

# **PENGARUH NITROCARBURIZING DC-PLASMA TEMPERATUR (550-700)<sup>o</sup>C TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN PERMUKAAN DAN MIKROSTRUKTUR PADA BAHAN SUS 304**

**Usman Sudjadi**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN

Kawasan PUSPIPTEK, Serpong Tangerang 15314

E-mail : usmannunung@yahoo.com

(Naskah diterima : 25-8-2010, disetujui : 22-9-2010)

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH NITROCARBURIZING DC-PLASMA TEMPERATUR (550-700)<sup>o</sup>C TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN PERMUKAAN DAN MIKROSTRUKTUR PADA BAHAN SUS 304**

Beberapa *samples* telah di *nitrocarburizing* pada temperatur (550 – 700) <sup>o</sup>C selama 1 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa, pada *sample* awal kekerasan bahan SUS 304 adalah 260,718 Kgf/mm<sup>2</sup>, setelah di *nitrocarburizing* pada temperatur 700 <sup>o</sup>C selama 1 jam, kekerasannya menjadi 279,88 Kgf/mm<sup>2</sup>, sedangkan kedalaman maximum atom-atom nitrogen dan carbon yang terdifusi kedalam bahan SUS 304 ialah 3,4 *micrometer*. Pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa pada *sample* yang telah di *nitrocarburizing* pada T = 700 <sup>o</sup>C (t= 1 jam) terlihat jelas adanya lapisan atom-atom N dan C di dalam bahan SUS 304. Pada *sample* awal terdapat *matrix*  $\gamma$ -*phase*,  $\delta$ -*ferrite*, dan *twinning transformation*. Pada *samples* yang di *nitrocarburizing* pada T > 550<sup>o</sup>C mempunyai *matrix*  $\gamma$ -*phase*,  $\delta$ -*ferrite*,  $\sigma$ -*phase*, *carbide* dan *twinning transformation*.

**Kata kunci** : *Nitrocarburizing*, *DC plasma*, SUS 304, kekerasan, dan mikrostruktur.

## **ABSTRACT**

**INFLUENCE OF NITROCARBURIZING DC PLASMA TO HARDNESS AND MICROSTRUCTURE CHANGE ON SUS 304 MATERIAL APPARATUS.** *Some samples were nitrocarburized at temperature (550-700) <sup>o</sup>C for 1 hour. The results shows that the hardness untreated sample of SUS 304 material was 260,718 Kgf/mm<sup>2</sup>, after the sample nitrocarburized at temperature 700 <sup>o</sup>C for 1 hour, the hardness increasing to be 279,88 Kgf/mm<sup>2</sup>, furthermore maximum depth of carbon and nitrogen atoms that difused in SUS 304 material was 3,4 micrometer. Microstructure observation shows that the sample after nitrocarburized at temperature 700 <sup>o</sup>C for 1 hour to be seen very clear that there are layer of N and C atoms in SUS304 material. Un-treated sample has matrixes  $\gamma$ -*phase*,  $\delta$ -*ferrite*, and *twinning transformation*. Samples that nitrocarburized at T > 550<sup>o</sup>C have matrixes  $\gamma$ -*phase*,  $\delta$ -*ferrite*,  $\sigma$ -*phase*, *carbide*, and *twinning transformation*.*

**Keywords** : *Nitrocarburizing*, *DC plasma*, SUS304, hardness, and microstructure.

## PENDAHULUAN

Banyaknya produk elemen mesin dan komponen pada fasilitas nuklir khususnya komponen yang tahan aus permukaannya dari luar negeri yang di *import* oleh Indonesia membuat kami merasa tertantang untuk dapat membuat sendiri, yaitu komponen lokal yang berkualitas tinggi. Tujuan dari studi ini untuk mendalami masalah pengerasan permukaan, yang mana Indonesia belum dapat membuat komponen tersebut diatas yang berkualitas tinggi.

Teknologi pengerasan permukaan (*surface hardening*) pada bahan telah dilakukan oleh peneliti dengan mempergunakan beberapa *technologies*<sup>[1-7]</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>[8]</sup>. Di Indonesia telah dibuat beberapa alat *plasma nitriding* seperti *DC plasma nitriding* (*maximum temperature* hanya 500 <sup>o</sup>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, hasil penelitian akan dipublikasikan kemudian<sup>[9]</sup>.

Baja SUS 304 merupakan 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>[10]</sup>.

Pada studi ini akan dilaporkan hasil penelitian *surface hardening* pada bahan SUS 304 pada temperatur (550 – 700)<sup>o</sup>C selama 1 jam.

## TATA KERJA

*Samples SUS 304* yang berupa batang tongkat baja dipotong dengan menggunakan alat *cutting* dengan ukuran kurang lebih 2 cm sebanyak 5 sampel. Setelah pemotongan, sampel dibersihkan menggunakan *acetone* yang dimasukkan dalam bejana, lalu diletakan ke dalam alat *ultrasonic vibrator* (*Sonorex*) selama 5 menit, kemudian dibersihkan menggunakan *aquades* yang dimasukkan ke dalam *ultrasonic vibrator* (*sonorex*) selama 5 menit. Selanjutnya *samples* di keraskan permukaannya menggunakan metode *plasma nitrocarburizing* di Fakultas Teknik Metalurgi, Universitas Indonesia. Metode ini dilakukan dengan memvariasi temperatur antara (550-700)<sup>o</sup>C, dengan *holding time* masing-masing selama 60 menit. Proses *nitrocarburizing* dilakukan di dalam sebuah *chamber*, yang dialirkan gas nitrogen, karbon (*LPG*) dan gas pembawa melalui penyembur (*diffuser*) pada dasar dapur. Disebabkan oleh adanya tekanan, gas partikel akan terangkat, dan terjadilah aliran turbulen partikel padat (*fluidat*) yang menyerupai aliran zat cair. Tingginya temperatur proses menyebabkan gas sumber nitrogen terdissosiasi dan aliran *turbulen fluidat* menghomogenkan temperatur dan dissosiasi gas sumber nitrogen dan karbon (*LPG*) tadi. Kontak antara gas dan permukaan benda kerja berlangsung kontinyu, sehingga *nitrocarburizing* berjalan lebih efektif<sup>[5]</sup>. Dapur *fluidesed bed* dapat dipakai untuk berbagai macam keperluan perlakuan panas (*multy purpose heat treatment* yaitu *hardening*, *carburizing*, *nitriding*, *anealling* dan *tempering*), disamping proses *nitrocarburizing* yang dilakukan dalam penelitian ini. *Samples* kemudian dipotong dengan menggunakan *diamond blade*, lalu di *mounting*, *grinding*, *polishing*, lalu di *etching* dengan cara *sample* dicelupkan pada larutan asam oksalat sebanyak 30 gram + 100 ml *aquades*, lalu menggunakan *electro etching* bertegangan (5-8) volt selama (60-90) detik. Tujuannya agar terlihat struktur yang ada pada *SUS 304* setelah di *etsa* langsung

dibilas menggunakan air dan dikeringkan dengan alat pengering (*dryer*), kemudian samples di *cleaning* dan diuji. Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan alat *optical microscope*, kemudian hasil mikrostruktur di foto dengan perbesaran 100x dan 500x setelah mengalami proses *nitrocarburizing* pada temperatur 550°C, 600 °C, 650 °C, dan 700 °C dengan waktu penahanan masing-masing 60 menit. Pengujian kedalaman dilakukan dengan mempergunakan *optical- microscope*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengukuran kekerasan dengan metode *vickers* terhadap *sample* awal, serta yang telah mengalami proses *nitrocarburizing* pada temperatur 550 C, 600 C,650 C dan 700 C selama penahanan 60 menit ditunjukkan pada Tabel I. Gambar 1 memperlihatkan sifat kekerasan bahan yang mengalami proses *nitrobarburizing* pada berbagai temperatur.

Tabel 1. Diagonal penjejakan

Spesimen	Titik 1 d <sub>1</sub> [mm]	Titik 2 d <sub>2</sub> [mm]	Titik 3 d <sub>3</sub> [mm]	Titik 4 d <sub>4</sub> [mm]	Titik 5 d <sub>5</sub> [mm]	HV [Kgf/mm <sup>2</sup> ]
Awal	46	46	46	46,5	46,5	260,718
550 ° C	45	45,5	45,5	46	46	267,54
600 ° C	44,5	44,5	45	45,5	46	273,58
650 ° C	44	44	45	45,5	45,5	277,31
700 ° C	43,5	44	44,5	45,5	45,5	279,88

Dari data Tabel 1 dapat diketahui berupa nilai kekerasan yang ada pada *samples*. Dengan

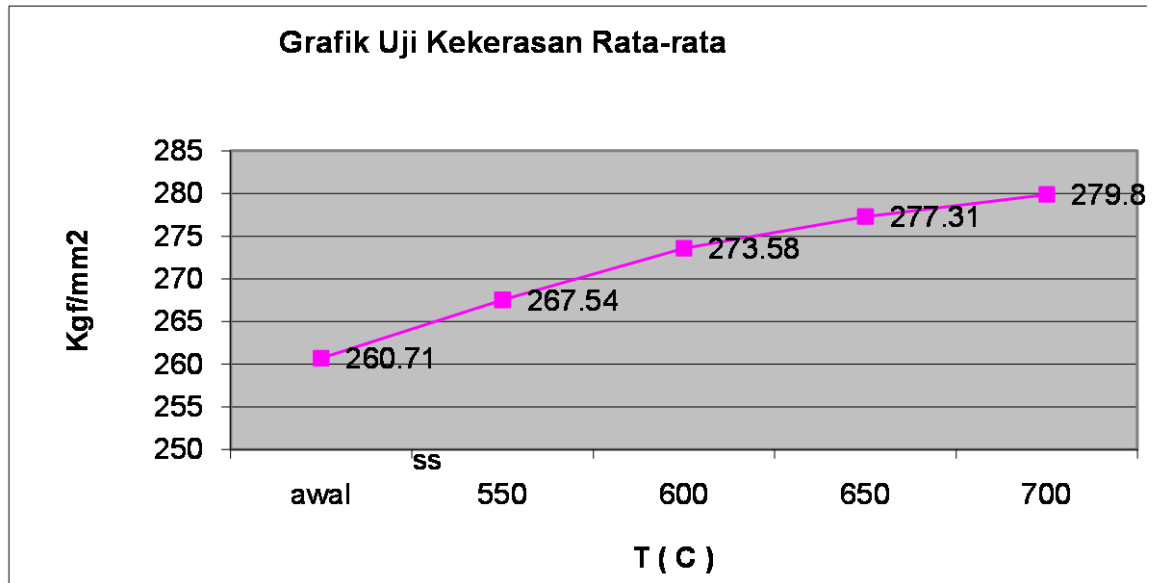
perhitungan sebagai berikut : P = 300 grf, J = 150 *micrometer*, T = 15 detik.

Contoh perhitungan, *sample* awal :

$$HV_1 = \frac{1,854 \times P \times 1000}{(d_1)^2} = \frac{1,854 \times 300 \times 1000}{(46)^2} = \frac{556.200}{2116} = 262,85 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

HV rata – rata *samples* awal :

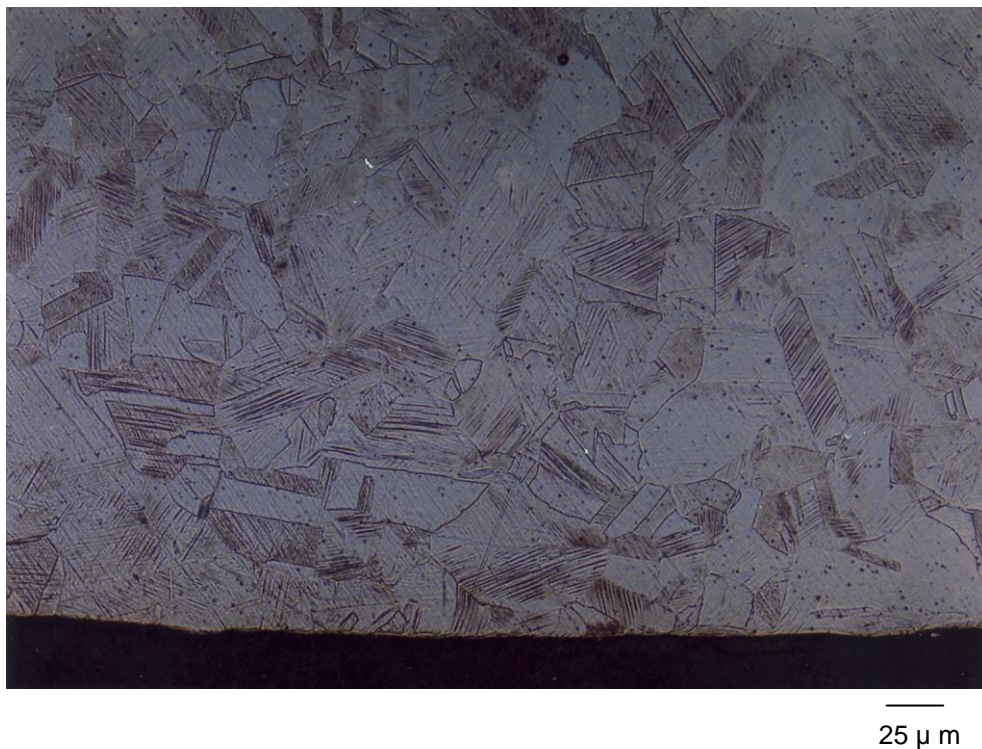
$$\begin{aligned}
 HV &= \frac{HV_1 + HV_2 + HV_3 + HV_4 + HV_5}{5} \\
 &= \frac{262,85 + 262,85 + 262,85 + 257,52 + 257,52}{5} \\
 &= 260,718 \text{ kgf} / \text{mm}^2
 \end{aligned}$$



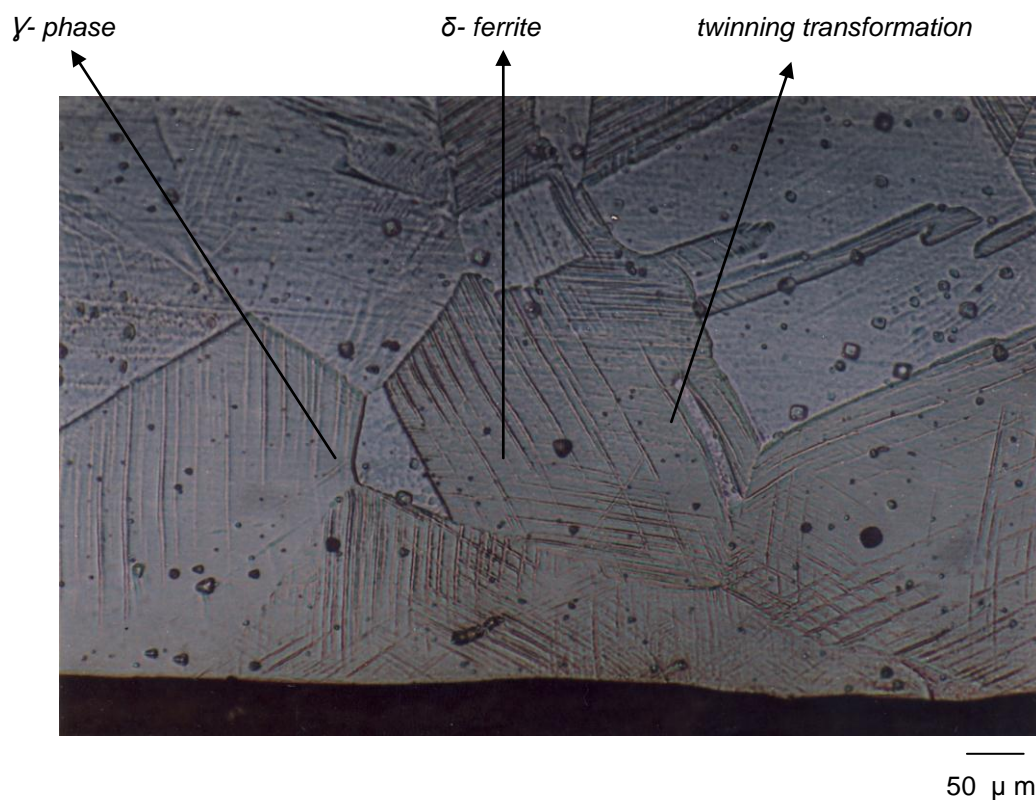
Gambar 1. Grafik uji kekerasan rata-rata

Hasil pengamatan mikrostruktur bahan yang mengalami proses nitrocarburizing pada temperatur 500 °C, 600 °C, 650 °C, 700 °C

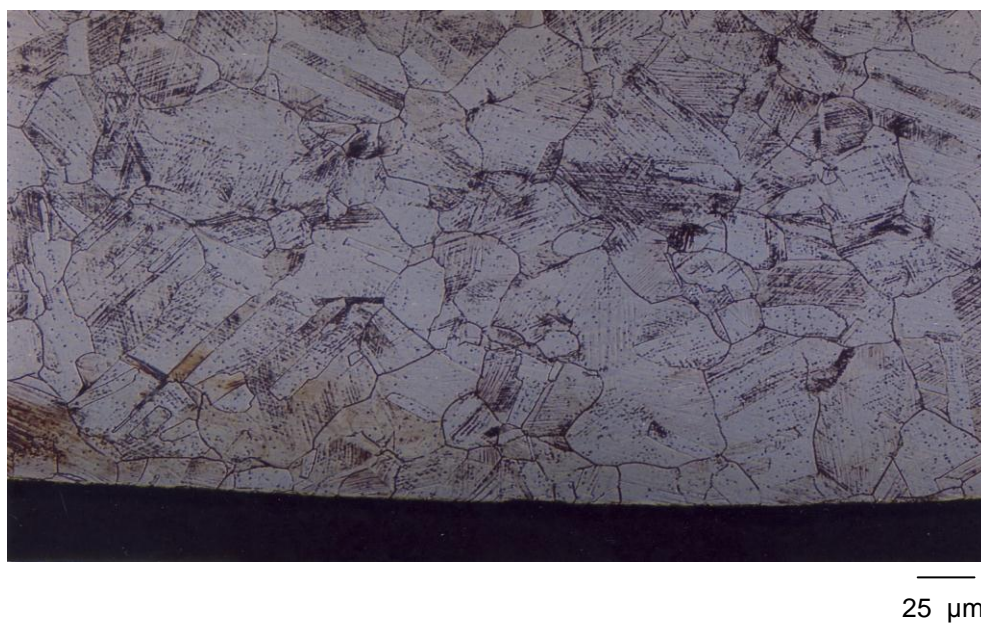
dengan waktu penahanan 60 menit ditunjukkan pada gambar 2 sampai 11.



Gambar 2. SS 304 awal

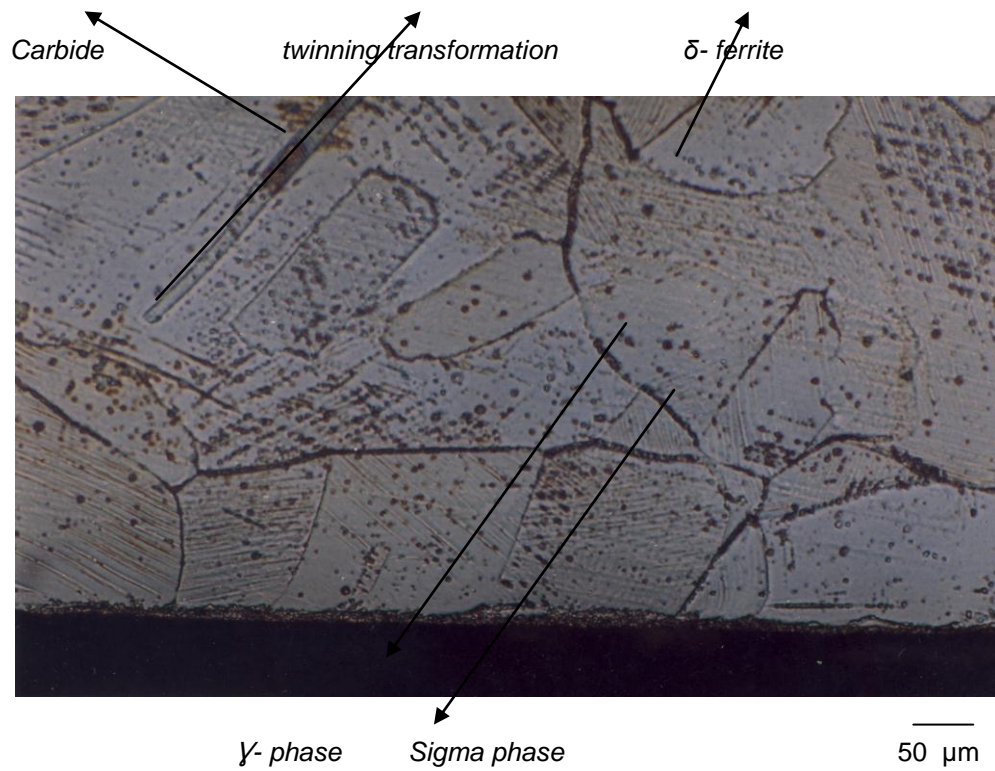
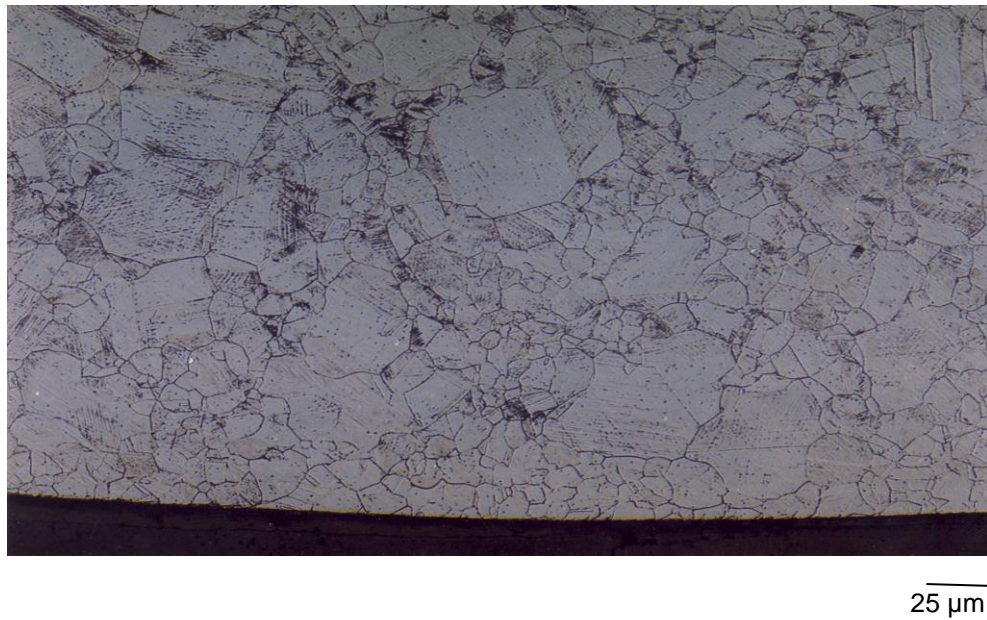


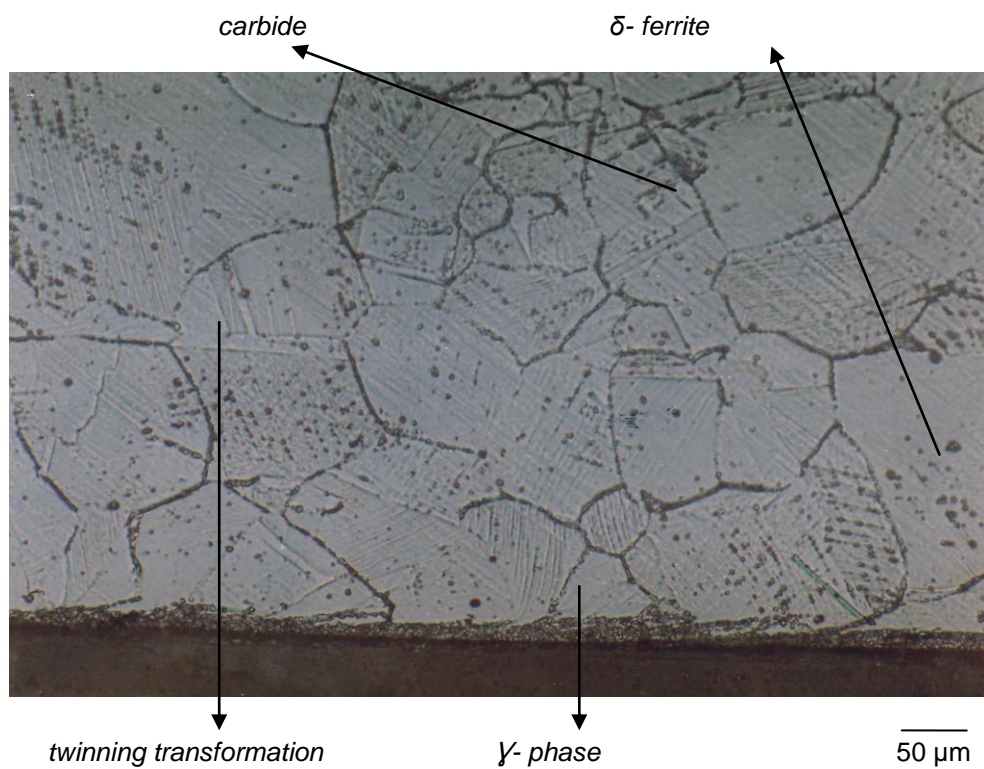
Gambar 3. Permukaan SS 304 awal ( tanpa *nitrocarburizing* )



Gambar 4. Permukaan SS 304 *Nitrocarburizing* 550°C dengan perbesaran



Gambar 5. Permukaan SS 304 Nitrocarburizing 550<sup>o</sup>CGambar 6. Permukaan SS 304 Nitrocarburizing 600 <sup>o</sup>C

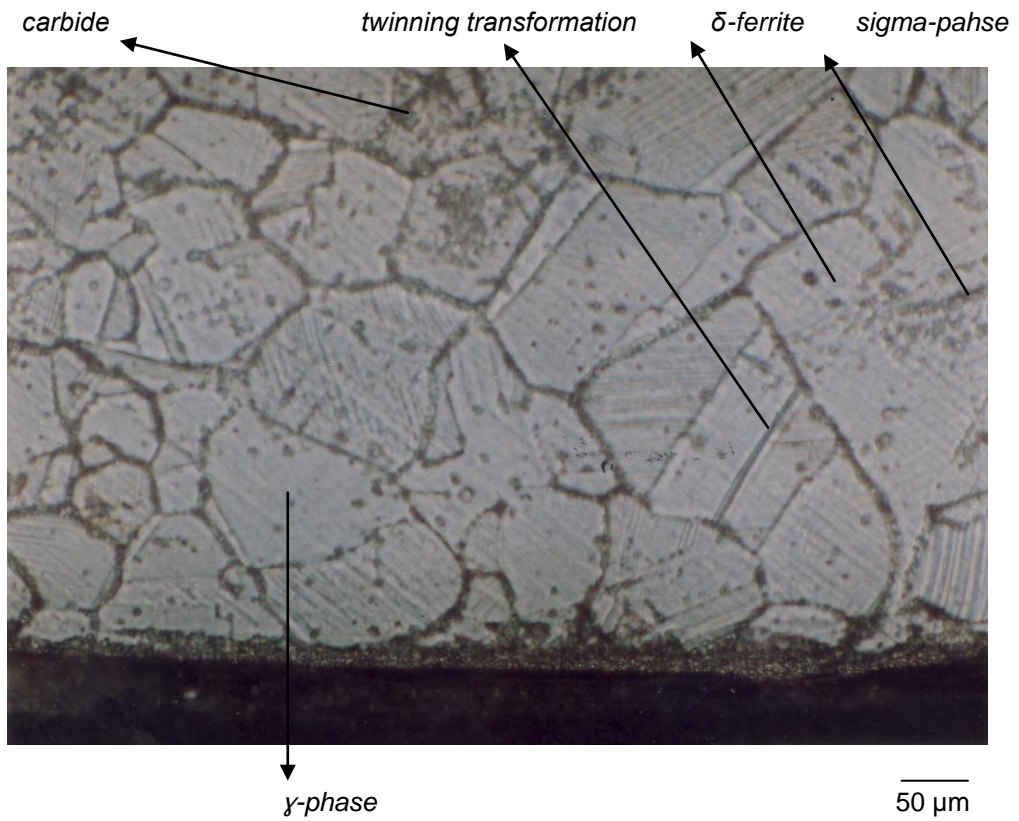


Gambar 7. Permukaan SS 304 Nitrocarburizing 600°C dengan perbesaran 500x

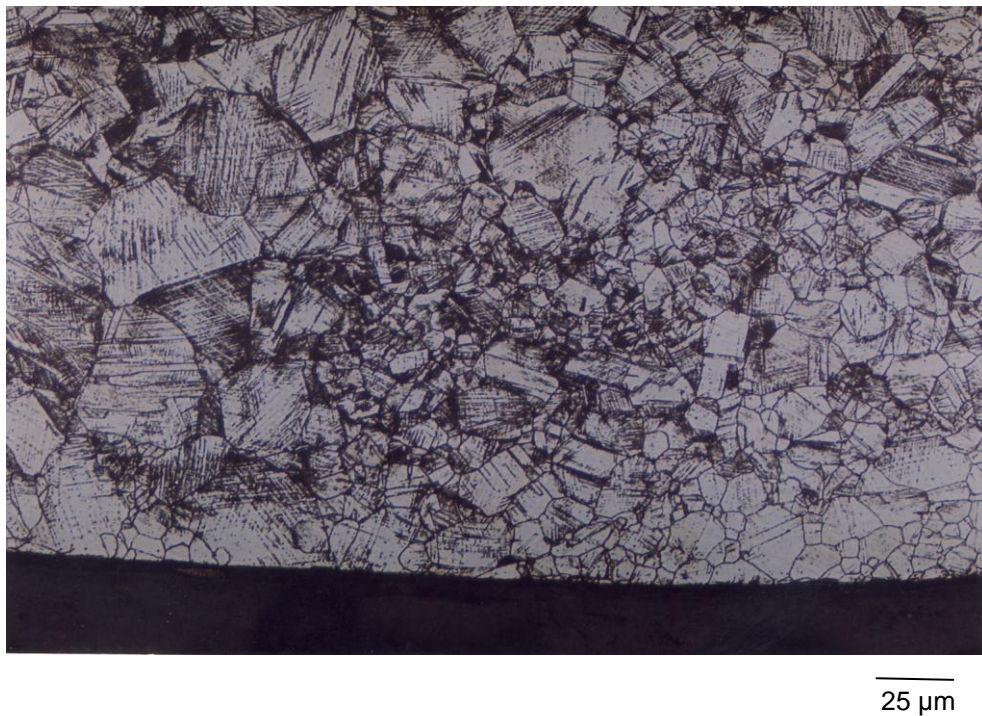


Gambar 8. SS 304 Nitrocarburizing 650°C



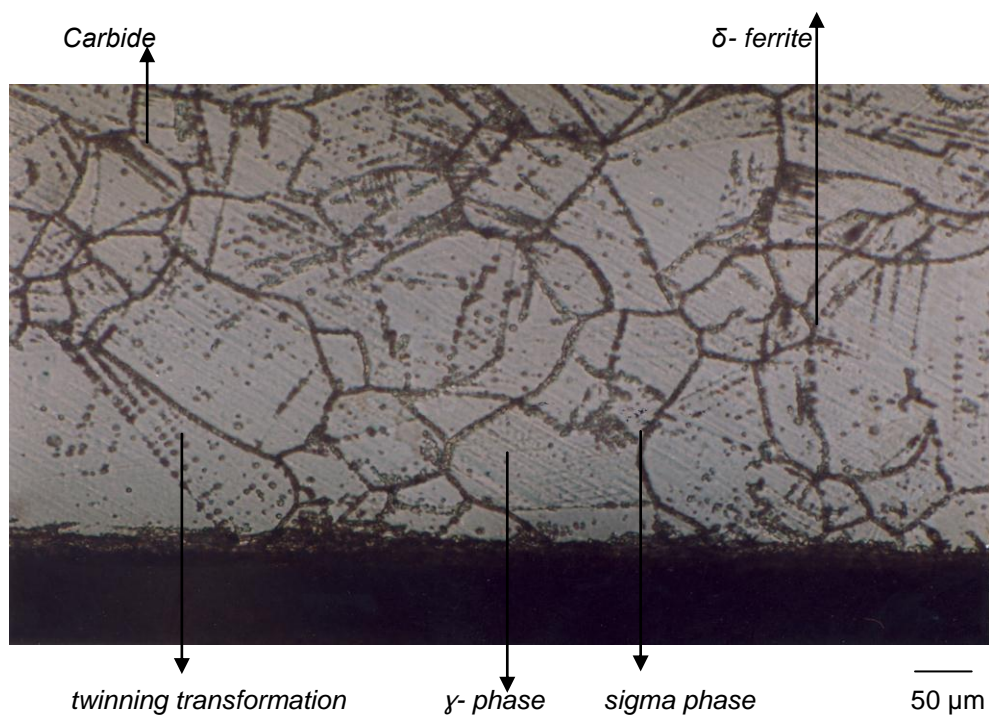


Gambar 9. SS 304 Nitrocarburizing 650<sup>o</sup>C dengan pembesaran 500x



Gambar 10. SS 304 Nitrocarburizing 700<sup>o</sup>C dengan pembesaran 100x





Gambar 11. SS 304 Nitrocarburizing 700°C

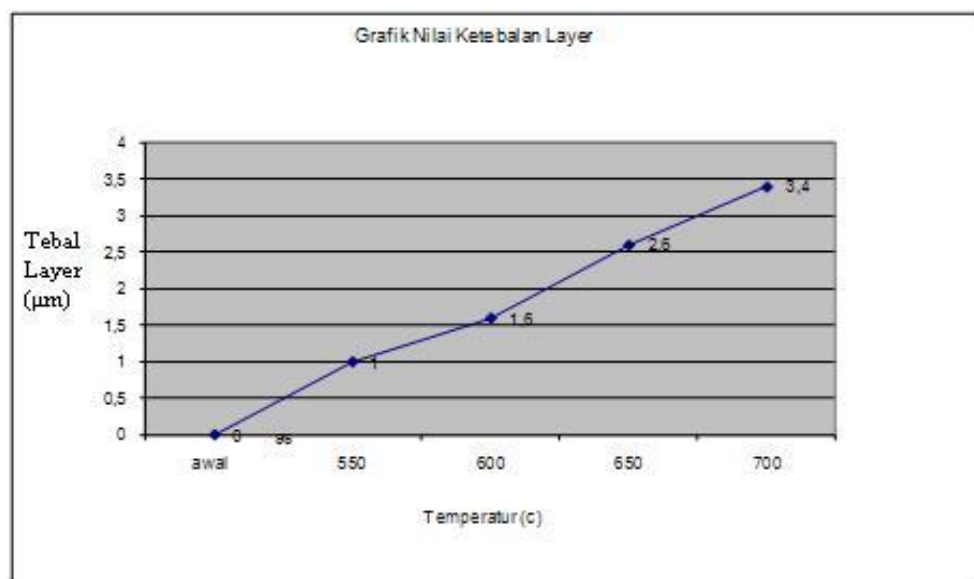
Hasil pengukuran kedalaman nitrogen dan carbon pada permukaan *sample* ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 11.

Tabel 2. Data hasil kedalaman nitrogen dan carbon pada *samples* awal. Temperatur 550<sup>o</sup>C, 600<sup>o</sup>C, 650<sup>o</sup>C dan 700<sup>o</sup>C, dengan waktu penahanan 60 menit.

Kode Sampel	No Penelitian	Kedalaman Nitrocarburizing ( $\mu\text{m}$ )	Rata – rata Kedalaman ( $\mu\text{m}$ )	Waktu Tahan (menit)
Awal	1	0	0	60
	2	0		
	3	0		
	4	0		
	5	0		
550 <sup>o</sup> C	1	1	1,0	60
	2	1		
	3	2		
	4	0		
	5	1		
600 <sup>o</sup> C	1	2	1,6	60
	2	1		
	3	3		
	4	0		
	5	2		
650 <sup>o</sup> C	1	3	2,6	60
	2	2		
	3	2		
	4	3		
	5	3		
700 <sup>o</sup> C	1	3	3,4	60
	2	4		
	3	4		
	4	3		
	5	3		

Berikut ini adalah grafik dari kedalaman nitrogen dan carbon sampel awal, 550<sup>o</sup>C, 600<sup>o</sup>C, 650<sup>o</sup>C

dan 700<sup>o</sup>C terhadap temperatur proses *nitrocarburizing*.



Gambar 13. Grafik kedalaman nitrogen dan carbon pada berbagai temperatur

Hasil pengamatan dan perhitungan uji kekerasan pada Gambar 1 dan 2 dapat dilihat bahwa hasil kekerasan sampel awal adalah sebesar  $260,718 \text{ kg/mm}^2$ , kekerasan sampel pada temperatur  $550^\circ\text{C}$  adalah sebesar  $267,54 \text{ kg/mm}^2$ , kekerasan sampel pada temperatur  $600^\circ\text{C}$  adalah sebesar  $273,58 \text{ kg/mm}^2$ , kekerasan sampel pada temperatur  $650^\circ\text{C}$  adalah sebesar  $277,31 \text{ kg/mm}^2$  dan kekerasan sampel pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  adalah sebesar  $279,88 \text{ kg/mm}^2$ . Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa kekerasan tertinggi terdapat pada sampel dengan  $700^\circ\text{C}$  yang telah mengalami proses *nitrocarburizing*, sedangkan kekerasan terendah terdapat pada sampel awal yang belum mengalami proses *nitrocarburizing*.

Hasil pengujian dan pengamatan mikrostruktur pada Tabel 2 dan Gambar 4-11 dapat diketahui kedalaman *nitrocarburizing* pada sampel awal,  $550^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ ,  $650^\circ\text{C}$  dan  $700^\circ\text{C}$  dengan waktu tahan 60 menit adalah sebagai berikut :

Sampel awal tidak mempunyai kedalaman *nitrocarburizing* karena belum mengalami proses *nitrocarburizing*. Pada sampel temperatur  $550^\circ\text{C}$  waktu tahan 60 menit mempunyai kedalaman *nitrocarburizing*  $1,0 \mu\text{m}$  atau  $0,001 \text{ mm}$ . Pada sampel temperatur  $600^\circ\text{C}$  waktu tahan 60 menit mempunyai kedalaman *nitrocarburizing*  $1,6 \mu\text{m}$  atau  $0,0016 \text{ mm}$ . Pada sampel temperatur  $650^\circ\text{C}$  waktu tahan 60 menit mempunyai kedalaman *nitrocarburizing*  $2,6 \mu\text{m}$  atau  $0,0026 \text{ mm}$ . Pada sampel temperatur  $700^\circ\text{C}$  waktu tahan 60 menit mempunyai kedalaman *nitrocarburizing*  $3,4 \mu\text{m}$  atau  $0,0034 \text{ mm}$ . Jadi semakin tinggi temperatur *nitrocarburizing* maka semakin dalam nitrogen dan carbon yang terdifusi. Hasil pengujian mikrostruktur, dan menurut penelitian yang dilakukan di *Takasaki Research Center, Japan* dengan *Dr. Kazumi Aoto* dengan *SEM (Scanning Electron Microscopy)* dan *EDAX (Energy*

*Dispersive Analysis X-Ray)* pada *sample* awal tanpa mengalami proses *nitrocarburizing* 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*), sedangkan pada *samples* yang telah di *nitrocarburizing* diatas  $T > 550^\circ\text{C}$  di *basic material* mempunyai *matrix-matrix* *twinning transformation*,  $\gamma$ -*phase* yang memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*),  $\delta$ -*ferrite* yang memiliki struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*), *carbide* dan  $\sigma$ -*phase* yang mempunyai struktur kristal hexagonal [11-14]. Setelah terjadi proses *nitrocarburizing*, di permukaan material akan terjadi proses difusi atom-atom nitrogen dan carbon ke dalam material SUS 304 sehingga terjadi reaksi antara atom-atom Fe dari material SUS 304 dengan atom-atom nitrogen dan carbon. Proses difusi terjadi dengan mekanisme substitusi dan intersisi. Proses difusi ini mengikuti hukum Fick's, yang mana hukum Fick's yang pertama menunjukkan bahwa laju atom-atom nitrogen dan carbon yang terdifusi ke dalam material SUS 304 sebanding dengan koefisien difusi dan *gradient* konsentrasi.. Sedangkan hukum Fick's yang kedua menyatakan bahwa perubahan konsentrasi terhadap waktu sebanding dengan koefisien difusi dan *gradient* kwadrat konsentrasi. Dengan adanya difusi atom-atom nitrogen dan carbon ke dalam material SUS 304 maka terjadilah penambahan kekerasan pada permukaan material SUS 304.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya yaitu :

Hasil uji kekerasan menggunakan metode *Vickers* dengan *sample* yang sesudah dan sebelum di *nitrocarburizing*



dengan variasi temperatur menunjukkan peningkatan sesuai dengan meningkatnya temperatur. Pada sampel awal tanpa perlakuan memiliki kekerasan sebesar 260,718 Kgf/mm<sup>2</sup>. Pada pengujian kekerasan *sample* yang telah di *nitrocarburizing* dengan temperatur 700<sup>o</sup>C nilai kekerasan pada daerah tepi memiliki kekerasan 279,88 Kgf/mm<sup>2</sup>. Kedalaman maximum atom-atom nitrogen dan carbon yang terdifusi ke dalam bahan SUS 304 ialah 3,4 *micrometer*. Pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa pada *sample* yang telah di *nitrocarburizing* pada T = 700 <sup>o</sup>C (t= 1 jam) terlihat jelas adanya lapisan atom-atom N dan C di dalam bahan SUS 304. Pada *sample* awal terdapat *matrix γ-phase*, *δ-ferrite*, dan *twinning transformation*. Pada *samples* yang di *nitrocarburizing* pada T > 550<sup>o</sup> C mempunyai *matrix γ-phase*, *δ-ferrite*, *σ-phase*, *carbide* dan *twinning transformation*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ramchandani, A. (1988). Dennis, JK.; Heat Treat. Met.2,34.
- Kliauge, A.M. (1998). Pohl, M.; Coat Technol. 98, 1205.
- Collins, G.A.; Hutchinga, R. (1995). Surf. Coat. Technol, 74-75, 417.
- Ensinger, W.; Surf. Coat. Technol, 100-101, 341, 1998
- Spalvins, T and Kovacs, W (1990). *Ion Nitriding Aand Ion Carburizing*, ASM International, Oihio,.
- Anonim (1991). *The Metallographic Laboratory Its Purpose, Fungtion And Design Buehler, AB Apparatus For Microstructural Analysis Waukegan Road – Lake Bluff, Illindis USA 60044*.
- Kamenichny, I( 990); *Heat Treatment, Moscow*.
- Wang Liang (2003). Applied Surface Science, 211, 308-314.
- Sudjadi, U.; et al., *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/III/2010, riset Block Grant dan PKPP, tahun 2009 dan 2010.
- Pat L. M. (1994). The Principles of Material Selection for Engineering Design “, Prentice Hall.
- Sudjadi,U. (2002). Kazumi Aoto, Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto “*Observation of Microstructures of Ages SUS 304 By Using SEM and EDAX*”, research report, Advanced Material Department, Japan Nuclear Cycle Development Institute.
- Sudjadi, U (2002). Kazumi Aoto, Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto “*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.
- Sudjadi, U (2002). Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto, Kazumi Aoto, “*The Relationship Between The Magnetic Properties And The Microstructures of Aged SUS 304*”, research report, Advanced Material Department, Japan Nuclear Cycle Development Indtitute.
- Kazumi Aoto, Sudjadi, U (2002); Yuji Nagae, Yoshihiko Sakamoto. “*A Study on Magnetization and Microstructure in Aged Stainless Steel With/Whithout Stress*” Forum Maintenology Vol 1 No 1 (2002) : 37-43.