

## **SURFACE HARDENING PADA BAHAN STAINLESS STEEL 304 DENGAN ALAT RF-PLASMA NITROCARBURIZING**

**U. Sudjadi<sup>(1)</sup>, Tjipto Sujitno<sup>(2)</sup>, Sigit<sup>(1)</sup>, Suprpto<sup>(2)</sup>, A. Purba<sup>(1)</sup>, Sayono<sup>(2)</sup>,  
H. Sudarmanto<sup>(2)</sup>, E. Mulyani<sup>(2)</sup>, W. Andriyanti<sup>(2)</sup>**

1) Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN

2) Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB)-BATAN

1) Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang selatan, 15314

2) Jalan Babarsari, Tambak Bayan, Yogyakarta, 55281

E-mail : [usmannunung@yahoo.com](mailto:usmannunung@yahoo.com)

(Naskah diterima : 24-12-2010, diproses : 12-01-2011)

### **ABSTRAK**

**SURFACE HARDENING PADA BAHAN STAINLESS STEEL 304 DENGAN ALAT RF-PLASMA NITROCARBURIZING.** *Surface hardening pada bahan Stainless Steel 304 dengan alat RF-plasma nitrocarburizing telah dikerjakan. Beberapa samples telah di-nitrocarburizing pada temperatur 400<sup>o</sup>C selama (0,5-6) jam. Hasilnya menunjukkan bahwa, pada sample awal kekerasan bahan SUS 304 adalah 260,58 Kgf/mm<sup>2</sup>, setelah di-nitrocarburizing pada temperatur 400<sup>o</sup>C selama 6 jam, kekerasannya menjadi 347,62 Kgf/mm<sup>2</sup>, sedangkan kedalaman maximum atom-atom nitrogen dan carbon yang terdifusi kedalam bahan SUS 304 ialah 109,1 micrometer. Pengamatan strukturmikro menunjukkan bahwa pada sample yang telah di nitrocarburizing pada temperatur 400<sup>o</sup>C selama 6 jam terlihat jelas adanya lapisan atom-atom N dan C di dalam bahan SUS 304. Samples awal dan yang dinitrocarburizing pada 400<sup>o</sup>C (t = 6 jam) terdapat matrix yang sama yaitu  $\gamma$ -phase,  $\delta$ -ferrite, dan twinning transformation.*

**Kata kunci :** Nitrocarburizing, RF- plasma, SUS 304, kekerasan, struktur mikro

### **ABSTRACT**

**SURFACE HARDENING ON STAINLESS STEEL 304 MATERIAL WITH RF-PLASMA NITROCARBURIZING.** *Surface hardening on stainless steel 304 material with RF-plasma nitrocarburizing made in BATAN have been carried out. Some samples was nitrocarburized at temperature 400<sup>o</sup>C for (0,5-6) hour. The results show that the hardness of untreated sample of SUS 304 material was 260,58 Kgf/mm<sup>2</sup>, after the sample nitrocarburized at temperature 400<sup>o</sup>C for 6 hour, the hardness increased up to 347,62 Kgf/mm<sup>2</sup>. Furthermore, the maximum depth of carbon and nitrogen atoms that diffused in SUS 304 was 109,1 micrometer. Microstructure observation shows that the sample after nitrocarburized at temperature 400<sup>o</sup>C for 6 hour to be seen very clear that there are layer of N and C atoms in SUS304 material. Un-treated sample and sample that nitrocarburized at temperatur 400<sup>o</sup>C (t = 6 jam) have same matrixes namely,  $\gamma$ -phase,  $\delta$ -ferrite, and twinning transformation.*

**Key words :** Nitrocarburizing, RF- plasma, SUS304, hardness, microstructure

## PENDAHULUAN

Indonesia telah banyak meng-*import* komponen-komponen elemen mesin dan fasilitas nuklir yang tahan aus, oleh karena itu penelitian ini dilakukan. Telah 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 permukaannya 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 di-*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, alat ini dapat juga digunakan untuk mengeraskan seluruh permukaan komponen di industri penerbangan dan perkapalan. Teknologi pengerasan permukaan (*surface hardening*) pada bahan telah dilakukan beberapa peneliti dengan mempergunakan beberapa *technologies* <sup>[1-6]</sup>. *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* <sup>[7]</sup>. 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* BATAN, di PTAPB-Yogyakarta, hasil penelitiannya dilaporkan dalam paper ini. Seperti diketahui bahwa baja SUS 304 adalah baja yang banyak dipakai di instalasi fasilitas nuklir, instalasi pengeboran minyak, pemipaan, *bearing*, piston, rel kereta api, beberapa komponen elemen mesin, pada alat transportasi dan lain-lain<sup>[8, 9]</sup>. Dalam paper ini akan dilaporkan hasil penelitian *surface hardening* pada bahan SUS304 pada temperatur 400°C selama (0,5-6) jam dengan alat *RF-plasma nitrocarburizing* buatan *research group* BATAN.

## METODE PENELITIAN

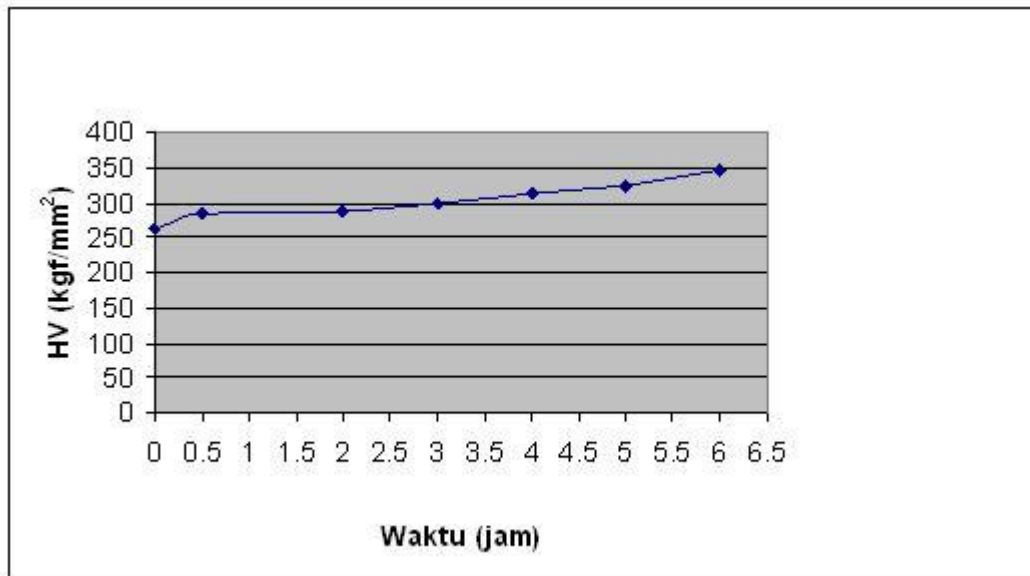
Material SUS 304 yang akan diteliti dipotong menjadi 7 *sample* dengan menggunakan mesin potong. Penandaan diberikan pada setiap *sample* sesuai dengan waktu proses *nitrocarburizing*. Penandaan terdiri dari: awal, A, B, C, D, E dan F, yang menyatakan waktu pada proses *nitrocarburizing* yaitu: 0,5 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Temperatur proses *nitrocarburizing* pada *samples* A sampai F adalah 400 °C. Kemudian *samples* di *nitrocarburizing* pada temperatur dan waktu seperti diatas. Gas nitrogen dan gas C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> dari tabung dialirkan menuju tabung *nitrocarburizing* yang telah divakumkan dan dipanaskan sehingga membentuk *plasma*. Bahan yang dikeraskan ditempatkan pada pemegang *sample* sebagai katoda kemudian *plasma* (ion-ion positif nitrogen dan carbon) ditarik dan dipercepat menuju *sample* oleh pengaruh medan listrik menggunakan tegangan tinggi sehingga ion-ion positif nitrogen dan ion-ion positif carbon yang terbentuk terdeposisi pada permukaan

sample. Ion-ion yang terdeposisi pada permukaan sample selanjutnya akan terdifusi dan membentuk lapisan maka terjadilah proses pengerasan permukaan. Setelah proses *nitrocarburizing* selesai maka samples, di *mounting*, *grinding*, *cleaning*, *polishing*, dan *etching*. Pengamatan mikro struktur dan kedalaman *nitrocarburizing* menggunakan alat *optical microscope* dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengujian komposisi kimia di dalam *matrix* menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan Vicker`s.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian dan perhitungan kekerasan Vicker`s dari penjejakan rata-rata dari *sample* awal dan *sample* setelah mengalami proses *nitrocarburizing* pada temperatur 400°C dengan waktu yang

berbeda yaitu: 0,5 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam, ditunjukkan pada Gambar 1. Pengujian kekerasan ini menggunakan beban penjejakan 300 grf dan waktu penjejakan 15 detik. Gambar 1 memperlihatkan bahwa material *Stainless Steel 304* memiliki nilai kekerasan *Vickers* yang berbeda pada masing-masing *sample* dengan waktu yang berbeda. Pada *sample* awal kekerasannya adalah 260,58 kgf /mm<sup>2</sup>. *Sample A* dengan waktu 0,5 jam kekerasannya adalah 283,41 kgf /mm<sup>2</sup>. *Sample B* dengan waktu 2 jam kekerasannya adalah 287,29 kgf /mm<sup>2</sup>. *Sample C* dengan waktu 3 jam kekerasannya adalah 298,03 kgf /mm<sup>2</sup>. *Sample D* dengan waktu 4 jam kekerasannya adalah 313,81 kgf /mm<sup>2</sup>. *Sample E* dengan waktu 5 jam mempunyai kekerasan sebesar 324,51 kgf /mm<sup>2</sup>. Kekerasan *sample F* dengan waktu 6 jam adalah 347,62 kgf /mm<sup>2</sup>.



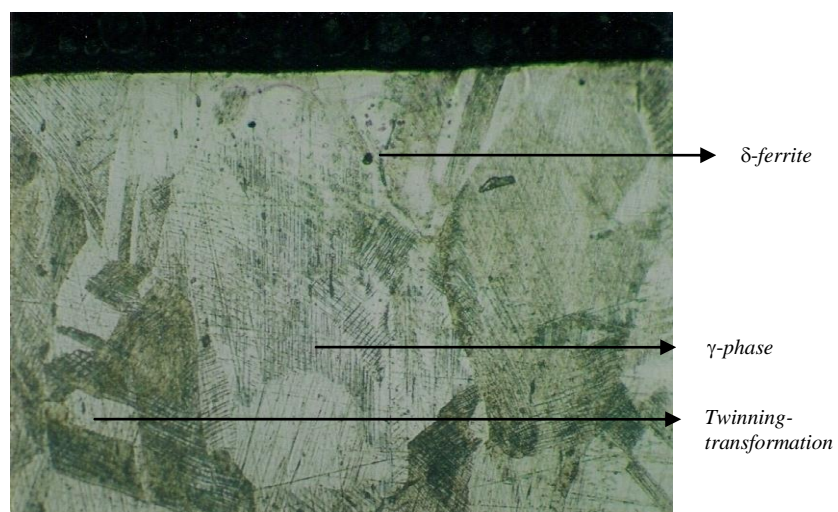
Gambar 1. Grafik kekerasan *Vickers* diagonal penjajakan rata-rata

Pada proses *nitrocarburizing* menunjukkan bahwa dengan kenaikan waktu, mengakibatkan permukaan material yang di

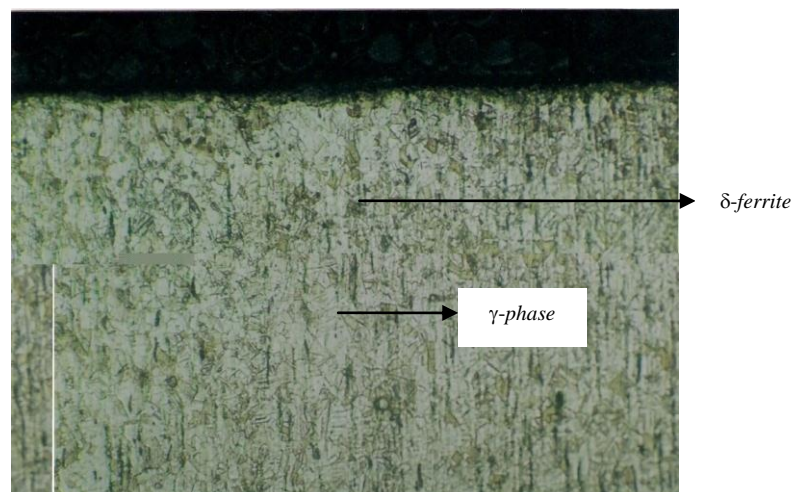
*nitrocarburizing* menjadi semakin keras. Kenaikan kekerasan tersebut karena waktu yang lama dan mengakibatkan banyak atom-

atom nitrogen dan carbon yang berdifusi kedalam bahan. Gambar 1 memperlihatkan bahwa kekerasan terendah terdapat pada *sample* awal yang belum mengalami proses *nitrocarburizing*, sedangkan kekerasan tertinggi terdapat pada *sample* yang telah mengalami proses *nitrocarburizing* selama 6 jam. Hasil pengujian mikrostruktur (dengan *optical microscope*) sebelum dan setelah mengalami proses *nitrocarburizing* dengan

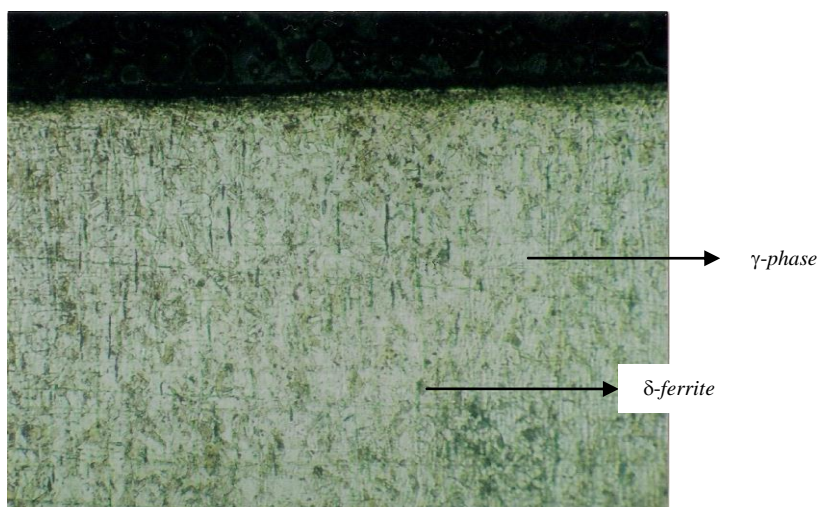
waktu 0,5 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam pada temperatur masing-masing 400°C dengan pembesaran 200 kali ditunjukkan pada Gambar 2-8. Gambar 2-8 memperlihatkan mikrostruktur memiliki tiga *matriks* yaitu: *twinning transformation*,  $\gamma$ -*phase* yang memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dan  $\delta$ -*ferrite* yang memiliki struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*)<sup>[10]</sup>.



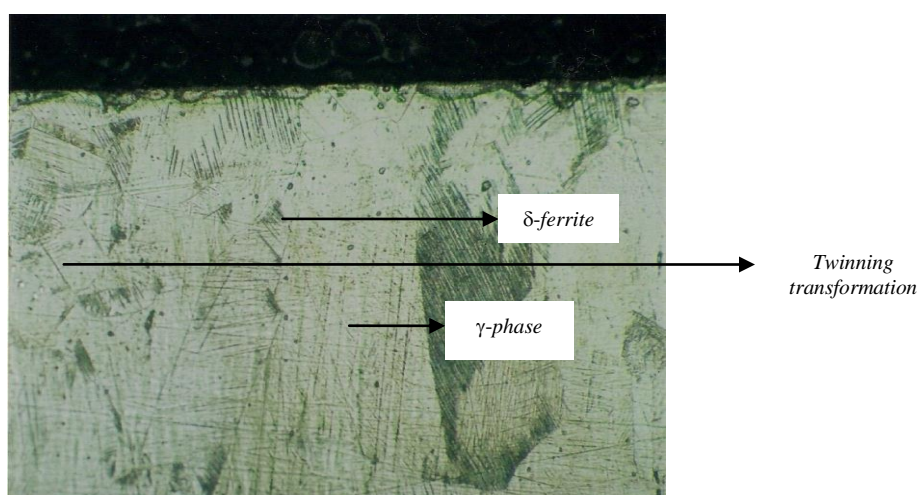
Gambar 2. Mikrostruktur *Stainles Steel* 304 awal dengan pembesaran 200 kali.



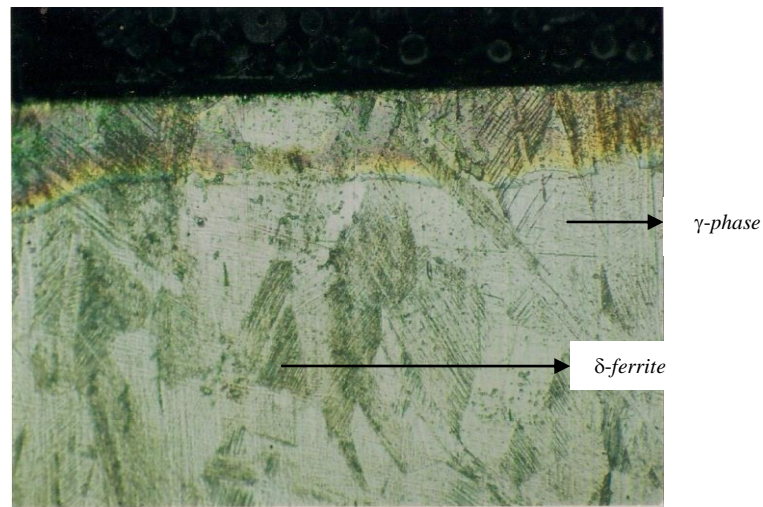
Gambar 3. Mikrostruktur *Stainles Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 0,5 jam dengan pembesaran 200 kali.



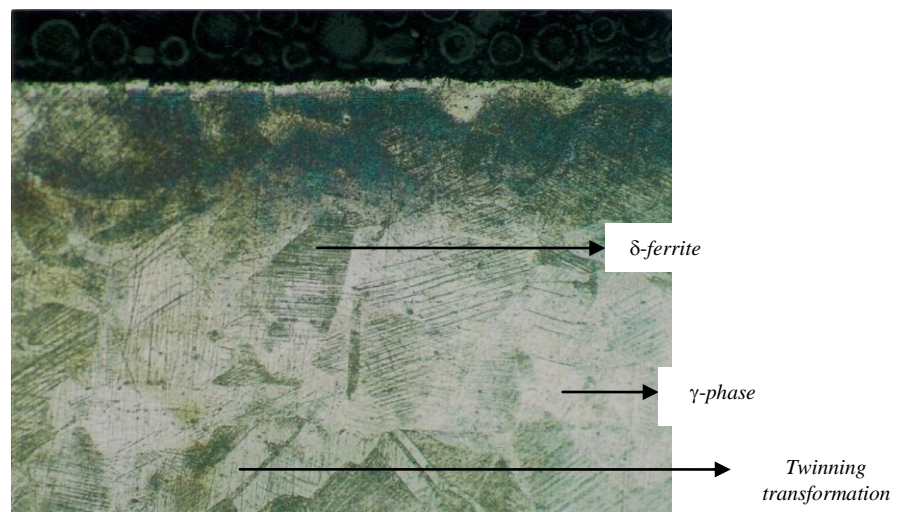
Gambar 4. Mikrostruktur *Stainles Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 2 jam dengan pembesaran 200 kali.



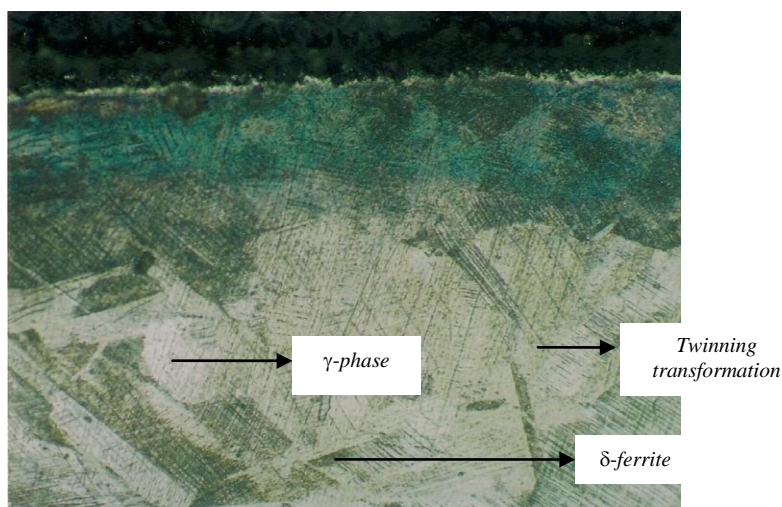
Gambar 5. Mikrostruktur *Stainles Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 3 jam dengan pembesaran 200 kali



Gambar 6. Mikrostruktur *Stainles Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 4 jam dengan pembesaran 200 kali.

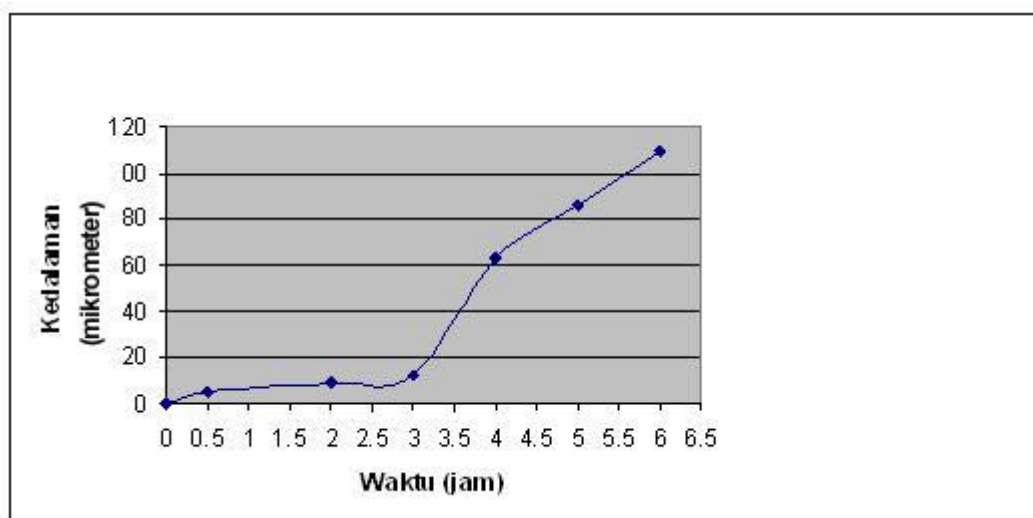


Gambar 7. Mikrostruktur *Stainles Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 5 jam dengan pembesaran 200 kali.



Gambar 8. Mikrostruktur *Stainless Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 6 jam dengan pembesaran 200 kali

Hasil dari pengukuran kedalaman *nitrocarburizing* pada permukaan *sample* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik kedalaman *nitrocarburizing* (kedalaman nitrogen dan karbon)

Hasil pengukuran kedalaman *nitrocarburizing* (kedalaman nitrogen dan

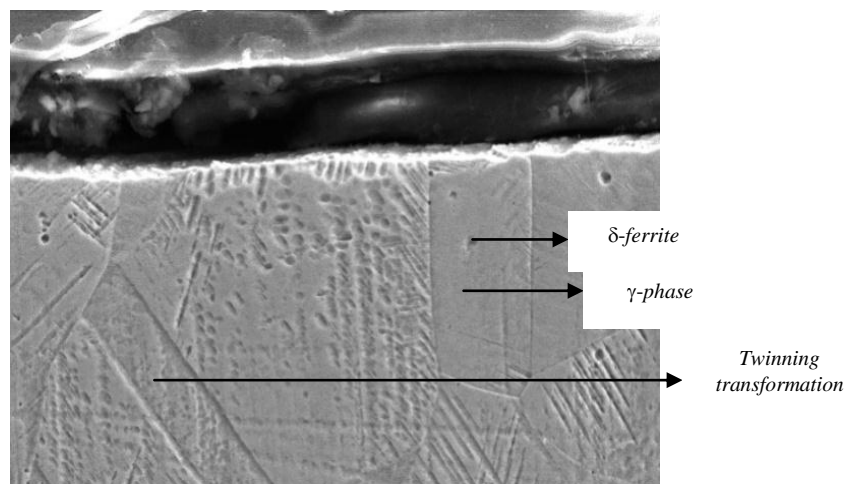
karbon) pada *sample Stainless Steel* 304 ditunjukkan pada Table 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran kedalaman *nitrocarburizing*

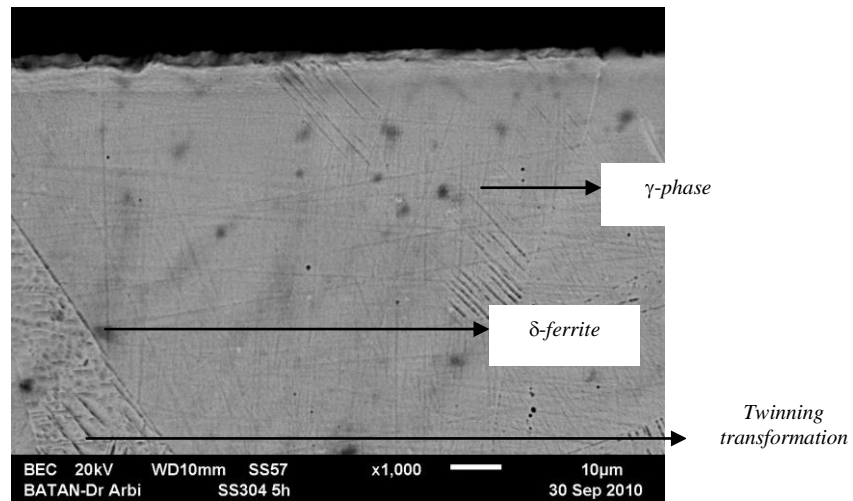
Kode Sample	Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Kedalaman Nitrocarburizing ( $\mu\text{m}$ )
Awal	0	0	0
A	400	0,5	4,5
B	400	2	9
C	400	3	11,8
D	400	4	63,6
E	400	5	86,3
F	400	6	109,1

Hasil pengujian mikrostruktur dengan menggunakan SEM pada *sample* awal dan setelah mengalami proses *nitrocarburizing*

dengan waktu 6 jam pada temperatur 400°C dengan pembesaran 1000 kali dapat dilihat pada Gambar 10-14:

Gambar 10. Struktur mikro *Stainless Steel* 304 awal dengan pembesaran 1000 kali



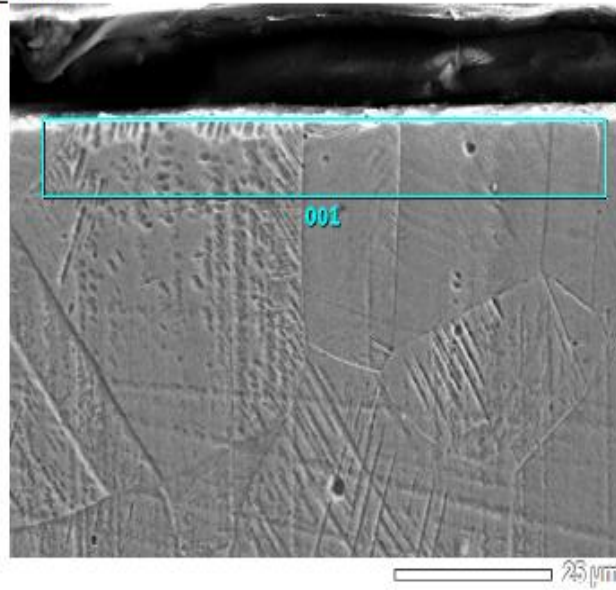


Gambar 11. Mikrostruktur *stainless Steel* 304 pada temperatur 400°C dan waktu 6 jam dengan pembesaran 1000 kali

Hasil pengujian mikrostruktur dengan SEM pada Gambar 10 dan 11 memperlihatkan *sample* yang tanpa mengalami dan setelah mengalami proses *nitrocarburizing* pada temperatur 400°C, selama 6 jam sama-sama memiliki tiga matriks yaitu *twinning transformation*,  $\gamma$ -*phase* yang memiliki struktur kristal FCC dan  $\delta$ -*ferrite* yang memiliki struktur kristal BCC [10]. Data hasil pengamatan dengan SEM ini mendukung data

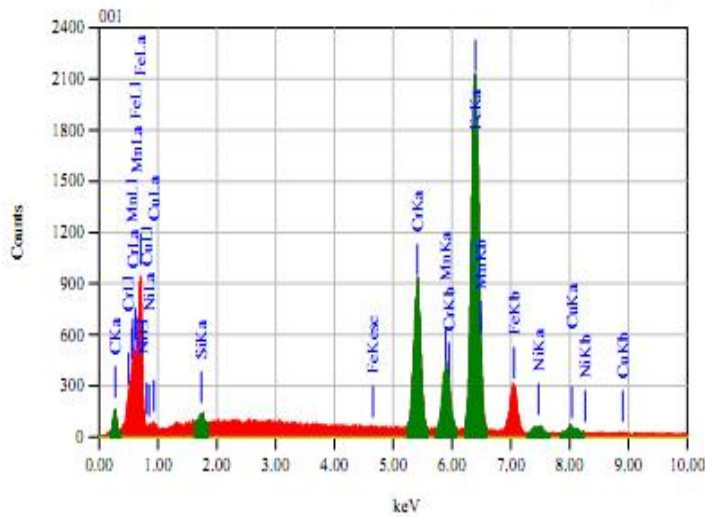
pengamatan dengan *optical microscope*. Hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan EDS pada *sample* awal dan setelah mengalami proses *nitrocarburizing* selama 6 jam pada temperatur masing-masing 400°C, dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13. Gambar 14. menunjukkan grafik konsentrasi atom-atom nitrogen dan karbon yang terdifusi pada permukaan *Stainless Steel* 304, pada variasi waktu.

Reference



1/1

Title	: IMG1
Instrument	: BS10 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,300
Date	: 2010/04/29
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument	: BS10 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T4
Real Time	: 45.81 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 34 %
Counting Rate	: 4140 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

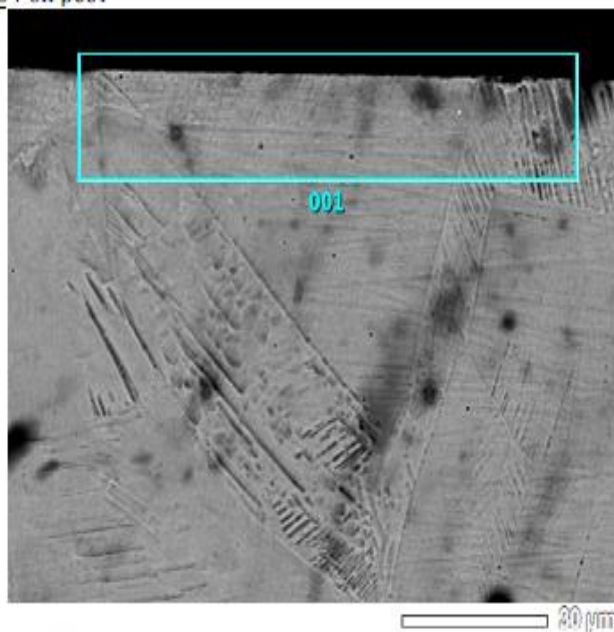
EDS Method Standardless Quantitative Analysis  
Fitting Coefficient : 0.1955

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	Z
C K	0.277	5.79	0.09	21.95				1.4022
Si K*	1.739	0.55	0.11	0.89				0.3375
Cr K	5.411	15.79	0.16	13.83				18.9830
Mn K	5.894	7.34	0.22	6.09				7.5936
Fe K*	6.398	58.82	0.23	54.34				58.4175
Ni K*	7.471	1.62	0.39	1.26				1.5429
Cu K	8.040	2.29	0.51	1.64				2.1231
Total		100.00		100.00				

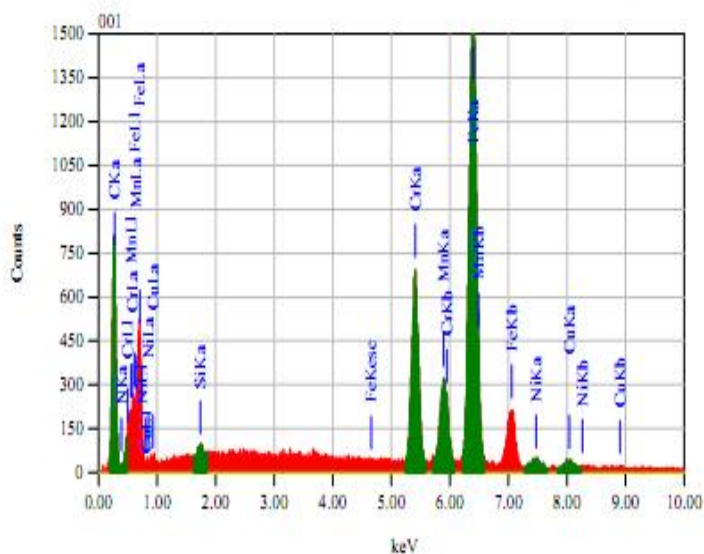
Gambar 12. Lokasi penembakan dan grafik hasil pengujian EDS *sample awal Stainless Steel 304*

SS304 6h pos1

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 8510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/09/30
Pixel	: 512 x 384

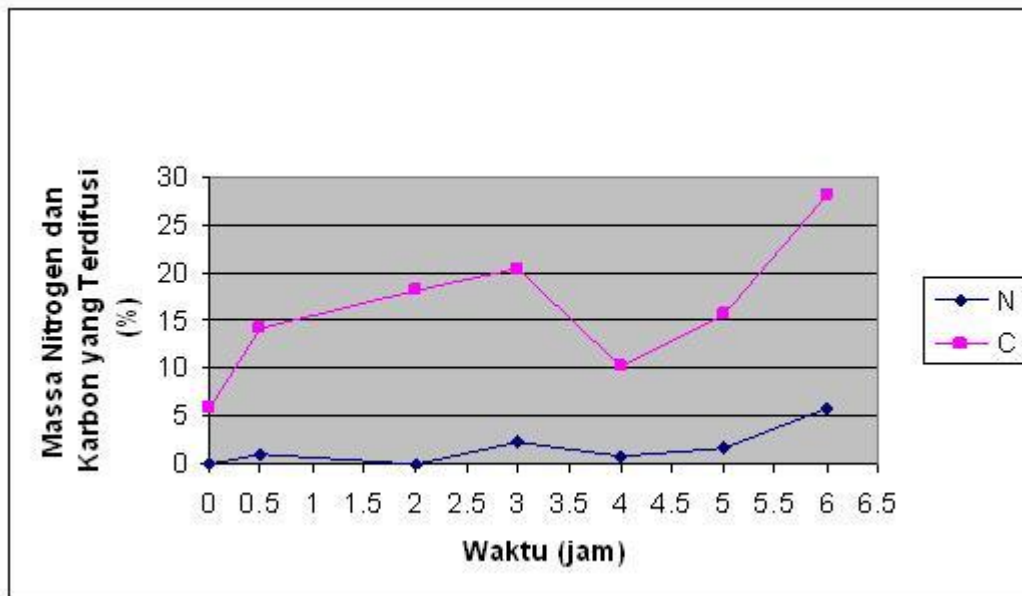


Acquisition Parameter	
Instrument	: 8510 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T4
Real Time	: 41.39 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 27 %
Counting Rate	: 3131 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
 Fitting Coefficient : 0.2828

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	Z
C	K	0.277	28.03	0.09	59.09			6.6439
N	K*	0.392	9.76	0.55	10.42			6.4482
Si	K*	1.739	0.39	0.12	0.35			0.3225
Cr	K	5.411	11.19	0.21	5.45			15.8287
Mn	K	5.894	5.16	0.28	2.38			6.4397
Fe	K	6.398	46.89	0.30	21.26			59.3613
Ni	K*	7.471	1.09	0.49	0.47			1.2767
Cu	K	8.040	1.48	0.65	0.59			1.6790
Total		100.00		100.00				

Gambar 13. Lokasi penembakan dan grafik hasil pengujian EDS *sample* dengan waktu 6 jam pada temperatur 400°C.



Gambar 14. Grafik atom-atom nitrogen dan karbon yang terdifusi pada permukaan *Stainless Steel* 304

Hasil pengujian komposisi kimia menggunakan EDS pada masing-masing *sample* dapat diketahui persen karbon (C) dan nitrogen (N) yang terdifusi yaitu pada *sample* awal terdapat adanya unsur karbon (C) sebesar 5,79 %, *sample* A dengan waktu 0,5 jam sebesar 14,07 %, *sample* B dengan waktu 2 jam sebesar 18,15 %, dan *sample* C dengan waktu 3 jam sebesar 20,35 %, karbon (C) yang terdifusi mengalami kenaikan. Tetapi pada *sample* D dengan waktu 4 jam karbon (C) yang terdifusi mengalami penurunan sebesar 10,15 % dari 20,35 % menjadi 10,20 %, kemudian pada *sample* E dengan waktu 5 jam karbon (C) yang terdifusi naik kembali sebesar 5,37 % dari 10,20 % menjadi 15,57 %, selanjutnya pada *sample* F dengan waktu 6 jam karbon (C) yang terdifusi semakin naik menjadi 28,03 % dari 15,57 %, kenaikannya sebesar 12,46 %. Sementara itu, unsur nitrogen (N) yang terdifusi yaitu: pada *sample* awal unsur nitrogen (N) tidak terdeteksi, *sample* A dengan waktu 0,5 jam sebesar 0,99 %, *sample* B dengan waktu 2 jam unsur nitrogen (N) tidak terdeteksi, dan *sample* C dengan waktu 3 jam sebesar 2,36 %, Tetapi

pada *sample* D dengan waktu 4 jam nitrogen (N) yang terdifusi mengalami penurunan sebesar 1,48 % dari 2,36 % menjadi 0,88 %, kemudian pada *sample* E dengan waktu 5 jam nitrogen (N) yang terdifusi naik kembali sebesar 0,81 % dari 0,88 % menjadi 1,69 %, selanjutnya pada *sample* F dengan waktu 6 jam karbon yang terdifusi semakin naik menjadi 5,76 % dari 1,69 %, kenaikannya sebesar 4,07 %. Dari data diatas terdapat beberapa penurunan karbon (C) dan nitrogen (N), bahkan pada *sample* awal dan pada *sample* B dengan waktu 2 jam unsur nitrogen tidak terdeteksi. Dengan adanya penurunan karbon (C) dan nitrogen (N) serta tidak terdeteksinya nitrogen ini pada proses nitrocarburizing 4 jam dan 5 jam grafik menjadi turun, seharusnya grafik selalu naik. Hal ini disebabkan kemungkinan besar pada waktu melakukan pengujian EDS titik tembaknya tidak pas pada *layer* (lapisan permukaan) dan bentuk tembakan EDS-nya bukan berbentuk *spot* melainkan berbentuk *square* (lihat Gambar 14).

## SIMPULAN

Hasil pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* dengan *sample* sebelum dan sesudah mengalami proses *nitrocarburizing* dengan variasi waktu yang berbeda menunjukkan peningkatan sesuai dengan lamanya waktu proses. Semakin lama waktu maka kekerasannya semakin meningkat. Semua *samples* mempunyai tiga matriks, yaitu *twinning transformation*,  $\gamma$ -*phase* dan  $\delta$ -*ferrite*. Semakin lama waktu proses *nitrocarburizing* maka semakin dalam nitrogen dan karbon yang berdifusi pada permukaan *sample*. Penurunan karbon dan nitrogen serta tidak terdeteksinya nitrogen pada proses *nitrocarburizing* selama 4 jam dan 5 jam karena pada waktu melakukan pengujian EDS titik tembaknya tidak tepat pada *layer* (lapisan permukaan) dan bentuk tembak EDS-nya bukan berbentuk *spot* melainkan berbentuk *square*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. RAMCHANDANI, DENNIS (1988). *Heat Treat. Met.* 2, 34,.
- [2]. KLIAUGE, POHL (1998). *Coat Technol.* 98, 1205,
- [3]. COLLINS, HUTCHINGA (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 Aand Ion Carburizing, ASM International, Oihio,*
- [6]. KAMENICHNY, I., (1990). *Heat Treatment, Moscow,*
- [7]. WANG LIANG, (2003). *Applied Surface Science*, 211, 308-314,
- [8]. SUDJADI, U., et al., (2009 dan 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.