

APLIKASI SPUTTERING TUNGSTEN DAN IMPLANTASI NITROGEN PADA BAJA AISI 410 SEBAGAI CUTTING INSTRUMENT PERALATAN MEDIS

Gaguk Jatisukamto, Viktor Malau, M. Noer Ilman dan Priyo Tri Iswanto

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Email: gagukjtsk@yahoo.co.id

ABSTRAK

Baja tahan karat martensitik AISI 410 digunakan secara luas untuk berbagai peralatan industri maupun peralatan medis. Sifat tahan karat baja AISI 410 dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan permukaan, salah satunya dengan sputtering dan implantasi ion. Sputtering dan implantasi ion pada permukaan memiliki keunggulan, yaitu proses dapat dilakukan pada temperatur rendah, kedalaman penetrasi dapat diatur dan tidak menyebabkan distorsi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh sputtering tungsten dan implantasi ion nitrogen terhadap keausan baja tahan karat AISI 410.

Proses perlakuan sputtering tungsten menggunakan teknik d.c magnetron sputtering, dan implantasi ion nitrogen menggunakan implantor ion milik BATAN Yogyakarta. Material target sputtering adalah tungsten dengan tingkat kemurnian 99,95% dalam bentuk padat, sedangkan nitrogen dalam bentuk gas diimplantasikan dengan energi 100 keV dan arus 10 μ A. Bahan substrat baja tahan karat AISI 410 dibubut sehingga memiliki diameter 14 mm dan tebal 3 mm. Material diampelas, dipoles, dan dibersihkan dengan ultrasonic cleaner, dan selanjutnya substrat disputtering dengan tungsten dengan variasi waktu 20, 30, 40, 50 dan 60 menit, untuk memperoleh kekerasan yang optimum. Substrat hasil sputtering maksimum selanjutnya diimplantasi dengan menggunakan gas nitrogen dengan variasi waktu 20, 30, 40, dan 50 menit dan selanjutnya diuji kekerasan dan uji aus.

Dari pengujian mikrohardness diperoleh hasil bahwa kekerasan maksimum diperoleh pada saat sputtering tungsten 50 menit sebesar 225 HVN. Sedangkan kekerasan maksimum implantasi nitrogen diperoleh pada waktu implantasi 30 menit sebesar 320 HVN. Hasil uji keausan maksimum diperoleh waktu implantasi 30 menit sebesar $30,138 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$

Kata Kunci: AISI 410, sputtering, implantasi ion, kekerasan, keausan

PENDAHULUAN

Material untuk berbagai aplikasi industri harus memenuhi sifat yang sesuai dengan lingkungan kerjanya. Sifat-sifat yang diperlukan tersebut diantaranya: kekuatan, tahan aus, tahan korosi, fatik, dan sifat yang diperlukan lainnya. Berbagai upaya terus dikembangkan hingga saat ini untuk memperoleh sifat material yang baik. Upaya memperbaiki sifat material dapat dilakukan dengan teknik perlakuan panas atau teknik deposisi lapisan pada permukaan.

Deposisi lapisan pada permukaan dilakukan dengan teknik *physical vapour deposition* (PVD) atau *chemical vapour deposition* (CVD). Menurut Dobrzansky dkk [1], topografi lapisan permukaan yang dideposisikan dengan teknik PVD lebih kuat jika dibandingkan dengan teknik CVD. Deposisi dengan teknik PVD dapat memperbaiki sifat kekerasan material, tahan korosi, dan *roughness* pada permukaan.

Salah satu teknik pelapisan PVD adalah sputtering dan implantasi ion. Kartikasari dkk [2], menyatakan bahwa sputtering dan implantasi ion merupakan modifikasi permukaan logam, dimana prosesnya dapat dilakukan dalam waktu cepat, tidak menyebabkan perubahan dimensi, bebas dari kontaminasi, pembentukan paduan tidak tergantung pada batas kelarutan padat dan konstanta difusi, kedalaman penetrasi dapat diatur secara akurat dengan mengendalikan tegangan pemercepat ion.

Implantasi ion pada dosis optimal dapat memperbaiki sifat tahan korosi, akan tetapi peningkatan dosis melebihi batas optimalnya justru akan meningkatkan laju korosinya [3]. Lapisan keras pada permukaan harus mencapai tebal kritis tertentu, karena jika kurang dari tebal kritisnya, lapisan keras tersebut akan menghasilkan lobang atau pori sehingga menyebabkan korosi galvanik, sedangkan jika terlalu tebal akan menyebabkan inisiasi retak [4]

Dalam bidang medis, implantasi ion banyak diterapkan pada peralatan ortopedi dan ortodontik maupun peralatan lainnya. Implantasi ion pada peralatan medis digunakan untuk memperbaiki sifat fatik, tahan korosi, mengurangi pengaruh kontaminasi antara alat dengan darah, dan untuk memperbaiki sifat tribologinya [5].

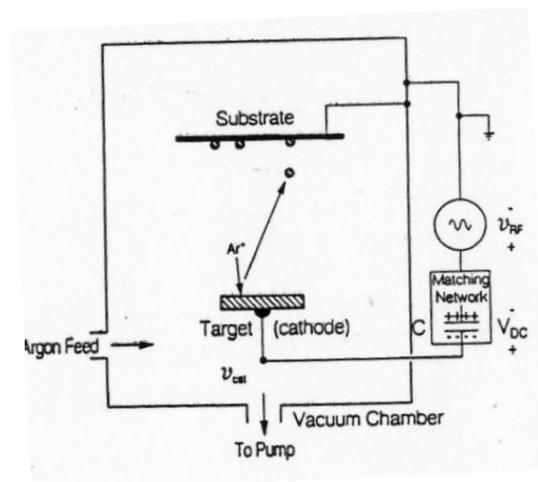
Baja tahan karat martensitik AISI 410 digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi industri, seperti: *steam valve*, *water valve*, pompa, turbin, komponen kompresor, poros, alat potong, peralatan bedah, bearing, *plastic mould* dan perlengkapan industri kimia [6]. Baja AISI 410 dalam bidang medis digunakan sebagai *cutting instruments* dan *non cutting instruments* [7].

Logam transisi berbasis nitrida seperti TiN dan WN banyak digunakan sebagai bahan pelapis karena bersifat keras, koefisien gesekan rendah, tahan aus dan tahan korosi sehingga dapat meningkatkan umur material [8, 9]. Penelitian ini akan mengamati pengaruh implantasi ion TiN terhadap sifat tahan korosi baja tahan karat martensitik AISI 410.

TINJAUAN PUSTAKA

Pelapisan dengan bahan tungsten nitrida (WN) dapat memperbaiki kekerasan, ketahanan aus dan memperbaiki sifat tahan korosi. Tungsten memiliki sifat tahan pada suhu tinggi, tahan korosi, dan tahan aus.

a. Sputtering



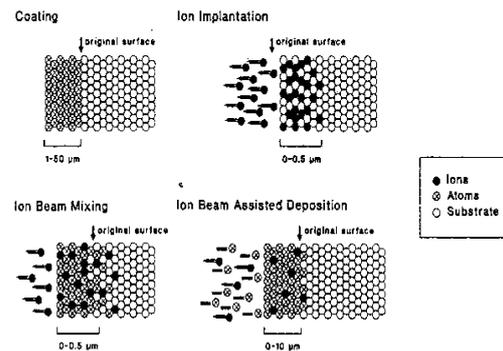
Gambar 1. Mekanisme Proses *Sputtering* (Sinha, 2003)

Prinsip sputtering seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, dimana bahan pelapis (target) dipasang pada kutub katode dan dibombardir dengan gas inert (biasanya argon) didalam ruang vakum sekitar 10^{-3} - 10^{-1} torr dengan potensial 500-5000V, menggunakan arus dc, dan frekwensi 13,56 MHz. Dalam proses ini gas argon ditembakkan pada permukaan target (katode) sehingga menyebabkan atom-atom target terlepas dan

terdeposisi pada permukaan substrat (anoda) seperti pada Gambar 2. Transfer atom-atom dengan metode sputtering lebih mudah dikontrol jika dibandingkan menggunakan metode evaporasi termal (Smith, 1993).

b. Implantasi Ion

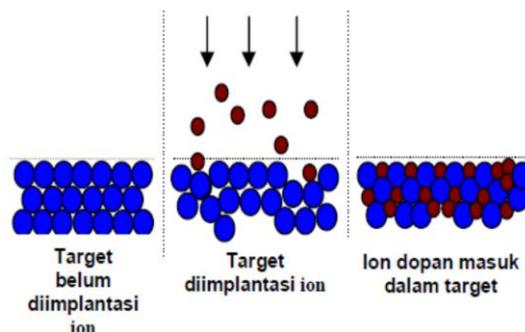
Implantasi ion adalah modifikasi permukaan dengan menggunakan energi tinggi dari ion yang akan diimplantasikan pada permukaan substrat, dengan proses dilakukan dalam ruang hampa (sampai 10^{-6} torr).



Gambar 2. Prinsip Implantasi Ion (Sinha, 2003).

Pada permukaan substrat dibombardir dengan ion-ion, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Implantasi ion pada permukaan logam mampu merubah sifat: mikrostruktur, aus, fatik, kekerasan, oksidasi, dan korosi.

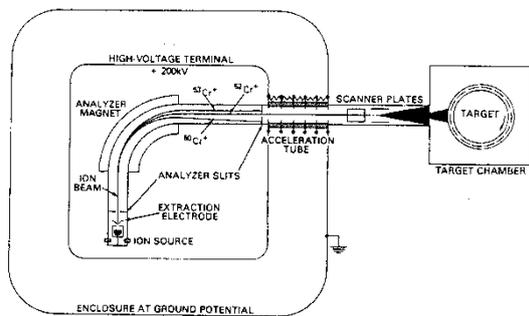
Kedalaman penetrasi rata-rata lapisan implantasi ion merupakan fungsi energi ion, massa atom, jumlah atom material substrat, dan sudut datang. Dalam proses implantasi ion, berkas ion berenergi tinggi akan berinteraksi dan bertumbukan dengan bahan target sehingga atom-atom target tersebut akan bergeser atau terpelempar sehingga akan merusak struktur bahan tersebut. Atom-atom yang pertama kali terpelempar akan menumbuk/mendesak atom-atom target tetangganya sehingga mengakibatkan pergeseran atom-atom tersebut dari asalnya.



Gambar 3. Kerusakan Susunan Atom Pada Target

Setiap kali tumbukan akan kehilangan energi, sehingga pada suatu saat atom-atom tersebut akan kehabisan energi dan akhirnya akan menempati ruang kosong yang ditinggalkan atom-atom target. Demikian juga ion-ion yang masuk kedalam target akan kehilangan energi dan berhenti menempati ruang antara atom-atom target sehingga kerapatan atom-atom bertambah, dan hal ini akan meningkatkan daya tahan material target tersebut.

Implantasi ion dengan kedalaman kurang dari 1 μm dengan dosis berkisar antara interval 2 sampai 6 x 10¹⁷ ion/cm² dilakukan dengan energi 50 sampai 100 keV. Untuk kedalaman penetrasi lapisan sekitar 5 μm diperlukan energi implantasi sekitar 1 sampai 10 MeV.



Gambar 4. Akselerator Implantasi Ion (Sinha, 2003)

Kedalaman penetrasi dari ion dopan di dalam material dinyatakan sebagai jangkauan terproyeksi ion R_p . Jangkauan terproyeksi ion menyatakan jarak atau kedalaman penetrasi rata-rata dari ion relatif terhadap permukaan material target. Jangkauan terproyeksi ion R_p dalam material target dapat ditentukan dengan persamaan [2].

$$R_p = \frac{1,1 \times 10^{26} M_1 + M_2 Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3}}{N_0 3M_1 + M_2 Z_1 Z_2} E A^{0(1)}$$

dengan

- M_1 = massa ion dopan (sma)
- M_2 = massa atom target (sma)
- Z_1 = nomor atom ion dopan
- Z_2 = nomor atom target
- E = energi ion dopan (eV)
- N_0 = kerapatan atom target (atom/cm³)

dengan,

$$N_0 = \frac{\rho N_A}{M_2} \text{ (atom/cm}^3\text{)} \quad . \quad . \quad (2)$$

dengan,

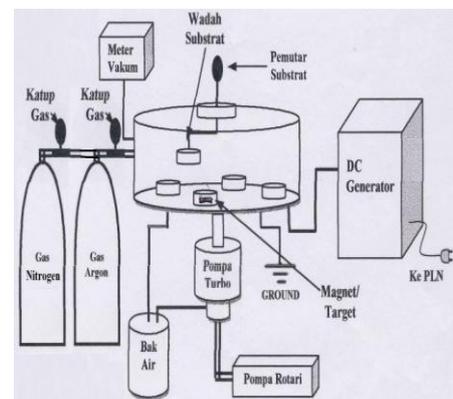
$$\rho = \text{rapat massa atom target (g/cm}^3\text{)}$$

$$N_A = \text{bilangan avogadro (6,02 x 10}^{23} \text{ atom/g atom)}$$

Implantasi ion dilaksanakan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah memisahkan massaspesifik dari atom terionisasi dari sumber ion dalam ruang hampa. Tahap kedua adalah mempercepat ion ke target oleh tegangan bias. Ion-ion menumbuk permukaan target ke substrat dengan energi tinggi. Ion-ion melekat ke permukaan substrat ketika tegangan bias dibawah 0,5 keV. Bila tegangan bias antara 0,5-1 keV akan terjadi sputtering. Untuk energi tinggi (1-100 keV) akan terjadi implantasi ion. Hasilnya ion-ion terpenetrasi ke permukaan substrat dengan kedalaman dalam orde ratusan angstrom dari permukaan (Wagiyo dan Wulan, 2008).

METODOLOGI PENELITIAN

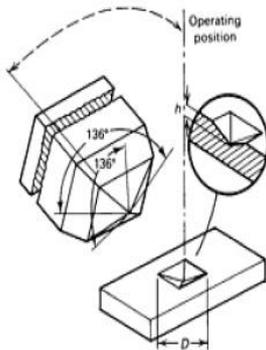
Material penelitian menggunakan substrat baja tahan karat martensitik AISI 410 dengan komposisi kimia 0,15% C; 1% Mn; 1% Si; 0,04% P; 0,03% S; 11,5% Cr; 0,75% Ni. Bahan pelapis (target) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tungsten yang memiliki kemurnian 99,95%. Spesimen uji memiliki diameter 14 mm dan tebal 2 mm. Pelapisan tungsten nitrida (WN) dilakukan dua tahapan proses, yaitu sputtering W dilanjutkan implantasi N. Pada material dasar dilakukan dengan menggunakan teknik d.c. magnetron sputtering. Sebelum dilakukan proses pelapisan, spesimen dihaluskan dengan menggunakan kertas ampelas nomor 200, 400, 600, 800, 1000 dan 1200. Permukaan yang sudah dihaluskan kemudian diautosol untuk menghilangkan goresan waktu pengamplasan serta membuat permukaan spesimen menjadi mengkilap, kemudian dicuci menggunakan alkohol 70% untuk menghilangkan lemak dan kotoran yang menempel pada permukaan spesimen. Spesimen yang telah bersih dan bebas lemak dibersihkan kembali dengan menggunakan ultrasonic cleaner untuk dilakukan proses pelapisan menggunakan d.c magnetron sputtering, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema d.c Magnetron Sputtering

Proses deposisi sputtering tungsten menggunakan variabel tetap berupa tegangan 0,4 kv, kuat arus 80 mA, rasio Ar:N2 =11:2, tekanan chamber 4.10-2 torr, serta jarak antara substrat-spesimen 15 mm. Variabel yang berubah yaitu berupa waktu dengan variasi 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit untuk memperoleh kekerasan yang optimum, selanjutnya dimplan dengan menggunakan N .

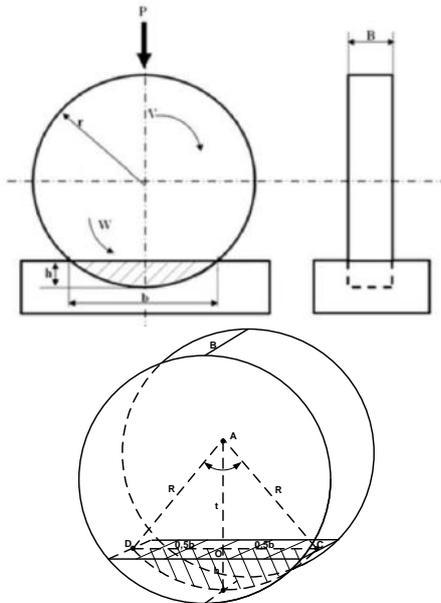
Pengujian kekerasan menggunakan mikrovickers dengan pembebanan 10 gram dan waktu indentasi 10 detik. Metoda uji mikrohardness menurut ASTM E-384 menetapkan indenter intan dengan sudut antara permukaan yang saling berhadapan adalah 136° seperti Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian kekerasan Vickers (ASM Metals Handbook, 2000)

Setelah gaya dihilangkan kemudian diukur diagonalnya, sehingga kekerasan vickers dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$HV = \frac{1,854 P}{d^2}$$



Gambar 7. Skema uji keausan

Keausan adhesif dapat diukur dengan menghitung luas permukaan yang telah diuji keausan berupa menghitung volume material yang hilang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

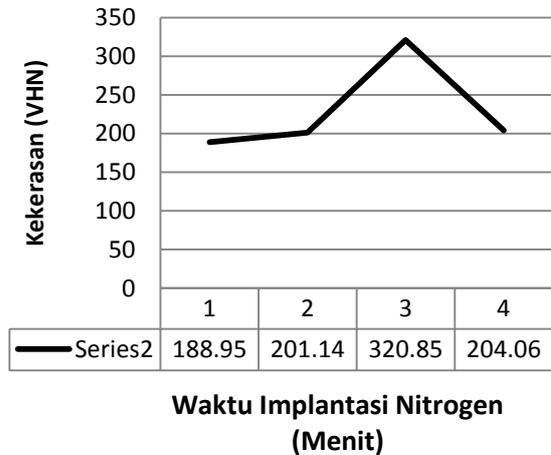
$$W_s = \frac{B \cdot b_0^3}{8 r_0 P \cdot l_0} \text{ (mm}^2\text{/kg)}$$

Uji mikrostruktur ini menggunakan alat berupa mikroskop untuk mengukur bekas indentasi dari indenter. Sampel dihaluskan terlebih dahulu dengan amplas. Pengamplasan dilakukan dari nomor amplas 200, 400, 600, 800, 1000 dan 1200. Proses selanjutnya yaitu pemolesan spesimen dengan menggunakan autosol (metal polish). Setelah permukaan sampel mengkilat dan tidak ada goresan kemudian permukaan sampel di etsa. Setelah itu, sampel diamati dengan mikroskop optik dan difoto untuk mengetahui ketebalan lapisan yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekerasan

Hasil uji kekerasan baja tahan karat martensitik AISI 410 yang memperoleh sputtering dan implantasi ion nitrogen seperti pada Gambar 8.



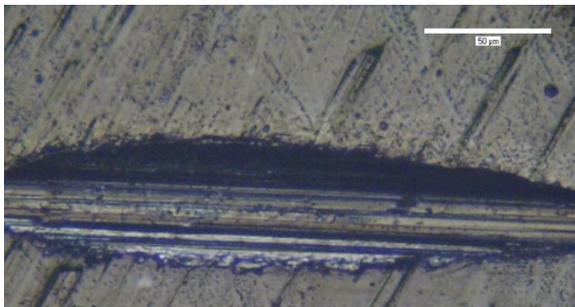
Gambar 8. Hubungan Kekerasan Baja AISI 410 Dengan Waktu Implantasi Nitrogen (AISI 410 sebelumnya disputtering Tungsten 50 Menit)

Gambar diatas memperlihatkan bahwa setelah proses perlakuan permukaan berupa d.c. magnetron sputtering dengan bahan pelapis W dan implantasi ion N dapat meningkatkan sifat keras dari material jika dibandingkan dengan yang tanpa pelapisan. Kekerasan pada raw material AISI 410 sebesar 188,951VHN, tetapi setelah pelapisan tungsten selama 20, 30, 40, 50 dan 60 menit, kekerasannya mengalami perubahan mencapai harga optimumnya yaitu sebesar 225,44 VHN pada waktu sputtering 50 menit.

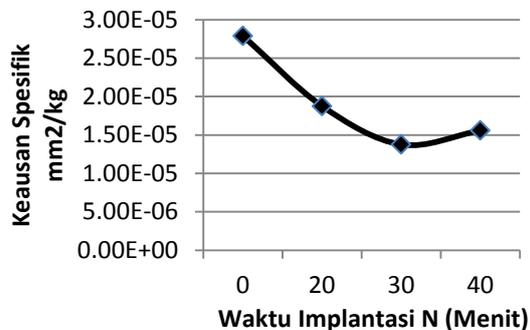
Nilai kekerasan tertinggi hasil implantasi ion N terjadi pada waktu implantasi 30 menit yaitu sebesar 320,85 VHN, hal ini dikarenakan karena terbentuknya lapisan nitrida WN yang mampu memperbaiki sifat mekanis material berupa kekerasan yang disebabkan oleh adanya tegangan sisa yang terbentuk pada lapisan. Kekerasan meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran butiran dan fraksi volume yang lebih tinggi pada batas butir (Hetal, dkk., 2010). Akan tetapi setelah pelapisan melebihi 50 menit, akan terjadi penurunan tingkat kekerasan lapisan, hal ini terjadi karena pada logam yang telah dilapis dengan wolfram, umumnya akan terjadi cekungan kedalam substrat atau batas antara lapisan dan substratnya sehingga mengurangi kekerasannya (Ferreira, dkk., 1997).

Keausan

Hasil deposisi proses pelapisan tungsten dan implantasi ion N pada substrat AISI 410 terhadap laju keausan dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Hasil Uji Aus Baja AISI 410



Gambar 10. Hasil Uji Aus Baja AISI 410 yang memperoleh perlakuan sputtering W dan Implantasi N

Berdasarkan gambar 10 diatas diperoleh bahwa laju keausan baja AISI 410 yang diberi pelapisan sputtering W dan implantasi N mengalami penurunan dari 2.79×10^{-5} mm²/kg hingga mencapai harga optimumnya pada waktu sputtering W 50 menit dan implantasi N selama 30 menit, yaitu sebesar 1.38×10^{-5} mm²/kg. Peningkatan waktu implantasi melebihi 30 menit cenderung meningkatkan laju keausannya kembali.

Menurut Tan dkk, mengungkapkan bahwa keausan abrasi memiliki hubungan yang sangat erat dengan nilai kekerasan, dimana apabila suatu material memiliki nilai kekerasan semakin tinggi maka material tersebut memiliki ketahanan abrasi terhadap gesekan yang semakin tinggi sehingga laju keausannya akan semakin rendah. Kreiness dkk., (2004) mengungkapkan bahwa kekasaran permukaan material yang rendah akan menghasilkan gaya gesek yang kecil antara dua permukaan yang kontak.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan diatas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya yaitu:

1. Proses pelapisan baja AISI 410 yang diberi sputtering W selama 50 menit dan implantasi ion N selama 30 menit menghasilkan sifat material yang baik.
2. Sputtering W dan implantasi ion N dapat meningkatkan sifat mekanis material baja tahan karat martensitik AISI 410 untuk peralatan kedokteran

Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian diatas yaitu:

Perlu adanya pengujian kekerasan dan keausan lebih lanjut dengan penambahan waktu pelapisan untuk mendapatkan hasil kekerasan dan keausan yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dobrzanski, L. A., Lukaszkoicz, K., Pakula, D., Mikula, J., 2007, "Corrosion Resistance of Multilayer and Gradient Coatings Deposited by PVD and CVD Techniques", Archives of Materials Science and Engineering, Vol. 28, Issue 1, pp. 12-18
- [2] Kartikasari, K., Soekrisno, Sudjatmoko, 2001., "Studi Pengaruh Implantasi Ion Karbon Terhadap Kekerasan Permukaan Baja AISI 1040", Media Teknik, No. 2, Tahun XXIII
- [3] Sundaranajan, T., Praunseis, Z., 2004, "The Effect of Nitrogen-Ion Implantation on The Corrosion Resistance of Titanium in Comparison With Oxygen and Argon-Ion Implantation", Materiali in Technologije 38, pp. 19-24.
- [4] Perillo, P. M., 2006, "Corrosion Behavior of Coatings of Titanium Nitride and Titanium-Titanium Nitride on Steel Substrates", Corrosion, Vol. 62, No. 2, pp. 182-185

- [5] Adamus, J., 2007, "*Forming of Titanium Implants and Medical Tools by Metal Working*", *Archives of Materials Science and Engineering*, Vol. 28, Issue 5, pp. 313-316
- [6] Krishna, B. V., Bandyopadhyay, A., 2009, "*Surface Modification of AISI 410 Stainless Steel Using Laser Engineered Net Shaping (LENSTM)*", *Materials and Design* 30 pp. 1490-149
- [7] ASTM Standards, 2006, "*Medical and Surgical Material and Devices; Anesthetic and Respiratory Equipment; Pharmaceutical Application of Process Analytical Technology*", Vol. 13.01
- [8] Shah, H, N., Chawla, V., Jayaganthan, R., Kaur, D., 2010, "*Microstructural Characterizations and Hardness Evaluation of d.c. reactive magnetron Sputtered CrN Thin Films on Stainless Steel Substrate*", *Bulletin Material Science* Vol. 33, No. 2, pp. 103-110.
- [9] Chang, C, L., Lee, J, W., Tseng, M, D., 2009, "*Microstructure, Corrosion and Tribological Behaviors of TiAlSiN Coatings Deposited by Cathodic Arc Plasma Deposition*", *Thin Solid Films* 517, pp. 5231-5236
- Fontana, M, G., Greene, N, D., 1984, "*Corrosion Engineering*", McGraw Hill, Singapore.
- Jones, D, A., 1992, "*Principles and Prevention of Corrosion*", MacMillan Publishing Company, New York
- Lukaszewicz, K., Dobrzansky, L, A., Pancielejko, M., 2007, "*Mechanical Properties of the PVD Gradient Coatings Deposited onto the Hot Work Tool Steel X40CrMoV5-1*", *Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering*", Vol. 24, Issue 2, pp. 115-118
- Podgornik, B., Vizintin, J., 2003, "*Tribology of Thin and Their Use in the Field of Machine Element*", *Vacuum*, pp. 39-47.
- Suroso, I., Mudjijana., Suyitno, T., 2009, "*Pengaruh Implantasi AlN Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Bantalan Bola*", *Jurnal Mesin dan Industri*, Volume 6, No. 1, ISSN 1693-704X, pp. 37-46.
- Wagiyo, H., Wulan, P., 2008, "*Pengaruh Implantasi Ion Aluminium Terhadap Ketahanan Korosi Suhu Tinggi Baja Corten*", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN: 1411-1098, pp. 115-119
- Wen, F. L., Lo, Y. L., Yu, Y, C., 2007, "*Surface Modification of SKD-61 Steel by Ion Implantation Technique*", *JVST A*, Vol. 25, No. 4, pp. 1137-1142