

# PENGARUH IMPLANTASI ION TiN (*Titanium Nitrida*) TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA VCL 140

Muhammad

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh Lhokseumawe

Email : [Muhya\\_07@yahoo.com](mailto:Muhya_07@yahoo.com)

*Implantasi ion dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan bahan yang akan digunakan untuk komponen dan peralatan proses manufaktur. Implantasi ion dipengaruhi oleh jenis ion dopan, waktu dan energi yang digunakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh energi dan waktu implantasi ion titanium nitrida terhadap kekerasan dan struktur mikro pada baja VCL 140. Implantasi dilakukan pada arus berkas tetap 10  $\mu$ A. Variasi waktu 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 menit, energi 75 keV dan variasi energi 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 100 keV dengan waktu implantasi 100 menit dilakukan untuk mendapatkan kekerasan optimum. Uji Kekerasan menggunakan metode Vickers dengan beban 10 gram dan waktu 10 detik. Topografi dari lapisan TiN diamati menggunakan scanning electron microscopy (SEM) dan komposisi kimia dari lapisan TiN dianalisa menggunakan energy dispersive spectroscopy (EDS).*

*Kata kunci : Implantasi ion, VCL 140, kekerasan*

## PENDAHULUAN

Para perencana pada dunia industri otomotif maupun aeronautika saat ini saling berlomba untuk menentukan bahan yang digunakan untuk komponen permesinan. Bahan yang dipilih harus mempunyai kualitas yang baik, artinya bahan tersebut harus cukup kuat, tahan terhadap aus, tahan terhadap korosi dan sejauh mungkin bobotnya ringan. Penggunaan logam berkualitas tinggi tentu saja akan menaikkan biaya/harga jual produk yang akan mengakibatkan perusahaan tersebut kurang mampu bersaing dengan perusahaan sejenis di pasaran. Berdasarkan pertimbangan tersebut para perancang berupaya menggunakan bahan dasar dari bahan berkualitas sedang dan harga murah tetapi dengan perlakuan khusus pada permukaannya. Dengan adanya perlakuan, bahan tersebut dapat memiliki sifat fisis dan mekanis lebih baik dari bahan dasarnya bahkan dapat lebih baik dan memiliki kualitas yang lebih tinggi. Teknik penambahan unsur paduan untuk meningkatkan kekerasan bahan dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan implantasi ion.

Perbedaan yang mendasar antara implantasi ion dengan *surface treatment* yang lain adalah pada proses implantasi ion yang ditembakkan ke substrak tidak hanya menempel di permukaan tetapi diimplementasikan ke dalam substrat dengan penetrasi dalam orde 0,1  $\mu$ m [8]. Implantasi ion

akan memperbaiki kekerasan suatu paduan material secara signifikan jika dibandingkan tanpa treatment [15]. Bahan TiN/AiN menghasilkan lapisan yang sangat keras, kestabilan yang tinggi dan adhesi pada benda yang baik sampai suhu 500°C, sedangkan pada suhu 700°C terjadi oksidasi [16]. Lapisan TiN mempunyai sifat kekerasan yang tinggi dan tahan terhadap pemakaian untuk pahat potong [3]

Baja VCL 140 setara dengan AISI 4140 merupakan baja paduan sedang digunakan untuk mandrel press, rangka, dies, sendi engsel, poros dan roda gigi pada pompa. Untuk memperoleh sifat yang keras pada bagian permukaan baja paduan VCL 140 maka dilakukan surface treatment melalui proses implantasi ion dengan TiN (titanium nitrida) sebagai unsur ion dopan.

Penelitian ini akan menguji paduan baja VCL 140 setelah diimplantasikan ion *Titanium Nitrida* (TiN) untuk mendapatkan lapisan yang lebih keras dengan variasi waktu dan energi implantasi dengan arus tetap sebesar 10  $\mu$ A.

## TEORI DASAR

Logam ferro (besi dan baja) paling banyak dipakai sebagai bahan industri karena pertimbangan nilai ekonomisnya, serta sifat-sifatnya yang bervariasi.

Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada besarnya kandungan kadar karbon. Untuk meningkatkan sifat mekanis maka baja perlu dilakukan perlakuan baik perlakuan panas, mekanis maupun pelapisan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat baru dari material tersebut. Sehingga baja tersebut memiliki keunggulan. Baja dalam penggunaan tertentu memiliki kelemahan yaitu terjadinya karat atau korosi, perlakuan permukaan dengan implantasi ion sangat dimungkinkan untuk mengatasi hal tersebut.

### **Baja VCL 140**

Baja paduan VCL 140 dikategorikan baja *machinery steels* yang merupakan salah satu merk dagang dari PT. Bhinneka Bajas (Bohler) yang dijual bebas dipasaran dalam bentuk batangan dengan diameter yang bervariasi yaitu 16 sampai 250 mm. Baja ini diklasifikasikan kedalam baja Chromium-Molybdenum karena memiliki unsur chromium sebanyak 1,1 dari persen berat.

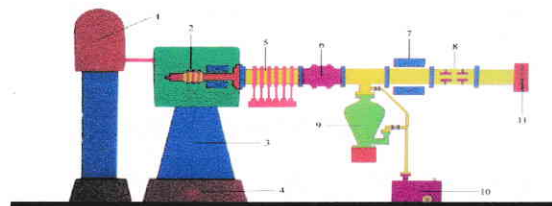
### **Titanium Nitrida (TiN)**

Titanium nitrida mempunyai sifat istimewa bila dibandingkan dengan material lain diantaranya kekerasan yang sangat tinggi, keausan yang baik, tahan temperatur tinggi, tahan terhadap korosi, koefisien gesek rendah, warna keemasan dan memiliki daya ikat yang baik antara pelapis dan yang dilapisi. Dengan sifat tersebut sangat baik untuk pelapisan alat potong, dekoratif dan komponen instrumen [2]. TiN merupakan material yang keras yang digunakan untuk pelapisan dekorasi, tahan aus, aplikasi elektroda. Dengan teknik Cathodic Arc Deposition pada energi ion 300 eV dapat meningkatkan sifat mekanis serta menghasilkan warna keemasan. Laju deposisi menurun akibat penurunan tekanan [7]. Pemilihan ion titanium nitrida sebagai ion dopan adalah karena ion titanium mempunyai jari-jari kecil yaitu : 0,147 nm dan nitrogen 0,071 nm sehingga akan mempermudah proses penyisipan ke dalam permukaan material target yaitu besi dengan jari-jari atom 0.1269 nm.

### **Implantasi ion**

Salah satu teknik PVD (*Physical Vapor Deposition*) yang sering digunakan dalam perlakuan permukaan adalah implantasi ion yang diperuntukkan untuk menghasilkan lapisan tipis yang bervariasi dari  $10^{-7}$   $\mu\text{m}$  sampai  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$ . Proses implantasi ion tidak mampu merubah

komposisi material secara menyeluruh tetapi pada bagian kulit atau permukaan saja yang akan berubah secara signifikan. Keunggulan implantasi ion adalah material tidak mengalami stress thermal karena tidak mengalami perlakuan panas[11]. Keuntungan dari implantasi ion adalah proses dalam temperatur rendah, tidak ada serpihan, tidak mengubah bentuk dan dimensi bahan, kemurnian ion dapat dikendalikan dengan tepat karena adanya magnet yang dapat memisahkan berkas ion, proses dilakukan dalam ruang hampa sehingga kontaminasi terhadap permukaan substrat sangat kecil, kemungkinan timbulnya tegangan karena thermal (*thermal stress*) sangat kecil karena prosesnya dilakukan pada suhu kamar serta prosesnya lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional. Gambar (1) memperlihatkan skema alat implantasi ion yang ada di PTAPB BATAN Yogyakarta.



Gambar 1. Skema alat implantasi ion di PTAPB BATAN Yogyakarta

### **Dosis Ion**

Dosis ion didefinisikan banyaknya ion yang diberikan pada substrat persatuan berkas, jumlah ion yang diberikan sangat tergantung lamanya waktu implantasi ion serta luas penampang material yang diimplant. Dosis ion diberikan biasanya  $1 \times 10^6 - 1 \times 10^8$  ion/cm<sup>2</sup>. Dosis ion sangat tergantung pada lamanya waktu implantasi (t). Dosis ion yang diberikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{i}{eA} \int_0^t idt = \frac{it}{eA} \quad (\text{ion/cm}^2) \dots\dots (1)$$

dengan :

- D = Dosis ion (ion/cm<sup>2</sup>)
- e = Muatan ion ( $1,602 \times 10^{-19}$  Coulomb)
- i = Arus berkas ion
- A = Luas permukaan berkas
- t = Waktu implantasi (detik)

### **Kekerasan Bahan**

Kekerasan suatu bahan menyatakan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen apabila pada bahan tersebut bekerja gaya luar. Beberapa alat pengujian

kekerasan biasa dipakai adalah Rockwell, Vickers dan Brinell [4]. Pengujian kekerasan bahan dilakukan dengan pengujian Vickers (VHN) dengan indentor yang kecil (*microhardness*) sehingga variasi kekerasan sebagai akibat dari variasi struktur mikro dapat dikerjakan. Kekerasan Vickers dapat dinyatakan dengan rumus :

$$VHN = \frac{2.P.\sin(\theta/2)}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \left( \frac{kg}{mm^2} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

*P* = Beban terpasang (gram)

*d* = diagonal bekas injakan penetrator (mm)

**Pengamatan Struktur Mikro (Metallografi) dan Komposisi**

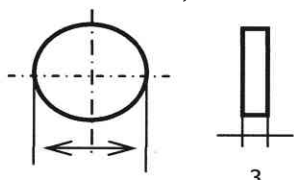
Pengamatan Struktur mikro adalah salah satu cara untuk mengetahui metalurgi permukaan substrat, sehingga dapat diketahui sifat mekanik dari material tersebut. Pengamatan struktur makro menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang bervariasi maksimum 1000 kali. Pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning elektron microscopy (SEM)* dengan pembesaran sampai ratusan ribu kali. Sedangkan untuk pengujian komposisi menggunakan alat EDS (*Energy Dispersive X-Rays Spectroscopy*).

**METODE PENELITIAN**

**Bahan dan Peralatan**

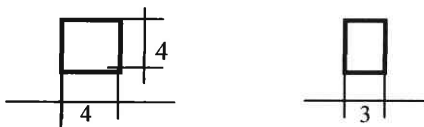
Bahan : Baja VCL 140

- a. Dimensi Spesimen untuk uji kekerasan: diameter 14 mm, tebal 3 mm



Gambar 2. Dimensi spesimen uji kekerasan

- b. Dimensi Spesimen untuk uji komposisi dan SEM



Gambar 3. Dimensi spesimen uji komposisi

- 1. Serbuk TiN (*titanium nitrida*) sebagai bahan yang diimplantasi
- 2. Resin dan Alkohol

**Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- 1. Mesin bubut Merek : Emco
- 2. Mesin Polish
- 3. Alat Uji Kekerasan, Merek; Buchler. Beban 10 gram, waktu 10 detik
- 4. Timbangan Digital
- 5. Alat uji struktur mikro, mikroskop optik logam Olympus dan cairan etsa yang digunakan berupa larutan nital (propanol+5% HNO<sub>3</sub>).
- 6. Mesin implantasi ion di Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta.
- 7. Alat uji SEM (*scanning elektron microscopy*) dan komposisi dengan EDS (*Energy Dispersive X-Rays Spectroscopy*) di Laboratorium Geologi Quarter LP3G Bandung.

**Tahapan Penelitian**

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu :

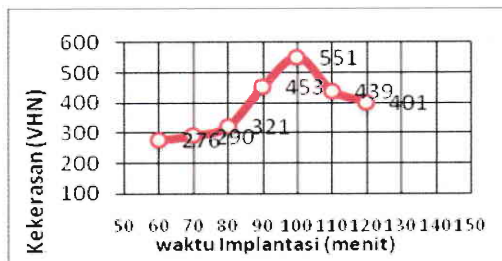
Benda uji yang digunakan sebagai benda target adalah baja VCL 140 dengan diameter 20 mm, kemudian baja tersebut dibubut sampai mencapai diameter 14 mm. Setelah itu dipotong dengan mesin bubut berupa kepingan dengan ketebalan 3 mm. Selanjutnya spesimen tersebut di resin supaya mudah dan rata saat dipolish. Kemudian permukaan kepingan (spesimen) di lakukan perlakuan awal dengan cara dikikir untuk meratakan permukaan, setelah itu dipolish dengan mesin polish menggunakan ampelas ukuran 320 mesh, 400, 600, 1000, 1500 dan 2000 mesh. Setelah proses ini selesai, dilakukan proses pencucian dengan deterjen, alkohol dan kemudian dikeringkan. Selanjutnya bahan disimpan dalam kotak kedap udara dengan dibalut kapas. hal ini dilakukan untuk menghindari oksidasi. Spesimen siap untuk diimplantasi ion.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Uji Kekerasan Mikro Vickers**

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanis bahan yang sangat mempengaruhi kekuatan dari bahan tersebut. Gambar (4) memperlihatkan kurva hubungan waktu dengan kekerasan permukaan baja VCL 140 untuk berbagai waktu implantasi dengan energi 75 keV dan arus berkas ion 10 μA.

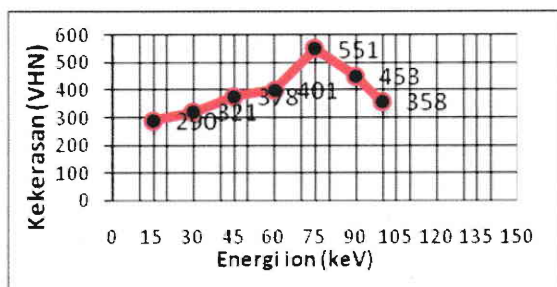




Gambar 4. Kurva hubungan waktu implantasi dan kekerasan

Peningkatan kekerasan permukaan yang terjadi pada proses implantasi ion terjadi karena adanya peningkatan kerapatan atom-atom dalam material target yang disebabkan oleh mekanisme tumbukan yang terjadi selama proses implantasi ion. Peningkatan waktu implantasi secara otomatis meningkatkan dosis ion karena waktu implantasi dan dosis ion berbanding lurus, artinya semakin lama waktu implantasi maka semakin banyak jumlah ion yang di implantasi ke material target. Peningkatan dosis yang diberikan menyebabkan cacat pada kristal akibat tumbukan-tumbukan ion semakin banyak. Ion *Titanium Nitrida* yang diimplantasikan ke permukaan baja VCL 140 akan menggeser atom-atom Fe maupun menyisip diantara atom-atom Fe sehingga menimbulkan lapisan yang keras [16]. Ion nitrogen akhirnya akan meningkatkan kerapatan atom-atom target sampai mencapai titik jenuh atau kekerasan optimum. Fenomena ini dinamakan larut padat substitusi. Peningkatan dosis ion lebih lanjut akan menurunkan kekerasan permukaan bahan hal ini disebabkan perubahan fasa yang keras (fasa nitrida) yang terbentuk sesungguhnya dapat rusak menjadi suatu fasa amorfous yang tidak teratur [10].

Hasil uji kekerasan untuk proses implantasi dengan variasi energi ion dari 15 keV sampai dengan 100 keV dengan waktu implantasi tetap 100 menit dan arus berkas tetap 10 $\mu$ A. Gambar (5) menunjukkan hubungan antara energi ion dengan kekerasan.

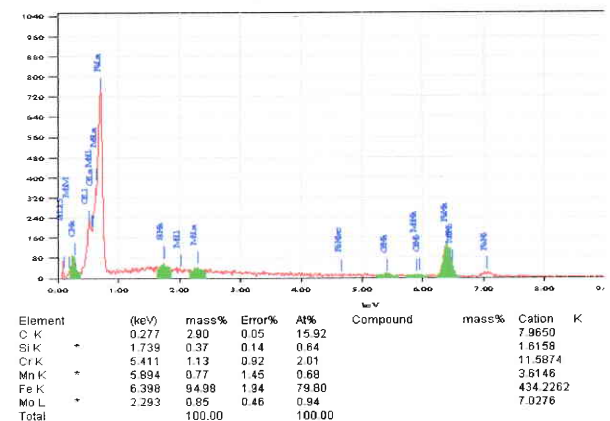


Gambar 5. Kurva hubungan antara energi ion dengan kekerasan

Peningkatan kekerasan dimulai dari 15 KeV sebesar 290 VHN dan mencapai optimum pada energi 75 keV sebesar 551 VHN dan selanjutnya menurun pada 90 keV dengan nilai kekerasan 458 VHN. Fenomena tersebut disebabkan besarnya energi ion yang digunakan dalam proses implantasi ion akan menentukan jumlah pasangan kekosongan dan sisipan yang terbentuk, semakin tinggi energi ion dopan (*titanium nitrida*) kemampuan ion dopan untuk mendesak dan menggeser atom-atom material target akan semakin besar, sehingga kisi kosong aktif yang terbentuk akan semakin banyak. Semakin tinggi energi ion dopan juga menyebabkan mobilitas ion dopan juga akan semakin tinggi, sehingga mempunyai peluang lebih besar menyisip diantara celah-celah atom Fe maupun menempati diantara posisi Fe yang bergeser. Pada energi ion 90 keV terjadi penurunan kekerasan, karena pada kondisi ini terjadi fenomena difusi dan kekosongan (*vacancy*). Penggunaan energi yang lebih besar setelah tercapai kekerasan optimum akan menyebabkan kerusakan dan penurunan kelarutan *Titanium Nitrida* didalam kisi Fe (besi).. Masuknya atom dan penambahan kekosongan cenderung memperbesar volume material sasaran Fenomena ini juga memperlihatkan bahwa semakin besar energi ion yang diberikan sementara dosis ion tetap maka persentase dari ion akan menurun disebabkan volume bertambah [12]. Tingkat kerusakan atau perbaikan material target ditentukan oleh jumlah cacat yang terbentuk selama proses implantasi. Jumlah cacat tersebut ditentukan oleh jumlah atom-atom target yang bergeser.

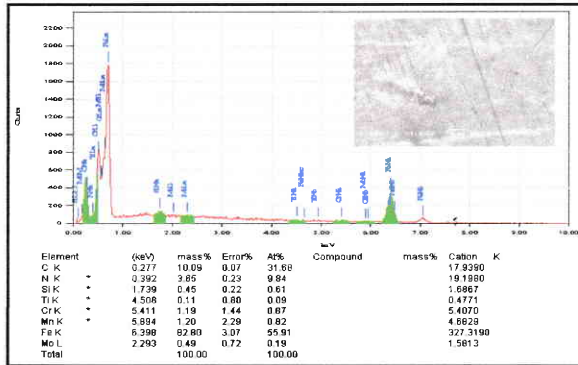
## 2. Analisis Komposisi Baja VCL 140

Gambar (6) memperlihatkan komposisi material dasar VCL 140 tanpa implantasi hasil pengujian dengan EDS (*Energi Dispersive Spectrography*).



Gambar 6. Hasil uji komposisi baja VCL 140 tidak diimplantasi

Hasil pengujian dengan EDS (*Energi Dispersive Spectrography*) setelah implantasi memberikan informasi bahwa terdapat 0,11 % Titanium dan 3,65 % Nitrogen yang terimplantasi ke substrat dari total keseluruhan unsur Gambar (7) menunjukkan gambar hasil uji komposisi baja VCL setelah diimplantasi ion *Titanium Nitrida*.

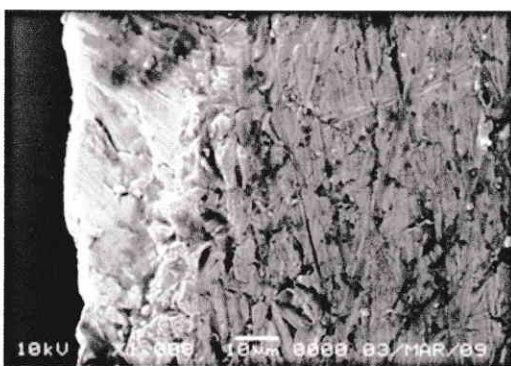


Gambar 7. Hasil uji Komposisi baja VCL 140 yang telah diimplantasi

Hasil pengujian komposisi membuktikan bahwa dengan proses implantasi ion telah dapat menambah unsur titanium dan nitrogen kedalam baja VCL 140.

### Struktur Mikro

Permukaan baja VCL 140 setelah implantasi ion titanium nitrida dapat dilihat dengan foto SEM yang dilakukan pada posisi penampang melintang disepanjang sisi untuk sampel yang diimplantasi dengan waktu 100 menit dan energi 75 keV serta arus berkas ion 10  $\mu$ A dengan pembesaran 1000 kali.

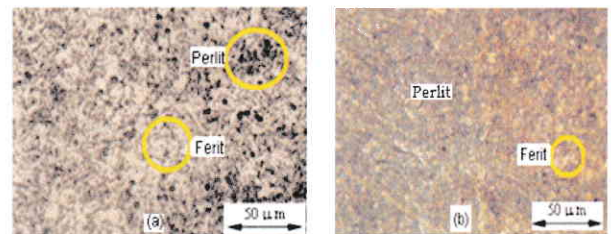


Gambar 8. Hasil foto SEM material VCL 140 yang telah diimplantasi ion Titanium Nitrida

Interaksi yang terjadi antara ion-ion dopan berenergi tinggi dengan atom-atom material target yang terjadi selama proses implantasi ion menyebabkan terjadinya perubahan struktur kristal dan struktur mikro permukaan material

target dengan kedalaman tertentu serta membentuk fasa baru [17].

Struktur mikro material baja VCL 140 diamati dengan menggunakan *microscop optic* merk Olympus dengan pembesaran 500 kali.



Gambar 9. foto makro penampang (a) tanpa implantasi (b) setelah implantasi

Gambar (9a dan 9b) menunjukkan bahwa baja VCL 140 mempunyai struktur ferit dan pearlit yang tersebar merata. Kedua gambar diatas menyajikan perbedaan struktur antara spesimen yang sudah diimplantasi dengan material dasar. Spesimen yang telah diimplantasi terlihat lebih halus dibandingkan spesimen tanpa implantasi setelah di etsa. Unsur perlit lebih banyak dibandingkan ferrit, sehingga menunjukkan spesimen setelah implantasi lebih keras. Pengukuran setelah implantasi menunjukkan tidak ada perubahan dimensi terhadap specimen, fenomena ini disebabkan pada proses implantasi ion atom-atom dopan tidak melapisi permukaan substrat tetapi menembus masuk ke dalam substrat [8].

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh implantasi ion Titanium Nitrida terhadap Baja VCL 140 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Implantasi ion TiN (*Titanium Nitrida*) pada permukaan Baja VCL 140 terbukti dapat meningkatkan kekerasan permukaan pada semua tingkat energi ion karena terjadi peningkatan kerapatan atom-atom (larut padat substitusi) dan proses intersisi dari ion dopan ke substrat.
2. Nilai kekerasan optimum sebesar 551 VHN diperoleh pada energi 75 keV, waktu implantasi 100 menit dengan dosis ion sebesar  $2,12 \times 10^{17} \text{ cm}^2$  atau sekitar 2,6 kali dibandingkan material tanpa implantasi disebabkan timbulnya fasa baru TiN pada permukaan substrat. Pada waktu implantasi 110 terjadi penurunan kekerasan menjadi 439 VHN

karena terjadi fasa amorfous akibat terjadinya kerusakan substrat akibat implantasi.

3. Munculnya unsur pearlit setelah implantasi merupakan fasa baru TiN yang menyebabkan kekerasan material meningkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM, "Annual ASTM Standards bag.10 Metal, Physical, Mechanical Corrosion Testing".1981.
2. Azushima, A., Tanno, Y., Iwata, H., Aoki, K., "Coefisien of Friction TiN Coatings With Preferred Grain Orientations Under Dry Condition", Journal Of Material Processing and Technology, Vol 265, pp1017-1022.,2008
3. Bull, S. J., Rickerby, D.S., "The Sliding Wear of Titanium Nitride Coating", Surface Coating Technologi. Vol 41, pp269-283.,1990.
4. Callister, W.D., " Fundamentals of Materials Science and Engineering", Butterworth Heinemann, Eleventh Edition, Oxford.,2001.
5. Hai, Z., Fei, C., Jianping, W., "Study of Properties of TiN Coating on Previously Ion Implanted pure Magnesium Surface by MEVVA ion Implantation", Plasma Science and tehnology, Vol 9.No.6, 2007.
6. Krauss, G.,. " Steel Heat Treatment and Perocising Principle", ASM.Inc Material Park. Ohio,1995.
7. Lausa, A., Esteve. J., Mejia. J.P., Devia. A., " Influence of Deposition Pressure on the Structural Mechanical and Decorative Properties of TiN thin Film Deposited by Chatodic arc Evaporation", Science Direct, Vacuum 81, pp 1507-1510.,2007.
8. Malau, V., "Perlakuan Permukaan", Diktat Kuliah. Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.,2003.
9. Roberge, P.R., "Corrosion Engineering Principle and Practice", Third Edition,McGraw-Hill Book Company, New York , 2008.
10. Shen, L.R., Wang.K., Tie, J., Tong, H.H, Chen, Q.C., Tang, D.L., Fu, R.K.Y., Chu, P.K., "Modification of High-Cromium Cast Iron Alloy by N and Ti ion Implantation", Surface and Coating Technology, 196 hal 349-352, 2004.
11. Sujitno, T., "Apliksi Plasma dan Teknologi Sputtering untuk Surface Treatment", PTAPB BATAN, Yogyakarta, 2003.
12. Smalman, R.E., Bishop, R.J., "Modern Physical Metalurgi and Material Engineering 6<sup>th</sup> edition", Red Educational and Propesional Publishing, Oxford , 1999.
13. Smith, W.F ., "Principless Of Material Science and Engineering", Mc Graw Hill International Edition, Singapore, 1990.
14. Smith, W.F., "Structure and Properties of Engineering Alloys", 2<sup>nd</sup> ed., Mc Graw Hill Inc. New York.,1993.
15. Ueda, M., Gomes, F.G., Kostov, K.G., Reutther, H., Lepienski, C.M., Soares, Jr., Tokai, O., Silva, M.M., " Result From Experiment on Hybrid Plasma Immersion Ion Implantation ". Brazilian Journal of Physic, 2004.
16. Yao, S.H., Kao, W. H., Su, Y.L., Liu, T.H., "Effect of Periods on Wear Performance of TiN/AiN Superlattice film", Material Science and Engineering A 392, pp 380-385 , 2004.
17. Zhao, Q.G., Bai, X. D., Xue, X. Y., Chen, X. W., Xu, J., Wang, D.R., "Influence of Aluminum ion Implantation on Oxidation Behavior in air it 500°C of TiN Coating", Surface and Coating Technology 191, pp212-215, 2004.