BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Logam Krom [9]

Krom tidak seperti beberapa logam lain yang sudah dikenal oleh orang-orang terdahulu. Tak ada catatan bahwa mereka mengenal atau menggunakan krom atau senyawa-senyawanya. Mineral krom, krokoit ditemukan pada tahun 1765 dan mineral kromit ditemukan pada tahun 1798, ketika ilmu pengetahuan masih dalam massa perkembangannya. Sejarah awal krom diringkaskan oleh C.A. Logan sebagai berikut: Krom ditemukan sekitar tahun 1797 oleh ahli kimia Perancis, Louis Nicolaus Vauquelin, dalam suatu bijih di Siberia dan sejak itu daerah Ekaterinburg dikenal sebagai penghasil krom yang digunakan oleh negara-negara di Eropa. Sifat-sifat yang penting dari logam krom antara lain kekerasannya yang tinggi, ketahanan korosi atmosfir dan kemampuan untuk menahan korosi dari asam-asam tertentu pada temperatur kamar. Paduan krom dengan baja mempunyai kekerasan yang tinggi membuatnya banyak dipakai untuk lapisan pelindung.[9]

Senyawa krom yang paling stabil adalah dalam bentuk krom (III) dari senyawa koordinasi. Pada suasana asam dengan pH antara 2 sampai dengan 6, H_2CrO_4 dan $H_2Cr_2O_7$ bersetimbang sedangkan dibawah pH 2 spesi utama yang ada H_2CrO_4.[5]

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2 Beberapa Prinsip Dasar Elektrokimia

2.2.1 Prinsip Elektrolisis

Elektrolisis dapat didefinisikan sebagai pendeposisian suatu materi dari larutan elektrolit dengan dilewatkannya arus listrik.[2] Pada sel elektrolisis terdapat dua elektroda yang masing-masing dihubungkan dengan sumber arus listrik searah. Katoda adalah elektroda tempat elektron akan digunakan untuk reaksi reduksi dan anoda merupakan elektroda tempat terjadinya oksidasi.

2.2.2. Hukum Faraday

Hukum Faraday mengenai elektrolisis : Massa materi atau zat yang terdeposit atau dihasilkan pada elektroda selama elektrolisis berbanding lurus dengan banyaknya muatan listrik yang lewat melalui elektrolit.[2]

Besarnya arus listrik (Q) yang lewat selama waktu elektrolisis dinyatakan dalam coulomb , arus dalam amper dan waktu dalam detik.[2]

$$Q = i \text{ (arus)} \times t \text{ (waktu)} \qquad (1)$$

$$= \text{amper.detik}$$

$$= \text{coulomb}$$

Berdasarkan hukum pertama, massa m dari materi atau zat yang terlibat dalam elektrolisis dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$m = z \times Q \qquad (2)$$

$$= z.\ i\ .\ t \qquad (3)$$

dengan z adalah konstanta yang harganya untuk materi

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

tertentu tergantung dari satuan yang digunakan. Untuk m dan Q , jika Q dalam coulomb dan m dalam gram , z dapat dinyatakan dalam satuan gram. coulomb^{-1}. Harga seperti itu disebut ekuivalen elektrokimia (ECE) dari materi atau zat. Hukum Faraday dapat digunakan untuk menghitung massa elektrodeposit yang diberikan oleh sejumlah arus listrik yang lewat pada sistem elektrolisis.[1]

2.2.3 Efisiensi Arus[1]

Hukum Faraday digunakan dalam bidang elektrokimia, karena menjamin kepastian. Akan tetapi pada suatu elektrolisis tertentu,biasanya suatu substrat akan mengalami perubahan kimia yang hasilnya lebih sedikit daripada hasil yang diharapkan berdasarkan hukum Faraday. Sebagai contoh apabila arus dialirkan melewati sistem zink sulfat, kurang lebih hanya 0,6 grek zink yang terdepositkan dibanding 1 grek per 1 F, berdasarkan arus listrik yang digunakan.[1]

Efisiensi arus adalah perbandingan antara arus listrik yang menyebabkan atau dikonsumsi untuk melakukan reaksi elektroda dengan kuat arus listrik terpasang,

$$B = \frac{q_a}{q_b} \times 100\% \qquad (4)$$

q_a = kuat arus listrik yang digunakan untuk reaksi

q_b = kuat arus listrik yang terpasang

efisiensi arus juga dapat dituliskan dengan persamaan,

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$B = \frac{m_a}{m_b} \times 100\% \qquad (5)$$

m_a = jumlah materi yang terendap secara aktual

m_b = jumlah perhitungan teoritik

2.2.4 Potensial elektroda

Potensial elektroda adalah selisih potensial yang terbentuk antara elektroda dan elektrolit. Selisih potensial yang terjadi antara logam dengan suatu larutan dari garamnya akan bergantung pada sifat dasar logam itu sendiri dan pada konsentrasi ion dalam larutan. Untuk suatu elektroda logam reversibel dengan reaksi:[3]

$$Me \rightleftharpoons Me^{n+} + ne^-$$

potensial elektroda E dapat dinyatakan sebagai:

$$E = E^o + \frac{RT}{nF} \ln (Me^{n+}) \qquad (6)$$

F = 96500C

R = 8,314$JK^{-1}mol^{-1}$

T = temperatur mutlak

E^o = potensial elektoda standar

n = jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi

(Me^{n+}) = konsentrasi ion logam

Potensial elektroda ditetapkan pada temperatur 25 ^oC. Potensial elektroda standar dari beberapa elektroda pada temperatur di luar 25 ^oC dapat dihitung dengan persamaan :[1]

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$E^{o} = E^{o}_{25} + \left(\frac{dE^{o}}{dT} \right) (t-25) \qquad (7)$$

$\left(\frac{dE^{o}}{dT} \right)$ = koefisien temperatur isotermal

2.2.5 Voltase Sel[4]

Voltase sel merupakan selisih potensial antara katoda dan anoda yang diukur dengan voltmeter dan tidak tergantung pada potensial elektroda standar yang digunakan untuk penentuan potensial elektroda tunggal. Perbedaan potensial ini dipengaruhi oleh tiga bentuk potensial,

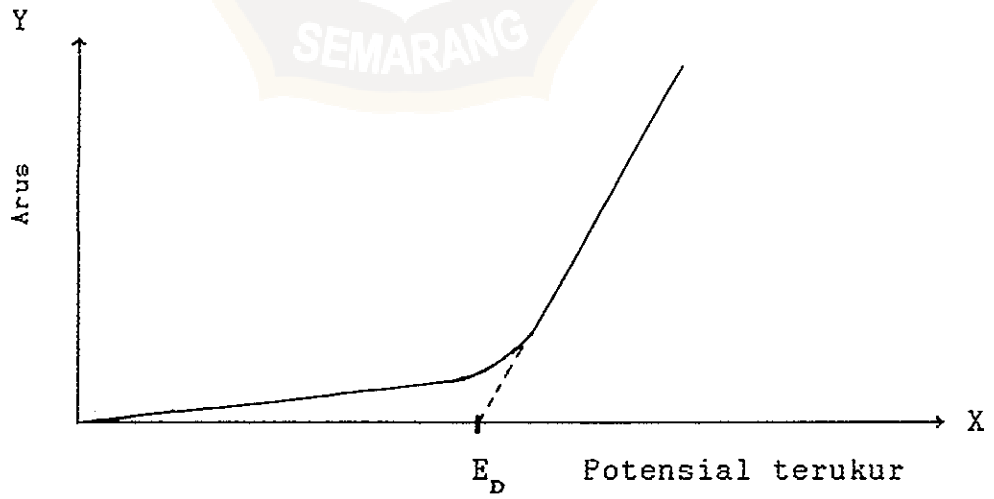
$$E_{total} = E_a - E_c + IR \qquad (8)$$

E_a = potensial anoda

E_c = potensial katoda

IR = potensial ohm

Voltase peruraian adalah voltase minimum yang diberikan ke sel dimana elektrtolisis akan terjadi.



Grafik II.1 Kurva arus-voltase sel

Grafik arus terhadap voltase menunjukkan bahwa

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

pada penambahan voltase terjadi perubahan arus yang kecil. Ektrapolasi seperti yang tampak memberikan potensial dekomposisi E_D, yang merupakan voltase minimum yang diperlukan untuk menghasilkan produk. Dengan menghitung hambatan rangkaian luar, E_l dan hambatan elektrolit, E_{el}, voltase peruraian didefinisikan sebagai,[4]

$$E_D = E_{sel} + \eta_a + \eta_c + E_{res} \qquad (9)$$

E_D= potensial dekomposisi

η_a= overpotensial anoda

η_c= overpotensial katoda

E_{res}= potensial ohm

2.3 Proses Elektrodeposisi Logam

2.3.1 Polarisasi pada elektroda[7]

Ketika sejumlah arus tertentu dilewatkan melalui elektroda reversibel, voltase yang diperlukan akan cukup besar, sehingga potensial dari elektroda kerja akan menyimpang dari harga reversibelnya. Maka dikatakan bahwa elektroda akan terpolarisasi dan angka perbedaan antara potensial elektroda kerja dan potensial elektroda reversibel dinamakan overpotensial. Ketika overpotensial merujuk ke proses pendeposisian maka disebut dengan overpotensial deposisi. Pada umumnya sering polarisasi terjadi pada rapat arus rendah, dan besarnya tergantung pada kondisi kerja dan sifat ion yang mengalami perubahan. Keberadaan overpotensial membuat potensial katoda menjadi lebih negatip dibandingkan dengan potensial reversibelnya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Total dari overpotensial yang diamati pada katoda terdiri dari tiga faktor, yaitu overpotensial konsentrasi overpotensial ohm dan overpotensial aktivasi

2.3.1.1 Overpotensial konsentrasi

Untuk memudahkan gambarannya, dapat diambil contoh pada elektrolisis $ZnSO_4$ dengan elektroda Zn. Ketika arus listrik dilewatkan melalui larutan elektrolitnya, ion Zn^{2+} di dekat katoda akan dilepaskan pada katoda dalam bentuk logam Zn, membentuk lapisan pada permukaan katoda. Konsentrasi ion Zn^{2+} di sekitar katoda akan berkurang dengan segera dan penurunan ini menyebabkan ion Zn^{2+} dari badan larutan (bulk) elektrolit berpindah ke arah katoda. Perpindahan ini dapat terjadi dengan tiga macam cara, dengan konveksi, migrasi atau diffusi. Sumbangan konveksi dalam mensuplai ion ke arah katoda kecil sekali sehingga praktis tidak ada artinya. Migrasi ion tergantung pada sifat ion dan bilangan transpot dari ion tersebut. Pengamatan mengenai difusi pada prakteknya tak dapat sama cepat dengan proses perpindahan oleh pelepasan ion ke bentuk logam. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi ion di sekitar katoda lebih kecil daripada di badan larutan. Konsentrasi polarisasi tergantung pada konsentrasi elektrolit, temperatur, dan rapat arus. Besarnya konsentrasi polarisasi akan meningkat dengan bertambahnya arus listrik.[7] Overpotensial konsentrasi tergantung pada difusi materi dalam larutan dan ditentukan oleh persamaan,

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\eta_c^c = 2,3 \frac{RT}{nF} \log \left(1 - \frac{i}{i_L} \right) \qquad (10)$$

$$i_L = \frac{D\ n\ F\ c}{\delta\ (1-t)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad .(11)$$

η_c^c = Overpotensial katoda

i_L = rapat arus batas

D = koefisien difusi logam pada larutan

t = bilangan transport ion

c = konsentrasi ion pada bulk larutan

δ = ketebalan lapisan ganda Helmholtz

n = jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi

F = bilangan Faraday [5]

2.3.1.2 Overpotensial Ohm[8]

Pada saat reaksi elektroda dimulai maka akan timbul suatu lapisan film yang akan mengganggu jalannya proses. Tahanan dari lapisan ini berbeda dengan tahanan yang ada pada sel. Selama berlangsungnya proses pendeposisian, voltase yang teramati akan menurun karena adanya lapisan film dari elektrolit. Overpotensial ohm akan berarti pada pemberian arus listrik yang tinggi.[8] Overpotensial Ohm didefinisikan sebagai,

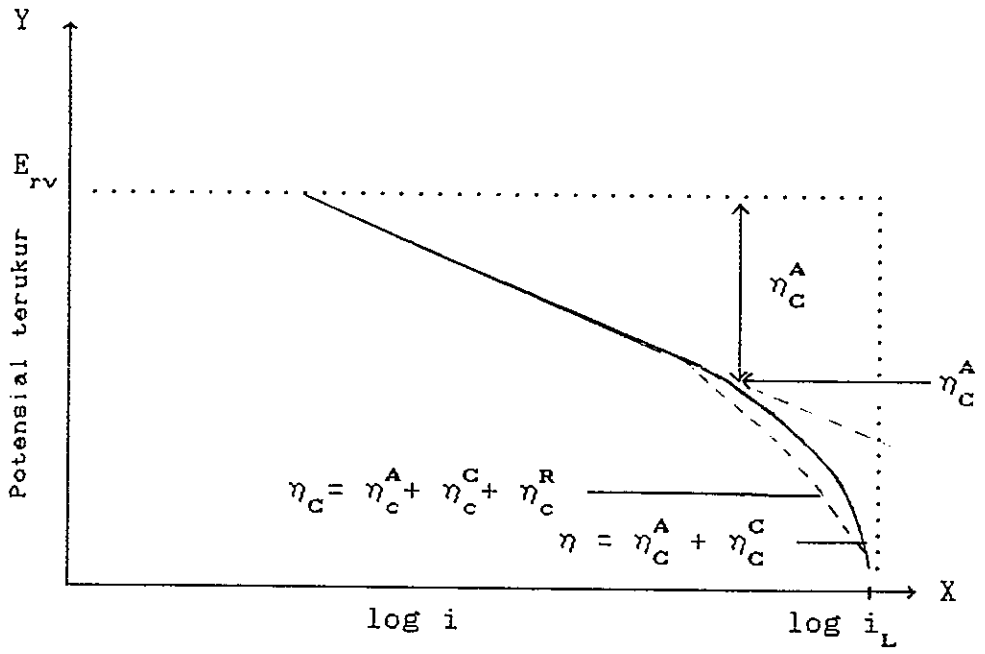
$$\eta^R = I + I^* \qquad (12)$$

η^R = overpotensial ohm

I = resistensi dari permukaan film

I^* = resistensi sepanjang larutan elektrolit

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



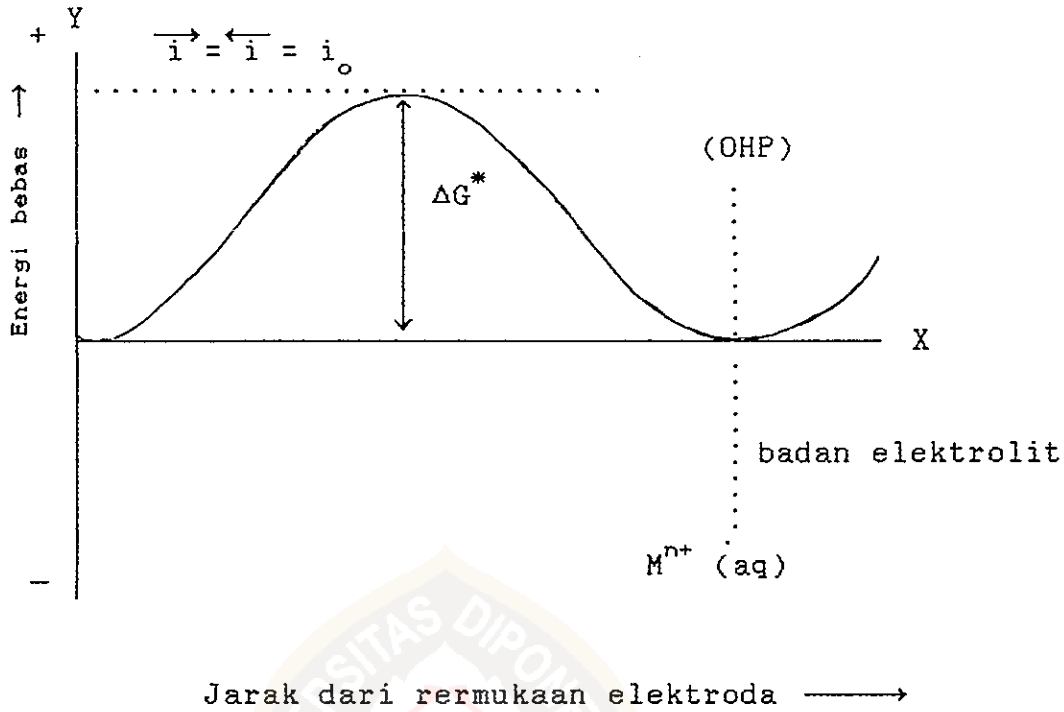
Grafik II.2 Gambaran overpotensial ohm

2.3.1.3 Overpotensial Aktivasi[7]

Ada beberapa tahap yang dilibatkan dalam proses elektrodeposisi logam dari larutan elektrolitnya. Dimulai dengan ion logam terhidrasi pada larutan bulk dan diakhiri dengan terbentuknya atom-atom logam pada permukaan katoda. Masing-masing tahap mempunyai kecepatan yang berbeda. Tahap yang lebih lambat akan menentukan seluruh kecepatan reaksi dan biasanya sering disebut dengan tahap penentu kecepatan. Kelambatan dari beberapa tahap sama untuk setiap resistansi yang diberikan untuk mempercepat proses pendeposisian. Untuk proses proses tersebut di atas dapat digambarkan oleh pengamatan dari overpotensial. Sumbangan faktor tersebut diatas relatif untuk reaksi-reaksi yang terjadi pada elektroda dan biasa disebut dengan overpotensial aktivasi. Overpoensial aktivasi tergantung

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

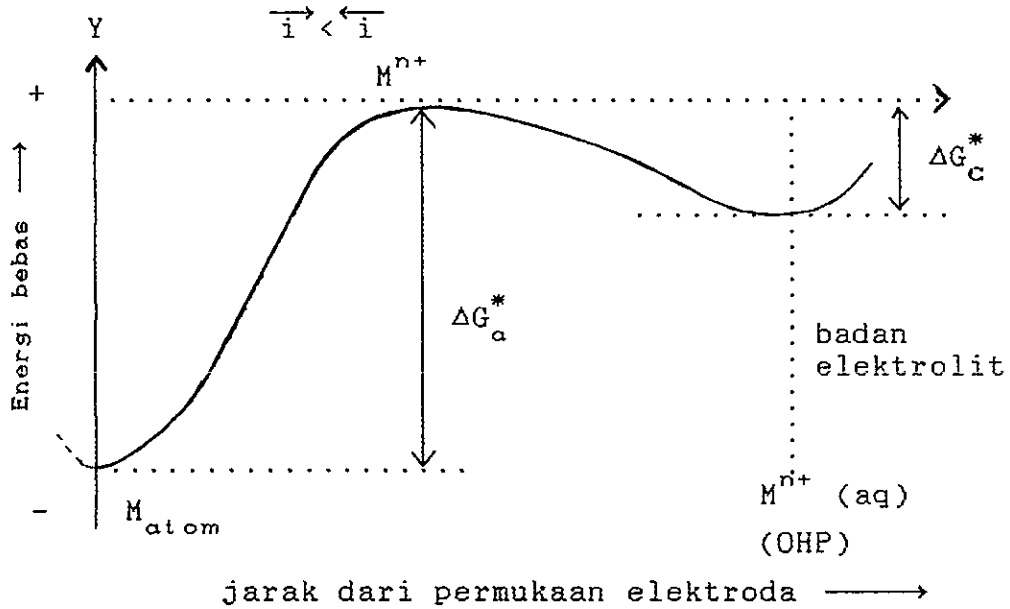
pada sifat katoda, rapat arus, dan temperatur.



Grafik II.3 kurva ΔG^* elektroda pada kesetimbangan

Jika energi bebas untuk aktivasi ΔG^* pada gambar (II.3) kecil, overpotensial yang diperlukan reaktan untuk mengatasi rintangan energi juga kecil. Pemindahan dari kurva energi bebas gambar (II.4) akan bersesuaian kecil. Sebagai contoh, perak hanya memerlukan perpindahan kecil dari potensial kesetimbangannya untuk memudahkan pendeposisian logam. Proses-proses elektroda biasanya dihasilkan pada urutan tahap yang setiap tahap memiliki energi aktivasi. Tahap yang mempunyai energi aktivasi terbesar akan dihasilkan pada kecepatan reaksi yang paling lambat dan ini menentukan kecepatan reaksi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar (II.4) kurva ΔG^* elektroda terpolarisasi

Dengan menganggap reaksi pembentukan hidrogen sebagai acuan, pada awalnya ion hidrogen akan terdifusi atau bermigrasi ke permukaan logam dimana ion hidrogen akan melepaskan diri dari bentuk ionnya dan membentuk H_{ads}

tahap I, pelepasan ion

$$H^+ + e \longrightarrow H_{ads}$$

tahap II, pembentukan molekul H_2 secara desorpsi kimia

$$H_{ads} + H_{ads} \longrightarrow H_2$$

tahap III, elektrokimia desorpsi

$$H_{ads} + H^+ + e \longrightarrow H_2$$

Ketiga tahap mekanisme reaksi diatas tergantung pada jenis logam dimana hidrogen akan dilepaskan. Sebagai contoh Pt akan lebih baik dari Ni dan Nb. Parameter yang paling penting adalah adanya pertukaran rapat arus untuk pembentukan hidrogen pada permukaan logam. Pt mempunyai i_o yang tinggi (10^{-2} A/cm^2), sedangkan Pb (10^{-13} A/cm^2),

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

maka pembentukan hidrogen pada permukaan Pt lebih mudah terpolarisasi daripada pada permukaan Pb. Overpotensial aktivasi pada katoda didefinisikan oleh Tafel sebagai,

$$\eta_c^A = b_c \log \left(\frac{i_c}{i_o} \right) \qquad (13)$$

b_c adalah konstanta ketergantungan pada temperatur dan persamaan berlaku untuk overpotensial yang lebih besar dari 0,052V. Sedangkan persamaan untuk menyatakan hubungan potensial dan arus listrik pada sel elektrolisis,[5]

$$\eta = a + b \log i \qquad (14)$$

Jika overpotensial kecil, rapat arus pada elektroda sebanding dengan overpotensial η,

$$i = \frac{i_o F \eta}{RT} \qquad (15)$$

i tergantung pada η. i_o adalah rapat arus pertukaran dari reaksi elektroda. Harga io tergantung pada konsentrasi ion H^+ pada tekanan gas H_2 terutama padapermukaan elektroda.

2.3.2 Anoda

Anoda didefinisikan sebagai elektroda pada sel elektrokimia tempat terjadinya reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi disini diimbangi dengan reaksi reduksi pada katoda. Ada dua tipe dari anoda pada sel elektrolisis,

1. Anoda larut
2. Anoda tak larut[5]

Pada anoda larut, bahan logam akan larut membentuk ion-ion logam atau ion-ion komplek, tergantung pada

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

kondisi pendeposisian. Anoda tak larut atau inert banyak dipakai untuk proses pendeposisian sebagai contoh anoda Pt dan anoda karbon. Pada anoda tak larut, anoda ini akan memberikan tempat untuk pembentukan oksigen.[6]

Anoda pada pendeposisian krom dibuat agar anoda tersebut tidak larut. Anoda Pt dan karbon tidak dipakai karena banyak Cr^{3+} terbentuk dalam larutan sehingga akan menggangu terbentuknya deposit. Logam Pb atau Pb alloy digunakan karena selama digunakan PbO_2 akan melapisi permukaan logam Pb sehingga anoda menjadi inert. Pada permukaan anoda Pb juga akan terjadi reaksi oksidasi pembentukan kembali Cr^{6+} dari Cr^{3+} sehingga jumlah Cr^{3+} dalam larutan akan terkendali. Reaksi pada anoda Pb didominasi oleh pembentukan oksigen.[6]

$$Cr^{3+} \text{ ------ } Cr^{6+} + 3e^-$$

$$2H_2O \text{ ------ } O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

$$Pb + O_2 \text{ ----- } PbO_2$$

2.4 PERLAKUAN PERMUKAAN KATODA[3,10]

Keberhasilan proses persiapan permukaan sangat menentukan hasil pendeposisian. Sifat pelekatan (adhesi), ketahanan korosi, dan sifat-sifat teknologi dari pendeposisian pada permukaan logam sangat dipengaruhi oleh cara dan jenis proses pembersihan. Proses persiapan logam yang akan mengalami pendeposisian umumnya meliputi proses pembersihan dari segala macam kotoran.

2.4.1 Jenis kotoran dan cara pembersihannya[10]

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Yang dimaksud dengan kotoran adalah semua jenis kotoran hasil pemolesan, karat, lemak dan sebagainya. Dalam proses pembersihan permukaan logam jenis kotoran akan menentukan bahan pembersih yang akan digunakan dan kedua-duanya menentukan jenis proses dan metoda yang diperlukan. Kotoran yang sering dijumpai pada permukaan logam yaitu, kotoran organik, anorganik, dan oksida logam.

Metoda-metoda umum yang dipakai untuk membersihkan kotoran-kotoran organik adalah pembersihan dengan emulsi, pencelupan dalam pelarut organik dingin, larutan asam, dan larutan alkali. Larutan alkali dapat membersihkan permukaan yang tidak dapat dibasahi oleh air. Minyak dan lemak dibersihkan dengan larutan ini melalui penyabunan dan pembentukan emulsi. Endapan-endapan yang terjadi dari proses pickling sulit dibersihkan seperti halnya pembersihan garam atau partikel-partikel logam yang bersama-sama dengan pelumas mesin-mesin perkakas, gerinda, poles dan sebagainya. Kotoran-kotoran jenis ini dapat berbentuk oksida silikat dan fospat. Kotoran oksida dapat dibersihkan dengan pencucian dengan larutan asam .

2.5 TITRIMETRI

Titrimetri adalah suatu cara analisis jumlah yang berdasarkan pengukuran volume larutan yang diketahui konsentrasinya secara teliti yang direaksikan dengan larutan contoh yang akan ditetapkan kadarnya. Pereaksi yang akan direaksikan disebut larutan standar. Penambahan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

larutan standar diteteskan sedikit demi sedikit dengan buret sampai tercapai titik akhir titrasi.[11]

2.5.1 Titrasi reduksi-oksidasi

Titrasi reduksi-oksidasi dapat dibedakan menjadi beberapa cara berdasarkan pemakaiannya,

a. Permanganometri ($KMnO_4$)

b. Bikromatometri ($K_2Cr_2O_7$)

c. $Na_2S_2O_3$ sebagai titrat, (yodometri tidak langsung)

d. I_2 sebagai titrat, (yodometri cara langsung)

2.5.1.1 Bikromatometri

Kalium bikromat dalam keadaan asam mengalami reduksi menjadi Cr^{3+}.

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O \quad E^\circ = 1,33 \text{ V}$$

Penggunaannya terutama pada penentuan Fe^{2+}.Reaksi untuk titrasi Fe dengan bikromat sebagai berikut,

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightleftharpoons 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

Warna dari $Cr_2O_7^{2-}$ adalah jingga, akan tetapi lebih baik lagi bila ditambahkan indikator redoks yaitu zat yang dapat dioksidasi atau direduksi dan berubah warna akibat reaksi tersebut. Dengan kata lain, bentuk teroksidasi dan tereduksi indikator redoks berbeda warnanya. Contoh pada titrasi Fe^{2+} dengan $Cr_2O_7^{2-}$ dipakai indikator asam difenilamin, dengan perubahan warna dari hijau (Cr^{3+}) menjadi violet, indikator tersebut teroksidasi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)