

$$U_{crit} = \frac{C}{\sqrt{\rho}} \quad (5)$$

where U_{crit} is the critical velocity (ft/s), ρ is the gas/liquid mixture density (lb/ft³) and C is constant that depends on the pipeline material.

Data on gas chromatography analysis show that the natural gas transported by the pipeline contains mainly methane (CH₄) and by taking density of methane of around 4.82 kg/m³ (0.3009 lb/ft³) and for steel pipeline, API RP-14E suggests a C value of 100 then the critical gas velocity is :

$$U_{crit} = \frac{C}{\sqrt{\rho}} = \frac{100}{\sqrt{0.3009}} = 182.3 \text{ ft/s} \quad (6)$$

Or $U_{crit} = 55.57 \text{ m/s}$

The calculated gas velocity of the pipeline is 23.87 m/s which is lower than U_{crit} and based on API RP-14E point of view this velocity is acceptable. It seems that due to low gas flow velocity, free condensed water may separate out to form a discrete phase, especially at the bottom of the gas pipeline. If this condition occurs then pitting corrosion may take place its mechanism has been proposed by Trethewey and Chamberlain [8] as shown in Fig.6

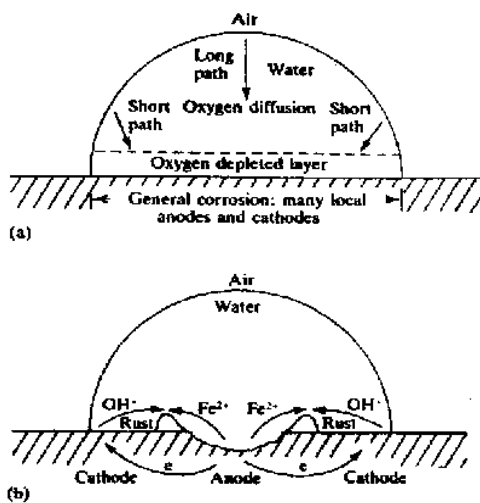


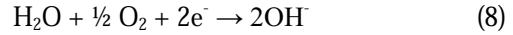
Fig.6. Mechanism of pitting corrosion [8]

As water droplets forms at the pipeline steel, air-electrolyte interface receives more oxygen compared to the area at the centre of the drop. As a result, the area at the centre of the drop acts as anode, and oxidation takes place.

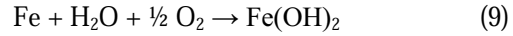


In neutral and basic condition, oxygen present in the water subsequently consumes the electrons from

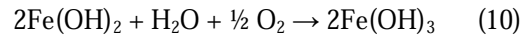
anode according to the following reaction.



The addition of the two half-reactions leads to the overall reactions as follow :



The corrosion product of ferrous hydroxide [Fe(OH)₂] forms a diffusion-barrier layer around the pit mouth through which oxygen must diffuse. At the outer surface of the Fe(OH)₂ layer, access to dissolved oxygen is easy leading to the formation of ferric hydroxide, in accord with



Ferric hydroxide [Fe(OH)₃] appears to be reddish-brown in colour. This corrosion product is periodically scoured by gas flow.

Conclusions

Conclusions that can be drawn from the present investigation are summarized as follows :

1. Pitting corrosion is the main cause of failure in the API 5L X46 gas pipeline. This pitting corrosion is promoted by free condensed water which separates from gas flows due to low gas velocity.
2. Pitting corrosion seems to be initiated by the damage of passive film due to chloride ions dissolved in condensed water.
3. Erosion may not significantly contribute to the damage of the gas pipeline since the gas velocity is relatively low.

Recommendations

Some damage prevention options for gas pipeline are proposed as follows :

1. Inspection needs to be performed to optimize the process where the more condensate out of the gas, the better the pipe condition is.
2. Optimize or properly add corrosion inhibitor dosage.
3. Prevent entrainment of sand and solids in the gas phase by using for example sand screens or gravel packs. However, sand screens increase resistance to flow entering a well and hence affect its potential productivity.
4. Keep the flow velocity high so that uniform corrosion occurs rather than pitting corrosion. However, increasing flow velocity is restricted by critical velocity recommended by API RP-14E.

References

- [1] Keera ST, Farid NA, Mohamed KZ. Imidazoline derivatives as corrosion inhibitors of carbon steels in crude oils and associated water. *Energy Sources A Recovery Utilization and Environmental Effects* 2012;34:1371-1383.
- [2] Tawancy HM, Al-Hadhrami LM, Al-Yousef FK. Analysis of corroded elbow section of carbon steel piping system of oil-gas separator vessel. *Case Studies in Engineering Failure Analysis* 2013;1:6-14.
- [3] Rodriguez MALH, Delgado DM, Gonzalez R, Unzueta AP, Solis RDM, Rodriguez J. Corrosive wear failure analysis in a natural gas pipeline. *Wear* 2007;263:567-571.
- [4] Palmer AC, King RA. *Subsea pipeline engineering*. Oklahoma : PennWell;2004.
- [5] Das GS, Khanna AS. Parametric study of CO₂/H₂S corrosion of carbon steel used for pipeline application. *Int'l Symposium of Research Students on Materials Science Engineering*, Chennai, India; 2004.
- [6] Fontana MG. *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill, 3rd ed., New York; 1986.
- [7] Guo B, Song S, Chacko J, Ghalambor A. *Offshore pipelines*. Burlington : Gulf Professional Publishing; 2005.
- [8] Trethewey KR, Chamberlain J. *Corrosion for Science and Engineering*, Longman, 2nd, Essex, UK;1995.

Pengaruh Tegangan Listrik Pada Proses Pelapisan *Chrome* Terhadap Ketebalan Lapisan, Kekerasan dan Laju Korosi Baja Karbon Sedang (HQ760) di Lingkungan Air Laut

M. Budi Nur Rahman⁽¹⁾, Aris Widyo Nugroho⁽²⁾

⁽¹⁾⁽²⁾Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jln Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan Bantul, Yogyakarta 55183
E-mail : nurrahman_ummy@yahoo.co.id

Abstrak

Korosi merupakan salah satu dari penyebab dari penurunan mutu logam. Terdapat beberapa cara yang dapat digunakan untuk melindungi logam dari pengaruh korosi, salah satunya dengan metode pelapisan, selain menghasilkan keindahan dari segi dekoratif. Air laut merupakan lingkungan yang sangat korosif terhadap baja dan paduan karena kadar garam yang cukup tinggi. Korosi yang terjadi di lingkungan laut kebanyakan korosi sumuran akibat tingginya konsentrasi ion-ion klorida. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan pada proses elektroplating krom terhadap ketebalan lapisan, kekerasan dan laju korosi yang dihasilkan. Pada penelitian ini material baja HQ (High Quality) 760, dilakukan proses elektroplating dengan bahan pelapis yang digunakan adalah nikel sebagai lapisan dasar dilanjutkan pelapisan krom dengan variasi tegangan 5; 7,5, 10 dan 12,5 volt, menggunkan rapat arus 2,5 A dan waktu celup selama 6 detik. Spesimen yang telah dilapisi krom dilakukan pengamatan dengan pembesaran 200X. Uji kekerasan mikro Vickers menggunakan pembebanan 200 gf dan waktu indentasi 5 detik. Uji korosi dengan metode sel tiga elektroda, dengan larutan elektrolit dari air laut yang telah dilakukan pemurnian sebanyak 5 kali (P.5X). Hasil penelitian menunjukkan peningkatan tegangan listrik pada proses elektroplating khrom dapat meningkatkan ketebalan lapisan, pada tegangan 5 dan 7,5V ketebalan lapisan sebesar 12,5 μm dan 20 μm , untuk tegangan lebih besar cenderung konstan. Hal ini disebabkan ion-ion yang mengalir ke katoda akan semakin banyak dan semakin cepat menempel ke katoda, namun jika terlalu besar tegangan diberikan mengakibatkan terbakar. Semakin tebal lapisan nilai kekerasan semakin meningkat. Nilai kekerasan permukaan pada tegangan 5 dan 7,5 V kekerasannya 307,4 kg/mm^2 dan 434,8 kg/mm^2 sedangkan untuk tegangan lebih besar peningkatannya relatif kecil. Peningkatan tegangan listrik akan menurunkan laju korosi, pada tegangan 5; 7,5 dan 12,5 V laju korosi berturut-turut sebesar 72,34 mpy, 69,68 mpy dan 58,97 mpy. Peningkatan ketebalan lapisan pasif *kromium oksida* (CrO_3) akan mampu memperlambat laju korosi material.

Keywords: elektroplating, baja HQ760, khrom, air laut P.5X

Pendahuluan

Pembuatan komponen atau peralatan dibutuhkan material dengan sifat fisik dan mekanik yang baik salah satunya ketahanan korosi. Logam mendominasi bahan baku pembuatan berbagai jenis peralatan baik yang sederhana sampai pada peralatan yang canggih. Konsekuensinya industri dituntut memperhitungkan dan memilih jenis bahan logam yang sesuai tuntutan konsumen serta kondisi pemakaiannya dapat terpenuhi. Seiring dengan waktu, mutu logam akan menurun akibat reaksi korosi.

Korosi dapat menimbulkan kerugian ekonomis, pemborosan sumber daya alam dan tidak nyaman bagi manusia bahkan menyebabkan kematian. Penyelesaian masalah korosi sangat mahal karena menyangkut umur, penyusutan, efisiensi pemakaian, perawatan alat dan infrastruktur bahan peralatan dalam kegiatan industri agar konstruksinya dapat bertahan lebih lama.

(Trethewey, K.R., Chamberlain, J., 1991).

Baja karbon merupakan suatu jenis logam yang cukup banyak digunakan dalam bidang teknik seperti kendaraan bermotor, alat olahraga, peralatan rumah tangga, peralatan kantor dan lain sebagainya. Mutu dari logam yang digunakan akan menurun akibat adanya suatu hubungan atau reaksi sehingga menyebabkan daya guna dari logam tersebut menjadi kurang maksimal, yang salah satunya adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi korosi. Korosi elektrokimia menyebutkan bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam tersebut mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen, akibatnya ada perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis, bila ada elektrolit seperti uap air dari udara Dexter, S. C., (1993).

Cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas permukaan material dimana korosi biasanya bermula. Perlakuan permukaan ditempuh melalui dua cara, yaitu pertama dengan menambah unsur lain/mengubah

komposisi kimia dan kedua adalah dengan cara mengubah fasa atau struktur kristalnya melalui pemanasan pada temperatur tertentu kemudian diikuti dengan pendinginan cepat (*quench*) atau pendinginan lambat, tergantung fasa atau struktur kristal yang diinginkan (Sujitno, T., 2003).

Deposit plating krom-nikel pertama yang baik oleh Bottger pada tahun 1842, dengan proses komersial pertama dikembangkan tahun 1870 oleh Adam. Penggunaan asam borat baru diperkenalkan pada akhir abad lalu, kemudian klorida digunakan untuk mencegah pasivitas anoda baru pada tahun 1906. Watts pada tahun 1916, menemukan formulasi bak plating yang baik. Usaha untuk meningkatkan ketahanan bahan terhadap laju korosi, karena ketahanan korosi merupakan suatu sifat intensif pada permukaan suatu bahan logam. Dengan mengacu kepada kerugian-kerugian yang ditimbulkan akibat korosi ini, kebutuhan penanggulangannya sangat diperlukan, walaupun dalam banyak hal korosi tidak dapat dihindarkan namun dapat dikendalikan.

Air laut merupakan lingkungan yang mengandung kadar chlorida yang cukup tinggi. Lingkungan yang seperti ini merupakan lingkungan yang sangat korosif terhadap baja dan baja paduan. Air laut umumnya mengandung 3,5 % garam-garam, sedangkan garam utamanya adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. Ion klorida termasuk ion agresif yang dapat menyerang lapisan pasif baja dan meningkatkan laju korosi. Salah satu jenis korosi yang sering terjadi ketika baja berada di lingkungan air laut adalah korosi sumuran. penelitian menyatakan bahwa salah satu penyebab terjadinya korosi sumuran adalah ion-ion Cl⁻ (Fontana.,M.G, 1987).

Bettina, pada tahun 2000, telah berhasil melaksanakan penelitian pelapisan krom keras, dapat mencapai deposit krom 20-50 µm dengan kekerasan lebih dari 600 Hv, pada kandungan khromat 100-400 gram/liter, dan rata-rata endapan lapisan 1-1,5 µm/menit.

Kvedaras (2006) melakukan penelitian kekuatan lelah dari pelat baja yang telah di krom, menggunakan objek baja yang di normalkan secara konstruksi dan dipilih komposisi kimia dengan kadar C = 0.49 %, Mn= 0.55 %, Si= 0.24 %, Cr= 0.6 %, Ni = 1.2 % dan Cu= 0.13 %. Spesimen dipersiapkan dengan diameter minimal 7.52 mm, panjang 20 mm kemudian pengujian *fatigue* dengan frekuensi 3000 siklus/menit, diperoleh adanya peningkatan kekuatan fatik sebesar 17% terhadap material dasarnya.

Kemudian di uji mikrografi potongan melintang menggunakan *neophot* mikroskop dengan hasil ketebalan yang dicapai 10 µm. Namun belum adanya dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik terhadap kekerasan dan ketahanan korosi dari logam yang dilakukan *elektroplating* krom.

Proses *elektroplating* krom merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan laju korosi logam dan pelapisan khrom juga sudah sangat populer di dunia plating, berbagai barang rumah tangga, industri otomotif dan lain-lain. Dalam melakukan proses *elektroplating* pada material logam, tidak lepas dari suatu masalah, baik masalah yang ditimbulkan oleh kualitas material yang akan diproses ataupun masalah yang ditimbulkan oleh proses *elektroless* dan *elektroplating* itu sendiri. Berdasarkan uraian tersebut dilakukan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pengaruh tegangan listrik pada proses *elektroplating* krom pada material logam khususnya pada material baja HQ 760 terhadap ketebalan lapisan, kekerasan hasil lapisan dan laju korosi pada lingkungan laut.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Bahan yang diuji adalah baja karbon sedang High Quality (HQ 760) dengan komposisi karbon 0,42 – 0,5%, mangan 0,5 – 0,8%, silicon 0,4%, belerang 0,02 – 0,04 dengan paduan krom, molibddum dan nikel sebesar 0,64% (PT. Tira Andalan Steel, 2012). Larutan yang digunakan antara lain: 1)larutan pembersih (HCl dan H₂SO₄); 2)larutan pelapis nikel (Nikel Sulfat, Nikel Chlorida, Boric Acid); 3)larutan pelapis krom (Chromic acid (CrO₃) dan asam sulfat).

Proses pelapisan dilakukan di PT. Bina Krom, Bogem, Sleman, Yogyakarta. Pengujian kekerasan, struktur makro dan struktur mikro dilakukan di laboratorium Diploma Teknik Mesin UGM. Uji korosi dilakukan di laboratorium PT. APB-BATAN Yogyakarta.

Pengujian kekerasan mikro Vickers menggunakan beban 200 gf selama 5 detik, Perhitungan kekerasan didasarkan pada panjang diagonal segi-empat bekas injakan (penekanan indentor), Nilai kekerasannya disebut dengan kekerasan Vickers atau VHN (*Vickers Hardness Number*) dengan rumus 1.berikut :

$$HV = \frac{1,854 P}{D^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :P = beban tekan yang diberikan (kg) dan
D = diagonal bekas injakan penetrator (mm)

Pengukuran uji korosi dilakukan dengan memberikan potensial pada elektroda kerja dari-2500mV sampai dengan 2500 mV dengan laju scanning 20 mV/menit. Larutan korosi yaitu air laut P.5X. (P.5 X artinya air laut yang digunakan telah dilakukan pemurnian sebanyak 5 kali, yaitu dimana untuk menghasilkan 1 liter elektrolit, digunakan 800 ml *aquades* ditambah dengan 200 ml air laut). Pemurnian air laut

bertujuan agar konsentrasi NaCl tidak terlalu pekat karena ketebatasan alat yang digunakan dalam membaca hasil grafik pengujian. Dalam penelitian ini laju korosi dengan menggunakan metode elektrolisis sel tiga elektroda memiliki arti bahwa laju korosi adalah kedalaman korosi pada suatu bahan dalam kurun waktu tertentu, atau biasa diartikan sebagai struktur material dalam mengalami korosi. Pada pengujian ini akan diukur intensitas arus korosi (I_{kor}) spesimen yang dicelupkan kedalam larutan dengan media larutan korosi yaitu air laut. Ketepatan penentuan harga I_{kor} sangat diperlukan, karena I_{kor} berbanding lurus dengan laju korosi suatu logam didalam lingkungannya.

Dengan mengukur besar arus yang mengalir pada rangkaian sel tiga elektroda, laju korosi dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2 berikut (Jones, D.A., 1991):

$$r = 0,129 \frac{i(EW)}{\rho} \dots\dots\dots(2)$$

dimana: r = laju korosi (mpy)
 i = rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$)
 EW = berat ekuivalen
 ρ = massa jenis campuran (gr/cm^3)

Rapat arus korosi (I_{kor}) diperoleh dari hasil ekstrapolasi kurva potensial-logaritma intensitas arus yaitu dengan cara menentukan titik perpotongan garis Tafel reaksi reduksi (η_c) dan garis tafel reaksi oksida (η_a) pada garis potensial korosi (E_{kor}). Nilai η_c dan η_a ditentukan dengan persamaan 3 berikut:

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_o} \text{ dan } \eta_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_o} \dots\dots\dots(3)$$

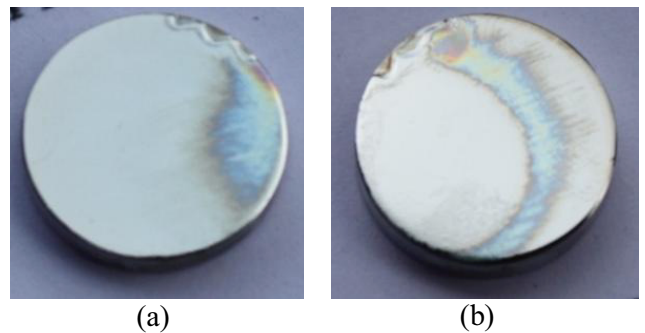
Dimana: η_c = tafel reaksi reduksi, η_a = tafel reaksi oksidasi, i_c = arus pada reaksi katoda, i_a = arus pada reaksi anoda, $i_o = i_a = -i_c = i_{kor}$ = rapat arus saat perubahan reaksi reduksi menuju oksidasi, β_c = gradien tafel reaksi katoda, β_a = gradien tafel reaksi anoda.

Hasil dan Pembahasan

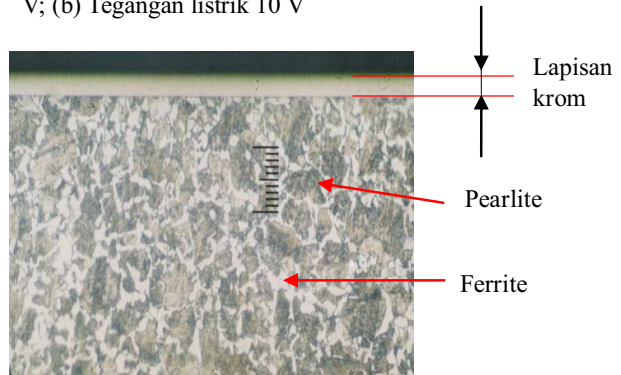
Proses *electroplating* dilakukan pada suhu 45°C dengan waktu celup selama ± 6 detik dengan variasi tegangan listrik 5; 7,5; 10 dan 12,5 V. Hasil pelapisan yang terbentuk cukup tebal, begitu juga terhadap kondisi permukaan lapisan hasil proses *electroplating* yang terbentuk cukup halus seperti terlihat pada Gambar 1. Adanya cacat pada permukaan spesimen yang berupa bayang-bayang hitam seperti bayangan asap pada permukaan spesimen disebut *staining* yang menjadi pembatas antara daerah yang mendapatkan

pelapisan yang lebih tebal dibandingkan dengan daerah yang lainnya. Jika diamati lebih cermat, daerah pinggiran dari material adalah daerah yang kurang terlapisi dengan baik, hal ini dikarenakan reduksi oksidasi paling memungkinkan terjadi lebih cepat di daerah yang luasannya besar.

Kemungkinan lain penyebab dari warna gelap permukaan spesimen tersebut berasal dari laju pendinginan spesimen yang terlalu cepat setelah spesimen diangkat dari bak plating (Purwanto., Huda, S., 2005). Dimana pada saat spesimen diangkat dari bak plating, spesimen masih dalam keadaan panas kemudian langsung dicelupkan ke dalam air. Besi atau baja apabila dalam keadaan panas kemudian dicelupkan ke dalam air dingin, maka akan terbentuk warna gelap pada bagian permukaan dari besi/baja tersebut.



Gambar 1. Hasil pelapisan electroplating pada *medium carbon steel* (HQ 760) selama 6 detik. (a) Tegangan listrik 5 V; (b) Tegangan listrik 10 V

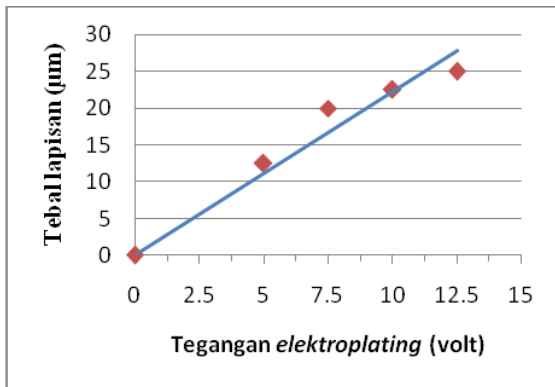


Gambar 2. Foto struktur mikro spesimen setelah dilakukan *electroplating* krom dengan tegangan listrik 7,5 volt dengan pembesaran 200X.

Proses *electroplating* tidak mampu menggetarkan kristal logam dasar, maka tidak terjadi difusi atau tidak terjadi perubahan pada bentuk struktur kristal logam dasar baja HQ 760 seperti terlihat pada Gambar 2. Lapisan nikel-krom terlihat jelas perbedaannya dengan raw material dimana tidak terlihat adanya ion-ion nikel dan krom yang masuk ke dalam permukaan benda.

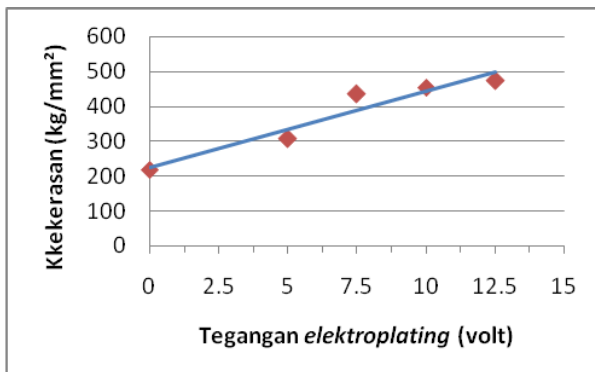
Besarnya tegangan listrik mempengaruhi ketebalan hasil proses *electroplating*. Semakin besar tegangan listrik yang digunakan, ketebalan lapisan permukaan yang terbentuk akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan tegangan listrik sangat mempengaruhi jumlah muatan

listrik yang mengalir dari anoda ke katoda, yaitu dimana semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka jumlah ion-ion yang mengalir ke katoda akan semakin banyak dan semakin cepat menempel ke katoda. Namun, jika tegangan listrik yang diberikan terlalu besar, ada kemungkinan besar lapisan yang terbentuk pada spesimen akan menjadi hangus. Peningkatan ketebalan terbesar pada tegangan 7,5 V sebesar 20 μm . Peningkatan tegangan *elektroplating* selanjutnya menghasilkan peningkatan ketebalan relatif kecil, pada tegangan 10 dan 12,5V dihasilkan ketebalan lapisan 22,5 μm dan 25 μm seperti terlihat pada Gambar 3.



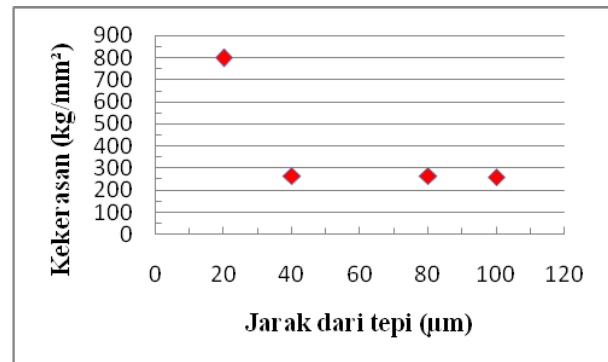
Gambar 3. Hubungan tegangan listrik proses *elektroplating* terhadap ketebalan lapisan

Semakin besar tegangan yang digunakan maka jumlah muatan yang mengalir dan menempel pada katoda akan semakin bertambah dan proses pengendapan akan lebih cepat, sehingga untuk waktu pelapisan yang sama akan didapatkan jumlah endapan yang lebih banyak dan menyebabkan lapisan yang dihasilkan akan semakin tebal. Tebal lapisan mempengaruhi nilai kekerasan, dimana semakin tebal lapisan hasil *elektroplating* yang terbentuk maka harga kekerasan yang diperoleh juga akan semakin bertambah (Adnyani, A.I., Triadi, A.A., 2009). Sehingga semakin besar tegangan listrik proses *elektroplating* akan meningkatkan kekerasan material. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan tegangan listrik proses *elektroplating* terhadap nilai kekerasan baja HQ 760

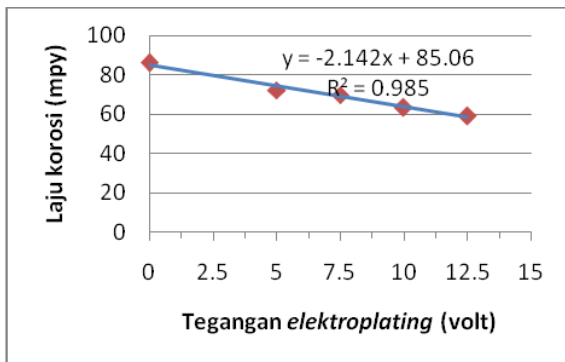
Nilai kekerasan *raw material* sebesar 219 kg/mm^2 , sampai tegangan listrik 7,5V mengalami kenaikan cukup tinggi sebesar 435 kg/mm^2 . Pada tegangan lebih tinggi kenaikan nilai kekerasan relatif kecil, untuk 10 dan 12,5V sebesar 455 kg/mm^2 dan 474 kg/mm^2 . Adanya pelapisan nikel dan krom meningkatkan nilai kekerasan material, namun pengujian kekerasan yang dilakukan bukan kekerasan lapisannya. Ujung indenter menembus lapisan krom sehingga yang terukur merupakan gabungan kekerasan kekerasan krom dan *raw material*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai kekerasan penampang melintang diukur dari permukaan.

Ketebalan lapisan sampai tegangan 12,5V sebesar 25 μm , nilai kekerasan pada jarak 20 μm dari permukaan sebesar 780 kg/mm^2 sedangkan untuk pengujian berikutnya menghasilkan nilai kekerasan yang hampir sama dengan *raw material* sebesar 260 kg/mm^2 . Ion-ion Cr dan Ni dengan proses *elektroplating* tidak terdifusi ke dalam struktur kristal material dasar, kemungkinan besar hal ini dikarenakan suhu larutan pada proses *elektroplating* tidak mampu mendifusikan ion-ion untuk masuk ke dalam struktur *raw material*.

Ketebalan lapisan mempengaruhi laju korosi material, dimana pada lapisan yang tebal kandungan *chromium oksida* (CrO_2) yang menghambat laju korosi semakin banyak. Semakin besar tegangan listrik yang digunakan pada proses *elektroplating*, akan menghasilkan angka laju korosi yang semakin rendah, ketahanan terhadap serangan korosi akan semakin baik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan tegangan listrik proses elektroplating terhadap laju korosi baja HQ 760

Kenaikan tegangan yang digunakan akan membuat lapisan pasif CrO_3 yang menempel pada permukaan spesimen akan semakin bertambah. Dengan bertambahnya lapisan pasif CrO_3 yang terbentuk akan mampu memutuskan interaksi antara logam dasar terhadap lingkungan yang ada di sekitarnya.

Hasil proses elektroplating krom menggunakan tegangan 12,5 V, laju korosi yang dihasilkan 59 mpy, dimana laju korosi ini belum mencapai pada kelompok logam dengan laju korosi yang memadai, karena laju korosi yang dihasilkan belum mencapai dibawah 50 mpy. Seiring dengan meningkatnya tegangan listrik yang digunakan maka laju korosi yang dihasilkan akan semakin menurun. Dengan persamaan yang diperoleh dari hasil pengujian dapat diperhitungkan tegangan yang diperlukan agar laju korosi dibawah 50 mpy yaitu pada tegangan listrik 17,5 V dengan laju korosi ± 47.6 mpy.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan proses electroplating pada suhu 45°C dan waktu pencelupan 6 detik tidak mampu menyebabkan ion-ion khrom terdifusi ke dalam permukaan material, sehingga batas lapisan krom dengan material dasar terlihat jelas. Peningkatan tegangan listrik pada proses elektroplating khrom dapat meningkatkan ketebalan lapisan, pada tegangan 5 dan 7,5V ketebalan lapisan sebesar 12,5 μm dan 20 μm , untuk tegangan lebih besar cenderung konstan. Hal ini disebabkan ion-ion yang mengalir ke katoda akan semakin banyak dan semakin cepat menempel ke katoda, namun jika terlalu besar tegangan diberikan mengakibatkan terbakar. Semakin tebal lapisan, nilai kekerasan semakin meningkat. Nilai kekerasan permukaan pada tegangan 5 dan 7,5 V kekerasannya 307,4 kg/mm^2 dan 434,8 kg/mm^2 sedangkan untuk tegangan lebih besar peningkatannya relatif kecil.

Peningkatan tegangan listrik akan menurunkan laju korosi, pada tegangan 5; 7,5 dan 12,5 V laju korosi berturut-turut sebesar 72 mpy, 70 mpy dan 59 mpy. Peningkatan ketebalan lapisan pasif kromium oksida (CrO_2) akan mampu memperlambat laju korosi material. Untuk mendapatkan laju korosi dibawah 50 mpy dari persamaan linier yang diperoleh, tegangan listrik yang diperlukan pada proses electroplating pada suhu 45°C dan waktu pencelupan 6 detik menggunakan tegangan listrik 17,5V.

Ucapan Terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Kemitraan. Selain itu, terima kasih juga kami sampaikan kepada **Humaidi** yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Nomenklatur

D	diagonal bekas injakan penetrator (mm)
EW	berat equivalen ion (26,5)
I	rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
i_a	arus pada reaksi anoda
i_c	arus pada reaksi katoda
i_{kor}	rapat arus saat perubahan reaksi reduksi menuju oksidasi
P	beban tekan kekerasan Vickers (kg)
R	laju korosi (mpy)

Greek letters

β_a	gradien tafel reksi anoda
β_c	gradien tafel reksi katoda
η_a	tafel reaksi oksidasi
η_c	tafel reaksi reduksi
ρ	massa jenis campuran (gr/cm^3)

Referensi

- Adnyani, A.I., Triadi, A.A., "Pengaruh Kuat Dan Distribusi Arus terhadap Ketebalan Dan kekerasan Lapisan Krom Pada Stoneware Dan Earthenware", Teknik Elektro, Universitas Mataram (2009).
- Bettina, K., Mathias, O., Sirqudvock, "Hexavalent Chromium", Sur. Tec 875(2000).
- Dexter, S. C., "Role of micropouling in marine corrosion", Biofouling, Vol.7.97-127(1993).
- Fontana, M.G., "Corrosion Engineering, Thrid Edition", Mc Graw-Hill Book Company, Inc, Tokyo(1987).
- Fontana, M.G., Greene, N.D "Corrosion Engineering", Chapter 4, McGraw-Hill Book Co., New York,(1978),.

Jones, D.A., "*Principle And Prevention Of Corrosion*", Macmillan publishing Co, New York (1991).

Purwanto, Huda, S., "*Teknologi Industri Elektroplating Semarang*", Universitas Diponegoro, Semarang, (2005),.

Sujitno, T., "*Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering Untuk Surface Treatment*", *Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM-BATAN, Yogyakarta, (2003).

Trethway, K.R., Chamberlain, J., "*Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan*", Pt. Gramedia Pustaka Pratama, Jakarta (1991).

Kvedaras, V., Vilys, J., and Ciuplys, V., "*Fatigue Strength of Chromium Plated Steel*", Vol. 12 No. 1 h 1320 – 1392, (2006),