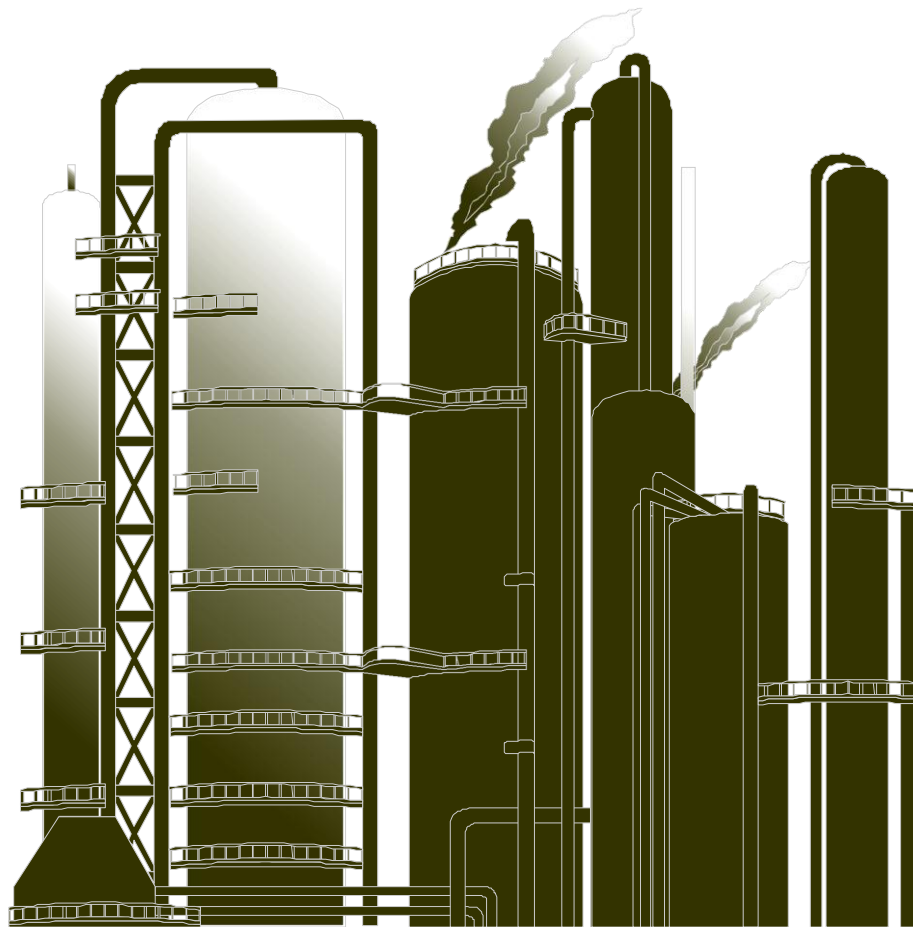


PROSIDING

SEMINAR NASIONAL
Perkembangan Riset dan Teknologi di
Bidang Industri Ke-21

ISBN: 978-602-70455-1-4

Kantor Pusat Fakultas Teknik UGM
Yogyakarta, 1 Juni 2015



Pusat Studi Ilmu Teknik Jurusan
Teknik Mesin dan Industri Jurusan
Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Mitra Bestari:

1. Prof. Dr. Dwi Aries Himawanto, ST, MT (FT UNS)
2. Dr. Ir. Widiatmini Sih Winanti, MSi (BPPT)
3. Dr. Ir. Puji Lestari (Teknik Lingkungan ITB)
4. Prof. Dr. Ing. Ir. Harwin Saptoadi, MSE (FT UGM)
5. Prof. Dr. Ir. Rochmadi, SU (FT UGM)
6. Prof. Dr. M. Noer Ilman, ST, MSc (FT UGM)
7. Dr. Ir. I Made Suardjaja, MSc, PhD (FT UGM)
8. Dr. Ir. Hary Sulistyono, SU (FT UGM)
9. Dr. M.K. Herliansyah, ST, MT (FT UGM)

Editor:

1. Dr. Ir. Aswati Mindaryani, MSc
2. Ir. Suprihastuti Sri Rahayu, MSc
3. Dr. Ir. Rini Dharmastiti, MSc

**Prosiding Seminar Nasional
Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 21**

© 2015, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Pusat Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada – Yogyakarta

ISBN : **978-602-70455-1-4**

Alamat : Pusat Studi Ilmu Teknik UGM
Jl. Teknik Utara, Berek, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telpon : (0274) 565834, 902287
Fax : (0274) 565834
E-mail : psit@ugm.ac.id

KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri yang ke 21 yang dilaksanakan tanggal 1 Juni 2015, bertempat di Kantor Pusat Fakultas Teknik UGM merupakan seminar rutin yang diselenggarakan oleh Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) Universitas Gadjah Mada. Seminar ini terlaksana atas kerjasama antara PSIT UGM dengan Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Jurusan Teknik Kimia dan Fakultas Teknik UGM. Seminar nasional ini merupakan forum diskusi dan pertukaran informasi bagi para peneliti, praktisi di bidang industri dan diharapkan dapat menghasilkan interaksi yang sinergis antara akademisi dan praktisi sehingga dapat mempercepat peningkatan laju perkembangan industri nasional.

Dalam seminar ini telah disampaikan 46 makalah yang terbagi dalam sub topik : Bahan Teknik dan Mekanika Bahan, Perpindahan Kalor dan Massa, Teknik Reaksi dan Teknik Pembakaran, Mekanika Fluida, Pengolahan Limbah Industri dan Lingkungan, Teknik Industri serta Maintenance Peralatan Industri.

Prosiding seminar ini diharapkan dapat memberikan informasi perkembangan mutakhir dalam bidang riset dan teknologi di bidang industri di Indonesia. Panitia telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyusun semua makalah dalam bentuk prosiding yang representatif, namun masukan dan kritik dari para pembaca masih sangat diharapkan.

Seminar ini dapat terlaksana dengan lancar berkat partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Panitia mengucapkan terima kasih kepada para sponsor, para pemakalah, para peserta serta semua pihak yang telah membantu penyelenggaraan acara seminar.

Yogyakarta, 1 Juli 2015

**Panitia Seminar Nasional
Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 21**

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v

BAHAN TEKNIK - MEKANIKA BAHAN

1	Pengembangan Sistem Pengukuran Presisi Sudut Kontak Tetesan dengan Pengambilan Citra Digital Menggunakan Webcam <i>Adi Nugroho dan Muhammad Kusumawan Herliansyah</i>	BT/MB – 1
2	Analisa Tegangan Lengan Ulat Daun Jeruk (<i>Papilio Memnon Caterpillar</i>) <i>Agung Prakoso dan Rachmat Sriwijaya</i>	BT/MB – 7
3	Study Of A Risk-Based Atmospheric Storage Tank Inspection Guideline System Based On API 581 <i>Agus Nugroho, Gunawan Dwi Haryadi, Rifky Ismail, Seon Jin Kim</i>	BT/MB – 13
4	Verifikasi Sampan Bercadik Menggunakan Konsep Kapal dan Analisis Stabilitas <i>Inclining Test</i> Berdasarkan Standar IMO <i>Mudjijana, Adi Dwinanto</i>	BT/MB – 21
5	Pengaruh Temperatur Nitridasi Plasma terhadap Kadar N dan Kekerasan Permukaan Biomaterial SS 316L <i>Ratna Kartikasari dan Ihwanul Azis</i>	BT/MB – 27
6	Karakterisasi Lapisan Multilayer Cu, Cu-Ni dan Cu-Ni-Cr Electroplated pada Permukaan Logam Dasar Aluminium <i>Viktor Malau dan Bambang Hari Priyambodo</i>	BT/MB – 35
7	Meningkatkan Kekerasan Permukaan Gigi Sproket Suku Cadang Lokal Dengan Metoda Karburising Padat <i>Yusril Irwan dan Susanto BG</i>	BT/MB – 43

Pengaruh Temperatur Nitridasi Plasma terhadap Kadar N dan Kekerasan Permukaan Biomaterial SS 316L

Ratna Kartikasari¹ dan Ihwanul Azis²

¹Jurusan Teknik Mesin STTNAS Jl. Babarsari No.1 Caturtunggal, Depok Sleman Yogyakarta

²Bidang Fisika Partikel, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN Yogyakarta

E mail : kartikafajar@yahoo.com

Abstrak

Baja tahan karat SS 316L merupakan salah satu biomaterial logam utama yang digunakan sebagai implan dalam tubuh manusia. Alasan penggunaan SS 316L adalah harga yang relatif murah dan mudah difabrikasi jika dibandingkan dengan jenis biomaterial logam yang lain. Permasalahan yang seringkali muncul adalah kegagalan yang disebabkan oleh peristiwa korosi dan keausan di daerah persendian. Salah satu upaya untuk meningkatkan ketahanan aus permukaan biomaterial SS 316L adalah dengan cara nitridasi plasma. Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh temperatur nitridasi plasma terhadap kadar nitrogen di permukaan dan kekerasan permukaan SS 316L. Proses nitridasi plasma SS 316L dilakukan pada variasi temperatur nitridasi 350, 400, 450, 500 dan 550°C, pada tekanan gas nitrogen 1,8 mbar dan waktu nitridasi 3 jam. Uji kadar N dilakukan dengan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) dan uji kekerasan dilakukan dengan metode mikro Vickers. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase atom nitrogen di permukaan SS 316L setelah proses nitridasi berkisar 7,61-21,73%, dimana persentase terbesar terjadi pada temperatur nitridasi 500°C yaitu sebesar 21,73%. Nilai kekerasan permukaan SS 316L sebelum proses nitridasi adalah sebesar 408,2 VHN dan setelah proses nitridasi kekerasan permukaan SS 316L berkisar 470,11-675,89 VHN, dimana nilai kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 500°C dengan nilai kekerasan sebesar 675,89 VHN artinya terjadi peningkatan kekerasan permukaan SS 316L sebesar 65,58%.

Kata kunci: nitridasi plasma, baja tahan karat 316L, kekerasan

1. Pendahuluan

Definisi biomaterial secara umum adalah suatu material tak-hidup yang digunakan sebagai perangkat medis dan mampu berinteraksi dengan sistem biologis (Rodriguez, dkk., 2004). Material biomedik atau disebut biomaterial adalah material sintesis yang digunakan untuk membuat prostetik atau piranti cangkok ortopedik (*orthopedic implant devices*) (Mudali, 2013). Sebuah prostetik atau piranti cangkok ortopedik adalah tulang atau sambungan buatan yang menggantikan bagian tubuh yang hilang dan biasanya digunakan untuk menggantikan bagian yang hilang oleh cedera (trauma) atau hilang dari lahir (bawaan) atau untuk melengkapi bagian tubuh yang cacat. Biomaterial tersebut telah banyak digunakan untuk memperbaiki atau menggantikan fungsi suatu sistem otot-kerangka tubuh manusia yang sakit atau rusak, seperti tulang, tulang sendi dan gigi (Hansen, 2008).

Biomaterial berbasis logam pada umumnya sering digunakan untuk *load bearing* seperti baut, plat, sambungan atau persendian lutut, tangkai tulang paha dan lainnya (Oliveira, 2003). Baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steel*), khususnya SS 316L, adalah biomaterial logam yang banyak digunakan untuk fabrikasi piranti cangkok ortopedik atau prostetik karena harganya yang lebih murah dan fabrikasinya lebih mudah dilakukan jika dibandingkan dengan paduan Co-Cr atau Ti dan paduannya (Ratner dan Hoffmann, 1996). Mudali (2003) melaporkan bahwa 90% kegagalan pencangkokan piranti cangkok ortopedik atau prostetik berbasis logam, khususnya baja tahan karat SS 316L, disebabkan oleh serangan korosi akibat berinteraksi dengan cairan tubuh dan terjadi keausan karena menahan beban gesekan dalam tulang sendi. Oleh karena itu diperlukan suatu metode

perlakuan permukaan yang mudah dan murah untuk memperbaiki sifat mekanik, ketahanan korosi dan biokompatibilitas SS 316L sebagai biomaterial logam (Lely Susita dan Sudjtmoko, 2010).

Persyaratan dasar pemilihan biomaterial logam adalah *biocompatible*, yaitu tidak menyebabkan terjadinya perangsangan atau penolakan oleh jaringan tubuh, *nontoxic*, tahan korosi dan tahan aus sehingga dapat menahan beban berulang di dalam jaringan tubuh manusia yang korosif (Hansen, 2008). Ada tiga jenis paduan logam yang sering digunakan untuk piranti ortopedik, yaitu *stainless steel*, titanium dan paduannya dan paduan berbasis kobalt-khrom. Masalah utama yang sering muncul pada pencangkokan piranti ortopedik adalah interaksi antara permukaan piranti ortopedik dengan lingkungan fisiologis sekitarnya dan permukaan piranti orthopedik itu sendiri. Interaksi tersebut mengakibatkan terjadinya peristiwa korosi dan/atau keausan yang dapat membawa kepada kegagalan pencangkokan dan/atau memberikan efek buruk pada pasien yang mengakibatkan penolakan oleh jaringan tubuh di sekitarnya. Pada penelitian ini dilakukan suatu metode perlakuan permukaan untuk memperbaiki sifat-sifat kekerasan dan ketahanan aus permukaan SS 304L menggunakan metode nitridasi plasma.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah plat SS 316L dengan tebal 2 mm, dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm untuk proses nitridasi. Selanjutnya permukaan spesimen dihaluskan menggunakan mesin poles dengan amplas 400, 800, 1000 dan 2000 mesh dan dibersihkan dengan *ultrasonic cleaner* agar terbebas dari kotoran dan lemak. Kemudian dikeringkan menggunakan *hair drier*. Proses nitridasi dilakukan menggunakan peralatan nitridasi plasma yang terdiri dari bejana vakum terbuat dari logam dilengkapi dengan sistem vakum, sistem masukan gas nitrogen, sistem tegangan tinggi DC 300 – 1.200 volt dan regulator temperatur (Gambar 1). Proses nitridasi dilakukan pada temperatur 350, 400, 450, 500 dan 550°C, tekanan 1,8 mbar dalam waktu 3 jam. Pengujian yang dilakukan adalah uji kadar N di permukaan menggunakan EDS dan uji kekerasan dengan metode *microvickers*.



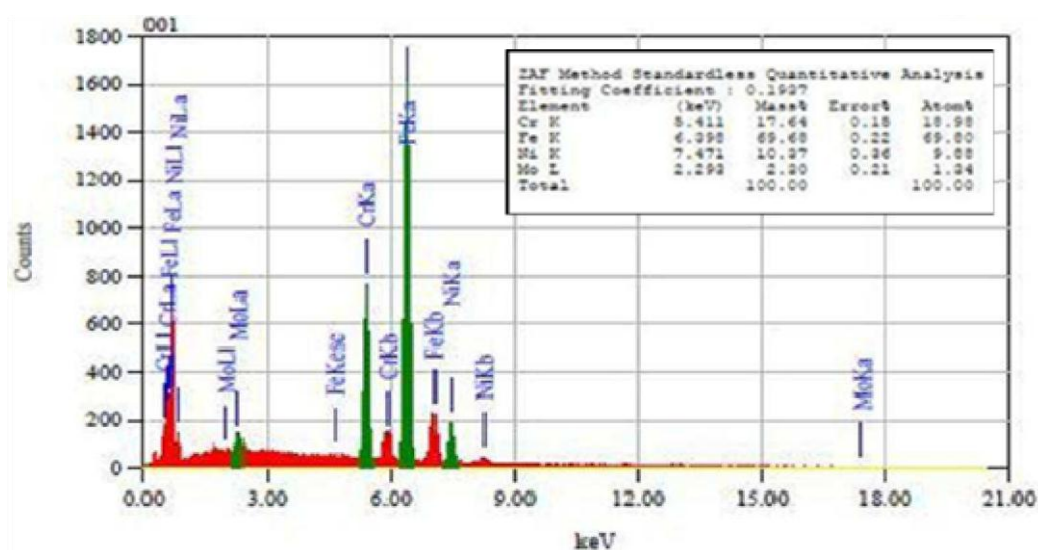
Gambar 1. Foto tabung reaktor plasma mesin nitridasi di PTAPB-BATAN Yogyakarta

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

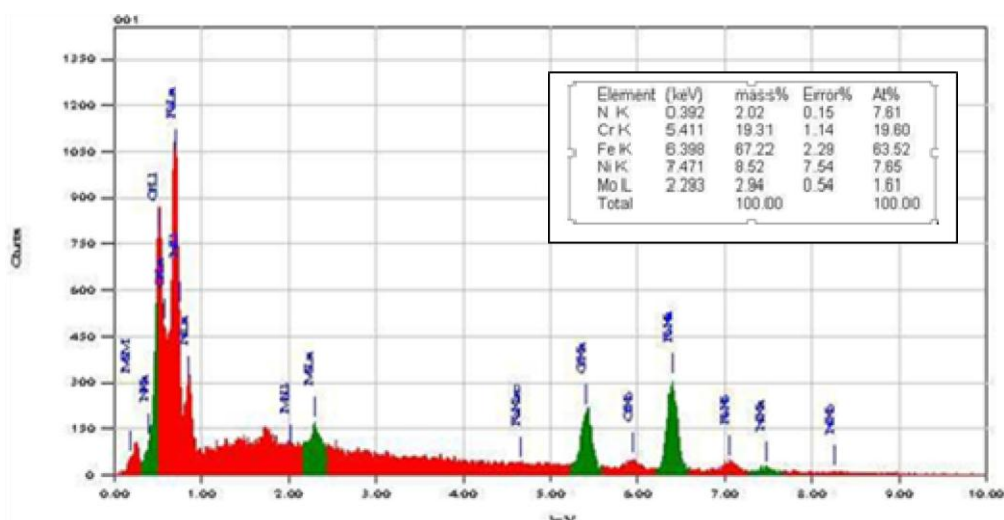
Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan teknik EDS, bertujuan untuk mengetahui kadar unsur nitrogen di permukaan spesimen sebelum dan sesudah proses nitridasi. Gambar 2. Menampilkan hasil uji EDS SS 316L standar sebelum mengalami nitridasi. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa SS 316L standar sebelum nitridasi mempunyai kandungan Fe 69,80% atom, Cr 18,98% atom, Ni 9,88% atom dan Mo 1,34% atom, dan tidak ditemukan unsur nitrogen di permukaan spesimen. Hasil uji komposisi kimia SS 316L hasil proses nitridasi ditampilkan pada Gambar 3-7. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa terbentuknya lapisan tipis nitrida besi dan

presentase kandungan nitrogen yang terdepositkan pada permukaan SS 316L, dipengaruhi oleh temperatur proses nitridasi plasma. Semakin tinggi temperatur proses nitridasi plasma, maka jarak antara atom-atom dalam SS 316L akan lebih besar sehingga difusi atom-atom nitrogen ke dalam SS 316L lebih mudah.

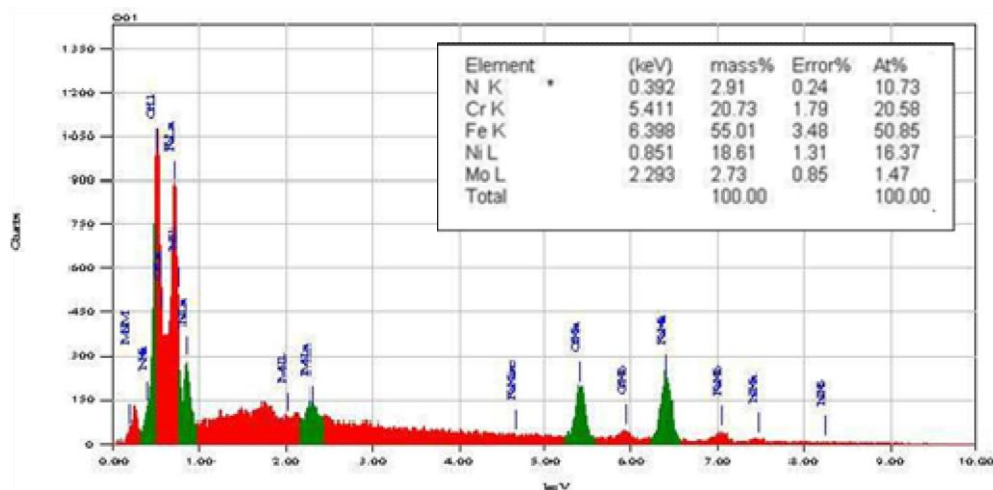
Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa SS 316L dmempunyai kandungan unsur nitrogen sebesar 7,61% atom, 10,73% atom, 20,46% atom, 21,73% atom dan 15,60% atom, masing-masing pada temperatur nitridasi 350, 400, 450, 500 dan 550°C. Pada temperatur 350°C sampai dengan 500°C terlihat kecenderungan naiknya persentase atom nitrogen, sedangkan pada temperaur 550°C persentase atom nitrogen menurun. Penurunan persentase atom nitrogen disebabkan karena temperatur nitridasi merupakan fungsi kedalaman masuknya atom nitrogen kedalam baja. Ketika temperatur nitridasi dinaikkan sampai dengan 500°C, maka jarak antara atom-atom dalam baja akan lebih besar sehingga kemungkinan difusi atom-atom nitrogen lebih mudah untuk membentuk lapisan nitrida besi pada permukaan baja. Selanjutnya pada temperatur nitridasi diatas 500°C, maka jarak antara atom-atom spesimen akan semakin besar sehingga difusi atom-atom nitrogen yang berada dipermukaan spesimen terdifusi lebih dalam dibawah permukaan baja, hal ini menyebabkan persentase atom nitrogen pada permukaan baja menurun.



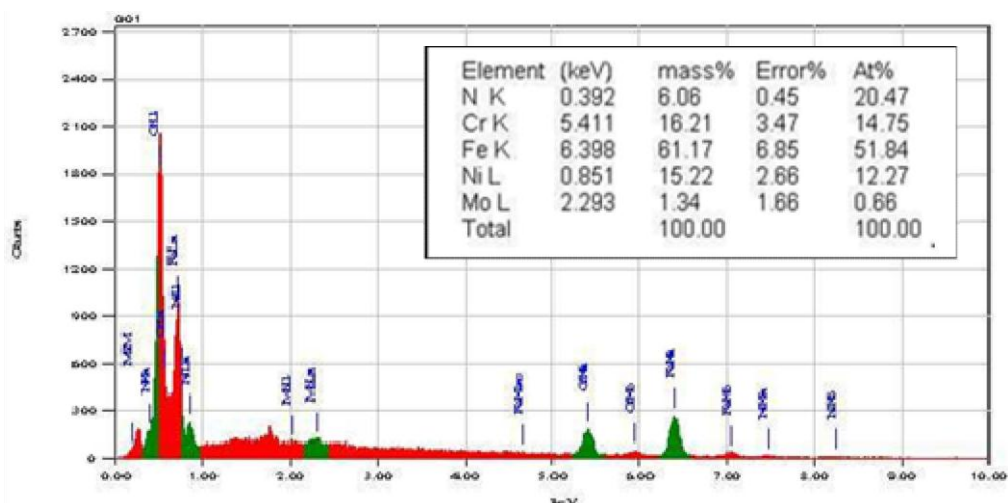
Gambar 2. Hasil uji EDS SS 316L standar sebelum mengalami proses nitridasi plasma.



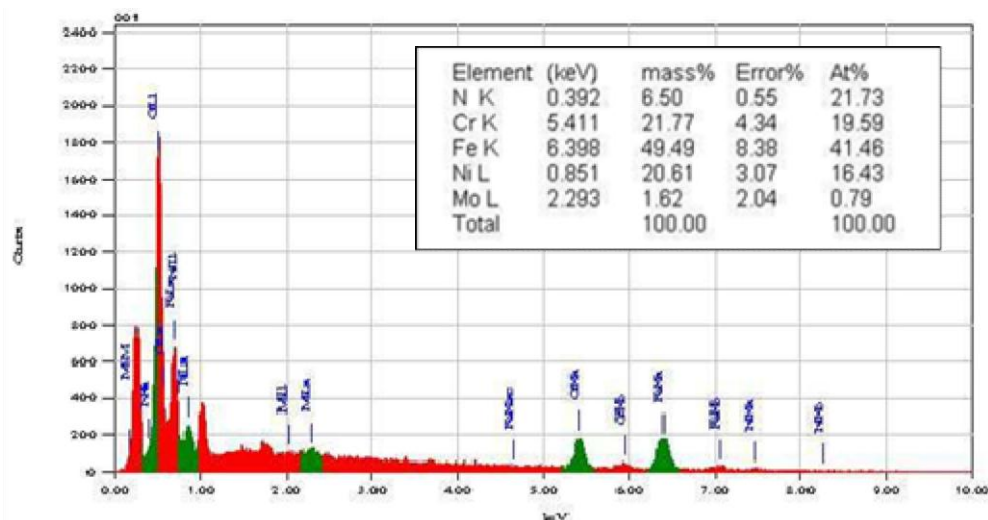
Gambar 3. Hasil uji EDS SS 316L setelah proses nitridasi plasma pada temperatur 350°C



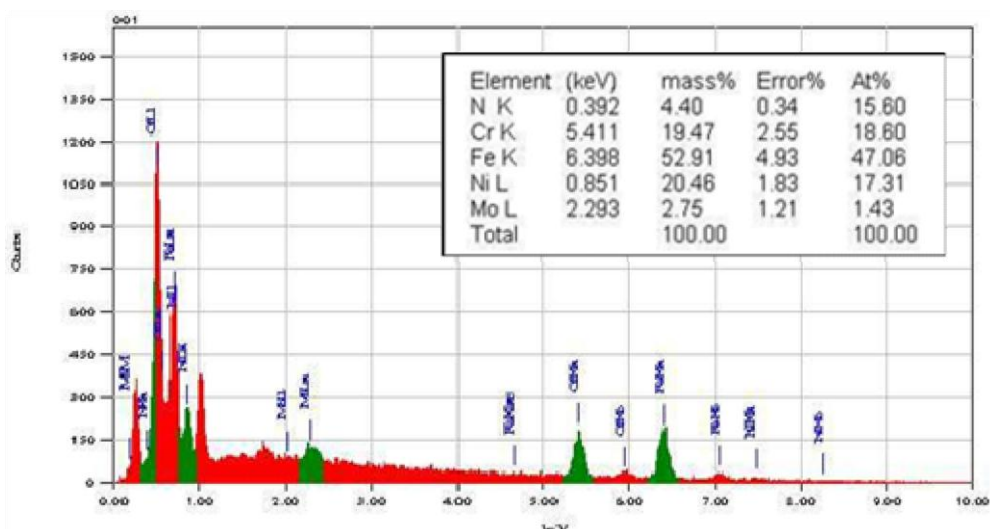
Gambar 4. Hasil uji EDS SS 316L setelah proses nitridasi plasma pada temperatur 400°C.



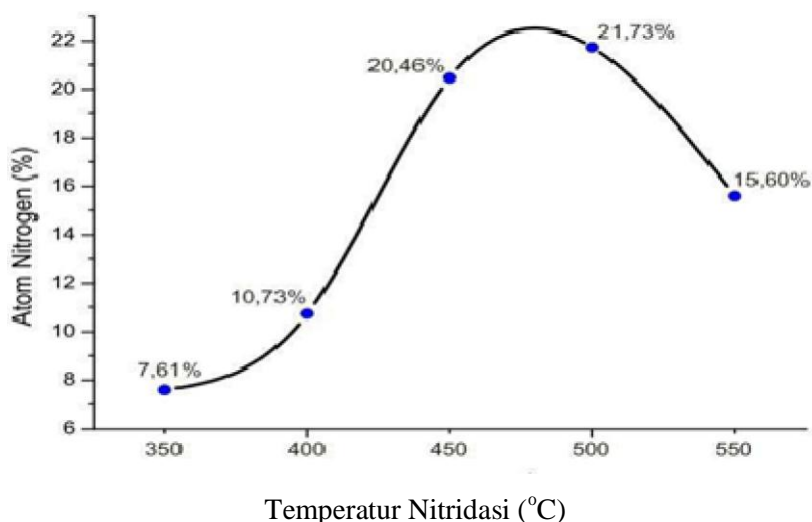
Gambar 5. Hasil uji EDS SS 316L setelah proses nitridasi plasma pada temperatur 450°C.



Gambar 6. Hasil uji EDS SS 316L setelah proses nitridasi plasma pada temperatur 500°C.



Gambar 7. Hasil uji EDS SS 316L setelah proses nitridasi plasma pada temperatur 550°C.



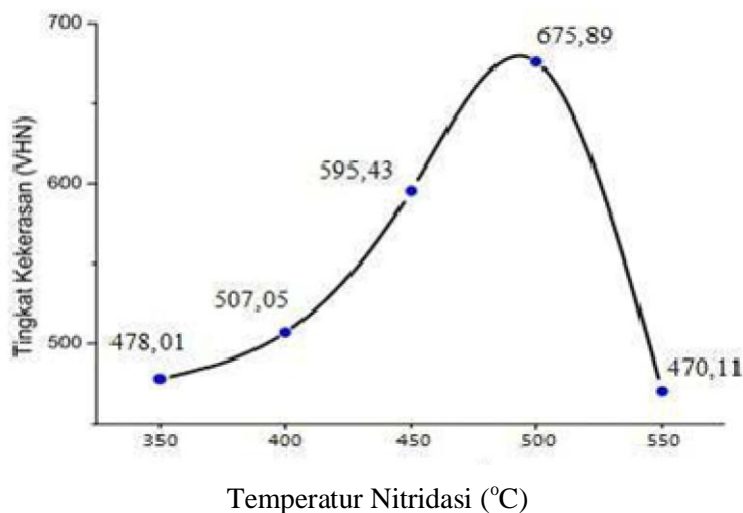
Gambar 8. Hubungan persentase atom nitrogen dengan temperatur nitridasi pada tekanan 1,8 mbar dan waktu nitridasi 3 jam pada nitridasi plasma SS 316L.

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan *Micro Hardness Tester* MMT-X7 Matsuzawa dengan beban 5 gf waktu indentasi 5 detik, setiap pengujian dilakukan pada 6 titik yang dipilih secara acak. Hasil uji kekerasan disajikan pada Gambar 9.

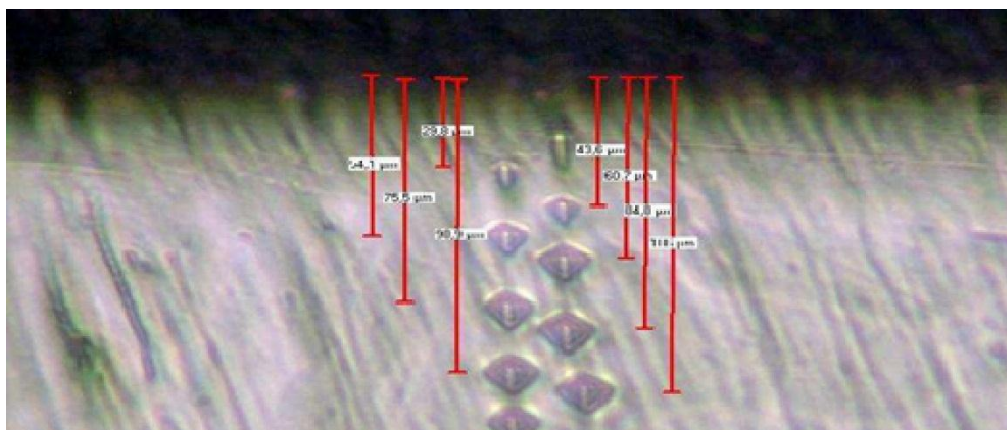
Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan optimum SS 316L adalah 675,89 VHN pada temperatur nitridasi 500°C, tekanan gas nitrogen 1,8 mbar dan waktu nitridasi 3 jam. Proses nitridasi plasma dapat menghasilkan lapisan tipis nitrida besi pada permukaan spesimen, struktur lapisan nitrida tersebut terutama dipengaruhi oleh temperatur nitridasi. Pada proses nitridasi fase yang mempengaruhi tingkat kekerasan adalah fase Fe-N (ASM Handbook, 2004). Berdasarkan diagram fasa Fe-N proses nitridasi pada temperatur nitridasi 350°C sampai dengan 550°C dengan persentase atom nitrogen antara 7 sampai dengan 21%, fase nitrida besi yang terbentuk adalah Fe₄N. Pada temperatur nitridasi yang masih rendah fasa Fe₄N yang terbentuk masih sangat sedikit sehingga nilai kekerasannya rendah. Ketika temperatur nitridasi dinaikkan maka lapisan Fe₄N yang terbentuk semakin banyak, nilai kekerasan untuk SS 316L meningkat dan mencapai optimum sekitar 675,89 VHN. Apabila temperatur nitridasi dinaikkan lagi di atas 550°C, nilai kekerasan spesimen justru menurun karena nitrogen akan berdifusi lebih dalam dan membentuk daerah difusi di bawah lapisan nitrida besi. Jika nilai kekerasan optimum spesimen SS 316L tersebut dibandingkan dengan nilai kekerasan spesimen SS 316L standar

408,2 VHN, maka terjadi peningkatan nilai kekerasan sekitar 65,5%. Profil kekerasan sebagai fungsi kedalaman penetrasi nitridasi plasma SS316L diamati menggunakan *Optilab Micoscope Digital* disajikan pada Gambar 10.

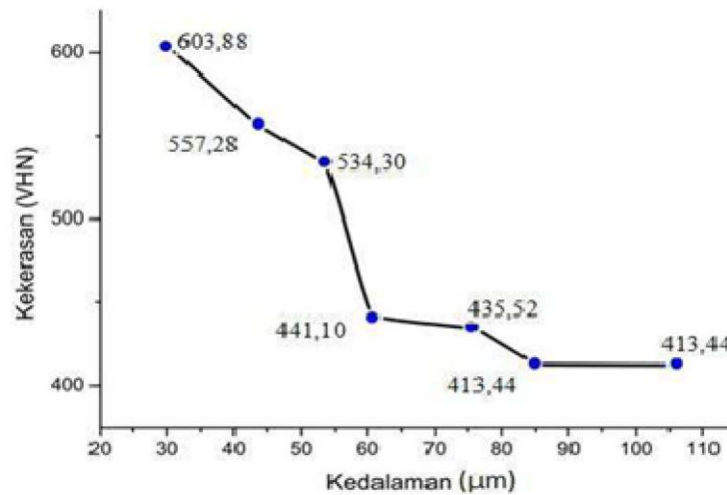
Gambar 11 menunjukkan bahwa semakin jauh jarak kedalaman penetrasi dari permukaan lapisan, maka kekerasannya semakin rendah dikarenakan kekerasan spesimen mendekati *base metal*. Sedangkan semakin dekat jarak kedalaman penetrasi dari permukaan lapisan, maka kekerasannya semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena proses difusi atom nitrogen menumbuk atom *base metal* sampai atom nitrogen kehabisan energi, kemudian atom nitrogen berikutnya akan menumbuk atom base metal dan atom nitrogen sebelumnya, sehingga terjadi penumpukan atom nitrogen dipermukaan spesimen SS 316L.



Gambar 9. Kekerasan SS 316L hasil nitridasi plasma pada tekanan 1,8 mbar dan waktu nitridasi 3 jam.



Gambar 10. Foto Mikro profil kekerasan sebagai fungsi kedalaman penetrasi nitridasi plasma SS316L setelah proses nitridasi 3 jam, tekanan 1,8 mbar pada temperatur 500°C.



Gambar 11. Profil kekerasan sebagai fungsi kedalaman penetrasi nitridasi plasma spesimen SS316L setelah proses nitridasi 3 jam, tekanan 1,8 mbar pada temperatur nitridasi 500°C.

4. Kesimpulan

1. Persentase atom nitrogen terbesar terjadi pada parameter nitridasi dengan waktu 3 jam, tekanan 1,8 mBar dan suhu 500°C sebesar 21,73%.
2. Nilai kekerasan SS 316L optimum sebesar 408,2 VHN terjadi pada temperatur nitridasi 500°C, waktu 3 jam dan tekanan 1,8 mBar. Jika dibandingkan dengan kekerasan SS 316L tanpa nitridasi yaitu sebesar 675,89 VHN maka terjadi peningkatan kekerasan yang cukup signifikan yaitu sebesar 65,5%.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada PTAPB-BATAN yang telah memfasilitasi penelitian ini secara menyeluruh.

Daftar Pustaka

- ASM Handbook Committee, 2004, *ASM Metals Handbook, Vol. 3, Phase Diagram*.
- RODRIGUEZ, B., ROMERO, A., SOTO, O., and de VARORNA, O., 2004, *Biomaterials for orthopedics*, Applications of Engineering Mechanics in Medicine, GED – University of Puerto Rico, Mayaguez, pp. 1-26.
- HANSEN, D.C., 2008, *Metal Corrosion in the Human Body: The Ultimate Bio-Corrosion Scenario*, The Electrochemical Society Interface, pp. 31-34.
- Konuma, M., 1992. *Film Deposition by Plasma Techiques*, Springer-Verlag, New York.
- LELY SUSITA R.M., 2010, *Penerapan Teknik Implantasi Ion Untuk Peningkatan Kekerasan Pada Pengembangan Material Untuk Prostetik*, Prosiding Seminar Akselerator BATAN.
- OLIVEIRA, et. al., 2003, *Effect of Temperature of Plasma Nitriding in AISI 316L Austenitic Stainless Steel*, Revista Brasileira de Aplicacoes de Vacuo, vol. 22, pp. 63-66.
- MUDALI, U.K. SRIDHAR, T.M., and RAJ, B., 2003, *Corrosion of bio implants*, Sadhana Vol. 28, pp. 601-637.
- SUDJATMOKO, 2010, *Penerapan Teknik Nitridasi Ion Pada Pengembangan Material Untuk Prostetik Yang Biokompatibel, Murah dan Kuat*, Laporan Riset Terapan, BATAN.