

## **BAB II**

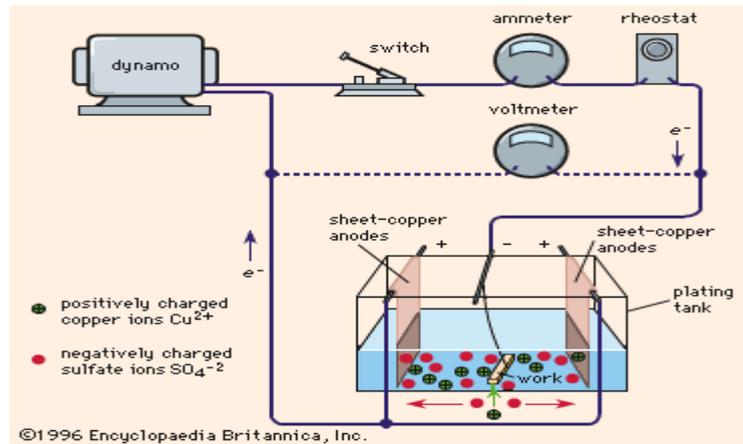
### **DASAR TEORI**

#### **2.1 ELEKTROKIMIA**

Barang-barang logam yang dibuat, dibentuk, dicetak hingga menjadi wujud yang dikehendaki membutuhkan tahap penyelesaian atau finishing. Pada tahap ini terdapat bermacam-macam jenis, dari sekedar dipoles agar halus dan mengkilap, melapisi dengan logam lain agar sifatnya berubah, atau hanya sekedar dicat atau dipernis. Metode elektrokimia yang dikenal sebagai proses electroplating merupakan salah satu metode yang digunakan dalam finishing yang diperlukan bagi logam. Tujuan elektrokimia tersebut adalah untuk mencegah korosi pada logam yang mudah mengalami korosi dan juga berfungsi dekoratif agar logam tetap mengkilat cemerlang sehingga indah dilihat. Terkadang elektrokimia juga digunakan agar sifat termal, magnetik dan konduktor dapat digunakan pada suatu logam. Alasan ekonomis, kekuatan dan keawetan juga kerap dikemukakan.

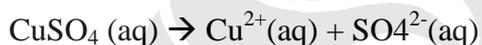
##### **2.1.1 Konsep Elektrokimia**

Pada elektrokimia terdapat elektroda yang bermuatan negatif disebut katoda dan elektroda yang bermuatan positif disebut anoda. Jika sebuah baterai (DC) memberi muatan yang berbeda pada kedua elektroda yang dicelupkan kedalam larutan. Ion positif dalam larutan akan bergerak menuju katoda yang bermuatan negatif untuk mengambil elektron. Sementara itu, ion negatif (anion) bergerak menuju anoda yang bermuatan positif dan melepas elektron. Selanjutnya elektron yang dilepaskan ini akan dialirkan ke katoda melalui baterai. Gambar 2.1 menjelaskan secara skematis proses elektrokimia yang terjadi.



Gambar 2.1 Skema elektrokimia

Berikut adalah reaksi yang terjadi pada peristiwa elektrokimia pada tembaga dengan elektroda inert.



Elektrokimia dilandasi oleh peristiwa elektrolisis, bidang yang mengkaji perubahan energi listrik dari atau ke energi kimia, yang dirintis oleh Michael Faraday (1791-1867). Salah satu penerapan elektrokimia tersebut adalah elektrolisis. Pada elektrolisis ini terdapat Hukum Faraday yaitu :

Hukum 1 Faraday :

“Jumlah massa dari zat kimia yang diproduksi pada elektroda selama elektrolisis adalah sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.”

Kemudian dari hukum Faraday diatas diperoleh rumus :

$$m = \frac{I.t.M_r}{F.z} \quad (2.1)$$

Hukum 2 Faraday :

"Massa dari macam-macam zat yang diendapkan pada masing-masing elektroda (terbentuk pada masing-masing elektroda) oleh sejumlah arus listrik yang sama banyaknya akan sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut."

$$m_1 : m_2 = Mr_1/z_1 : Mr_2/z_2 \quad (2.2)$$

Dalam elektrokimia ini terdapat konstanta Faraday, yaitu jumlah muatan listrik dalam satu mol elektron.

$$F = N \cdot e \quad (2.3)$$

N menjelaskan bilangan Avogadro sebesar  $6.02 \times 10^{23}$  /mol, e adalah jumlah muatan listrik untuk satu elektron sebesar  $1.602 \times 10^{-19}$  Coulomb/elektron. maka, nilai F yang diperoleh adalah

$$F = (6.02 \times 10^{23}) \times (1.602 \times 10^{-19})$$

$$F = 96485 \text{ C/mol}$$

Untuk memperoleh nilai koefisien perpindahan massa (m/s), maka persamaan 2.1 dapat diubah dengan mensubstitusikan nilai-nilai dari parameter *density* dan luas bidang sebagai berikut :

$$K_m = \frac{m}{\rho A t} = \frac{ItMr}{zF} \cdot \frac{1}{\rho A t} \quad (2.4)$$

Hubungan antara density, berat molekul dan konsentrasi larutan adalah :

$$\rho = C \cdot M_r \quad (2.5)$$

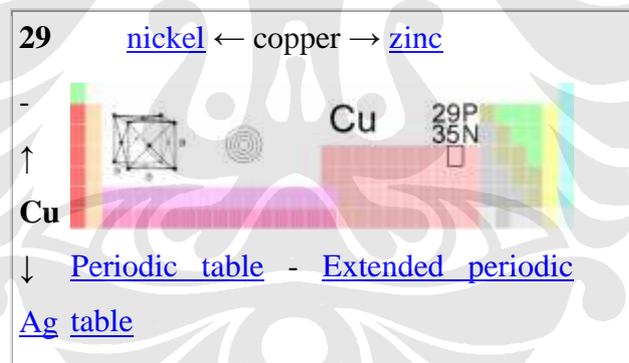
Sehingga dari persamaan 2.5 dapat disubstitusi ke persamaan 2.4 dan diperoleh persamaan

$$K_m = \frac{I}{zFAC} \quad (2.6)$$

### 2.1.2 Tembaga

Tembaga memiliki sifat liat, lunak dan ulet namun jika teroksidasi oleh udara akan membentuk patina (hijau) terdiri atas hidroksokarbonat dan hidroksosulfat. Reaksinya dengan sulfide akan membentuk tarnish(bercak) yang menyulitkan untuk disolder sehingga tembaga masih sering diplat timah. Logam tembaga sering digunakan untuk elektrokimia karena mudah didapat dan harganya relatif murah. Tembaga sering dijadikan lapisan dasar dalam pelapisan sebelum dilapisi oleh logam lain. Karena memiliki daya hantar listrik yang cukup baik maka tembaga sering digunakan untuk pelapisan yang menginginkan sifat konduktor pada logam. Tembaga memiliki dua senyawa : kupro atau tembaga (I) dan kupri atau tembaga (II). Sifat-sifat umum dan sifat-sifat fisik tembaga ditunjukkan oleh tabel 2.1.

Tabel 2.1 Properties dari tembaga



<i>General</i>	
Nama, symbol, nomor atom	copper, Cu, 29
Kelompok kimia	Logam Transisi
Grup, period, blok	11, 4, d
Penampilan	Logam merah kecoklatan

	
Berat Atom	63.546 g·mol <sup>-1</sup>
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>
Elektron per sel	2, 8, 18, 1
<b>Physical properties</b>	
Fase	solid
Berat jenis (density)	8.96 g·cm <sup>-3</sup>
Berat jenis (cair)	8.02 g·cm <sup>-3</sup>
Titik Lebur	1357.77 <u>K</u> (1084.62 °C, 1984.32 °F)
Titik Didih	2835 <u>K</u> (2562 °C, 4643 °F)
Kapasitas kalor	(25 °C) 24.440 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
<b>Miscellaneous</b>	
<i>Electrical resistivity</i>	(20 °C) 16.78 nΩ·m
<i>Thermal conductivity</i>	(300 K) 401 W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Expansi Thermal	(25 °C) 16.5 μm·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
<i>Young's modulus</i>	110 - 128 GPa
<i>Shear modulus</i>	48 GPa

### 2.1.3 Larutan Elektrolit (CuSO<sub>4</sub>)

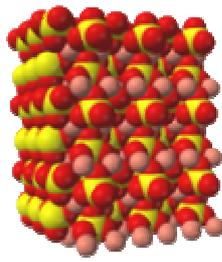
Larutan elektrolit adalah larutan yang memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik. Daya hantar listrik pada larutan elektrolit ini bergantung

pada jenis dan konsentrasinya. Larutan yang memiliki daya hantar listrik yang baik walaupun konsentrasinya kecil disebut dengan elektrolit kuat.

Svante August Arrhenius (1859-1927) menjelaskan bahwa larutan elektrolit mengandung ion yang bergerak bebas. Ion inilah yang menghantar arus listrik melalui larutan. Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{CuSO}_4$  atau dikenal juga dengan nama *blue vitriol* atau *bluestone*.  $\text{CuSO}_4$  atau Copper (II) sulfate memiliki dua jenis campuran yaitu  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (pentahydrate) dan  $\text{CuSO}_4$  (anhydrous). Perbedaan yang terdapat pada dua campuran ini adalah pada jenis pentahydrate masih terdapat molekul air, sedangkan pada jenis anhydrous merupakan copper (II) sulfate murni yang tidak mengandung molekul air. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa sifat dari larutan  $\text{CuSO}_4$ .

Tabel 2.2 Properties dari  $\text{CuSO}_4$





Nama IUPAC	Copper(II) sulfate pentahydrate
Nama Lain	Copper(II) sulfate Copper(II)sulphate Cupric sulfate Blue vitriol Bluestone <u>Chalcanthite</u>
<b><i>Properties</i></b>	
Molekul	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (pentahydrate) $\text{CuSO}_4$ (anhydrous)
Berat molar	249.7 g/mol (pentahydrate) 159.6 g/mol (anhydrous)
Tampilan	Kristal biru (pentahydrate) bubuk abu-abu (anhydrous)
Titik didih	110 °C (– 4H <sub>2</sub> O) 150 °C (423 K) (– 5H <sub>2</sub> O)

### 2.3 ALIRAN TURBULEN

Aliran fluida dalam sebuah pipa bisa berbentuk aliran laminar atau aliran turbulen. Osborne Reynolds (1842-1912) yang pertama kali membedakan aliran ini menggunakan peralatan sederhana berupa aliran air yang melalui sebuah pipa yang diamati dengan menginjeksikan zat pewarna yang mengambang.

Ada kalanya, saluran yang dibuat untuk memindahkan fluida berpenampang tidak bundar. Maka diperlukan suatu panjang karakteristik yang mendefinisikan ukuran sebuah penampang dari bentuk yang ditentukan. Untuk menentukan diameter tersebut maka digunakan diameter hidrolis yang didefinisikan sebagai :

$$d_h = \frac{4A}{P} \quad (2.7)$$

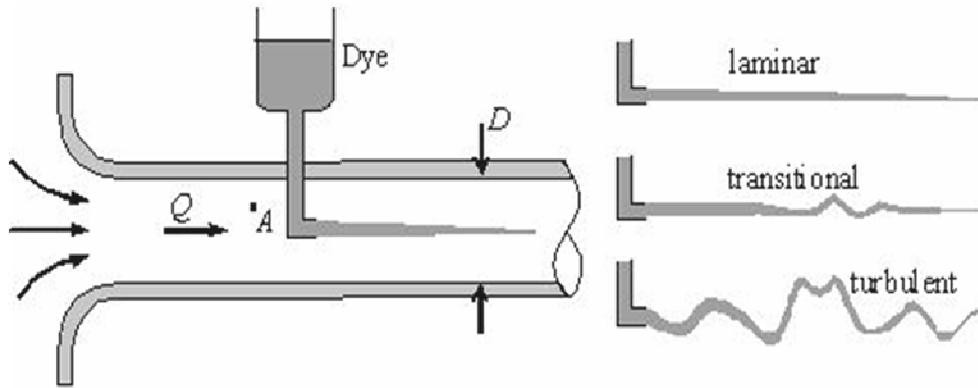
Dalam aliran pipa debit aliran atau *flowrate* menyatakan banyaknya volum cairan yang dipindahkan per satuan waktu. Berikut adalah persamaan yang digunakan

$$Q = u \cdot A \quad (2.8)$$

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynold merupakan perbandingan dari gaya inersia ( $u\rho$ ) dengan gaya viskos ( $\mu/d$ ) dan oleh karena itu hal ini mengukur pentingnya kedua gaya tersebut pada kondisi aliran yang diberikan. Maka bilangan Reynold digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran, seperti aliran laminar atau aliran turbulen. Bilangan Reynold dinyatakan dengan:

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{u d}{\nu} \quad (2.9)$$

Aliran fluida dalam pipa memiliki tiga karakteristik yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jenis karakteristik aliran dalam pipa

Kisaran bilangan Reynolds untuk menentukan aliran dalam pipa yang laminar, turbulen dan transisi tidak dapat ditentukan dengan tepat. Karena banyak parameter yang mempengaruhi. Batasan bilangan Reynolds yang umum digunakan adalah nilai bilangan Reynolds kurang dari 2100 merupakan aliran laminar dan nilai bilangan Reynolds lebih dari 4000 merupakan aliran turbulen. Untuk bilangan Reynolds diantara bilangan tersebut merupakan aliran transisi.

Karakteristik aliran turbulen adalah aliran yang acak dan tidak beraturan. Karena karakteristiknya maka aliran turbulen memiliki kelebihan dalam proses pencampuran dan proses perpindahan kalor dan massa. Hal ini disebabkan oleh adanya keacakan mikroskopik dalam aliran turbulen. Pencampuran acak ukuran tertentu sangat efektif dalam menghantarkan energi dan massa ke seluruh medan aliran, sehingga meningkatkan berbagai laju proses yang terlibat.

Aliran yang melalui benda tumpul mengalami karakteristik yang bervariasi sesuai bilangan Reynolds. Semakin besar bilangan Reynolds, maka semakin kecil efek viskos yang menjadi penting didalam medan aliran. Dengan bilangan Reynolds yang kecil pola garis arus sama didepan dan dibelakang benda. Untuk bilangan Reynolds yang meningkat, daerah didepan benda dimana efek viskos penting menjadi lebih kecil. Efek viskos dikonveksikan ke hilir sehingga aliran kehilangan kesimetrisannya. Efek inersia benda menjadi sedemikian besar sehingga tidak dapat mengikuti lintasan melengkung dibelakang benda. Hasilnya terbentuk gelembung separasi dibelakang benda dimana sebagian fluida sesungguhnya mengalir ke hulu, melawan arah dimana aliran mengalir ke hilir. Pada aliran bilangan Reynolds yang besar, daerah yang dipengaruhi oleh gaya

viskos terdorong ke hilir sampai melibatkan lapisan batas tipis di bagian depan silinder dan daerah olakan yang tak beraturan yang membentang sampai jauh ke hilir. Gradien kecepatan pada bagian daerah olakan dan lapisan batas jauh lebih besar daripada daerah lainnya di medan aliran.

Kontrol turbulensi dapat menggunakan metode kontrol aktif atau metode kontrol pasif. Kontrol aktif adalah kontrol turbulensi yang diberikan kepada aliran dengan menambahkan energi atau gangguan dari luar yang mengakibatkan aliran tersebut mengalami perubahan karakteristik. Kontrol pasif adalah kontrol yang diberikan kepada aliran dimana tidak ada energi atau gangguan dari luar yang dapat diberikan untuk mengubah karakteristik aliran selain dari kontrol pasif tersebut.

## 2.2 PERPINDAHAN MASSA

Perpindahan massa merupakan proses perpindahan molekular yang karena adanya perbedaan konsentrasi pada suatu campuran dari dua komponen yang berbeda. Konsep terjadinya perpindahan massa adalah dimana terdapat perbedaan konsentrasi yang mengakibatkan munculnya suatu konsentrasi yang seragam. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, molekul yang terdapat pada fluida tersebut berjumlah lebih banyak. Sehingga, dengan adanya perbedaan konsentrasi maka molekul yang berasal dari konsentrasi yang lebih tinggi akan berpindah mengisi molekul-molekul yang terdapat pada konsentrasi yang lebih rendah sehingga muncul konsentrasi yang seragam. Persamaan yang digunakan untuk perpindahan massa adalah :

$$\dot{M} = K_m A(\Delta C) \quad (2.10)$$

Untuk melakukan analisa dari perpindahan massa digunakan berbagai bilangan tak berdimensi yang berkorelasi dengan variabel-variabel pada perpindahan massa. Ada tiga bilangan tak berdimensi yang umum digunakan yaitu bilangan Reynolds, bilangan Schmidt dan bilangan Sherwood.

Bilangan Schmidt merupakan ratio dari momentum dan *mass diffusivities* yang menjelaskan pengukuran dari efektifitas momentum dan perpindahan massa dengan difusi dalam kecepatan dan lapisan batas konsentrasi. Persamaan untuk bilangan Schmidt adalah

$$Sc = \frac{v}{D} = \frac{\mu}{\rho D} \quad (2.11)$$

Bilangan Sherwood merupakan bilangan yang menyatakan gradien konsentrasi pada permukaan yang dapat digunakan untuk menghitung konveksi perpindahan massa.

$$Sh = \frac{K_m d}{D} \quad (2.12)$$

Korelasi antara ketiga bilangan tak berdimensi tersebut dinyatakan sebagai berikut

$$Sh = a Re^b Sc^c \quad (2.13)$$

Nilai a, b dan c adalah konstanta yang muncul dari pengolahan data eksperimen.