

**EXECUTIVE SUMMARY
HIBAH PENELITIAN DISERTASI DOKTOR
(APDD)**



**APLIKASI SPUTTERING AIN DAN WN PADA BAJA AISI 410
SEBAGAI TOOL BEDAH TULANG DAN SARAF**

Ketua
Gaguk Jatisukamto, ST, MT
NIDN. 0009026907

**UNIVERSITAS JEMBER
DESEMBER 2013**

ABSTRAK

Mikro machining adalah proses pemesinan komponen-komponen dalam skala milimeter hingga mikrometer. Dalam bidang biomedis, proses mikro machining sangat diperlukan untuk tindakan operasi bedah tulang dan syaraf, karena tindakan operasi memerlukan tingkat akurasi dan sifat material yang baik. Salah satu bahan yang banyak digunakan sebagai *cutting instrument* dan *non cutting instrument* adalah baja AISI 410.

Material ini memiliki kelemahan sifat mekanis dan ketahanan korosinya, sehingga berbagai upaya masih terus dikembangkan untuk memperbaiki kelemahannya. Upaya perbaikan baja AISI 410 hingga saat ini banyak dilakukan dengan cara perlakuan panas, nitriding atau carburising yang dilaksanakan pada suhu tinggi. Proses perlakuan pada suhu tinggi menyebabkan terjadi warping dan distorsi, dimana hal ini dapat menyebabkan nekrosis pada sel atau tulang. Baja AISI 410 rentan mengalami pitting corrosion, dimana pelepasan ion-ion berbahaya dapat masuk terserap kedalam tubuh. Pada penelitian ini akan dikaji perlakuan pada permukaan baja AISI 410 dengan menggunakan teknik d.c. magnetron sputtering dengan terdisposisi AlN dan WN.

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah baja AISI 410. Proses pelapisan menggunakan lapisan monolayer AlN dengan bahan target Al dengan kemurnian 99,999% dan lapisan monolayer WN dengan bahan target W dengan kemurnian 99,999%. Teknik sputtering menggunakan teknik d.c magnetron sputtering dengan menggunakan variasi waktu, yaitu bahan substrat (bahan yang dilapisi) diletakkan di dalam ruang vakum, dimana material target (bahan pelapis) dibombardir dengan gas argon. Material hasil deposisi lapisan sputtering selanjutnya dilakukan uji komposisi kimia, uji kekasaran permukaan, uji mikrohardness, uji aus spesifik, uji mikroskopik, uji korosi, uji SEM/Edax dan uji XRD.

Berdasarkan hasil penelitian disertasi ini diperoleh kesimpulan bahwa sputtering AlN dan sputtering WN pada permukaan baja AISI 410 dapat memperbaiki sifat tahan korosi dan sifat tahan aus. Parameter utama yang mempengaruhi sifat tahan korosi dan tahan aus hasil sputtering AlN adalah kekasaran permukaan. Sifat tahan korosi dapat mengeliminasi unsur-unsur atau ion yang terlepas di dalam tubuh, sedangkan sifat tahan aus dapat mengeliminasi tingkat kekasaran yang diharapkan sebagai tool untuk peralatan bedah. Hasil analisis unsur, menunjukkan tidak terdapat unsur nikel yang terlepas ke dalam tubuh.

Kata kunci: baja AISI 410, d.c. magnetron sputtering, sifat mekanis, sifat korosi, SEM/EDAX

APLIKASI SPUTTERING AIN DAN WN PADA BAJA AISI 410 SEBAGAI TOOL BEDAH TULANG DAN SARAF

Gaguk Jatisukamto

RINGKASAN

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Micro machining adalah proses pemesinan komponen-komponen dengan interval ukuran mikro meter sampai millimeter (Chae, dkk., 2006). Dalam bidang biomedis, proses *micro machining* sangat diperlukan untuk melakukan tindakan operasi bedah tulang dan saraf, karena menuntut tingkat ketelitian tinggi (Shin, dkk., 2008).

Micro machining pada umumnya menggunakan pahat (*tool*) dari bahan intan dan tungsten karbida. Pahat intan mempunyai afinitas kimia tinggi dengan logam ferrous, sehingga mudah aus. Pahat tungsten karbida menggunakan pengikat kobalt, dan pada komposisi kobalt yang rendah menyebabkan pahat menjadi rapuh dan kekasaran permukaannya tinggi (Chae, dkk., 2006). Menurut Sugita dan Mitsubishi, (2009), kekasaran permukaan pada proses bedah orthopedi menyebabkan nekrosis pada sel-sel tulang dan saraf.

Baja AISI 410 memiliki sifat tahan karat dan kekerasan yang baik, sehingga banyak digunakan sebagai pahat dalam bidang medis (ASTM F899-02, 2006), akan tetapi memiliki kelemahan sebagai berikut:

1. Kekerasan mikrohardness paling rendah dibandingkan baja tahan karat martensit grade-4 lainnya.
2. Perlakuan pada suhu tinggi (*quench* dan *tempering*) menyebabkan *warping* (ASM, 1982).
3. Nitriding pada suhu tinggi menyebabkan distorsi pada komponen-komponen berdimensi kecil dan menuntut kepresisian tinggi (Corengia, dkk., 2004), (Marchev, dkk., 1998).

4. Nitriding pada suhu rendah menyebabkan *pitting corrosion* (Li dan Bell, 2006).

Untuk meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan korosi, maka dalam penelitian ini dilakukan proses sputtering pada permukaan pada baja AISI 410. Sputtering dilakukan pada suhu rendah dalam kondisi vakum, dan proses sputtering tersebut diharapkan memiliki kepresisian tinggi karena tidak menyebabkan perubahan dimensi (Sinha, 2003). Hingga saat ini kajian tentang baja AISI 410 masih sangat sedikit dan perlu dikembangkan (Krishna, dkk., 2009). Dalam penelitian ini proses sputtering menggunakan bahan pelapis AlN dan WN yang memiliki tingkat keamanan dalam bidang medis (Grainger, 1989).

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi permukaan pada baja AISI 410 dengan menggunakan teknik sputtering dengan bahan pelapis AlN dan WN.

1.2. Tujuan Khusus

Penelitian ini secara khusus memiliki tujuan:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh lapisan AlN dan WN pada baja tahan karat AISI 410 dengan menggunakan teknik d.c magnetron sputtering.
2. Untuk mengetahui kelayakan lapisan AlN dan WN dengan teknik d.c magnetron sputtering pada baja tahan karat AISI 410 sebagai pahat *micro machining*

II. Metodologi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat AISI 410 dengan komposisi kimia (% berat): 12,83 Cr; 0,12 C; 0,34 Si; 0,03 S; 0,02 P; 0,43 Mn; 0,03 Mo; 0,21 Ni; 0,02 Zn; 0,06 Cu; 0,01 W dan Fe balan. Spesimen penelitian dari bahan raw baja AISI 410 berdiameter 35 mm yang selanjutnya dibubut hingga memiliki dimensi dengan diameter 14 mm dan tebal 3 mm. Sputtering AlN menggunakan target Aluminium padat dengan tingkat kemurnian Al 99.999% (*goodfellow*), dimensi ($\varnothing = 50$ mm, tebal 3 mm) dan gas nitrogen. Sputtering WN menggunakan bahan target Tungsten padat dengan tingkat

kemurnian W 99.999% (goodfellow), dimensi ($\varnothing = 50$ mm, tebal 3 mm) dan gas Nitrogen.

Pada penelitian ini deposisi lapisan sputtering menggunakan variasi waktu, selanjutnya sampel hasil sputtering tersebut dilakukan uji karakteristik lapisan meliputi: uji kekerasan mikro, uji aus spesifik, uji korosi, pengamatan mikroskop optik, observasi SEM/Edax, dan analisis XRD.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Sputtering d.c. Magnetron Sputtering AlN pada Baja AISI 410.

Peningkatan waktu deposisi sputtering AlN dapat meningkatkan kekasaran permukaan baja AISI 410 dari $R_a = 0,141$ μm untuk sampel tanpa perlakuan menjadi $R_a = 0,198$; $0,329$; $0,642$; dan $0,849$ μm masing-masing untuk waktu deposisi sputtering AlN 40, 50, 60 dan 70 menit. Sputtering AlN dapat menurunkan laju aus spesifik dari $1,019 \times 10^{-2}$ $\text{mm}^3/\text{kg.m}$ untuk sampel tanpa perlakuan menjadi $1,43909 \times 10^{-3}$; $4,06814 \times 10^{-3}$; $4,33566 \times 10^{-3}$ dan $9,14677 \times 10^{-3}$ $\text{mm}^3/\text{kg.m}$ untuk waktu deposisi sputtering AlN 40, 50, 60 dan 70 menit.

Deposisi sputtering AlN dengan variasi waktu menunjukkan adanya korelasi antara waktu deposisi, kekerasan dan laju aus spesifik. Sputtering AlN dapat meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 410 dari 182,23 VHN untuk sampel tanpa perlakuan menjadi 196,29; 197,30; 222,01; 194,38 VHN masing-masing untuk sputtering AlN 40, 50, 60 dan 70 menit. Peningkatan kekerasan dapat menurunkan laju keausan, akan tetapi peningkatan waktu deposisi sputtering AlN cenderung meningkatkan laju ausan spesifik permukaan material hasil deposisi AlN.

Deposisi sputtering AlN dengan variasi waktu menunjukkan korelasi antara waktu deposisi, kekasaran permukaan dan laju korosi. Evaluasi hasil uji korosi menunjukkan bahwa sputtering AlN pada baja AISI 410 menghasilkan perubahan arus korosi (i_{corr}). Laju korosi sampel yang memperoleh deposisi AlN turun untuk waktu deposisi 40 menit, akan tetapi naik bertahap dengan meningkatnya waktu sputtering untuk waktu deposisi 50, 60 dan 70 menit. Laju korosi dan kekasaran permukaan menunjukkan pola kecenderungan yang sama.

Pengamatan mikroskopis sampel tanpa perlakuan dan sampel setelah memperoleh deposisi AlN dengan d.c. magnetron sputtering AlN menunjukkan terjadi pitting corrosion dengan potensial sekitar -341,04 mV, dan pitting corrosion masih nampak meskipun sampel telah memperoleh sputtering AlN.

Grafik polarisasi potensiodinamik baja AISI 410 yang memperoleh deposisi dengan teknik d.c. magnetron sputtering AlN dan sampel tanpa perlakuan dengan media korosi 0,9% NaCl, tidak menunjukkan adanya pasivasi yang jelas, akan tetapi sputtering AlN dapat merubah kurva polarisasi pada baja AISI 410. Arus korosi (i_{corr}) turun bertahap dari 1,81 μ A untuk sampel tanpa perlakuan menjadi 1,69, 1,72, 1,74 masing untuk sampel dengan perlakuan sputtering 40, 50, 60 dan 70 menit. Laju korosi terbesar terjadi pada sampel dengan sputtering AlN 70 menit. Sputtering AlN dapat menurunkan laju korosi baja AISI 410, meskipun peningkatan waktu deposisi menunjukkan peningkatan laju korosi juga. Laju korosi pada sputtering AlN 70 menit lebih besar jika dibandingkan laju korosi sampel tanpa perlakuan.

Observasi SEM-EDAX penampang melintang baja AISI 410 yang memperoleh perlakuan d.c. magnetron sputtering AlN dengan waktu deposisi 60 menit menunjukkan hasil bahwa konsentrasi atom Al dan N menunjukkan konsentrasi atom Al dan N mencapai maksimum pada permukaan, dan berangsur-angsur turun pada arah menuju logam induk.

3.2. Sputtering d.c. Magnetron Sputtering WN pada Baja AISI 410.

Deposisi sputtering lapisan WN dengan variasi waktu menunjukkan korelasi antara kekasaran permukaan dan laju aus spesifik sebagai fungsi waktu. Peningkatan waktu deposisi sputtering WN dapat menurunkan kekasaran permukaan baja AISI 410 dari $R_a = 0,141 \mu\text{m}$ untuk sampel tanpa perlakuan menjadi $R_a = 0,1308$; $0,093$; dan $0,2189 \mu\text{m}$ masing-masing untuk waktu deposisi 30, 40, dan 50 menit. Sputtering WN dapat menurunkan laju aus spesifik dari $1,019 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ untuk sampel tanpa perlakuan menjadi $29,27 \times 10^{-4}$; $30,62 \times 10^{-4}$; dan $27,56 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ untuk waktu deposisi 30, 40, dan 50 menit.

Deposisi sputtering lapisan WN menunjukkan korelasi antara waktu deposisi, kekerasan dan laju aus spesifik. Sputtering WN dapat meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 410 dari 182,47 VHN untuk sampel tanpa perlakuan menjadi 262,17; 286,59; dan 260,76 VHN masing-masing untuk deposisi 30, 40, dan 50 menit.

Deposisi sputtering lapisan WN menunjukkan korelasi antara waktu deposisi, kekasaran permukaan dan laju korosi. Evaluasi hasil uji korosi menunjukkan bahwa sputtering WN pada baja AISI 410 menghasilkan perubahan arus korosi (i_{corr}). Sputtering WN dapat menurunkan laju korosi, dimana laju korosi sampel yang memperoleh deposisi WN terus turun untuk waktu deposisi 30, 40 dan 50 menit, meskipun kekasaran permukaan menunjukkan penurunan.

Pengamatan mikroskopis sampel tanpa perlakuan dan sampel setelah memperoleh deposisi AlN dengan d.c. magnetron sputtering menunjukkan hasil adanya pitting corrosion dengan potensial sekitar -341,04 mV, dan pitting corrosion masih nampak meskipun sampel telah memperoleh sputtering WN.

Arus korosi (i_{corr}) turun bertahap dari 1,81 μ A untuk sampel tanpa perlakuan menjadi 1,73; 0,51 dan 0,39 μ A masing untuk sampel dengan perlakuan sputtering WN 30, 40 dan 50 menit. Laju korosi terendah terjadi pada sampel dengan sputtering WN 50 menit. Sputtering WN dapat menurunkan laju korosi baja AISI 410 hingga waktu deposisi optimumnya, penurunan laju korosi terus berlanjut meskipun kekasaran permukaan meningkat, hal ini disebabkan pecah atau tidaknya lapisan.

Observasi Sem-Edax penampang melintang baja AISI 410 yang memperoleh perlakuan d.c. magnetron sputtering WN dengan waktu deposisi 40 menit. Pengamatan konsentrasi atom W dan N diambil dari arah permukaan menuju logam induk. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi atom W dan N mencapai maksimum pada permukaan, dan berangsur-angsur turun pada arah menuju logam induk.

3.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil uji kekasaran permukaan, maka pada permukaan substrat baja AISI 410 tanpa perlakuan sputtering memiliki kekasaran permukaan 0,141 μm . Deposisi sputtering AlN dengan d.c. magnetron sputtering menyebabkan kekasaran permukaan baja AISI 410 meningkat. Peningkatan waktu deposisi sputtering WN dapat menurunkan kekasaran permukaan baja AISI 410 dari $R_a = 0,141 \mu\text{m}$ untuk sampel tanpa perlakuan menjadi $R_a = 0,1308$; $0,093$; dan $0,2189$.

Berdasarkan hasil uji korosi elektrokimia dengan metode polarisasi potensiodinamik dalam media 0,9% NaCl, laju korosi lapisan tipis hasil deposisi lapisan AlN dan lapisan tipis WN dapat menurunkan laju korosi permukaan baja AISI 410. Laju korosi akan naik, jika kekasaran permukaan meningkat. Deposisi lapisan sputtering AlN dengan teknik d.c. magnetron sputtering menyebabkan porositas atau lobang sehingga meningkatkan korosi galvanik.

Hasil uji elektrokimia menunjukkan hasil, bahwa densitas arus korosi (i_{corr}) menunjukkan penurunan, hal ini dapat dijelaskan bahwa sputtering AlN dapat menurunkan laju korosi pada permukaan baja AISI 410, terutama yang disebabkan lobang atau celah pada permukaan. Lobang atau retak kecil pada permukaan dapat tertutupi oleh adanya deposisi lapisan.

Laju aus spesifik terendah tidak terjadi pada permukaan sampel yang memiliki kekerasan tertinggi. Kekerasan dan laju aus tidak berkorelasi, akan tetapi laju aus lebih dipengaruhi oleh koefisien gesek yang sangat tergantung pada kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan menyebabkan tegangan kontak meningkat, hal disebabkan permukaan kontak tidak homogen, sehingga koefisien meningkatkan koefisien gesek.

Sputtering AlN dan WN dapat memperbaiki ketahanan korosi baja AISI 410, akan tetapi mekanisme korosi belum dapat diketahui secara pasti, hal ini disebabkan banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya mekanisme korosi pada permukaan sampel hasil perlakuan sputtering. Hasil uji edax menunjukkan hasil

bahwa unsur nikel (Ni) yang bersifat toksin dapat tereliminasi dari permukaan sampel. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengamati pengaruh konfigurasi lapisan, mikrostruktur, tegangan sisa dan ukuran butiran.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sementara, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sputtering AlN dapat dilakukan untuk memperbaiki permukaan baja AISI 410
2. Sputtering WN dapat dilakukan untuk memperbaiki permukaan baja AISI 410
3. Hasil komposisi kimia menunjukkan tidak terdapat kandungan unsur Ni yang bersifat toksin pada permukaan baja AISI 410
4. Penurunan unsur terlarut dari permukaan baja AISI 410 yang dapat mengkontaminasi tubuh

4.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan tekanan vakum yang sangat rendah dibawah 10^{-5} Torr, sehingga pengaruh tumbukan antara seama ion dapat dieliminasi.
2. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menggunakan lapisan multilayer

REFERENSI:

- ASM, 1982, *“Heat Treater’s Guide: Standard Practice and Procedure for Tool Steel”*, Metal Park, Ohio 44073
- ASTM F 899-02, 2006, *“Medical and Surgical Material and Devices; Anesthetic and Respiratory Equipment; Pharmaceutical Application of Process Analytical Technology”*, Vol. 13.01
- Chae, J., Park, S.S., Freiheit, T., 2006, *“Investigation of Micromachning”* International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, pp. 313-332.

- Corengia, P., Walther, F., Ybarra, G., Sommadossi, S., Corbari, R., Broitman, E., 2006, "*Friction and Rolling-Sliding Wear of DC-Pulsed Plasma Nitrided AISI 410 Martensitic Stainless Steel*", *Wear* 260 pp 479-485
- Grainger, S., 1989, "Engineering Coatings", Abington Publishing, Cambridge
- Krishna, B.V., Bandyopadhyay, A., 2009, "Surface modification of AISI 410 stainless steel using laser engineered net shaping (LENSTM)", *Materials and Design* 30, pp.1490–1496
- Li, C.X., Bell, T., 2006, "Corrosion Properties of Plasma Nitrided AISI 410 Martensitic Stainless Steel in 3.5% NaCl and 1% HCl", *Corrosion Science* 48, pp. 2036–204
- Marchev, K., Cooper, C, V., Giessen, B, C., (1998), "*Observation of a Compound Layer With Very Low Friction Coefficient in Ion-Nitrided Martensitic 410 Stainless Steel*", *Surface Coating Technology* 99, pp. 229-233
- Shin, S, H., Kim, M, W., Kang, M, C., Kim, K, H., Kwon, D, H., Kim, J, S., (2008), "*Cutting Performance of CrN and Cr-Si-N Coated End-Mill Deposited by Hybrid Coating Sistem for Ultra-High Speed Micro Machining*", *Surface & Coating Technology* 202, pp. 5613-5616
- Sinha, A. K., 2003, "*Physical Metallurgy Handbook*", McGraw Hill Handbook
- Sugita, N., Mitsuishi, M., 2009, " Specifications for Machining the Bovine Cortical Bone in Relation to its Microstructure", *Journal of Biomechanics* 42 pp. 2826–2829