Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Ketebalan, Kekerasan dan Ketahanan Korosi Hasil Elektroplating Nikel-Hard Chromium pada Baja AISI 4340

Kevin Bimariga, Lukman Noerochiem, dan Haniffudin Nurdiansah
Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: lukman@mat-eng.its.ac.id

***Abstrak*— Elektroplating *hard chromium* merupakan salah satu jenis metode pelapisan yang sering digunakan untuk memberikan sifat tahan korosi dan tahan aus karena sifatnya yang keras, namun banyak jenis cacat yang terjadi pada hasilnya salah satu faktor penyebabnya adalah kuat arus yang tidak optimal. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh kuat arus terhadap hasil pelapisan *hard chromium*. Dalam penelitian ini, sebelum pelapisan hard chromium, akan diberikan lapisan dasar dengan menggunakan metode elektroplating juga yaitu berupa lapisan nikel tanpa variasi dengan larutan nikel sulfat (Ni_2SO_4) sebagai elektrolitnya. Namun sebelum proses pelapisan, spesimen akan diberikan perlakuan berupa degreasing yang berupa pencelupan spesimen dalam larutan 150/g/l NaOH selama 5-15 menit dan setelah itu diberikan perlakuan pickling yang berupa pencelupan spesimen pada larutan 200g/l H_2SO_4 selama 5-10 detik. Pada proses pelapisan *hard chromium* akan diterapkan variasi kuat arus dengan variasi 0,2 A, 0,4 A, 0,6 A, dan 0,8 A dimana sumber lapisan endanpan krom berasal larutan CrO_3 sebagai sumber deposit kromnya. Sampel akan diuji dengan X-Ray Diffraction (XRD) dan SEM-EDX untuk mengetahui komposisi lapisan dan SEM Cross Section untuk ketebalan lapisannya. Untuk menguji kekerasannya akan dilakukan pengujian *microhardness vickers test*, sedangkan untuk mengetahui sifat ketahanan korosinya, akan dilakukan dengan *Tafel test* dengan media korosif HCl 0,5 M. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa intensitas krom tertinggi terdapat pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 A dengan peak pada 2θ 44,5274º, 64,8058º, dan 82,2202º, juga pada variasi kuat arus yang sama tercapai kekerasan tertinggi sebesar 522,03 VHN, dan laju korosi terendah dengan laju 0,012318 mm/a dan juga ketebalan lapisan tertinggi dengan ketebalan 57,467µm**

***Kata Kunci*— Elektroplating, *hard chromium*, korosi, CrO_3.**

I. PENDAHULUAN

LOGAM merupakan salah satu material yang dekat dengan kehidupan manusia, salah satu logam yang sering digunakan manusia berupa baja karbon . Baja karbon adalah suatu bahan yang memiliki unsur utama berupa besi dan karbon, serta unsur pendukung berupa Si, P, S dan Mn. Baja karbon banyak digunakan untuk bahan roda gigi, mur, baut, rangka kendaraan dan juga pada perkapalan. Parameter mutu baja yang diinginkan manusia tidak hanya diukur dari tingkat kekerasan dan kekuatan saja, namun dibutuhkan pula umur pakai yang lama.

Salah satu faktor yang mempercepat pengurangan umur pakai suatu material, khususnya baja karbon adalah korosi. Dalam dunia industri, perlindungan terhadap korosi dengan cara memperlambat timbulnya korosi pada material merupakan suatu hal yang penting untuk dilakukan. Terdapat berbagai usaha yang sering dilakukan untuk memperlambat timbulnya korosi, salah satunya adalah dengan cara pelapisan (*coating*). Salah satu jenis pelapisan yang banyak digunakan adalah dengan cara elektroplating

Elektroplating merupakan proses pelapisan dengan merendam material yang akan dilapisi dalam suatu larutan elektrolit tertentu dengan bantuan arus listrik searah (DC) sehingga terjadi pemindahan partikel logam pelapis ke material yang hendak dilapis. Material pelapis berasal dari ion-ion yang ada pada elektrolit, namun terkadang ada juga yang material pelapisnya berasal dari anodanya. Pada dasarnya prinsip kerja dari metode pelapisan ini dengan mengalirkan arus DC melalui sebuah penghantar yang dihubungkan dengan anoda dan katoda, keduanya dibenamkan ke dalam suatu larutan elektrolit.

Pada prosesnya, ion dari anoda akan terlepas dan melapisi katoda, sehingga lapisan luar katoda akan terlapisi dengan ion-ion anodanya [1]. Salah satu jenis elektroplating yang banyak digunakan adalah electroplating hard chromium, selain dapat melindungi permukaan baja, juga dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan sifat tahan aus dari suatu material baja.Oleh karena itu *hard chromium* cukup banyak dijumpai sebagai material pelapis dari komponen-komponen mesin otomotif dan industri.

Namun, hasil pelapisan elektroplating *hard chromium* cukup sering dijumpai *microcrack* atau juga *porosity* yang dapat berakibat timbulnya *pitting corrosion* [2]. Oleh karena itu pemberian *undercoat* yang biasanya berupa lapisan nikel diperlukan untuk meningkatkan ketahanan korosi, sehingga senyawa-senyawa korosif tidak langsung menyerang substrat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pemberian lapisan dasar nikel sebelum dilakukannya proses elektroplating *hard chromium.*

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Preparasi Permukaan Spesimen

Sebelum dilakukan proses pelapisan, permukaan spesimen harus dibersihkan dari beberapa senyawa pengotor yang secara umum berupa oksida-oksida yang merupakan produk korosi dari baja karbon, yaitu dengan cara mengamplas hingga seluruh permukaan baja bebas dari karat. Setelah itu, baja akan diberlakukan proses *degreasing* yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik misalnya seperti minyak yang menempel pada permukaan baja, yaitu dengan cara mencelupkan baja dalam larutan yang terdiri dari larutan 15% NaOH 1 M dalam aquades dengan kisaran

temperatur 60-80 ^{o}C selama 5-15 menit. Setelah itu spesimen dibilas dengan air.

Setelah *degreasing*, spesimen akan dietsa dengan cara mencelupkan spesimen dalam larutan 20% H_2SO_4 dengan waktu pencelupan selama 5 detik. Proses etsa pada spesimen sangat penting untuk proses pelapisan *hard chromium*, sebab pengerjaan etsa akan menentukan daya lekat (adhesi) pada spesimen dan kontur lapisan [3]. Setelah dietsa, spesimen dibilas dengan air sebelum memasuki tahap pelapisan nikel.

B. Proses Pelapisan Nikel

Gambar 1. Larutan Watt's nikel.

Pada pelapisan nikel, jenis larutan yang digunakan adalah *Watt's Bath*. Larutan ini terbuat dari 250 g/l $NiSO_4$, 50 g/l NiCl dan 40g/l *Boric Acid* (H_3BO_3). Proses ini dilakukan pada kuat arus 1 Ampere dengan rentang temperatur 45-65 ^{o}C dalam rentang waktu 1 menit. Kemudian sampel akan dibilas dengan menggunakan air.

1) Reaksi reduksi elektroplating nikel pada katoda :

- Pengendapan ion Nikel :
  $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ni_{(s)}$
- Pelepasan gas hidrogen :
  $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$

2) Reaksi oksidasi elektroplating nikel pada anoda :

- Pembentukan ion nikel :
  $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$
- Oksidasi Hidroksil :
  $4OH^-_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^-$
- Oksidasi Ion Klorin :
  $2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$

C. Proses Pelapisan Hard Chromium

Pelapisan *hard chromium* merupakan tahap pelapisan terakhir. Dimana pada proses pelapisan ini akan diberlakukan variasi kuat arus yaitu 0,2 Ampere, 0,4 Ampere, 0,6 Ampere, dan 0,8 Ampere yang mana akan berimplikasi pada nilai rapat arus yang akan menentukan kecepatan proses pelapisan. Dimana jenis larutan yang digunakan adalah larutan *Chromic Sulfate*, yang terdiri dari 250g/l asam kromat (CrO_3) dan 2,5 g/l asam sulfat. Proses pelapisan ini dilakukan pada kisaran temperatur 50-60^{o} C dan pencelupan dilakukan selama 10 menit.

Gambar 2. Larutan krom trioksida.

1) Reaksi reduksi elektroplating hard chromium pada katoda:

- Pembentukan Chromium :
  $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14\ H^+_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(l)}$
- Pelepasan gas hidrogen :
  $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$
- Pengendapan Chromium :
  $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14\ H^+_{(aq)} + 12e^- \rightarrow 2Cr_{(aq)} + 7H_2O_{(g)}$.

2) Reaksi oksidasi elektroplating hard chromium pada anoda :

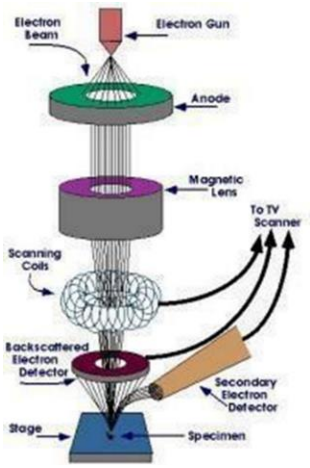
- Pelepasan hidrogen :
  $2\ H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$
- Oksidasi ion kromat :
  $2Cr^{3+}_{(aq)} + 6\ H_2O_{(l)} \rightarrow 2CrO_{3(s)} + 12H^+_{(aq)} + 6e^-$
- Produksi timbal oksida :
  $Pb_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow PbO_{2(s)} + 4H^+ + 4e^-$ [4]

D. Pengujian XRD

Difraksi sinar-X (XRD) merupakan alat yang digunakan untuk menentukan struktur dan pengenalan bahan-bahan baik keramik, logam, gelas maupun komposit. Teknik dasar XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi untuk mendapatkan ukuran partikel dari material yang ditembakan sinar-X. Komponen dasar XRD terdiri dari sumber sinar-X (X-Ray source), material uji (spesimen), dan detector sinar-X (X-Ray detector)

E. Pengujian Secondary Electron Microscope (SEM)-EDX

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relarif masing- masing) menggunakan EDX (Energy Disspersive X-Ray analysis). SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sampel.



Gambar 3. Mekanisme Kerja Alat SEM.

Prinsip kerja SEM ini ditunjukkan pada Gambar 3 dimana berkas elektron yang dihasilkan oleh electron gun menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan secondary electron (SE), elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan

jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan secondary electron ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan backscattered electron (BSE) dengan hasil gambar yang memiliki gradasi warna, Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.

Pengujian EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), bertujuan untuk mengetahui apa saja jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, dan sekaligus untuk mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut. EDS digunakan untuk mengetahui kandungan jumlah atom chromium yang terdeposit pada substrat dalam pengujian ini.

F. Pengujian Microhardness

Gambar 4. Alat pengujian microhardness.

Pengujian kekerasan permukaan spesimen dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan Vickers dengan indentor daribahan intan berbentuk piramid bujur sangkar. Pada daerah bekas penekanan akan berbentuk sudut dengan dua bidang miring yang saling berhadapan. Angka kekerasan didapat dengan mengukur kedua panjang diagonal dari hasil penekanan, kemudian dimasukkan pada persamaan berikut :

$$VHN=1854{,}4 \times P/d^2 \quad (1)$$

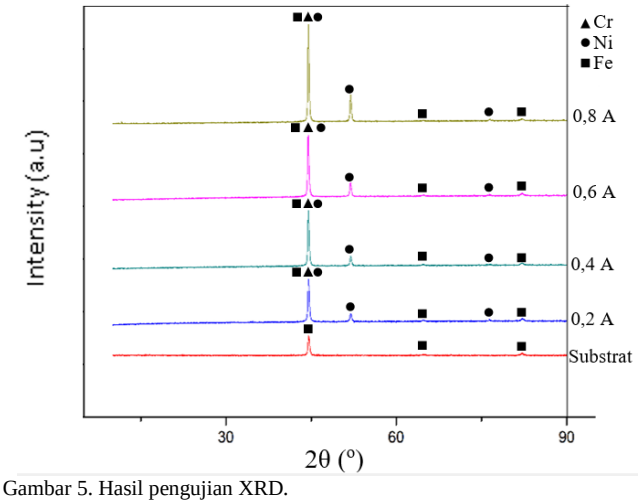
Dengan :

P = Beban yang diterapkan (g/f)

d = Diagonal rata-rata tapak tekan (µm)

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Hasil Uji XRD



Gambar 5. Hasil pengujian XRD.

Hasil pengujian XRD pada subtrat dari baja AISI 4340 ditemukan tiga *peak* Fe pada 2θ di 44,527°, 64,8056° dan 82,2202° , hal tersebut bersesuaian dengan #ICDD 01-089-7194 dengan peak 2Θ 44,673°, 65,023°, 82,335° dengan orientasi kristal [110], [200], [211], dengan tren yang menunjukan bahwa intensitas *peak* Fe yang cenderung menurun seiring meningkatnya kuat arus dan meningkatnya intensitas *peak* krom. Hal tersebut diakibatkan karena semakin tebal lapisan tebal lapisan krom, membuat intensitas hasil difraksi sinar-X yang mengenai permukaan substrat menjadi lebih lemah. Pada sampel yang telah terlapisi *hard chromium* ditemukan tiga *peak* 2Θ pada 44,5274°, 64,8058°, dan 82,2202° dimana ketiga *peak* tersebut bersesuaian dengan #ICCD 00-001-1261 yang menunjukkan tiga *peak* krom dengan 2Θ pada 44,600°, 64,678°, dan 82,532°, dengan orientasi kristal masing-masing *peak* [110], [200], dan [211].

Berdasarkan data hasil pengujian XRD tersebut dapat diketahui bahwa fasa krom memiliki tiga orientasi kristal yang berbeda. Adanya lebih dari satu orientasi kristal pada unsur krom yang terbentuk yang dikarenakan adanya pengaruh hidrogen yang mempengaruhi ukuran kristal krom sehingga menjadi lebih kecil sehingga terbentuk sturktur kristal krom yang memiliki orientasi kristal [110] dengan intensitas yang tinggi [5]. Selain itu, nikel yang ada karena pelapisan nikel sebelum krom, ditemukan tiga *peak* 2Θ di 44,5274°, 51,9370° dan 76,4533°, dimana ketiga *peak* tersebut juga bersesuaian dengan #ICDD 01-087-0712 yang menunjukkan tiga *peak* nikel dengan 2Θ di 44,497 °, 51,851°, dan 76,383° dengan orientasi kristal [111], [200], dan [220].

Tren menunjukan bahwa peningkatan intensitas unsur krom pada hasil XRD meningkat seiring dengan meninigkatnya variasi kuat arus yang diberlakukan pada proses elektroplating *hard chromium*, dengan intensitas krom tertinggi pada 2θ 44,600°. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya kenaikan arus mempercepat kecepatan reaksi pengendapan krom pada substrat, sehingga dalam durasi pelapisan yang sama, akan dihasilkan ketebalan lapisan krom yang lebih tebal, yang mana hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian SEM pada bagian *cross section* sampel yang menunjukkan bahwa ketebalan tertinggi terdapat pada sampel dengan variasi kuat arus tertinggi. Hasil pengujian SEM-EDX juga menunjukkan hasil yang serupa, dimana terlihat adanya tren kenaikan komposisi krom seiring dengan meningkatnya variasi kuat arus yang diberlakukan pada proses elektroplating *hard chromium* dengan komposisi krom tertinggi dapat terlihat pada sampel dengan variasikuat arus 0,8 Ampere.

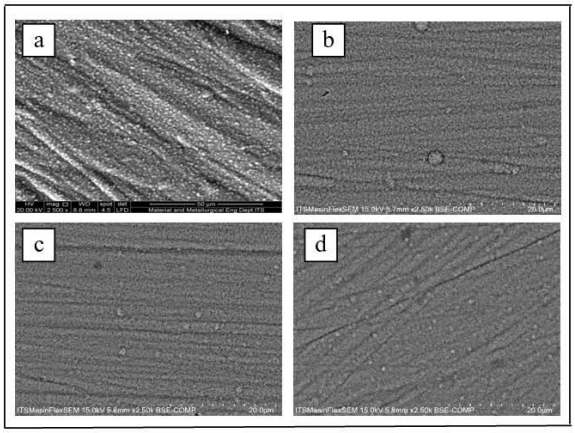
B. Analisa Morfologi dan Ketebalan Lapisan

Pengujian SEM Morfologi (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengetahui dan menganalisa morfologi dari permukaan lapisan *hard chromium*. Bintik-bintik putih pada permukaan tersebut merupakan butir kristal krom yang mengendap pada permukaan substrat [5].

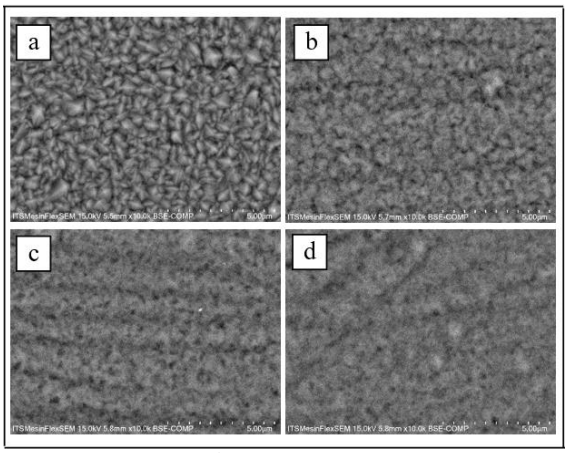
Pada perbesaran 10.000x dapat dilihat butir-butir kristal tersebut tampak lebih menyatu dan menutupi permukaan lebih homogen namun tetap memiliki beberapa lubang pori pada morfologi permukaannya, sebab semakin tinggi arus yang diterapkan dalam proses pelapisan, ketebalan lapisan akan semakin tebal juga, namun akan memiliki kecendrungan untuk membentuk *micropore* dan juga *microcrack* [6].

Untuk ketebalan lapisan dilakukan pengujian SEM pada bagian *cross section* dari spesimen. Pengamatan pada sampel

dilakukan dengan perbesaran 1000x pada masing-masing sampel dengan variasi arusnya.

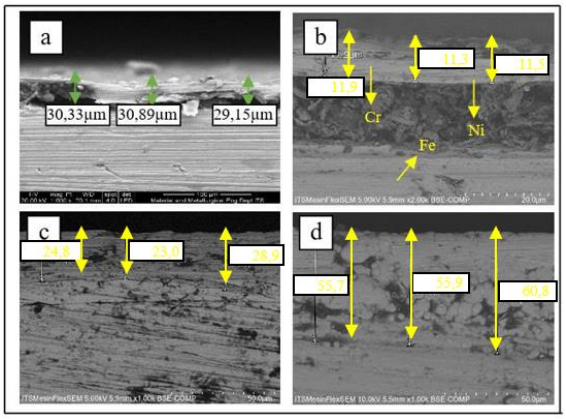


Gambar 6. Hasil SEM Morfologi Permukaan Lapisan *Hard Chromium* Perbesaran 2.500x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere



Gambar 7. Hasil SEM Morfologi Permukaan Lapisan *Hard Chromium* Perbesaran 10.000x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere.

Untuk pengujian SEM baik pada bagian morfologi maupun *cross section* pada sampel dengan variasi kuat arus 0,2 Ampere menggunakan *Secondary Electron* sedangkan pada sampel dengan variasi kuat arus 0,4 Ampere, 0,6 Ampere dan 0,8 Ampere menggunakan *Backscattered Electron*, hal tersebut dikarenakan sampel dengan variasi kuat arus 0,2 Ampere diuji menggunakan alat uji SEM yang berbeda dengan ketiga sampel lainnya. Sehingga pada variasi kuat arus 0,2 Ampere tampak hasil pengujiannya lebih terang.



Gambar 8. Hasil SEM *Cross Section* Lapisan *Hard* Gambar 3.4 Hasil SEM Bagian *Cross Section* Lapisan *Hard Chromium* Perbesaran 1000x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere.

Pada variasi kuat arus 0,2 Ampere tampak tebal lapisan rata-rata 30,123µm. Sedangkan ketebalan lapisan pada variasi kuat arus 0,4 Ampere terjadi penurunan ketebalan dengan ketebalan lapisan rata-rata sebesar 11,567µm, hal tersebut terjadi karena adanya material asing yang masuk kedalam lapisan yang membelah lapisan sehingga *interface* dan ketebalan asli lapisan tidak dapat diketahui dengan pasti. Hal itu disebabkan karena adanya partikel – partikel dari serpihan hasil *polishing* yang dilakukan sebelum pengujian [6]. Sedangkan pada variasi kuat arus 0,6 Ampere memiliki ketebalan rata-rata 25.567µm, yang mana lebih tipis dibandingkan pada variasi kuat 0,2 Ampere. Diduga akibat ketidakhomogenan hasil lapisan *hard chromium*, dimana titik uji merupakan titik dengan ketebalan lapisan yang lebih tipis dibandingkan yang lain. Sedangkan ketebalan tertinggi tercapai pada variasi kuat arus 0,8 Ampere dengan ketebalan rata-rata sebesar 57,467µm.

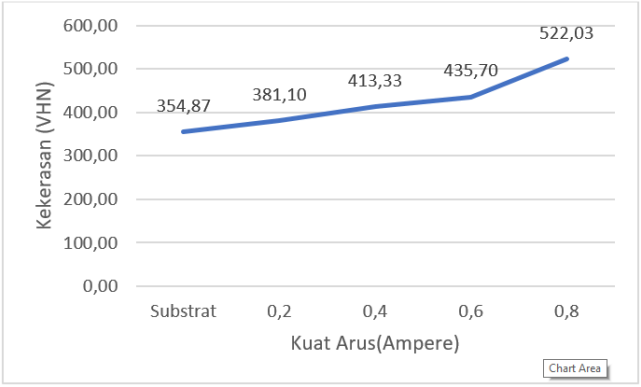
C. Analisa Hasil Komposisi Lapisan

Tabel 1.
Tabel Komposisi

Sampel	Unsur(%wt)						
	Cr	Ni	Fe	O	Mn	Si	Al
0,2 A	54,74	39,89	01,98	04,40	-	-	-
0,4 A	65,3	26,3	02,32	4,16	1,92	-	-
0,6 A	85,75	5,21	-	4,15	3,76	0,53	0,60
0,8 A	90,78	1,31	0,74	4,02	2,53	-	0,63

Berdasarkan Tabel tersebut, dapat diketahui bahwa kadar krom pada lapisan meningkat seiring dengan meningkatnya kuat arus pada proses pelapisan, hasil yang sama juga dapat dilihat dari tren meningkatnya intensitas peak krom pada hasil pengujian XRD. Begitu pula pada hasil pengujian SEM pada bagian cross section yang menunjukkan lapisan hard chromium yang menebal khususnya pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 Ampere. Sedangkan untuk komposisi nikel cenderung menurun, sebab proses pelapisan nikel tidak diberlakukan variasi kuat arus sehingga masa endapan nikel tetap namun fraksi masanya terhadap masa endapan krom pada permukaan substrat menjadi turun.

D. Analisa Hasil Uji Microhardness

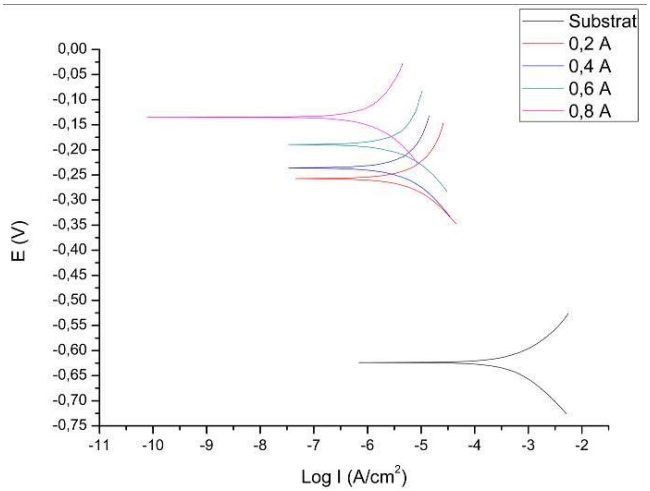


Gambar 9. Grafik nilai kekerasan terhadap kuat arus.

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekerasan lapisan *Hard Chromium* meningkat seiring dengan meningkatnya kuat arus. Kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi kuat arus 0,8 Ampere dengan nilai kekerasan sebesar 522,03 VHN. Hal tersebut terjadi karena seiring dengan meningkatnya kuat arus proses reaksi pengendapan ion elektrolit krom heksavalen (Cr^{6+}) menjadi lebih cepat, sehingga akan lebih banyak atom hidrogen yang masuk secara interstisi kedalam struktur endapan krom dan begitu

juga ketebalan lapisan endapan krom yang terbentuk. Sebagaimana juga ditunjukkan pada hasil pengujian SEM yang menunjukkan ketebalan tertinggi terdapat pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 Ampere begitupun juga pada hasil pengujian XRD yang menunjukkan kenaikan intensitas *peak* dengan peak krom tertinggi ditemukan pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 Ampere. Interstisi atom hidrogen ini akan menyebabkan terjadinya distorsi kisi dan tegangan dalam lapisan sehingga kekerasan lapisannya menjadi meningkat karena adanya distorsi kisi dan tegangan sehingga mengakibatan gerakan dislokasi pada lapisan menjadi terhambat.

E. Analisa Laju Korosi



Gambar 10. Grafik pengujian tafel.

Tabel 2.
Tabel Laju Korosi

Variasi (Ampere)	Laju Korosi (mma)
0 A (Substrat)	18,976
0,2 A	0,06853
0,4 A	0,046926
0,6 A	0,041521
0,8 A	0,012318

Berdasarkan data berupa kurva dan tabel hasil pengujian laju korosi Tafel test dibawah ini menunjukkan bahwa pemberian lapisan nikel-hard chromium menurunkan laju korosi pada substrat, dengan laju korosi terendah dimiliki oleh sampel dengan variasi kuat arus pelapisan 0,8 Ampere yaitu sebesar 0,012318 mm/a. Hal tersebut membuktikan bahwa adanya lapisan hard chromium akan meningkatkan sifat ketahanan korosi pada material. Semakin tinggi arus, maka akan menghasilkan ketebalan lapisan yang lebih tinggi, sehingga mengakibatkan ketahanan korosi lebih tinggi [7]. Berdasarkan tren perubahan posisi kurva tersebut dapat dilihat bahwa dengan pemberian lapisan nikel-*hard chromium* membuat posisi kurva polarisasi anodik cendrung naik, hal itu menunjukkan bahwa jenis proteksi lapisan hard chromium merupakan jenis proteksi anodik [2].

IV. KESIMPULAN

Kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi kaut arus 0,8 Ampere dengan nilai kekerasan sebesar 522,03 VHN.

Laju korosi terendah diperoleh pada variasi kuat arus 0,8 Ampere dengan nilai laju korosi sebesar 0,012318 mma.

Ketebalan lapisan *hard chromium* tertinggi diperoleh pada variasi kuat arus 0,8 Ampere dengan ketebalan rata-rata sebesar 57,467µm.

Endapan krom dalam proses pelapisan *hard chromium* terjadi karena adanya arus listrik yang memicu reaksi elektrokimia pada katoda(substrat) berupa reaksi reduksi ion-ion krom dari larutan CrO_3 yang disertai dengan reaksi pembentukan gas hidrogen dan interstisi atom hidrogen kedalam kisi kristal krom yang membuat lapisan endapan krom menjadi keras, yang mana reaksi-reaksi dan interstisi tersebut meningkat kelajuannya seiring dengan meningkatnya kuat arus listrik yang diberikan

DAFTAR PUSTAKA

[1] Irwanto, "Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga Asam untuk Baja Karbon Sedang," Lampung, 2010.

[2] L. Shreir, R. . Jarman, and G. . Burstein, *Corrosion Volume 2 : Corrosion Control*. London: Butterworth-Heinemann Ltd, 1993.

[3] A. A. Saleh, *Electroplating Teknik Pelapisan Logam Dengan Cara Listrik*. Bandung: CV Yrama Widya, 2014.

[4] Sunardi, "Pengaruh Shoot Peening dan Electroplating Ni-Cr Terhadap Kekasaran Permukaan, Kekerasan Dan Laju Korosi Dalam Media Cairan PBS Pada Stainless Steel 304," Yogyakarta, 2013.

[5] H. Cimenoglu and G. Aldic., "An Investigation on the Mechanical Properties of the Hard Chromium Layer Deposited by Brush Plating Process on AISI H13 Steel," Istanbul, 2014.

[6] R. Giovanardi and G. Orlando, "Chromium Electrodeposition from Cr(III) Aqueous Solutions," Modena, 2011.

[7] J. Li, "The Hardness and Corrosion Properties of Trivalent Chromium Hard Chromium," Beijing, 2017.