antara atom nitrogen yang terdeposisi kepermukaan dan selanjutnya berdifusi serta bereaksi dengan unsur Fe dan unsur-unsur lainnya dari substrat untuk membentuk fase baru yaitu senyawa-senyawa: Fe_2N , Fe_3N , Fe_4N , Cr_2N , AlN , Mo_2N , WN dan TiN baik untuk AISI 304 maupun baja karbon rendah. Adapun kandungan senyawa-senyawa tersebut dimungkinkan untuk AISI 304 dan baja karbon rendah berbeda yang tergantung dari komposisi bahan dasar, deposisi atom nitrogen dan terjadinya reaksi senyawa nitrida logam.

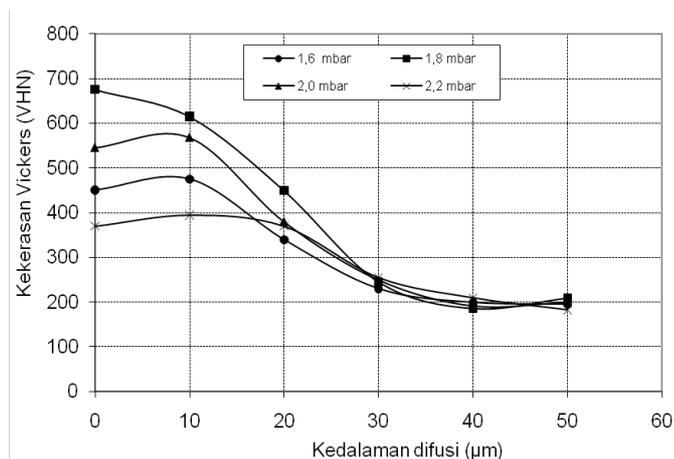
Untuk tekanan proses nitridasi 1,6 mbar, kerapatan atom nitrogen di dalam reaktor plasma lebih kecil dibanding pada tekanan 1,8 mbar sehingga kerapatan plasma dan laju deposisi ion nitrogen menjadi lebih kecil. Pada kondisi ini dimungkinkan laju deposisi ion nitrogen lebih kecil dibanding laju difusi pada suhu 525 °C dan reaksi yang membentuk senyawa nitrida logam. Tetapi pada tekanan proses nitridasi 2,0 mbar dan 2,2 mbar maka kerapatan atom nitrogen di dalam reaktor plasma lebih besar sehingga kerapatan plasma dan laju deposisi ion nitrogen menjadi lebih besar. Pada kondisi ini dimungkinkan laju deposisi ion nitrogen lebih besar dibanding laju difusi pada suhu 525 °C dan reaksi yang membentuk senyawa nitrida logam. Perubahan laju deposisi ini

diindikasikan dengan perubahan arus catu daya yaitu arus catu daya berbanding lurus terhadap tekanan proses nitridasi dan tegangan catu daya berbanding terbalik dengan tekanan proses nitridasi pada suhu nitridasi yang sama (525 °C). Untuk laju difusi nitrogen ke permukaan sangat tergantung dari suhu substrat, karena suhu substrat saat proses nitridasi tetap yaitu pada suhu 525 °C maka laju difusi akan tetap. Akibat kenaikan laju deposisi tidak diikuti laju difusi dan reaksi ion nitrogen pada permukaan substrat (pada tekanan > 1,8 mbar), sehingga tidak terjadi kesetimbangan antara laju deposisi dan laju difusi. Apabila laju deposisi terlalu besar tetapi difusi dan reaksi atom nitrogen (N) dengan substrat (Fe, Cr, Al, Mo, W dan Ti) tidak dapat mengikuti maka dimungkinkan akan terjadi penumpukan atom nitrogen pada permukaan, sehingga menyebabkan kekerasan permukaan tidak naik melainkan akan turun. Dari hasil ini, kondisi optimum proses nitridasi diperoleh pada tekanan 1,8 mbar yaitu dengan kekerasan 624,8 VHN untuk material AISI 304 dan 581,6 VHN untuk baja karbon rendah.



Gambar 3. Kekerasan permukaan sebagai fungsi tekanan pada proses nitridasi plasma.

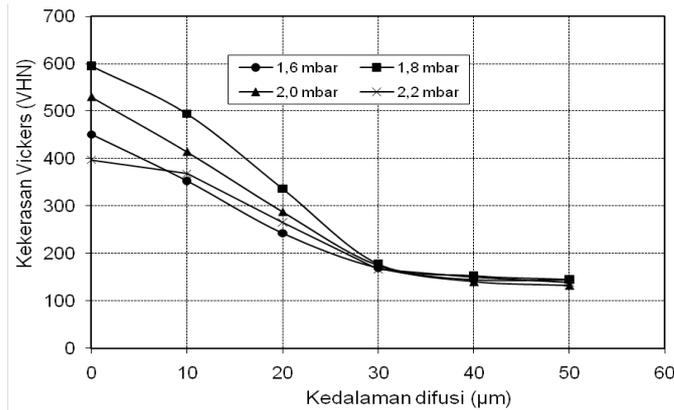
Untuk mengetahui kedalaman difusi yang menentukan tebal lapisan keras dilakukan pengujian kekerasan pada penampang melintang yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Kekerasan penampang melintang sebagai fungsi kedalaman pada AISI 304

Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengujian penampang melintang untuk substrat AISI 304, dari hasil pengujian tersebut diperoleh peningkatan kekerasan sampai pada kedalaman sekitar 30 μm. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa makin ke dalam dari permukaan makin turun kekerasannya hingga mencapai kekerasan sama dengan material awal (bagian tengah). Kedalaman permukaan yang mengalami peningkatan kekerasan mencapai sekitar 30 μm, hal ini menunjukkan bahwa difusi atom nitrogen ke dalam material yang dinitridasi (AISI 304) sekitar 30 μm. Dari hasil pengujian, makin ke dalam dari permukaan kekerasan makin menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa makin ke dalam makin sedikit konsentrasi atom nitrogen dan

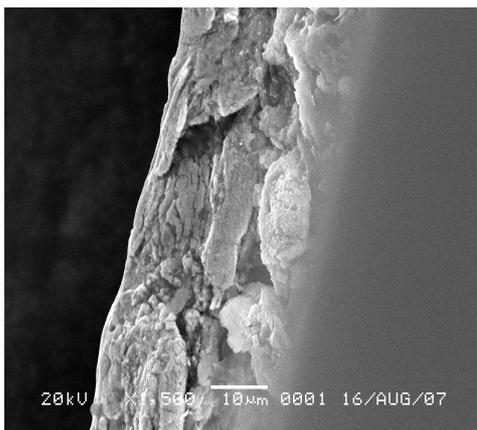
kemungkinan terjadinya senyawa nitrida logam makin menurun yang mengakibatkan kekerasan makin menurun. Untuk hasil pengujian kekerasan pada tampang melintang dari baja karbon rendah ditunjukkan pada Gambar 5. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh peningkatan kekerasan sampai pada kedalaman sekitar 30 μm yaitu hampir sama dengan AISI 304. Berdasarkan hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa efek yang terjadi hampir sama dengan material AISI 304 baik penurunan kekerasan maupun kedalamannya. Kekerasan penampang melintang ini mengindikasikan kedalaman difusi atom nitrogen dari permukaan karena peningkatan kekerasan disebabkan difusi atom N yang dilanjutkan terjadinya reaksi dengan unsur-unsur logam induk untuk membentuk senyawa baru yang mempunyai sifat lebih keras. Jadi baik untuk material AISI 304 maupun baja karbon rendah kedalaman difusi atom nitrogen dan terjadinya senyawa dengan unsur-unsur logam induk hampir sama yaitu sekitar 30 μm



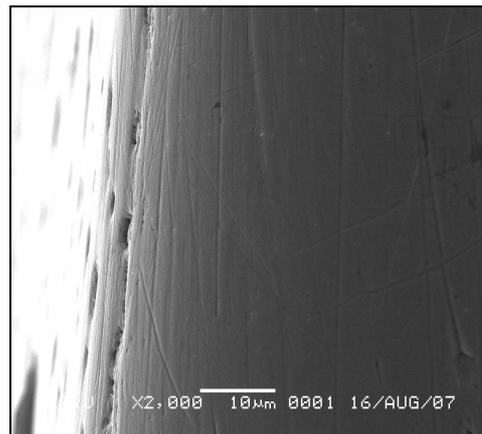
Gambar 5. Kekerasan penampang melintang sebagai fungsi kedalaman pada baja karbon rendah

Uji metalografi

Uji metalografi diperlukan untuk mengetahui struktur mikro material (AISI 304 dan baja karbon rendah) terutama sesudah proses nitridasi. Pengujian ini dilakukan menggunakan SEM yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6, pada Gambar 6a ditunjukkan hasil uji untuk AISI 304 dan pada Gambar 6b hasil uji untuk baja karbon rendah.



a. AISI 304

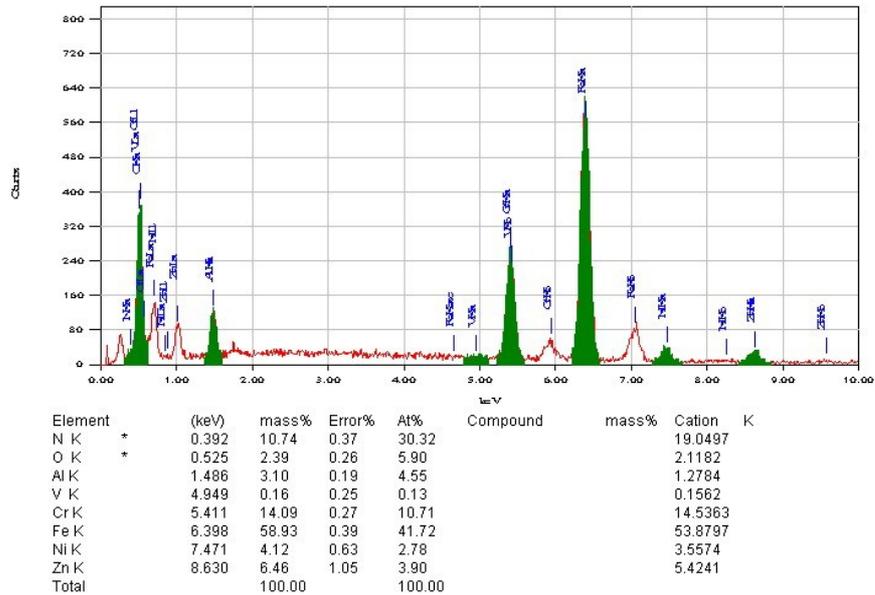


b. Baja karbon rendah

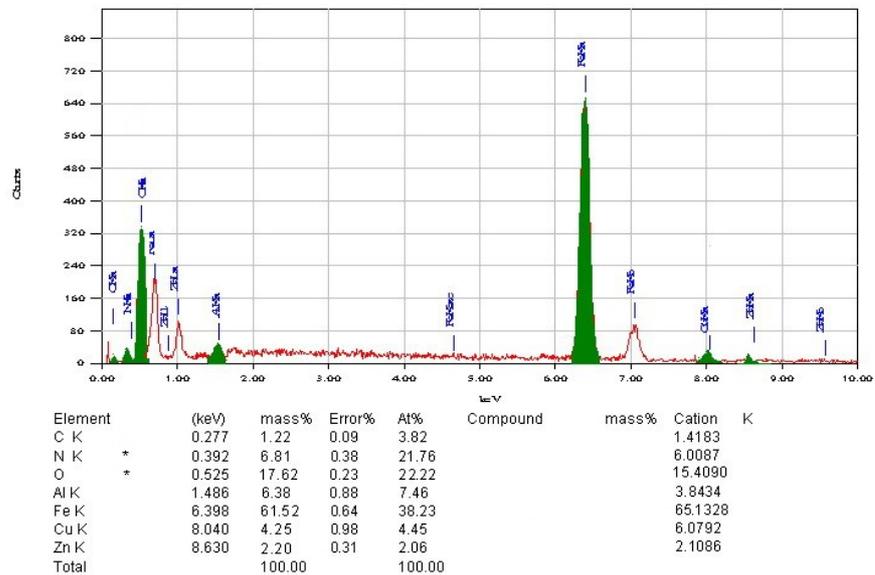
Gambar 6. Hasil uji metalografi menggunakan SEM setelah nitridasi pada tekanan 1,8 mbar

Kedalaman difusi N yang menentukan tebal lapisan keras pada AISI 304 dan baja karbon rendah hampir mendekati sama (Gambar 6) walaupun untuk AISI 304 memiliki banyak paduan seperti Fe, Cr, Ni, dan Al. Unsur-unsur tersebut dapat bereaksi baik dengan N maupun O yang membentuk senyawa AlN , Al_2O_3 , CrN , Fe_2N , Fe_3N , Fe_4N , FeO . Pembentukan senyawa-senyawa baru tersebut yang menyebabkan peningkatan

kekerasan baik pada AISI 304 dan baja karbon rendah. Peningkatan kekerasan ini telah disajikan pada Gambar 3 sampai pada Gambar 5. Kedalaman difusi, disamping ditunjukkan pada Gambar 6 juga ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 dengan indikasi peningkatan kekerasan sebagai fungsi kedalaman dan telah dijelaskan seperti tersebut pada pembahasannya.



Gambar 7. Hasil Uji EDS material AISI 304 hasil nitridasi plasma pada tekanan 1,8 mbar



Gambar 8. Hasil Uji EDS material baja karbon rendah hasil nitridasi plasma pada tekanan 1,8 mbar

Untuk mengetahui jumlah nitrogen yang terdeposisi dan berdifusi dilakukan pengujian menggunakan EDS. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 7 untuk AISI 304 dan Gambar 8 untuk baja karbon rendah. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh bahwa untuk AISI 304 (Gambar 7) setelah di nitridasi mempunyai kandungan nitrogen 10,74% massa atau 30,32% atom. Jika dikomparasikan dengan diagram FeN^[3], kemungkinan diperoleh senyawa Fe₄N dan Fe₃N. Namun karena untuk AISI 304 mempunyai komposisi unsur-unsur paduan tinggi maka senyawa-senyawa yang terbentuk juga mengikuti komposisi tersebut. Dari komposisi

tersebut kemungkinan terjadi senyawa Fe_2N , Fe_3N , Fe_4N , AlN , VN dan Cr_2N . Sifat dari senyawa-senyawa hasil nitridasi tersebut sangat keras. Sebagai contoh untuk material aluminium (Al) mempunyai kekerasan Vickers (VHN) 21 kgf/mm², jika aluminium tersebut bereaksi dengan nitrogen sehingga membentuk senyawa aluminium nitride (AlN) mempunyai kekerasan Vickers (VHN) 1200 kgf/mm² [9]. Kekerasan tersebut hanya terjadi pada permukaan dengan tebal lapisan keras tergantung pada kemampuan difusi atom nitrogen. Untuk baja karbon rendah (Gambar 8) diperoleh bahwa setelah di nitridasi mempunyai kandungan nitrogen 6,81% massa atau 21,76% atom. Jika dikomparasikan dengan diagram FeN [3], kemungkinan diperoleh senyawa Fe_4N dan Fe_3N . Dipandang dari kandungan unsur nitrogen yang baru mencapai 6,81% massa maka proses nitridasi belum mencapai kondisi optimal, karena untuk mencapai optimal seharusnya kandungan unsur nitrogen sekitar 11,2% massa sehingga dapat diperoleh senyawa Fe_2N yang mempunyai sifat sangat keras [3].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh nitridasi plasma terhadap kekerasan material AISI 304 dan baja karbon rendah dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi optimum nitridasi plasma diperoleh pada tekanan 1,8 mbar dengan kekerasan 624,9 VHN untuk AISI 304 dan 581,6 VHN untuk baja karbon rendah. Dengan kekerasan ini, peningkatan kekerasan sebesar 415 VHN (198%) untuk AISI 304 atau 2,98 kali kekerasan awal (210,3 VHN) dan 439 VHN (207%) untuk baja karbon rendah atau 3,07 kali kekerasan awal (142,9 VHN).
2. Ketebalan lapisan nitrida logam sekitar 30 μm baik untuk AISI 304 maupun baja karbon rendah. Untuk AISI 304 kandungan nitrogen 10,74% massa atau 30,32% atom dan kemungkinan terjadi senyawa Fe_4N , Fe_3N , AlN , VN dan Cr_2N . Untuk baja karbon rendah kandungan nitrogen 6,81% massa atau 21,76% atom dan kemungkinan terjadi senyawa Fe_4N dan Fe_3N .

DAFTAR PUSTAKA

3. -----, Metal Hand Book, Heat Treating, Cleaning and Finishing Volume 2, 8th Edition, ASTM, United State of America (1988).
4. MUKHERJEE, S., Plasma Based Nitrogen Incorporation Techniques for Surface Modification, Current Science, Vol.83-No.3, Gandhinagar, India (2002).
5. SINHA, A.K., Physical Metallurgy Handbook, Mc Graw-Hill, New York (2003)
6. UEDA, M., GOMES, G.F., KOSTOV, K.G., REUTHER, H., LEPIENSKI, C.M., SOARES, P.C., TOKAI, O., AND SILVA, M.M., Results from Experiments on Hybrid Plasma Immersion Ion Implantation/Nitriding Processing of Materials, Brazillian Journal of Physics, Vol. 34 no 4b, Sao Paulo (2004).
7. VISUTTIPITUKUL, P., PAA-RAI, C., HIDEYUKI, K.; Effect of Decarburization on Microstructure of DC Plasma Nitrided H13 Tools Steel, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol. 16, No 2, 2006
8. GLIGORIJVIC, R., JEVTIV, J., BORAK, Dj.; "Improvement Surface Properties of Powder Metal Steel Parts by Plasma Nitriding", Proceeding of the 7th International Conference the Coatings in Manufacture Engineering, Chalkidiki, Greece, 1-3 October 2008.
9. <http://www.Industrialheating.com/ArticleInfor/0,2832,135158,00.htm>, Ion Nitriding and Nitrocarburizing of Sintered PM Parts.
10. SUPRAPTO, BA. TJIPTO SUJITNO, SAYONO, "Uji Fungsi Sistem Nitridasi Ion Untuk Perlakuan Permukaan", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PTAPB, BATAN, Yogyakarta, 10 Juli 2007.
11. -----, Goodfellow, Materials for Research and Development Catalogue, 1987/1988