

KARAKTERISASI MEKANIS DAN FISIS Lapisan HARD-CHROM ELEKTRO-PLATING PADA PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT AISI 410

Viktor Malau¹⁾, Soekrisno²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

²⁾Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jln. Grafika 2, Bulaksumur Yogyakarta, 55281.

e-mail: malau@ugm.ac.id

Abstrak

Baja martensitik 410 (AISI 410) untuk aplikasi alat-alat kedokteran dan kedokteran gigi masih mempunyai kelemahan yaitu kekerasan rendah, keausan dan laju korosi tinggi, sehingga baja ini akan memiliki lifetime pendek. Salah satu usaha untuk meningkatkan lifetime bahan ini adalah dengan memberi lapisan khusus pada permukaannya. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi kuat arus terhadap sifat mekanis dan fisis dari permukaan baja martensitik 410 yang telah diberi lapisan *hard chrome electroplating*. Sifat mekanis dan fisis yang dipelajari meliputi kekerasan, laju korosi, keausan spesifik dan struktur mikro serta tebal lapisan sebelum dan sesudah diberi lapisan. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 1,0; 1,25; 1,50; 1,75 dan 2,0 amper pada tegangan 6 volt dan lama pelapisan 30 menit (konstan).

Proses *hard-chrome electroplating* menggunakan anoda berupa batang Pb (lead) dan Sn (antimony) dan larutan elektrolit 300 gr/l CrO₃, 3gr/l H₂SO₄ pada temperatur kerja 40–55 °C, pH sekitar 4 – 5 dengan agitasi udara. Tebal lapisan dapat diketahui dengan mikroskop optik, kekerasan permukaan dengan uji mikro Vickers, laju korosi dicari dengan alat sel tiga elektroda potensiostat dalam larutan 0,9 % NaCl, dan keausan spesifik diketahui dengan mesin Ogoishi High Speed Universal Wear Testing Machine.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tebal lapisan dan kekerasan meningkat bila kuat arus meningkat. Kekerasan teringgi sebesar 480 VHN dicapai pada kuat arus 2 amper. Laju korosi cenderung turun jika kuat arus naik dari 1,0 ke 1,50 amper dengan laju korosi terendah sebesar 0,0057 mm/tahun dan selanjutnya laju korosi akan meningkat jika kuat arus lebih besar dari 1,50 amper. Jadi, baja 410 perlu dilapisi *hard-chrome* dengan kuat arus sekitar 1,50 amper agar diperoleh laju korosi minimum. Keausan spesifik dari lapisan *hard-chrome* cenderung turun jika kuat arus meningkat dari 1,0 ke 1,5 amper. Nilai keausan terendah adalah sebesar $5,9 \times 10^{-9}$ mm³/kgmm (konstan) jika kuat arus naik dari 1,5 sampai 2 amper.

Keywords: *hard chrome electroplating, kekerasan, laju keausan dan korosi*

Pendahuluan

Pemakaian logam, termasuk baja tahan karat AISI 410, banyak dijumpai pada berbagai bidang teknik seperti bidang industri, konstruksi, dan berbagai komponen mesin yang harus memenuhi persyaratan seperti kekuatan, tahan korosi, tahan aus, dan tahan beban kejut. Dalam kenyataannya, tidak ada bahan yang memiliki sifat sempurna dengan kekuatan tinggi sekaligus tahan aus, tahan beban kejut serta tahan korosi. Bila ditemukan bahan yang demikian, tentu harga bahan tersebut akan mahal sekali. Dalam perkembangannya, ada usaha-usaha menggunakan baja dengan sifat mekanis yang tidak terlalu tinggi, harga relatif murah dan mudah diperoleh di pasaran. Sifat kurang baik dari bahan tersebut dapat ditingkatkan dengan berbagai cara, dan salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan teknik perlakuan permukaan (*surface treatment*) berupa pemberian lapisan pada permukaan logam tersebut.

Dalam kebanyakan kasus di lapangan, kegagalan komponen-komponen suatu mesin atau suatu konstruksi seperti poros, roda gigi, camshaft selalu

dimulai dari permukaannya, baik akibat aus, korosi maupun fatik. Dengan demikian, bila permukaan komponen-komponen tersebut dapat dibuat memiliki sifat lebih baik dibandingkan dengan bagian dalamnya, maka jumlah kegagalan dapat diminimumkan. Berbagai teknik pelapisan untuk meningkatkan / memodifikasi sifat-sifat permukaan dapat ditempuh dan salah satu teknik yang banyak ditemui di industri adalah teknik **elektroplating**.

Proses elektroplating dilaksanakan pada suhu antara 40 dan 55 °C pada tegangan DC sebesar 6 volt, pH larutan antara 4 dan 6 dengan variasi kuat arus listrik sebesar 1,0; 1,25; 1,50; 1,75 dan 2,0 amper. *Hard-chrome electroplating* menggunakan larutan chromic acid (CrO₃) dan asam sulfat (H₂SO₄). Bahan yang dilapisi adalah baja tahan karat AISI 410. Sifat-sifat lapisan yang akan diteliti adalah kekerasan, laju keausan, laju korosi, dan struktur mikro. Kekerasan permukaan dapat diketahui dengan menggunakan alat uji kekerasan Vickers, laju korosi dalam larutan 0,9 % NaCl dapat diketahui dengan menggunakan alat uji korosi tipe sel tiga elektroda

dengan potensiostat, laju keausan diperoleh dengan uji keausan sedangkan struktur mikro dan komposisi kimia lapisan diamati dengan mikroskop optik, SEM dan EDS.

Tinjauan Pustaka

Berikut ini disebutkan hasil dari beberapa penelitian tentang lapisan khrom pada permukaan suatu material: **Alian** (2010) melakukan karakterisasi lapisan khrom (Cr) dan seng (Zn) pada permukaan baja karbon (98,78 Fe; 0,182 C; 0,32 Cr; 0,08 Mo; dan 0,67 Mn) dengan variasi tegangan 6, 9, dan 12 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi dari lapisan khrom (Cr) lebih rendah dari laju korosi lapisan seng (Zn) dalam lingkungan air laut.

Huang dkk (2000) melakukan pengamatan tentang efisiensi transportasi ion khrom pada proses pelapisan *hard-chrome* dengan memberi variasi kecepatan putar elektroda (200, 500, 1000 dan 2000 rpm) dan variasi rapat arus (30, 40, 50 dan 60 A/dm²). Hasil pengamatan menyimpulkan bahwa efisiensi transportasi ion khrom terbesar terjadi pada katoda baru pada kondisi putaran lebih besar dari 200 rpm dan rapat arus 400 A/dm². Transportasi ion Cr akan semakin meningkat dengan bertambahnya rapat arus dan kecepatan putar elektroda, sebaliknya difusi hidrogen pada permukaan katoda akan semakin berkurang. Hasil penelitian lain yang telah dilakukan oleh **Barbato**, dkk (2008) menunjukkan bahwa peningkatan suhu larutan selama proses hard-chrome pada permukaan baja 1045 akan menaikkan kekerasan permukaan dari 550 ke 700 BHN untuk rapat arus konstan sebesar 1 A/in² dan temperatur larutan antara 30 dan 60°C. **Sukrawan** (2001) melakukan penelitian terhadap lapisan hard-chrome pada ring piston dari bahan besi cor kelabu dengan memvariasi rapat arus. Hasil pengamatan menyimpulkan bahwa terdapat hubungan antara kenaikan rapat arus dengan efisiensi rapat arus katodik. Efisiensi arus katodik naik dari 15 ke 45% untuk variasi rapat arus dari 20 sampai 45 A/dm², dan selanjutnya efisiensi ini mengalami penurunan menjadi 16 % untuk rapat arus 140 A/dm². Kekerasan maksimum adalah 840 KHN untuk rapat arus 100 A/dm².

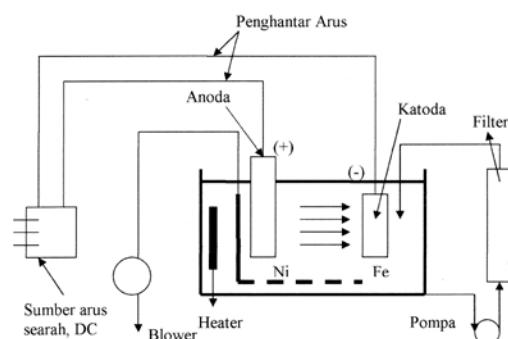
Hasil penelitian **Malau** dan **Reza** (2010) menunjukkan bahwa lapisan implantasi Cr dan CrN pada permukaan baja AISI 4140 akan menurunkan laju korosi tetapi meningkatkan kekerasan permukaan secara signifikan. Secara umum, kekerasan lapisan CrN lebih tinggi dari kekerasan lapisan Cr, tetapi sebaliknya lapisan CrN ini memiliki laju korosi lebih rendah. Kekerasan Vickers tertinggi lapisan implantasi CrN dan Cr secara berurutan adalah 439 kg/mm² dan 389 kg/cm² dengan lama implantasi 90 menit. Laju korosi terendah lapisan CrN dan Cr secara berurutan adalah 82,80 mpy dan 55,20 mpy dengan lama implantasi 75 menit. Lama implantasi optimum untuk mendapatkan kekerasan tertinggi dari kedua lapisan

adalah 90 menit, sedang lama optimum untuk menghasilkan laju korosi terendah 75 menit.

Bayon, dkk (2008) meneliti perilaku korosi-aus dari lapisan multilayer Cr/CrN yang diperoleh dengan teknik PVD *arc cathodic* pada baja F1272 dalam larutan 0,05M NaCl. Lapisan yang diuji mempunyai tebal 55 nm, 135 nm dan 500 nm. Laju korosi-aus terendah dihasilkan lapisan dengan tebal 500 nm. Bila tebal lapisan semakin besar, maka laju korosi ausnya semakin kecil. **Gomes**, dkk (2004) dengan metode simulasi numerik dan eksperimen telah menghitung kadar lapisan Cr dan N₂ pada permukaan baja karbon SAE 1020. Lapisan Cr diperoleh dengan teknik *Electron Beam* (EB) dan lapisan Cr ini dilapisi lagi dengan N₂ dengan teknik *Plasma Immersion Ion Implantation* (PIII). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa lapisan CrN memiliki ketahanan korosi lebih kecil dibandingkan dengan material dasar tanpa lapisan. **Zhou**, dkk (2008) telah meneliti ketahanan aus dari lapisan CrN (dengan teknik pelapisan *arc ion plating*) pada permukaan aluminium 2024. Bola Si₃N₄ digesekkan ke permukaan aluminium yang telah dilapisi CrN dan diperoleh hasil bahwa ketahanan aus pemukaan aluminium 2024 meningkat secara signifikan. **Sonobe**, dkk (1996) menyebutkan bahwa lapisan khrom nitrida (CrN) yang diperoleh dengan teknik PVD pada baja karbon sedang dapat lebih meningkatkan tahan korosi dan kekuatan fatig dibandingkan dengan teknik pelapisan konvensional.

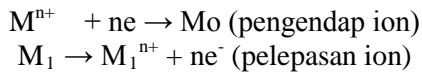
Landasan Teori

Elektroplating adalah suatu proses pelapisan permukaan material, dimana spesimen berfungsi sebagai katoda yang berlangsung didalam larutan elektrolit dengan jalan dialiri arus listrik melalui anoda. Sistem tersusun dari anoda, larutan elektrolit dan katoda (Gambar 1). Jika arus listrik searah dari sumber arus dialirkan antara kedua elektroda dalam larutan elektrolit, maka muatan ion positif akan ditarik oleh elektroda katoda, sedang ion negatif berpindah kearah elektroda positif. Ion-ion akan dinetralisir oleh kedua elektroda dan larutan elektrolit dan hasilnya akan diendapkan pada katoda.



Gambar 1. Rangkaian sistem pelapisan elektroplating

Secara umum reaksi perpindahan ion dari logam pelapis ke benda kerja, berlangsung secara redoks yang dapat diuraikan sebagai berikut:



Jika besar arus I (amper), waktu pelapisan t (detik), berat atom logam pelapis (B), valensi logam pelapis (Z), bilangan Faraday 96,500 coulomb, besar volume yang terendapkan V (mm^3), luas permukaan A (mm^2) dan masa jenis ρ (gram/ mm^3) dan efisiensi anoda (η), maka menurut Michael Faraday tebal lapisan T (mm) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{\eta \cdot I \cdot t \cdot B}{Z \cdot F \cdot A \cdot \rho} \quad (1)$$

Proses pelapisan hard chrome

Proses pelapisan khrom bisa dilakukan secara langsung pada benda kerja. Sebagai anoda dipakai paduan lead (Pb), elektrolit dipakai *chromic acid* (C_2O_3 , H_2SO_4), chromic flouride (C_2O_3): 150 -200 gr/l, H_2SO_4 : 1,2 – 0,8 gr/l dan KF: 0,6 – 0,8. Reaksi redoks yang terjadi adalah sebagai berikut:

- Pengendapan chromium



- Pelepasan gas hidrogen: $2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$.

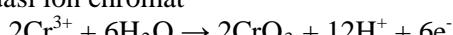
- Pembentukan Cr (III)



Reaksi oksidasi *chromium plating* pada anoda:

- Pelepasan hidrogen $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

- Oksidasi ion chromat



- Produksi timbal oksida



Berdasarkan reaksi di atas, terlihat hidrogen selalu dibebaskan pada katoda, sedang sebagian terperangkap diantara lapisan chromium. Jika arus melewati elektrolit, endapan khrom akan menempel di katoda dengan cara membebaskan hidrogen dan mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} . Sedang pada anoda terjadi pembebasan oksigen bersamaan dengan oksidasi Cr^{3+} menjadi Cr^{6+} yaitu pembentukan kembali CrO_3 , sehingga larutan elektrolit tetap konstan.

Metode Penelitian

a. Bahan penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian adalah potongan *martensitic stainless steels 410* (AISI 410).

b. Alat penelitian

- Alat electroplating untuk melapisi spesimen dengan power input 3x380/220 volt, arus 35 amper dengan kelengkapannya berupa pH meter dan termometer.
- Alat uji kekerasan mikro Vickers, alat uji keausan, alat uji korosi dengan sel tiga elektroda, mikroskop optic serta mesin poles.

c. Pengujian

Pengujian kekerasan

Pengujian yang dilakukan dengan alat *Micro Hardness Tester* menggunakan beban indentasi $F = 0,025 \text{ kg}$, dan lama penekanan $t = 10 \text{ detik}$. Kekerasan VHN (kg/mm^2) dicari dengan rumus:

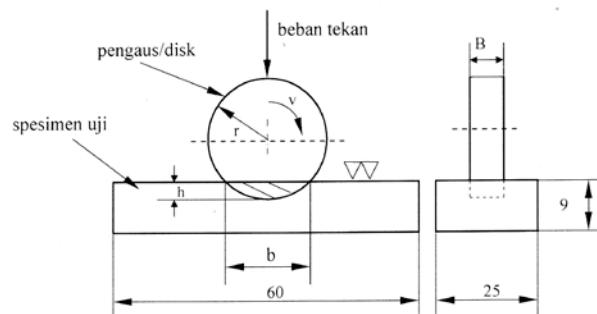
$$\text{VHN} = \frac{1,854 F}{D^2} \quad (2)$$

dengan $d = \text{diagonal bekas injakan (mm)}$.

Pengujian keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan mesin *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*. Skema pengujian diperlihatkan pada Gambar 2. Jika besar beban gesek F_o (kg), tebal disk pengaus B (mm), panjang abrasi b (mm), jari-jari pengaus r (mm), dengan jarak lintasan sliding l_o (mm), maka besar laju keausan spesifik W_s (mm^3/kgmm) dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

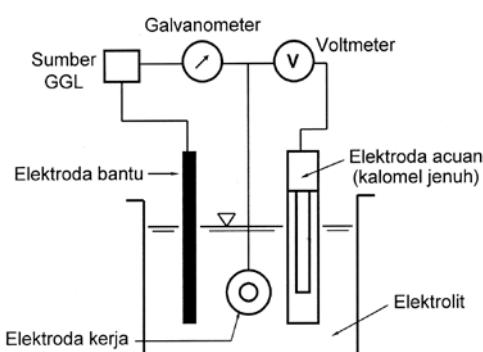
$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot F_o \cdot l_o} \quad (3)$$



Gambar 2. Prinsip pengausan disk on block

Pengujian korosi

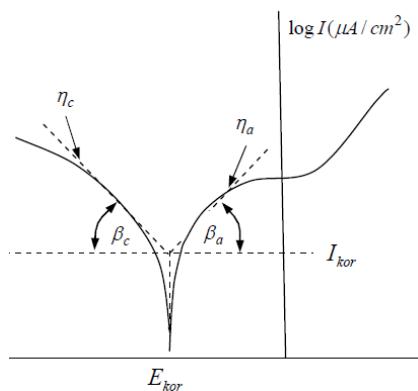
Pengujian korosi dilakukan dengan cara mengamati intensitas arus korosi I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) dari benda uji dalam media 0,9 % larutan natrium chlorid (NaCl). Sebagai mesin uji dipakai mesin tipe sel tiga elektroda Potensiostat Tipe PGS-201T, teknik pengujian resistance dengan rentang tegangan -20 mV s/d 20 mV, *scan rate*: 0,1 mV/s, dan skala $E_{cor} = -248$, MV/PT: 0,25. Skema alat uji korosi diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema alat uji korosi tipe sel tiga elektroda

Elektroda kerja mengalami **reaksi reduksi** yang ditunjukkan dengan gradien negatif pada grafik

sebelah kiri (Gambar 4). Reaksi ini terjadi saat diberi potensial -20 mV dan diperbesar sampai dengan arus reduksi mencapai nol pada potensial korosi (E_{kor}) tertentu. Proses reduksi berakhir ketika arus mencapai nilai nol. Elektroda kerja mengalami **reaksi oksidasi** setelah reaksi reduksi berakhir, ditunjukkan dengan gradien positif pada grafik sebelah kanan. Reaksi ini terjadi saat diberi potensial dan arus yang semakin besar. Potensial yang biasanya diberikan sampai dengan 20 mV.



Gambar 4. Kurva potensial vs log intensitas arus
(Tretthewey, K. R., and Chamberlain, 1991)

Laju korosi r (mm/tahun) untuk bahan paduan ditentukan berdasarkan persamaan (**Jones**, 1991):

$$r = 0,00327 \frac{I_{cor}(E_w)}{\rho} \quad (4)$$

Berat ekivalen $E_w = N_{EQ}^{-1}$

$$N_{EQ} = \sum \left(\frac{\omega_i}{a_i / n_i} \right) = \sum \left(\frac{\omega_i n_i}{a_i} \right) \quad (5)$$

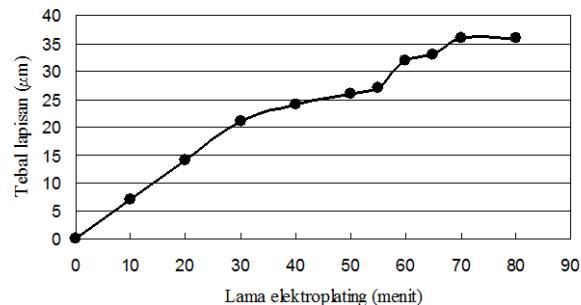
dengan:
 I_{cor} = arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
 ρ = kerapatan spesimen (gr/cm^3)
 N_{EQ} = nilai equivalen total
 ω_i = fraksi berat komponen
 a_i = nomor massa atom
 n_i = elektron valensi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji komposisi dari logam dasar AISI 410 menunjukkan bahwa bahan AISI 410 memiliki komposisi kimia sebagai berikut: (% wt) 0,12 C; 0,34 Si; 0,03 S; 0,02 P; 0,43 Mn; 0,21 Ni; 12,83 Cr; 0,03 Mo; 0,06 Cu; 0,01 W; 0,01 Sn; 0,01 Ca; 0,02 Zn dan 85,90 Fe. Setelah diadakan perhitungan, logam dasar AISI 410 memiliki khrom ekivalen (Cr_{eq}) = 13,58 % dan nikel ekivalen (Ni_{eq}) = 4,04 %, maka hasil pengecekan nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} pada diagram Schaeffler menunjukkan bahwa logam dasar yang digunakan termasuk baja tahan karat martensitik dengan kekerasan 210 VHN.

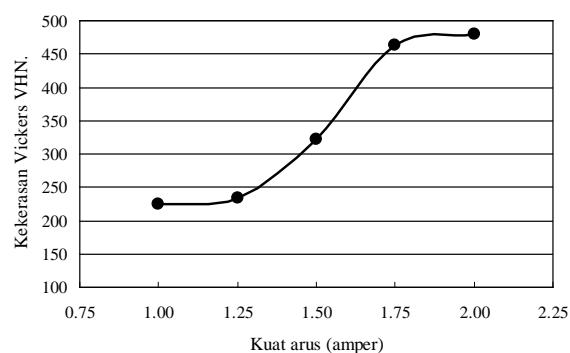
Gambar 5 menunjukkan pengaruh lama pelapisan

terhadap terhadap tebal lapisan *hard-chrome* pada permukaan baja 410 untuk tegangan 6 volt dan kuat arus 1,75 amper. Tebal lapisan naik secara parabolik seiring naiknya lama elektroplating yang digunakan.



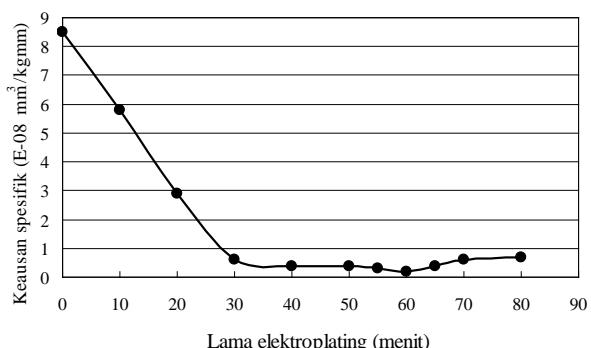
Gambar 5. Tebal lapisan hard-chrome electroplating pada permukaan baja 410 sebagai fungsi kuat arus elektroplating pada tegangan 6 volt dan kuat arus 1,75 amper

Gambar 6 memperlihatkan kekerasan Vickers dari lapisan *hard-chrome* elektroplating pada permukaan baja AISI 410 sebagai fungsi kuat arus pada tegangan 6 volt dan lama elektroplating 30 menit.



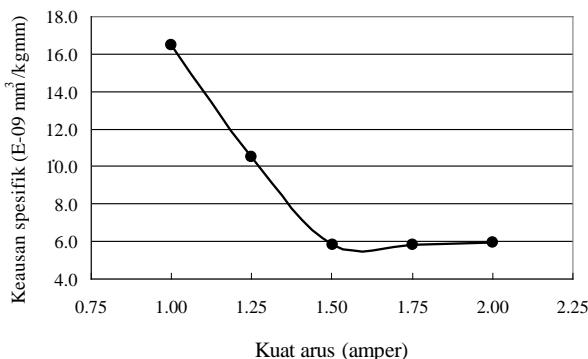
Gambar 6. Kekerasan lapisan hard-chrome electroplating pada permukaan baja AISI 410 sebagai fungsi kuat arus pada tegangan 6 volt dan lama electroplating 30 menit

Kekerasan permukaan meningkat seiring dengan naiknya kuat arus elektroplating yang digunakan. Hal ini memberi arti bahwa kenaikan kuat arus akan meningkatkan kerapatan lapisan sehingga kekerasan naik.



Gambar 7. Pengaruh lama elektroplating terhadap keausan spesifik dari lapisan hard-chrome electroplating pada permukaan baja AISI 410 untuk tegangan 6 volt dan kuat arus 1,75 amper.

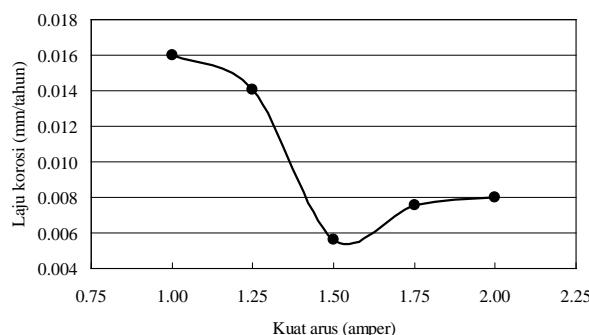
Keausan spesifik menurun seiring dengan bertambahnya lama elektroplating seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Keausan spesifik turun dengan cepat jika lama elektroplating naik sampai 30 menit, dan keausan spesifik ini akan konstan pada harga sekitar $0,5 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{kgmm}$ untuk lama elektroplating lebih besar dari 30 menit. Jadi bahan AISI 410 harus diberi lapisan *hard-chrome* elektroplating dengan lama elektroplating minimal 30 menit agar diperoleh keausan spesifik terkecil.



Gambar 8. Pengaruh kuat arus terhadap keausan spesifik lapisan *hard-chrome* electroplating pada permukaan baja 410 untuk tegangan 6 volt dan lama pelapisan 30 menit

Gambar 8 menunjukkan nilai keausan spesifik sebagai fungsi kuat arus. Keausan turun dengan cepat jika kuat arus naik dari 1,0 sampai 1,50 amper. Nilai keausan hampir konstan ($5,9 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{kgmm}$) jika kuat arus naik dari 1,5 sampai 2 amper.

Distribusi laju korosi lapisan *hard-chrome* pada permukaan baja AISI 410 sebagai fungsi kuat arus diperlihatkan pada Gambar 9. Laju korosi turun jika kuat arus naik dari 1,00 sampai 1,50 amper. Laju korosi terendah sebesar 0,0057 mm/tahun terjadi pada kuat arus 1,50 amper. Laju korosi ini meningkat bila kuat arus naik dari 1,50 sampai 2,00 amper.



Gambar 9. Pengaruh kuat arus terhadap laju korosi lapisan *hard-chrome* electroplating pada permukaan baja AISI 410 untuk tegangan 6 volt dan lama electroplating 30 menit

Kesimpulan

- Hasil penelitian menunjukkan bahwa tebal lapisan dan kekerasan meningkat bila kuat arus meningkat.

Kekerasan teringgi sebesar 480 VHN dicapai pada kuat arus 2 amper.

- Keausan turun dengan cepat jika kuat arus naik dari 1,0 sampai 1,50 amper. Nilai keausan hampir konstan ($5,9 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{kgmm}$) jika kuat arus naik dari 1,5 sampai 2 amper.
- Laju korosi cenderung turun jika kuat arus naik dari 1,0 ke 1,5 amper dengan laju korosi terendah sebesar 0,0057 mm/tahun dan selanjutnya laju korosi akan meningkat jika kuat arus lebih besar dari 1,50 amper. Jadi, baja 410 perlu dilapisi *hard-chrome* dengan kuat arus sekitar 1,50 amper agar diperoleh laju korosi minimum.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan kerjasama dengan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, dalam hal ini Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada bertindak sebagai penyandang dana. Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada Fakultas Teknik UGM yang telah membiayai penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- Alian, H., Pengaruh Tegangan pada Proses Electroplating Baja dengan Pelapis Seng dan Khrom terhadap Kekerasan dan Laju Korosi, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke 9, Palembang (2010).
- Bayon, R., Igartua, A., Fernandez, X., Martinez, R., Corrosion-wear Behavior of PVD Cr/CrN Multilayer Coatings for Gear Applications, *International Tribology*, Elsevier (2008).
- Barbato, S. R., Ponce, J. F., Jara, M. V., Cuevas, J. S., Egana, R. A., Study of the Effect of Temperature on the Hardness, Grain Size, and Yield in Electrodeposition of Chromium on 1045 Steel, *Journal of the Chilean Chemical Society*, Vol. 53, No. 1 (2008).
- Gomes, G. F., Ueda, M., Reuther, H., Chromium Recoil Implantation into SAE 1020 Steel by Nitrogen Ion Bombardement, *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 34, No. 4B (2004).
- Huang, C. A., Tu, G. C., Liao, M. C., Kao, Y. L., Hard Chromium Plating on Cold Swaged Cr-Mo Steel Using Rotating Cylinder Electrode, *Journal of Materials Science Letters* 19, 1357-1359 (2000).
- Jones, D. A., 1991, Principles and Prevention of Corrosion, MacMilman Publishing Company, Ohio.
- Malau, V dan Reza, Karakterisasi Sifat Korosi dan Kekerasan dari Lapisan Implantasi Ion Chromium (Cr) dan Chromium Nitrida (CrN) pada Baja Poros AISI 4140, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9 Palembang, Universitas Sriwijaya Palembang (2010).
- Tretthewey, K. R., and Chamberlain, J., Korosi untuk

- Mahasiswa Sains dan Rekayasa, PT. Gramedia Pustaka Pratama, Jakarta (1991).
- Sonobe, M., Schiozawa, K., and Motobayashi, K., 1996, Improvement in Corrosion Resistance of CrN Coated Steel with Multi Stage Deposition Method and Its Corrosion Fatigue Strength, Proc. of the 1996 4th International Conference on Comp. Aided Assesment and Control (1996).
- Sukrawan, Y., Variasi Rapat Arus dalam Proses Pelapisan Khromium Keras pada Cincin Torak, Torsi, Vol. 1 No. 2 (2001).
- Zhou, F., Chen, K., Wang, M., Xu, X., Friction and Wear Properties of CrN Coating Sliding against Si_3N_4 Balls in Water and Air Wear, Elsevier Issues, Vol. 265, pp. 1029-1037 (2008).