

PENELITIAN KEKERASAN PERMUKAAN PADA BAHAN STAINLESS STEEL 316L YANG DIKERASKAN DENGAN ALAT RF-PLASMA NITROCARBURIZING

U. Sudjadi⁽¹⁾, Tjipto Sujitno⁽²⁾, Suprpto⁽²⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314

2. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta 55281

E-mail: usmannunung@yahoo.com

(Naskah diterima tanggal: 05 April 2012, disetujui tanggal: 10 Mei 2012)

ABSTRAK

PENELITIAN KEKERASAN PERMUKAAN PADA BAHAN STAINLESS STEEL 316L YANG DIKERASKAN DENGAN ALAT RF-PLASMA NITROCARBURIZING. Kekerasan permukaan pada bahan *Stainless Steel 316L* yang dikeraskan dengan alat *RF-plasma nitrocarburizing* buatan BATAN telah diteliti. Beberapa sampel telah di-*nitrocarburizing* pada suhu 400°C selama (2-6) jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, pada sampel awal kekerasan bahan SS 316L adalah 230,7 Kgf/mm², setelah di-*nitrocarburizing* pada suhu 400 °C selama 6 jam, kekerasan menjadi 299,4 Kgf/mm². Selain itu kedalaman maximum atom-atom nitrogen dan carbon yang terdifusi kedalam bahan SS 316L adalah 73,1 mikrometer. Pengamatan strukturmikro menunjukkan bahwa pada sampel yang telah di-*nitrocarburizing* pada temperatur 400 °C selama 6 jam terlihat jelas adanya lapisan atom-atom N dan C di dalam bahan SS 316L. Sampel awal dan yang di-*nitrocarburizing* 400 °C (t= 6 jam) terdapat *matrix* yang sama yaitu δ -ferrite, *pearlite*.

Kata kunci: *nitrocarburizing*, *RF- plasma*, SS 316L, kekerasan, struktur mikro.

ABSTRACT

SURFACE HARDENING OF STAINLESS STEEL 316L WITH RF-PLASMA NITROCARBURIZING DEVICE. Surface hardening on stainless steel 316L with *RF-plasma nitrocarburizing* device made by BATAN have been investigated. Some samples was nitrocarburized at 400°C for 2-6 hours. The results show that the hardness of the untreated sample of SS 316L was 230,7 Kgf/mm². The hardness increased up to 299,4 Kgf/mm² for nitrocarburizing at 400°C for 6 hours. Furthermore, the maximum depth of carbon and nitrogen atoms diffused in SS 316L was 73,1 micrometer. Microstructure observation shows that the sample that was nitrocarburized at 400°C for 6 hours produced a very clear image indicating N and C atoms layers in SS316L. The un-treated sample and the sample that was nitrocarburized at 400°C (t = 6 hours) have the same matrixes, i.e. δ -ferrite and *pearlite*.

Keywords: *nitrocarburizing*, *RF- plasma*, SS316L, hardness, microstructure.

PENDAHULUAN

Dengan dana dari DIKTI dan RISTEK *research group* telah berhasil dibuat alat yang baru pertama kali di Indonesia yaitu alat *Radio Frequency (RF) Plasma Nitrocarburizing*. Kegunaan alat ini adalah untuk mengeraskan permukaan material pada seluruh komponen elemen mesin yang memerlukan ketahanan aus karena pada permukaan selalu bergesekan dengan komponen elemen mesin yang lain seperti *bearing*, poros, *gear*, piston, rel kereta api dan roda kereta api dan lain-lain. Alat ini dapat juga digunakan untuk mengeraskan permukaan komponen-komponen fasilitas nuklir maupun fasilitas *nuclear reactor for research* serta fasilitas PLTN. Komponen-komponen pada fasilitas nuklir dan PLTN yang harus dikeraskan permukaannya (*surface hardening*) yaitu bahan *conveyor di hot cell* pada fasilitas uji pasca iradiasi (*PIE-facility*), bahan *bearing* pada *turbine-generator*, bahan komponen pada pompa air pendingin pada *nuclear reactor*, bahan poros *blower exhaust*, bahan poros motor listrik, *system* hidrolik (mekanisme gerak) *lifting device* limbah dari *hotcell* 101 ke 102, *plunger* pada *pneumatic/ hydraulic system*, material dari *hydraulic system*, manipulator di *hotcell* dan lain sebagainya. Selain itu dapat juga untuk mengeraskan seluruh permukaan komponen di industri penerbangan dan perkapalan. Teknologi pengerasan permukaan (*surface hardening*) pada bahan telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan mempergunakan beberapa *technologies* ^[1-7]. *Technologies* tersebut melingkupi *plasma nitriding* dan *nitrocarburizing*, *plasma immersion implantation*, *ECR ion nitriding*, *RF-plasma nitriding* dan *nitrocarburizing*, *low pressure plasma assisted nitriding* dan *high current density ion beam nitriding* ^[8]. Di Indonesia telah dibuat beberapa alat *plasma nitriding* seperti *DC plasma nitriding* (*maximum temperature* hanya 500 °C) di PTAPB-BATAN Yogyakarta dan alat *nitrocarburizing* temperatur tinggi di Fakultas Teknik

Metalurgi Universitas Indonesia. *RF-plasma nitrocarburizing* saat ini telah dikembangkan oleh *research group*, di PTAPB-Yogyakarta, dimana hasil penelitian dilaporkan dalam paper ini. Seperti diketahui bahwa baja SS 316L adalah baja yang banyak juga dipakai di instalasi fasilitas nuklir, instalasi pengeboran minyak, pemipaan, *bearing*, piston, rel kereta api, beberapa komponen elemen mesin, pada alat transportasi dan lain-lain ^[9, 10]. Pada studi ini akan dilaporkan hasil penelitian *surface hardening* pada bahan SS316L pada temperatur 400 °C selama (2-6) jam dengan menggunakan alat *RF-plasma nitrocarburizing* buatan *research group* sendiri.

TATA KERJA

Sampel SS316L yang mempunyai dimensi (1x1x1) cm² dibersihkan dengan *distillation water*, *acetone*, kemudian sampel di-*nitrocarburizing* dengan alat *RF-plasma nitrocarburizing* buatan *research group* BATAN, pada temperatur 400 °C, dengan waktu yang bervariasi antara (2-6) Jam. Sampel selanjutnya di-*mounting*, *grinding*, *polishing* dan di-*etching* dengan HNO₃ (10 ml) + HCl (15 ml) + *Acetic Acid* (10 ml) dan *gliserin* (5 tetes). Sampel diuji kekerasan dengan kekerasan *Vicker's*, diamati struktur mikro dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) atau *optical microscope* serta diuji komposisi kimia dengan EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tentang pengaruh *nitrocarburizing* terhadap sifat kekerasan, struktur mikro, komposisi kimia di matrix pada material *stainless steel* 316L dapat dilihat pada gambar, angka/nilai dan grafik/kurva di bawah ini. Pengamatan sifat mekanik kekerasan *Vickers stainless steel* 316L yang mendapat perlakuan pengerasan permukaan dengan alat *RF-plasma*

nitrocarburizing dilakukan dengan metode *Vickers* menggunakan beban 300 grf.

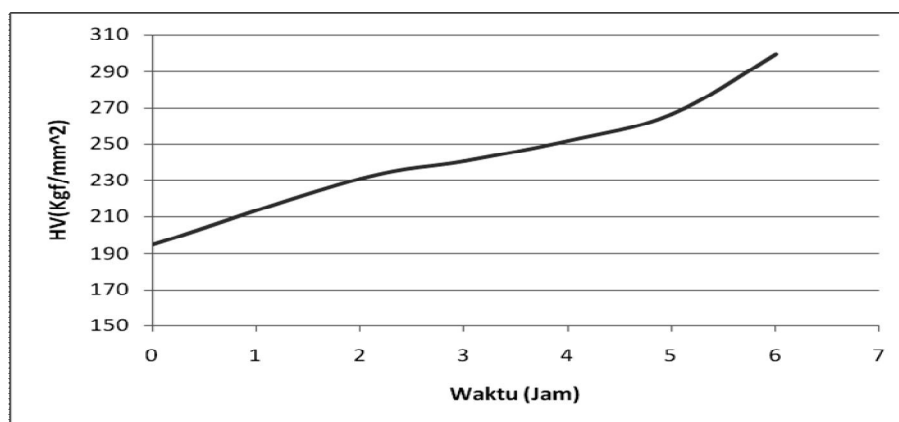
Pengujian pada *stainless steel* 316L yang mendapat perlakuan *RF-plasma nitrocarburizing* dilakukan untuk masing-masing sampel dengan 5 titik pengujian untuk bagian tepi dari *layer* (lapisan) *nitrocarburizing* hingga *base material* (bagian tengah atau inti) dengan jarak antara jejak 3 kali diagonal rata-rata. Nilai kekerasan *Vickers* dihitung menggunakan

persamaan berikut :

$$HV=1,854P/d^2$$

Dengan P adalah beban yang digunakan (Kgf), d adalah diagonal penjejakan rata-rata (mm).

Hasil uji kekerasan untuk sampel awal (0 jam) dan sesudah *nitrocarburizing* pada 400 °C, selama 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam, dapat dilihat pada Gambar 1.

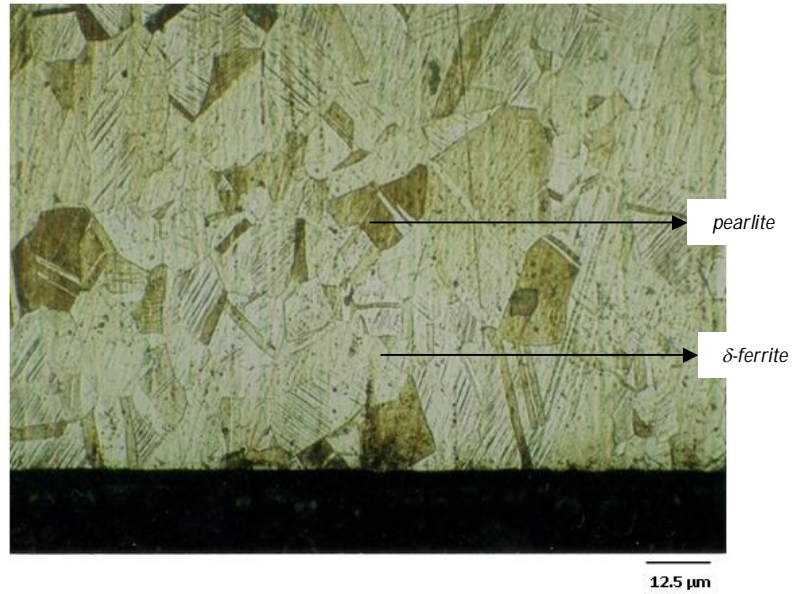


Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu (Jam) versus HV (Kgf/mm²).

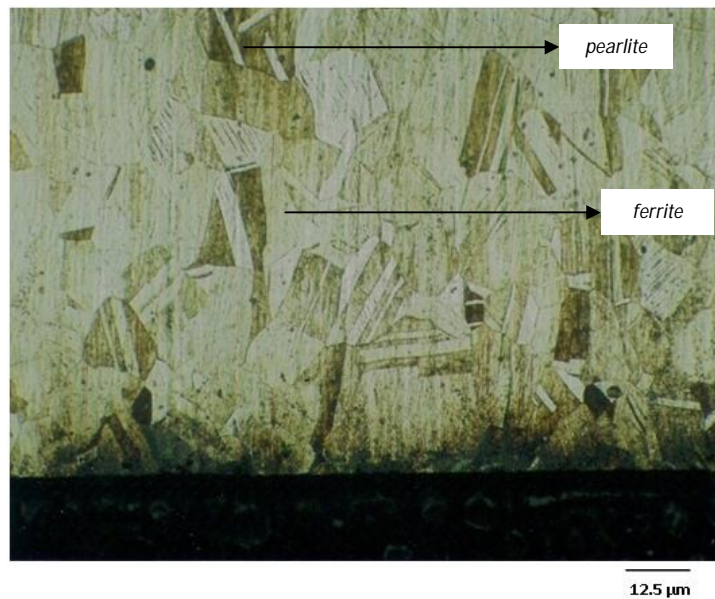
Berdasarkan hasil uji kekerasan *Vickers* pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan sampel *stainless steel* 316L awal 195 HV setelah mengalami perlakuan *RF-plasma nitrocarburizing* dengan waktu 2 jam adalah sebesar 230,7 kg/mm², waktu 3 jam adalah sebesar 240,4 kg/mm², waktu 4 jam adalah sebesar 251,8 kg/mm², waktu 5 jam sebesar 266,3 kg/mm² dan pada waktu tertinggi 6 jam nilai kekerasan yang diperoleh adalah 299,4 kg/mm². Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekerasan sampel pada permukaan setelah mengalami pengerasan permukaan dengan metode *RF-plasma nitrocarburizing* naik secara signifikan. Sementara pada inti material tetap

menunjukkan kekerasan yang relatif sama dengan *sampel* awal tanpa perlakuan. Tujuan pengerasan permukaan dengan metode ini berhasil untuk mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi dari sampel *stainless steel* 316L awal tanpa perlakuan.

Struktur mikro sampel awal dapat dilihat dengan mikroskop optik. Foto struktur mikro pada sampel awal dilakukan dengan perbesaran 200 kali, pada foto struktur mikro menunjukkan warna terang adalah *ferrite* (δ) dan warna gelap adalah *pearlite* ($\alpha+Fe_3C$). Pada sampel awal struktur *ferrite* lebih banyak dibandingkan dengan struktur *pearlite* karena struktur utamanya adalah *ferrite*.



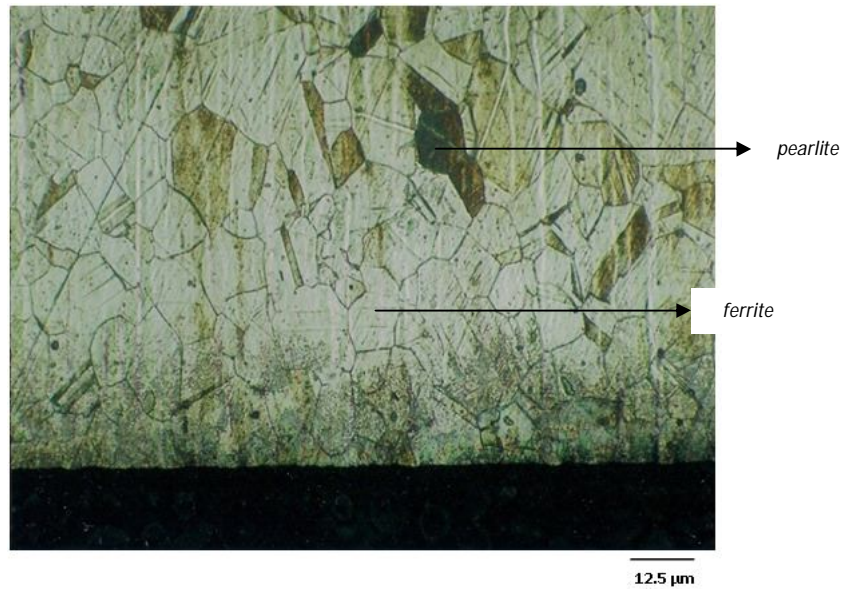
Gambar 2. Struktur mikro *Stainless Steel* 316L tanpa perlakuan *RF-Plasma Nitrocarburizing* perbesaran 200X.



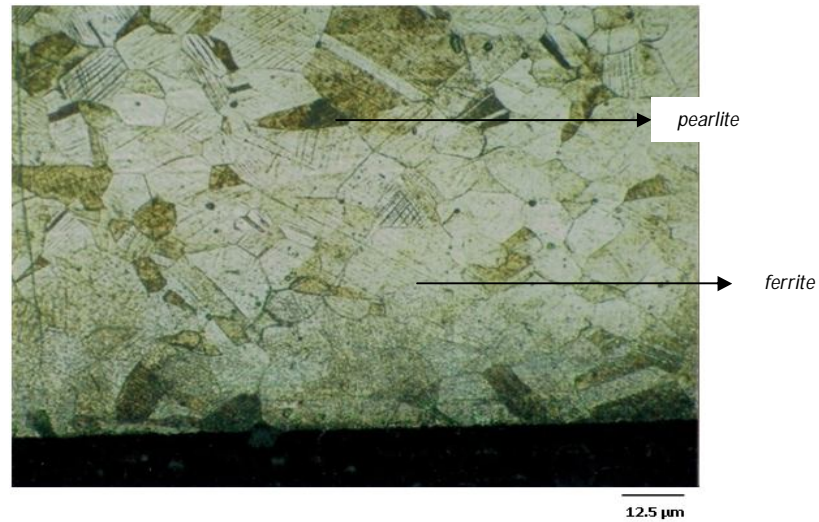
Gambar 3. Struktur mikro *Stainless Steel* 316L dengan perlakuan *RF-Plasma Nitrocarburizing* pada waktu 2 jam dan temperatur penahanan 400 °C perbesaran 200X.



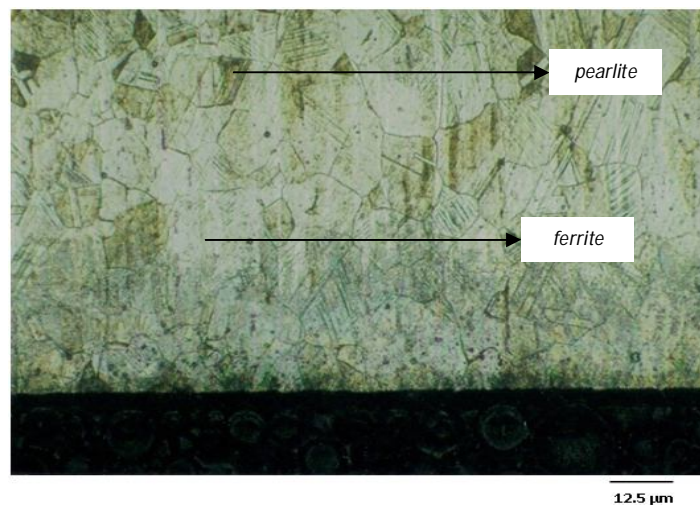
Gambar 4. Struktur mikro *Stainless Steel* 316L dengan perlakuan *RF-Plasma Nitrocarburizing* pada waktu 3 jam dan temperatur penahanan 400 °C perbesaran 200X.



Gambar 5. Struktur mikro *Stainless Steel* 316L dengan perlakuan *RF-Plasma Nitrocarburizing* pada waktu 4 jam dan temperatur penahanan 400 °C perbesaran 200X.



Gambar 6. Struktur mikro *Stainless Steel* 316L dengan perlakuan *RF-Plasma Nitrocarburizing* pada waktu 5 jam dan temperatur penahanan 400 °C perbesaran 200X.

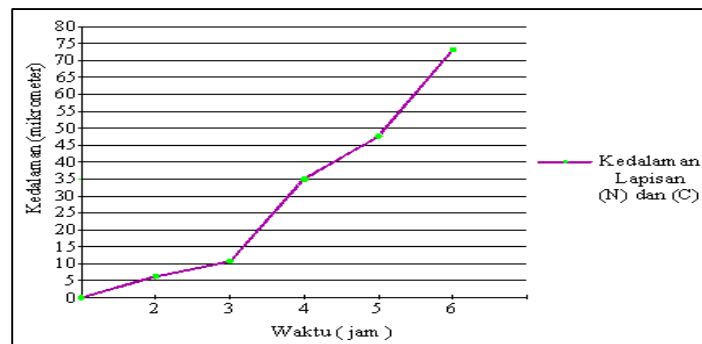


Gambar 7. Struktur mikro *Stainless Steel* 316L dengan perlakuan *RF-Plasma Nitrocarburizing* pada waktu 6 jam dan temperatur penahanan 400°C perbesaran 200X.

Hasil pengujian struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik perbesaran 200 kali, dapat memperlihatkan adanya fasa-fasa yang terbentuk. Berdasarkan diagram fasa, sampel *stainless steel* 316L awal dan yang mengalami perlakuan *nitrocarburizing* pada temperatur

400 °C dan waktu 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam mempunyai dua fasa yaitu *ferrite* (δ), *pearlite* ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)^[11-13].

Nilai kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) yang terdifusi setelah mengalami perlakuan *RF-plasma nitrocarburizing* dapat dilihat pada Gambar 8.

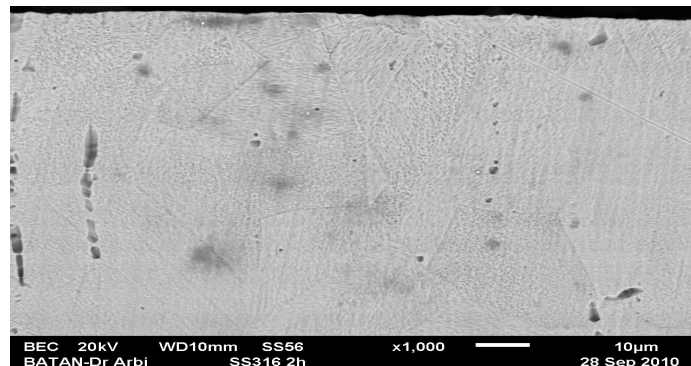


Gambar 8. Grafik hubungan antara waktu (Jam) versus kedalaman (*micrometer*) lapisan nitrogen (N) dan karbon (C) yang terdifusi.

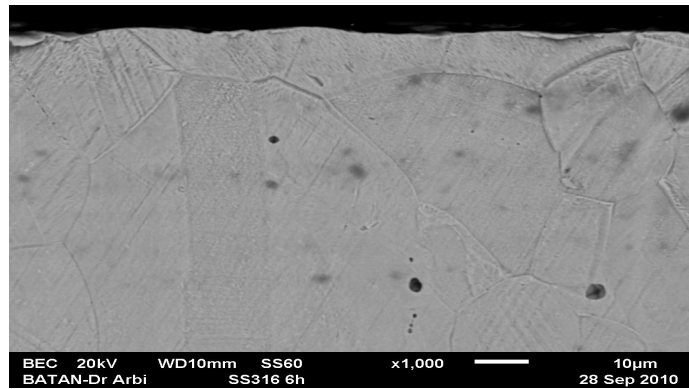
Gambar 8 menunjukkan nilai kedalaman lapisan nitrogen (N) dan karbon (C) yang terdifusi pada sampel *stainless steel* 316L yang mengalami proses *RF-plasma nitrocarburizing* mengalami kenaikan. Semakin tinggi temperatur perlakuan maka semakin tebal lapisan yang terbentuk. Hasil penelitian diperoleh kedalaman pada temperatur penahanan 400 °C dengan waktu pemanasan maksimum selama 6 jam sebesar 73,1 μm .

Berdasarkan hasil uji kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) pada Gambar 8 dapat diketahui bahwa nilai kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) sampel *stainless steel* 316L mengalami perlakuan *RF-plasma nitrocarburizing* dengan waktu 2 jam adalah sebesar 6,3 μm , waktu 3 jam adalah sebesar 10,8 μm , waktu 4 jam adalah sebesar 35,0 μm , waktu 5 jam

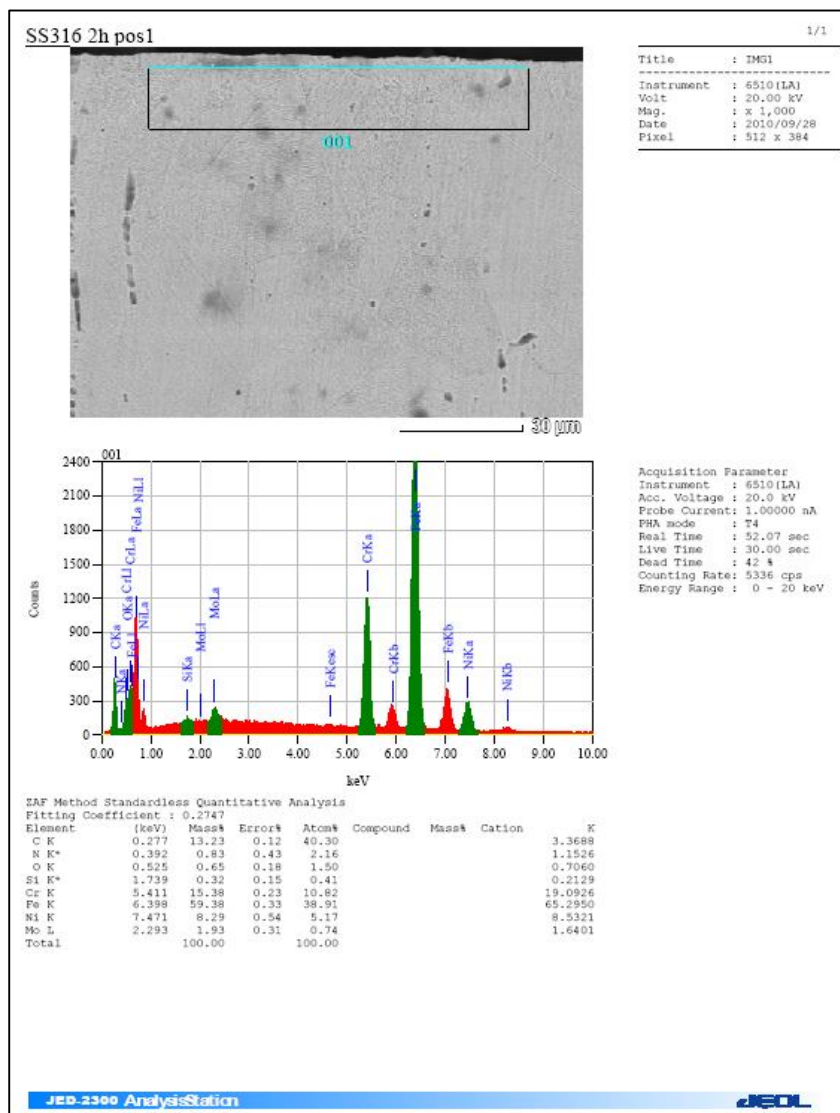
sebesar 47,7 μm , dan pada waktu tertinggi 6 jam nilai kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) yang diperoleh adalah 73,1 μm . Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa nilai kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) sampel *stainless steel* 316L pada permukaan setelah mengalami pengerasan permukaan dengan metode *RF-plasma nitrocarburizing* naik secara signifikan. Nilai kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) permukaan dengan metode ini berhasil untuk mendapatkan nilai kedalaman nitrogen (N) dan karbon (C) yang lebih tinggi dari sampel *stainless steel* 316L awal tanpa perlakuan. Hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) & *Energy Dispersiv X-ray Spectroscopy* (EDS) dapat dilihat pada gambar 9 sampai 12, dan grafik 13. Gambar 9 dan 11 adalah sampel awal. Gambar 10 dan 12 adalah sampel setelah di *nitrocarburizing* pada $T= 400^{\circ}\text{C}$, $t= 6$ jam.



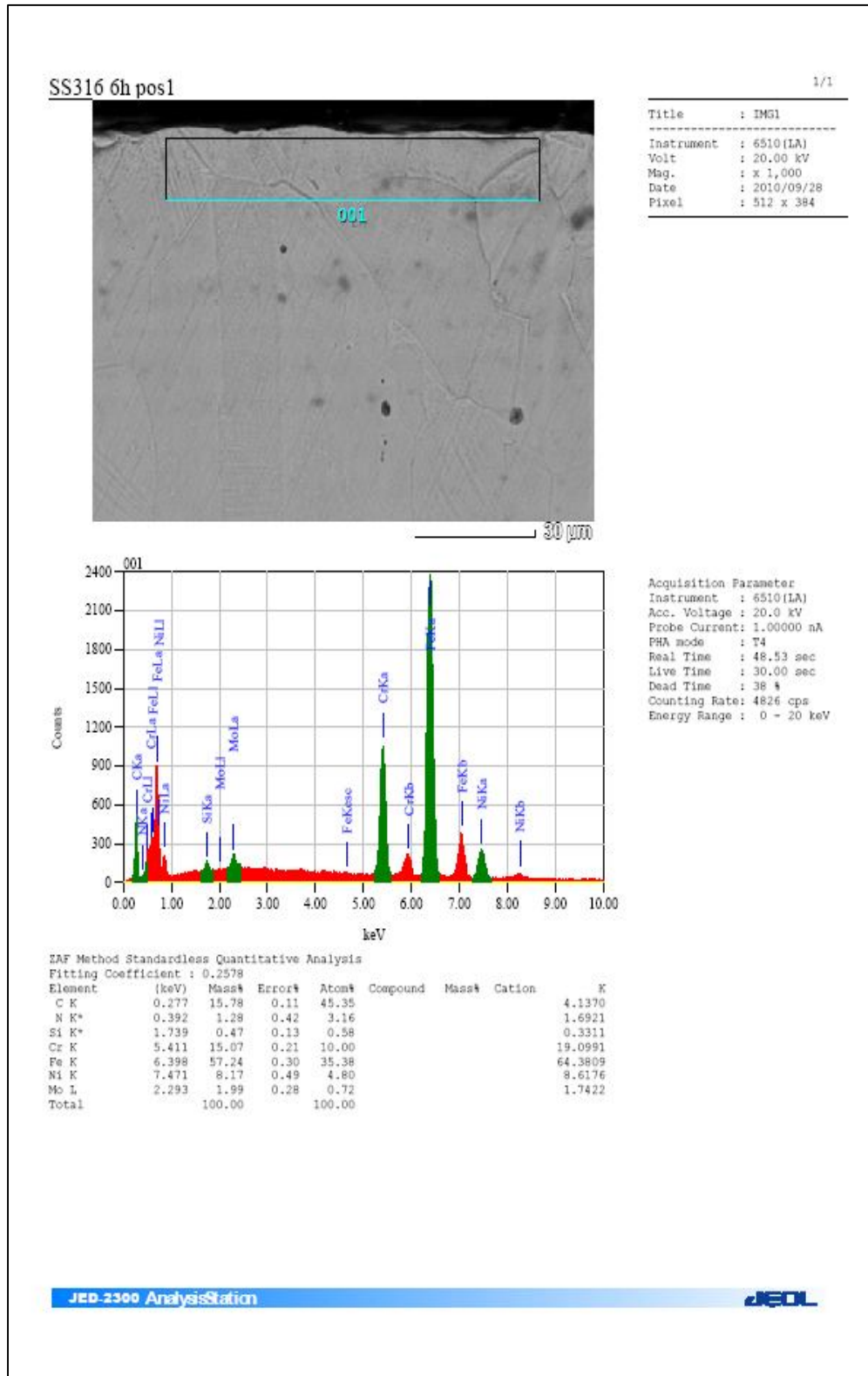
Gambar 9. Hasil foto SEM perbesaran 1000X sampel awal.



Gambar 10. Hasil foto SEM perbesaran 1000X pada waktu 6 jam.

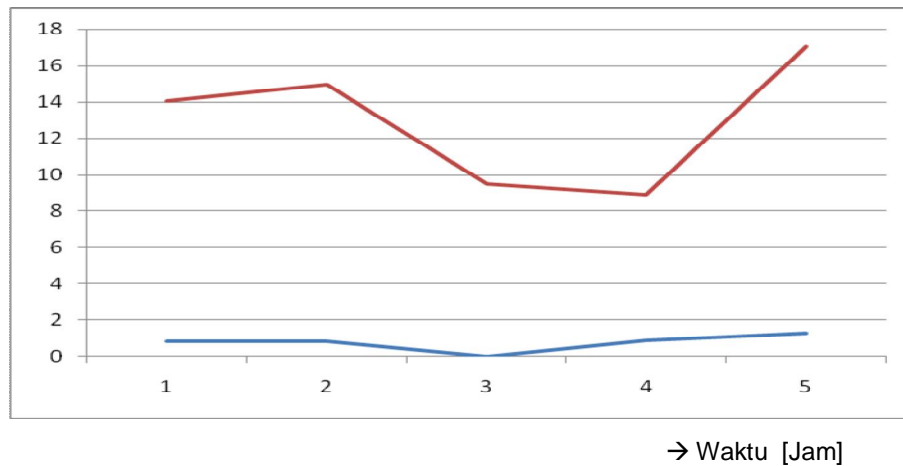


Gambar 11. Grafik hasil uji EDS sampel awal yang diambil pada posisi 1.



Gambar 12. Grafik hasil uji EDS pada waktu 6 jam yang diambil pada posisi 1.

Konsentrasi [%]



Gambar 13. Grafik konsentrasi versus waktu (atas carbon, bawah nitrogen).

Dari hasil pengujian komposisi kimia menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) pada masing-masing sampel dapat diketahui persentase karbon (C) dan nitrogen (N) yang terdifusi yaitu sampel dengan waktu 2 jam sebesar 13,23%, sampel dengan waktu 3 jam sebesar 14,15%, dan sampel dengan waktu 4 jam sebesar 9,51%, karbon (C). Sampel dengan waktu 5 jam karbon (C) yang terdifusi sebesar 8,03%. Sampel dengan waktu 6 jam karbon (C) yang terdifusi naik 15,78%. Unsur nitrogen (N) yang terdifusi yaitu: sampel dengan waktu 2 jam sebesar 0,83%, sampel dengan waktu 3 jam sebesar 0,83%, dan sampel dengan waktu 4 jam unsur nitrogen tidak terdeteksi. Sampel dengan waktu 5 jam nitrogen (N) yang terdifusi mengalami kenaikan menjadi 0,89%, kemudian pada sampel dengan waktu 6 jam nitrogen (N) yang terdifusi naik menjadi 1,28%. Data di atas terdapat kenaikan unsur nitrogen. Pada unsur karbon pada waktu 4 jam dan 5 jam mengalami penurunan karbon. Untuk mendapatkan data yang akurat sebaiknya ketika memakai alat EDS, mempergunakan metode *spot* untuk menembak x-ray ke matrik pada gambar SEM.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya yaitu: hasil pengujian kekerasan sampel menggunakan metode *Vickers* dengan sampel sebelum dan sesudah mengalami proses *nitrocarburizing* dengan variasi waktu yang berbeda menunjukkan peningkatan kekerasan sesuai dengan lamanya waktu proses. Semakin lama waktu maka kekerasannya semakin meningkat. Hasil pengujian struktur mikro dapat disimpulkan bahwa pada sampel awal tanpa mengalami proses *nitrocarburizing* dan sampel yang telah mengalami proses *nitrocarburizing* pada temperatur 400 °C sama-sama memiliki dua matriks, yaitu: *pearlite* dan δ -*ferrite*. Hasil pengukuran kedalaman *nitrocarburizing* (kedalaman nitrogen dan karbon) dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu sampel mengalami proses *nitrocarburizing* maka semakin dalam nitrogen dan karbon yang terdifusi pada permukaan sampel. Hasil pengujian struktur mikro dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian mikrostruktur menggunakan SEM (*Scanning*

Electron Microscopy) dengan perbesaran 1000 kali pada sampel awal tanpa mengalami proses *nitrocarburizing* dan sampel yang mengalami proses *nitrocarburizing* pada temperatur 400 °C dengan variasi selang waktu 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam, dan 6 jam sama-sama memiliki dua matriks yaitu *pearlite* dan δ -*ferrite*. Hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) terdapat kenaikan unsur nitrogen. Pada unsur karbon pada selang waktu 4 jam dan 5 jam mengalami penurunan karbon. Untuk mendapatkan data yang akurat sebaiknya ketika memakai alat EDS, mempergunakan metode *spot* untuk menembak x-ray ke matrik pada gambar SEM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ramchandani, A., Dennis, JK., (1988), Heat Treat. Met.2,34.
- [2]. Kliauge, A.M., Pohl, M., (1998), Coat Technol. 98, 1205.
- [3]. Collins, G.A., Hutchinga, R., (1995), Surf. Coat. Technol, 74-75, 417.
- [4]. Ensinger, W., (1998), Surf. Coat. Technol, 100-101, 341.
- [5]. Spalvins, T and Kovacs, W., (1990), Ion Nitriding and Ion Carburizing, ASM International, Oihio.
- [6]. Anonim, (1991), The Metallographic Laboratory Its Purpose, Function And Design Buehler, AB Apparatus For Microstructural Analysis Waukegan Road – Lake Bluff, Illindis USA 60044.
- [7]. Wang Liang, (2003), Applied Surface Science, 211, 308-314.
- [8]. Sudjadi, U., et al., (2010), Pengerasan Permukaan (surface Hardening) Material Dengan Teknologi Plasma Diskrit Aplikasi Pada Komponen Fasilitas Nuklir Dan PLTN, research report, Bidang Iptek Nuklir, DIKTI-RISTEK-BATAN, No; 06545/KS 00 01/2009 dan No: 08/D.PSIPTN/K/PPK-IPKPP/II/2010, riset Block Grant dan PKPP.
- [9]. Pat L. M., (1994), The Principles of Material Selection for Engineering Design, Prentice Hall.
- [10]. Sudjadi, U.; Kazumi Aoto, Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto, (2002), Observation of Microstructures of Ages SUS 304 By Using SEM and EDAX, research report, Advanced Material Department, Japan Nuclear Cycle Development Institute.
- [11]. Sudjadi, U., Kazumi Aoto, Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto, (2002), Measurement of Leakage Magnetic Flux Density on Aged SUS 304 (NON-ETCHED) with a FG-Sensor, research report, Advanced material Department, Japan Nuclear Cycle Development Institute.
- [12]. Sudjadi, U., Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto, Kazumi Aoto, (2002), The Relationship Between The Magnetic Properties And The Microstructures of Aged SUS 304, research report, Advanced Material Department, Japan Nuclear Cycle Development Indtitute.
- [13]. Kazumi Aoto, Sudjadi, U, Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto, (2002), A Study on Magnetization and Microstructure in Aged Stainless Steel With/Whithout Stress, Forum Maintenology Vol 1 No 1: 37-43.