

EVALUASI PERLAKUAN NITRIDASI GAS TEMPERATUR TINGGI TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS BAJA TAHAN KARAT AUSTENIT 316LVM

Agus Suprihanto¹

¹ Departemen Teknik Mesin, Kampus UNDIP Tembalang Semarang Jawa Tengah

Email: agusm90@yahoo.com

ABSTRACT

High temperature gas nitriding for austenitic stainless steel 316LVM is successfully done. Specimens are treated at temperature 1323, 1373 and 1573 K for 15 minutes holding time at 0.3 atm nitrogen gas pressures. The effect of nitriding treatments on the hardness, wear resistance and microstructure are evaluated using Buehler microhardness tester, Ogoshi universal wear test machine and light optical microscop respectively. The results shows that hardness, wear resistance and grain size increase with treatments temperature.

Keywords: high temperature gas nitriding, 316LVM, hardness, wear, grain size

PENDAHULUAN

Baja tahan karat austenit seri 316LVM adalah pengembangan lebih lanjut dari baja tahan karat 316L yang dihasilkan melalui proses pengecoran vakum. Teknik pengecoran tersebut mampu memperbaiki kehomogenan dan kebersihan dari baja tahan karat tersebut. Hal ini menghasilkan perbaikan sifat ketahanan korosinya [1, 2]. Seri 316LVM saat ini mulai menggantikan seri 316L untuk pemakaian bahan implan. Ketahanan korosi yang tinggi menjanjikan penggunaan sebagai bahan implan sementara maupun untuk pemakaian jangka panjang. Meskipun demikian, ketahanan korosinya dapat menurun dilingkungan yang miskin oksigen, korosif dan pembebanan tinggi. Mekanisme korosi yang terjadi diantaranya adalah korosi sumuran, korosi celah dan korosi gesekan [3, 4]. Produk korosi tersebut dapat menyebabkan alergi, iritasi dan inflamasi [5]. Oleh karena itu upaya peningkatan ketahanan korosinya telah banyak dikembangkan.

Metode-metode konvensional yang telah diterapkan diantaranya adalah perlakuan permukaan seperti pasivasi permukaan, *ion sputtering*, *sandblasting*, *carbonitriding* dan nitridasi temperatur rendah [6–11]. Sayangnya metode-metode tersebut menghasilkan fasa-fasa baru yang bersifat magnetik lemah [12, 13]. Hal ini perlu dihindari karena dapat menyebabkan menurunnya kompatibilitas dan keamanan saat dilakukan pemeriksaan menggunakan *magnetic resonance imaging/MRI* [14]. Hasil penelitian terbaru menunjukkan bahwa logam-logam yang awalnya aman terhadap pemeriksaan MRI sistem 1,5T menjadi tidak aman dan tidak kompatibel saat

menggunakan sistem MRI generasi terbaru 3,0T [15,16].

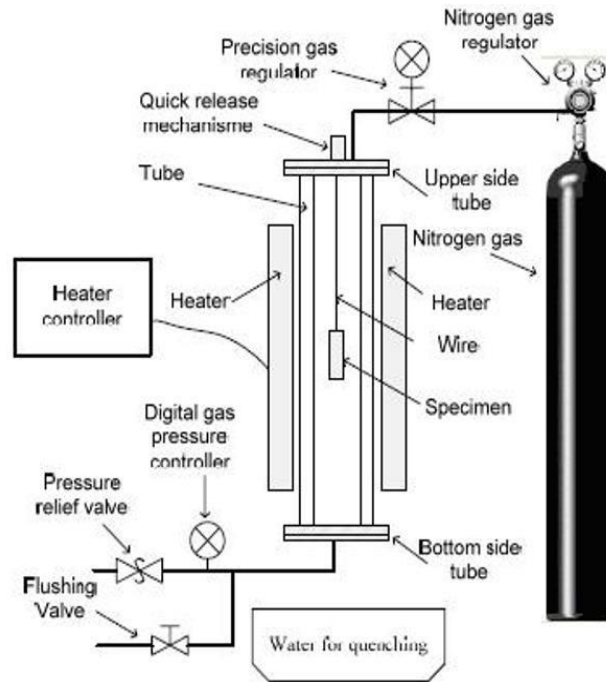
Metode perlakuan terkini yang menjanjikan peningkatan ketahanan korosi adalah perlakuan nitridasi gas pada temperatur tinggi [17]. Prinsip perlakuan tersebut adalah dengan memanaskan baja tahan karat pada temperatur 1323 – 1573 K dalam tabung yang berisi gas nitrogen selama beberapa waktu selanjutnya dilakukan proses *quenching* [18]. Selama pemanasan berlangsung, molekul gas nitrogen terpecah menjadi atom nitrogen dan selanjutnya berdifusi ke dalam baja tahan karat. Oleh karena itu perlakuan ini meningkatkan konsentrasi nitrogen pada baja tahan karat. Nitrogen merupakan unsur paduan yang mampu meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mekanik baja [19, 20]. Peningkatan konsentrasi nitrogen tersebut dapat diatur dengan mengatur temperatur pemanasan, durasi pemanasan dan tekanan gas nitrogen dalam tabung pemanas [21, 22]. Meskipun perlakuan nitridasi gas temperatur tinggi pada baja tahan karat telah banyak diteliti [23–25], namun penerapannya pada baja tahan karat 316LVM belum banyak dilakukan. Artikel ini membahas penerapan perlakuan nitridasi gas temperatur tinggi dalam durasi yang singkat terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat austenit 316LVM.

METODOLOGI PENELITIAN

Spesimen uji dibuat dari pelat baja tahan karat 316LVM tebal 4mm. Adapun komposisi kimianya (% wt) adalah 0.01 C, 17.30 Cr, 15.5 Ni, 1.73 Mo, 1.67 Mn, 0.42 Si dan Fe (balance). Sebelum proses nitridasi, spesimen dibersihkan

dengan cara direndam pada alat pembersih ultrasonik dengan menggunakan media aseton selama 15 – 20 menit. Spesimen dimasukkan dalam tabung pemanas, selanjutnya dilakukan proses vakum dan pembilasan menggunakan gas nitrogen dengan debit 1000ml/menit selama 15 menit. Selanjutnya pemanas dihidupkan dan laju pembilasan diturunkan menjadi 100ml/menit sampai temperatur pemanasan yaitu 1323, 1373 dan 1573 K tercapai. Selama pemanasan, tekanan gas dalam tabung pemanas dijaga konstan sebesar

0,3 atm. Setelah temperatur pemanasan tercapai, aliran gas nitrogen dihentikan dan spesimen dipanaskan pada temperatur tersebut selama 15 menit. Perlakuan ini diakhiri dengan proses *quenching* dalam media air. Proses perlakuan nitridasi gas temperatur tinggi ini menggunakan pemanas vertikal Carbolite type TZF 15/50/610 yang telah dimodifikasi dan dilengkapi peralatan kontrol seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik pemanas nitridasi gas temperatur tinggi

Evaluasi distribusi kekerasan searah penampang spesimen dilakukan menggunakan alat uji kekerasan mikro merek Buehler micro hardness tester. Pembebanan untuk uji kekerasan tersebut adalah 300 gr. Pengujian ketahanan aus menggunakan mesin Ogoshi universal wear testing tipe OAT-U. Tekanan pengujian keausan ditetapkan sebesar 12.72 kg dan panjang lintasan pengujian keausan sejauh 7,8m. Pengukuran jejak keausan menggunakan mikroskop optik yang dilengkapi dengan skala ukuran. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik merek Olympus. Spesimen mikrografi dietsa menggunakan larutan etsa 5% FeCl₃. Pengukuran ukuran butir menggunakan perangkat lunak ImageJ versi 1.47.

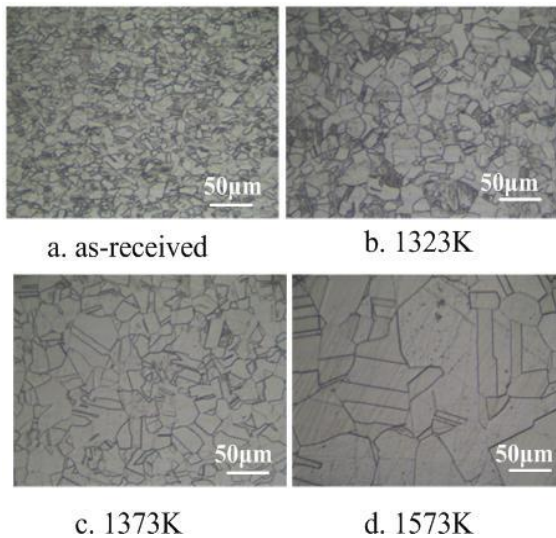
HASIL DAN PEMBAHASAN

Evolusi pertumbuhan butir ditunjukkan pada Gambar 2. Ukuran butir spesimen sebelum perlakuan (as-received) menunjukkan butir yang sangat halus dengan diameter rata-rata 10 µm. Gambar 2 menunjukkan bahwa ukuran butir

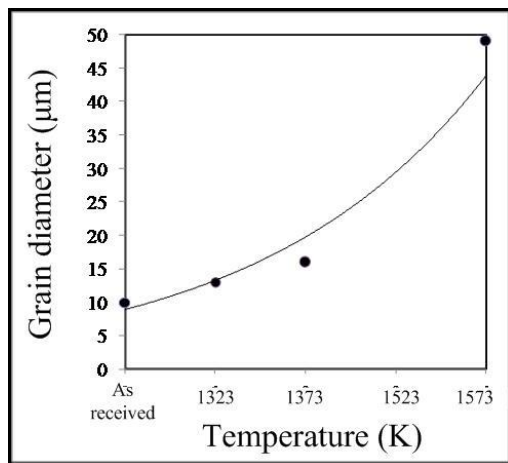
bertambah besar seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan. Perubahan ukuran diameter rata-rata butir ditunjukkan pada Gambar 3. Diameter butir spesimen sebelum perlakuan yang awalnya sebesar 10 µm, meningkat drastis menjadi 50 µm pada temperatur perlakuan 1573 K. Ukuran butir pada temperatur perlakuan 1323 dan 1373 K tidak terlalu tinggi perubahannya yaitu berkisar 30 – 50%. Hal ini berbeda sekali dengan ukuran rata-rata butir pada temperatur perlakuan 1573 K yang meningkat sebesar 500%. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut menunjukkan bahwa ukuran butir meningkat seiring dengan tingginya temperatur pemanasan.

Temperatur pemanasan perlakuan nitridasi pada penelitian ini dilakukan diatas temperatur rekristalisasi. Oleh karena itu memungkinkan butir untuk tumbuh. Butir halus pada spesimen sebelum perlakuan menunjukkan bahwa pelat baja tahan karat 316LVM telah mengalami pengerjaan dingin. Ukuran butir yang halus tersebut ditujukan untuk meningkatkan kekuatannya. Perubahan ukuran butir yang sangat drastis menunjukkan pula

bahwa pelat 316LVM tidak dilakukan proses anil. Hal ini menyebabkan medan tegangan yang tinggi dan bila dipanaskan diatas temperatur rekristalisasi (sekitar 1000 K) maka akan terjadi pertumbuhan butir. Pertumbuhan butir dipengaruhi oleh tingginya derajat reduksi yang dilakukan, temperatur pemanasan dan durasi pemanasan. Penelitian ini menggunakan durasi pemanasan yang sama yaitu 15 menit. Dengan demikian pertumbuhan butir hanya dipengaruhi oleh tingginya temperatur pemanasan.



Gambar 2. Struktur mikro 316LVM sebelum dan setelah perlakuan

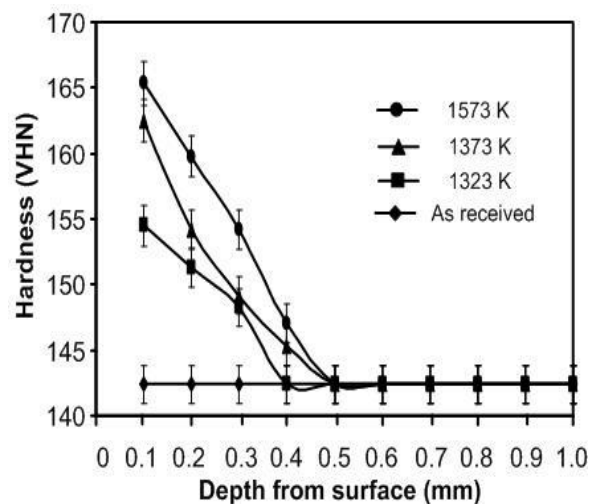


Gambar 3. Evolusi pertumbuhan ukuran butir

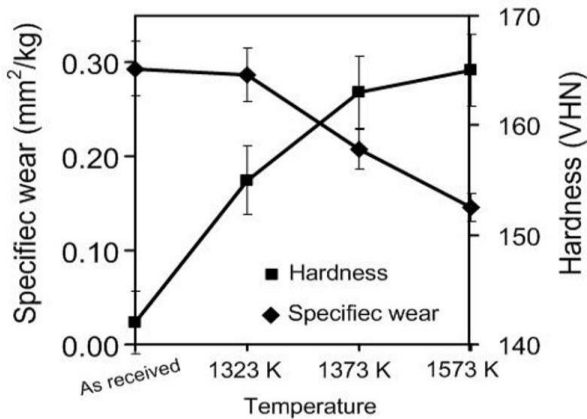
Distribusi kekerasan mikro searah penampang spesimen ditunjukkan pada Gambar 4. Sebagaimana halnya ukuran butir, kekerasan juga meningkat seiring tingginya temperatur pemanasan. Kekerasan pada bagian dekat dengan permukaan (0,1 µm) meningkat secara drastis. Peningkatan tertinggi diperoleh pada temperatur pemanasan 1573 K. Peningkatan kekerasan yang dihasilkan dapat mencapai 400 µm dari permukaan

spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pemanasan yang singkat yaitu 15 menit mampu mendifusikan nitrogen sampai kedalaman 400 µm. Kekerasan pada kedalaman diatas 500 µm adalah sama dengan kekerasan spesimen sebelum perlakuan. Kedalaman peningkatan kekerasan yang mencapai 400 µm sangat tinggi dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh perlakuan permukaan konvensional yang umumnya hanya sampai maksimum 100 µm. Hal ini menunjukkan bahwa metode nitridasi gas temperatur tinggi lebih cepat mendifusikan nitrogen ke dalam baja tahan karat 316LVM dibandingkan metode konvensional lainnya.

Hasil pengujian ketahanan aus yang disuperposisi dengan kekerasan permukaan ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian keausan dinyatakan dengan keausan spesifik (Ws). Keausan spesifik ini merupakan konstanta proporsional yang menunjukkan keausan abrasi antara dua material. Dengan demikian, bila salah satu pasangan materialnya sama, maka pengujian keausan ini dapat digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap keausan. Pengujian keausan ini menggunakan piringan dari baja karbon tinggi yang telah diperkeras sebagai material pasangan keausan. Oleh karena itu jika nilai Ws rendah dapat menunjukkan kalau material spesimen uji tersebut lebih tahan terhadap aus. Besarnya Ws spesimen sebelum perlakuan adalah 0.29 mm²/kg. Perlakuan nitridasi pada temperatur 1323, 1373 dan 1573 K berturut-turut menjadi 0.28, 0.2 and 0.15 mm²/kg. Besarnya Ws menurun seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan. Hasil ini konsisten dengan meningkatnya kekerasan spesimen seiring dengan tingginya temperatur pemanasan.



Gambar 4. Distribusi kekerasan mikro searah penampang spesimen



Gambar 5. Keausan spesifik (W_s) dan kekerasan permukaan spesimen

Logam polikristalin umumnya menunjukkan bahwa meningkatnya ukuran butir menyebabkan ketahanan ausnya menurun [26]. Meskipun demikian, hasil pengamatan struktur mikro dan hasil pengujian keausan untuk spesimen yang mendapat perlakuan nitridasi ini menunjukkan hal sebaliknya. Pemanasan pada temperatur 1573 K tidak hanya menghasilkan ukuran butir yang semakin besar tetapi juga menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus yang juga tinggi. Fenomena ini dapat disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi nitrogen pada spesimen yang ditandai dengan meningkatnya kekerasan di bagian permukaan.

KESIMPULAN

Nitridasi gas temperatur tinggi dengan durasi pemanasan 15 menit mampu meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat 316LVM. Peningkatan kekerasan yang dihasilkan sampai kedalaman 400 μm . Meskipun demikian perlakuan ini menyebabkan ukuran butir meningkat drastis terutama pada temperatur pemanasan 1573 K. Guna menghindari pertumbuhan butir yang berlebihan yang akan menurunkan kekuatan tariknya, maka perlakuan nitridasi ini cukup dilakukan sampai temperatur 1373 K.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmadi, S. H., Arabi, A., Shokuhfar and Rezer, A., 2009, Evaluation of the electroslag remelting process in medical grade of 316LC stainless steel, *J. Mater. Sci. Technol.*, 25, 592-596
- [2] Talha, M., CK Behera and Sinha, O.P., 2012, Potentiodynamic polarization study of Type 316L and 316LVM stainless steels for surgical implants in simulated body fluids, *Chem. Pharma. Res.*, 4(1); 203-208
- [3] Gurappa, I., 2002, Characterization of different materials for corrosion resistance

under simulated body fluid conditions, *Mater. Char.*, 49, 73-79

- [4] Manivasagam, G., Dhinasekaran D. and Rajamanickam, A., 2010, Corrosion and its Prevention - A Review, *Biomed. Imp.*, 2, 40-54
- [5] Yang, K., and Ren, Y., 2010, Nickel Free Austenitic Stainless Steel for Medical Application, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 11, 1-13
- [6] Bidhendi, H. R. A., and Pouranvari, 2011, Corrosion study of metallic biomaterials in simulated body fluid, *Metalurgija*, 17, 13-22
- [7] Saleh, Z. B., Shahryari, A., and Omanovic, S., 2007, Enhancement of corrosion resistance of a biomedical grade 316LVM stainless steel by potentiodynamic cyclic polarization, *Thin Solid Films*, 515, 4727-4737
- [8] Multigner, M., Frutos, E., Carrasco, J. L. G., Jimenez, J. A., Marin, P., and Ibanez, J., 2009, Influence of the sandblasting on the subsurface microstructure of 316LVM stainless steel: Implications on the magnetic and mechanical properties, *Mater. Sci. Eng., C* 29, 1357-1360
- [9] Suyitno, Arifiyanto, B., Widodo, T. D., Mahardika, M., Dewo, P., and Salim. U. A., 2012, Effect of Cold Working and Sandblasting on Microhardness, Tensile Strength and Sorrosion Resistance of AISI 316L Stainless Steel, *Metall. Mater.*, 19, 1093-1099
- [10] Rahman, M., Haider, J., and Hashmi, M. S. J., 2005, Low temperature plasma nitriding of 316 stainless steel by a saddle field fast atom beam source, *Surface and Coating Technology*, Surf. Coat. Technol., 200, 1645-1651
- [11] Buhagiar, J., Bell, T., Sammons, R., and Dong, H., 2011, *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, 22, 1269-1278
- [12] Menendez, E., Martinavicius, A., Liedke, M. O., Abrasonis, G., Fassbender, J., Sommerlatte, J., Nielsch, K., Surinach, S., Baro, M. D., and Noguez, J., and Sort, J., 2010, Patterning of Magnetic Structure on Austenitic Steel by Local Ion Beam Nitriding, *Act. Mat.*, 56, 4570-4576.
- [13] Basso, R. L. O., Pimentel, V. L., Weber, S., Marcos, G., Czerwicz, T., Baumvol, I. J. R., Figueroa, C. A., 2009, Magnetic and Structural Properties of Ion Nitrided Stainless Steel, *J. App. Phy.* 105, 124914-1-5.
- [14] Woods, T. O., 2003, MRI Safety and Compatibility of Implants and Medical Devices, *Stainless Steels for Medical and Surgical Applications*, ASTM STP 1438, GL Winters & MJ Nutt, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, 82-90.

- [15] Shellock, F.G., 2002, Biomedical Implants and Devices: Assessment of Magnetic Field Interaction With a 3.0-Tesla MR System, *J. Mag. Res. Imag.*, 16, 721-732.
- [16] Holton, A., Walsh, E., Anayiotos, A., Pohost, G., and Venugopalan, R., 2002, Comparative MRI Compatibility of 316L Stainless Steel Alloy and Nickel-Titanium Alloy Stent, *J. Cardio. Mag. Res.*, 4(4), 423-430.
- [17] Berns, H., 2007, Advantages In Solution Nitriding of Stainless Steel, *Mater. Sci. Heat Treat.*, 49, 578-580
- [18] Berns, H., and Siebert, S., 1996, High Nitrogen Cases in Stainless Steel, *ISIJ Int.*, 36, 927-931
- [19] Bayoumi, F. M., and Ghanem, W.A., 2005, Effect of Nitrogen on The Corrosion Behavior of Austenitic Stainless Steel in Chloride Solutions, *Mater. Lett.*, 59, 3311-3314.
- [20] Endo, K., Abiko, Y., Suzuki, M., Ohno, H., and Kaku, T., 1998, Corrosion Resistance and Biocompatibility of High Nitrogen-Bearing Stainless Steels, *Zairyo-to-Kankyo*, 47, 570-576,
- [21] Tschiptschin, A.P., Gomez, C.M., dan Lopez, D.M., 2006, The Effect of Nitrogen on the Scratch Resistance of Austenitic Stainless Steel, *Tribology International*, 39: 167-174.
- [22] Mitsui, H., and Kurihana, S., 2007, Solution Nitriding Treatment of Fe-Cr Alloys under Pressurized Nitrogen Gas, *ISIJ Int.*, 47, 479-485
- [23] Garzon, C. M., and Tschiptschin, A. P., 2004, Growth Kinetics of Martensitic Layers during High Temperature Gas Nitriding of a Ferritic-Martensitic Stainless Steel, *J. Mater. Sci.*, 39, 7101-7105.
- [24] Lee, H. W., Kong, J. H., Lee, D. J., On, H. Y., and Sung, J. H., 2009, A Study on High Temperature Gas Nitriding and Tempering Heat Treatment in 17Cr-1Ni-0.5C, *Mater. Des.*, 30, 1691-1696.
- [25] Sung, J. H., Kong, J. H., Yoo, D. K., On, H. Y., Lee, D. J., and Lee, H. W., 2008, Phase Changes of the AISI 430 ferritic Stainless Steel after High Temperature Gas Nitriding and Tempering Heat Treatment, *Mater. Sci. Eng., A* 489, 38-43
- [26] Jeong, D. H., Gonzales, F., Palumbo, G., Aust, K. T., and Erb, U., 2011, The effect of grain size on the wear properties of electrodeposited nanocrystalline nickel coatings, *Scr. Mater.*, 44, 493-499