

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Warih (2014) menggunakan elektroda seng (Zn) dan karbon (C), elektroda dimasukkan ke dalam air laut sehingga terjadi reaksi kimia karena perbedaan potensial listrik dari elektroda tersebut. Pengukuran tegangan dilakukan pada konsentrasi 30, 32, 34, 36, 38 dan 40 gram/liter dengan menggunakan karbon aktif dan karbon biasa. Dilakukan pengukuran tegangan tanpa beban dan pengukuran tegangan berbeban dengan hambatan 10  $\Omega$ . Berikut data pengukuran tegangan tanpa beban dan pengukuran tegangan berbeban seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil pengukuran tegangan tanpa beban dan tegangan berbeban

Konsentrasi (gram/liter)	Tegangan tanpa beban (volt)		Tegangan berbeban (volt)	
	Karbon biasa	Karbon aktif	Karbon biasa	Karbon aktif
30	0.90	1.06	0.34	0.29
32	0.90	1.03	0.29	0.29
34	0.87	0.91	0.33	0.27
36	0.90	0.92	0.33	0.29
38	0.91	0.88	0.32	0.30
40	0.92	1.01	0.31	0.23

Lain halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Imamah (2013), penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek kelistrikan yang ditimbulkan oleh variasi bahan elektroda yang terdapat pada limbah buah jeruk. Penelitian

dilakukan dengan menggunakan berbagai variasi bahan elektoda seperti tembaga (Cu), aluminium (Al), besi (Fe), timah (Pb) dan kuningan. Variasi jarak mulai dari 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm serta variasi hambatan mulai dari 1000  $\Omega$ , 10000  $\Omega$ , 100000  $\Omega$ , 1000000  $\Omega$  dan 10000000  $\Omega$  dengan menggunakan tiga parameter pengukuran yaitu pengukuran arus dan tegangan bio baterai tunggal, pengukuran bio baterai secara seri paralel serta pengukuran tegangan dan lama nyala LED pada rangkaian seri paralel. Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa dari berbagai variasi tersebut diperoleh nilai arus dan tegangan yang berbeda-beda. Pengukuran bio baterai tunggal menunjukkan bahwa bahan elektroda mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan, untuk pasangan Cu-Fe pada hambatan dan jarak yang sama menghasilkan tegangan yang lebih tinggi yaitu sebesar 0,315 mA dan 0,3 volt dibandingkan dengan elektroda lainnya seperti Al-Kuningan, Cu-Pb, Kuningan-Cu dan Cu-Al. Begitu juga dengan variasi jarak, dimana semakin besar jarak maka nilai arus dan tegangannya semakin kecil.

## **B. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya**

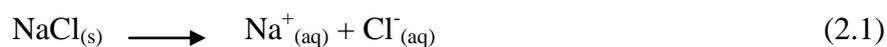
Pada penelitian ini penulis mencoba mengukur karakteristik elektrik air laut dengan menggunakan elektroda, elektroda yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari beberapa jenis bahan yaitu karbon (C), aluminium (Al), seng (Zn) dan tembaga (Cu). Bahan elektroda ini nantinya dibentuk menjadi tiga pasang elektroda agar dapat diketahui perbandingannya, ketiga pasang elektroda ini adalah karbon dan seng (C-Zn), tembaga dan aluminium (Cu-Al) serta tembaga dan seng (Cu Zn). Air laut yang digunakan merupakan air laut murni

tidak dicampur dengan unsur lain. Karakteristik elektrik air laut dapat diketahui melalui pengukuran tegangan, arus, daya dan hambatan dalam rangkaian dengan menggunakan multimeter digital. Pada penelitian ini dilakukan dua tahap pengukuran yaitu pengukuran karakteristik elektrik air laut tanpa beban dan pengukuran karakteristik elektrik air laut dengan menggunakan beban, beban yang digunakan adalah lampu LED dengan hambatan tertentu. Hasil dari penelitian karakteristik air laut ini nantinya dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan.

### C. Teori Dasar

#### a. Komposisi Air Laut

Tanda bahwa air laut mengandung arus listrik adalah adanya unsur NaCl yang tinggi dan oleh H<sub>2</sub>O diuraikan menjadi Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup>, dengan adanya partikel muatan bebas itu, maka ada arus listrik. Persamaan kimia NaCl terlihat seperti dibawah ini:



unsur NaCl memiliki derajat ionisasi 1, atau mendekati 1 dan NaCl termasuk larutan elektrolit kuat serta dapat terionisasi sempurna dalam air (Keenan, 1984). Energi yang dihasilkan dari air laut memiliki banyak keunggulan diantaranya ramah lingkungan dan tidak membutuhkan banyak dana.

Diketahui bahwa kadar garam-garaman dalam air laut mempengaruhi sifat fisis air laut seperti densitas, kompresibilitas, titik beku dan temperatur. Beberapa sifat seperti viskositas, daya serap cahaya tidak terpengaruh

signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut adalah daya hantar listrik dan tekanan osmosis. Zat garam-garaman utama yang terkandung dalam air laut 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 (Nybakken, 1992).

Laut terbentuk sekitar 4,4 milyar tahun yang lalu, air laut awalnya bersifat sangat asam, air yang mendidih dengan suhu sekitar 100°C karena panasnya bumi. Asamnya air laut terjadi karena atmosfer bumi dipenuhi oleh karbon dioksida. Keasaman air inilah yang menyebabkan tingginya pelapukan dan menyebabkan air laut menjadi asin seperti sekarang. Pada saat itu, gelombang tsunami sering terjadi karena seringnya asteroid menghantam bumi. Pasang surut laut sangat besar, hal ini disebabkan karena jarak bulan yang begitu dekat dengan bumi. Air laut adalah air yang didalamnya terlarut berbagai zat padat dan gas. Dalam 1000 gram berisi  $\pm$  35 gram senyawa yang terlarut secara kolektif yang disebut garam. Diketahui bahwa 96,5% air laut berupa air murni dan 3,5% zat terlarut, banyaknya zat terlarut disebut salinitas. Ilmuwan dalam bidang biologi laut dan oceanografi pada umumnya lebih suka menyatakan salinitas dengan satuan per seribu (Nybakken, 1992).

Air laut terasa asin karena memiliki kadar garam rata-rata 3,5%, kandungan garam di setiap laut berbeda-beda. Laut yang paling tawar adalah di timur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothnia, keduanya merupakan bagian dari laut Baltik. Laut yang paling asin adalah laut merah, suhunya tinggi dan

sirkulasi terbatas membuat penguapan tinggi serta sedikit air masuk dari sungai-sungai. Air laut memiliki kadar garam karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat didalam batu-batuan dan tanah, misalnya natrium, kalium, kalsium dan lain-lain (Millero and Sohn, 1992).

Komposisi air laut pada salinitas 35‰ dapat dilihat pada Tabel 2.2 atau pada massa jenis rata-rata 1,0258 kg/liter yaitu dengan kepekatan antara 3-3,5 °Be dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Komposisi air laut pada salinitas 35‰ ( Riley and Skirrow, 1975)

No	Ion	Garam per kg air laut
1	Cl <sup>-</sup>	19,354
2	Na <sup>+</sup>	10,77
3	K <sup>+</sup>	0,399
4	Mg <sup>2+</sup>	1,290
5	Ca <sup>2+</sup>	0,4121
6	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	2,712
7	Br <sup>-</sup>	0,0673
8	F <sup>-</sup>	0,0013
9	B	0,0045
10	Sr <sup>2+</sup>	0,0079
11	IO <sub>3</sub> I	6,0 x 10 <sup>-5</sup>

Tabel 2.3. Komposisi air laut pada massa jenis 1,0258 kg/liter (Riley and Skirrow, 1975).

No	Senyawa	Garam per liter air laut
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,003
2	CaCO <sub>3</sub>	0,1172
3	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1,7488
4	NaCl	29,6959
5	MgSO <sub>4</sub>	2,4787
6	MgCl <sub>2</sub>	3,3172
7	NaBr	0,5524
8	KCl	0,5339
	Total	38,44471

Air laut dengan kadar rata-rata seperti di atas mempunyai sifat kristalisasi berdasarkan perbedaan kepekatan seperti yang tercantum pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Tingkat kepekatan dan senyawa yang terendapkan dari air laut (Riley and Skirrow, 1975).

Tingkat kepekatan (°Be)	Mengkristal/Mengendap
3,00-16,00	Lumpur/Pasir/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CaCO <sub>3</sub>
17,00-27,00	Gips (Kalsium Sulfat)
26,25-35,00	Natrium Klorida
27,00-35,00	Garam Magnesium
28,50-35,00	Natrium Bromida

Data di atas menunjukkan bahwa ada senyawa yang tidak terlalu diperlukan tetapi jumlahnya cukup besar yaitu ion kalsium, magnesium dan sulfat. Ion besi juga terdapat dalam air laut dengan kadar yang relatif rendah. Berdasarkan perbedaan kemampuan pengendapannya, maka perlu diketahui kelarutan masing-masing ion tersebut didalam air. Berdasarkan data kelarutan

ion-ion dengan menambahkan perlakuan tertentu, magnesium dan kalsiumnya terendapkan.

Tabel 2.5. Kelarutan ion dalam air berdasarkan kemampuan pengendapannya (Riley and Skirrow, 1975).

No	Substansi	Hasil kali kelarutan (Ks)
1	CaCO <sub>3</sub>	4,8 x 10 <sup>-9</sup>
2	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4,0 x 10 <sup>-9</sup>
3	Ca(OH) <sub>2</sub>	5,5 x 10 <sup>-6</sup>
4	CaSO <sub>4</sub>	1,2 x 10 <sup>-6</sup>
5	MgCO <sub>3</sub>	1,0 x 10 <sup>-5</sup>
6	MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,0 x 10 <sup>-9</sup>
7	MgF <sub>2</sub>	6,5 x 10 <sup>-9</sup>
8	KIO <sub>3</sub>	5,0 x 10 <sup>-2</sup>

#### b. Salinitas Air Laut

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air, satuan salinitas adalah per mil (‰), yaitu jumlah berat total (gram) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut. Salinitas merupakan bagian dari sifat fisik kimia suatu perairan, selain suhu, pH, substrat dan lain-lain. Salinitas dipengaruhi oleh pasang surut, curah hujan, penguapan, presipitasi dan topografi suatu perairan. Akibatnya, salinitas suatu perairan dapat sama atau berbeda dengan perairan lainnya, misalnya perairan darat, laut dan payau. Kisaran salinitas air laut adalah 30-35‰, air payau 5-35‰ dan air tawar 0,5-5‰. Salinitas suatu kawasan menentukan dominasi makhluk hidup pada daerah tersebut. Suatu kawasan dengan salinitas tertentu didominasi oleh suatu spesies tertentu terkait dengan tingkat toleransi spesies tersebut

terhadap salinitas yang ada. Salinitas dari berbagai tempat di lautan terbuka yang jauh dari daerah pantai tidak jauh berbeda, biasanya antara 34-37‰, dengan rata-rata 35‰. Perbedaan salinitas terjadi karena perbedaan dalam penguapan dan presipitasi. Salinitas lautan di daerah tropik lebih tinggi karena evaporasi lebih tinggi, sedangkan pada lautan di daerah beriklim sedang salinitasnya rendah karena evaporasi lebih rendah, di daerah pantai dan laut yang tertutup sebagian, salinitasnya lebih bervariasi dan memungkinkan mendekati 0 karena terdapat sungai-sungai besar mengalirkan air tawar, sedangkan di laut merah dan teluk persia salinitasnya hampir 40‰ (Nybakken, 1992).

Salinitas merupakan jumlah gram garam yang terlarut dalam 1 kg air laut (Millero and Sohn, 1992). Konsentrasi garam dikontrol oleh batuan alami yang mengalami pelapukan, tipe tanah dan komposisi kimia dasar perairan. Salinitas merupakan indikator utama untuk mengetahui penyebaran massa air laut sehingga penyebaran salinitas secara langsung menunjukkan penyebaran dan peredaran massa air dari satu tempat ke tempat lainnya. Penyebaran salinitas secara ilmiah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain curah hujan, pengaliran air tawar ke laut secara langsung maupun lewat sungai dan gletser, penguapan, arus laut, turbulensi pencampuran dan gelombang laut (Campbell, 2004).

### c. Elektrokimia

Elektrokimia adalah reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik. Dalam elektrokimia melibatkan reaksi yang sering disebut reaksi oksidasi dan reduksi atau biasa disingkat dengan redoks.

#### 1) Reaksi Oksidasi dan Reduksi

Adalah reaksi dengan perpindahan elektron dari satu senyawa ke senyawa yang lain, misalnya  $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{+2} + 2\text{Ag}$ .

#### 2) Oksidator dan Reduktor

Oksidator adalah yang menerima elektron sedangkan reduktor adalah yang memberikan elektron.

Sel elektrokimia adalah alat yang digunakan untuk melangsungkan perubahan reaksi oksidasi dan reduksi. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda. Jadi sebuah sel selalu terdiri atas anoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi, katoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi reduksi dan larutan elektrolit/ionik untuk menghantarkan arus, larutan ionik dianggap seperti resistor dalam suatu sirkuit, maka ukuran dari sifat-sifat larutan adalah tahanan resistor, mengikuti hukum Ohm (Bird, 1993).

## 1. Jenis-jenis Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Terdapat beberapa sel elektrokimia yang biasa kita gunakan dalam keperluan sehari-hari seperti aki, baterai kering, baterai alkalin, baterai litium dan lain sebagainya.

### a) Aki

Aki merupakan salah satu contoh sel sekunder karena reaksi reduksi yang berlangsung pada sel ini dapat dibalik dengan cara mengalirkan arus listrik. Sel aki terdiri atas anoda Pb (timbal/timah hitam) dan katoda  $\text{PbO}_2$  (timbal (IV) oksida). Keduanya merupakan zat padat yang dicelupkan dalam asam sulfat. Kedua elektroda tersebut merupakan hasil reaksi yang tidak larut dalam asam sulfat, sehingga tidak diperlukan jembatan garam. Tiap sel aki mempunyai beda potensial kurang lebih 2 volt. Aki 12 volt terdiri atas 6 sel yang dihubungkan seri. Aki dapat diisi kembali karena hasil reaksi pengosongan aki tetap melekat pada kedua elektroda. Pengisian aki dilakukan dengan membalik arah aliran elektron pada kedua elektroda. Pada pengosongan aki, anoda (Pb) mengirim elektron pada katoda, sebaliknya pada pengisian aki elektroda Pb dihubungkan dengan kutub negatif sumber arus sehingga  $\text{PbSO}_4$  yang terdapat pada elektroda Pb mengalami reduksi. Sementara itu  $\text{PbSO}_4$  yang terdapat pada elektroda  $\text{PbO}_2$  mengalami oksidasi membentuk  $\text{PbO}_2$  (Hiskia, 1993).

b) Baterai kering

Baterai kering ditemukan oleh Leclanche yang mendapat hak paten atas penemuan itu pada tahun 1866. Sel Leclanche terdiri atas suatu silinder *zink* yang berisi pasta dari campuran batu kawi, salmiak, karbon dan sedikit air (sel ini tidak 100% kering) *zink* berfungsi sebagai anoda sedangkan sebagai katoda digunakan elektroda *inert*, yaitu grafit, yang dicelupkan ditengah-tengah pasta. Pasta itu sendiri berfungsi sebagai oksidator. Potensial suatu sel Leclanche adalah 1,5 volt, sel ini disebut sel kering asam karena adanya  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang bersifat asam. Sel Leclanche tidak dapat diisi ulang (Bird, 1993).

c) Baterai alkalin

Baterai kering jenis alkalin pada dasarnya sama dengan sel Leclanche, tetapi bersifat basa karena menggunakan KOH menggantikan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dalam pasta. Potensial dari baterai alkalin juga sebesar 1,5 volt, tapi baterai ini dapat bertahan lebih lama (Bird, 1993).

d) Baterai litium

Baterai litium telah mengalami berbagai penyempurnaan. Baterai litium yang kini banyak digunakan adalah baterai litium ion. Baterai litium ion tidak menggunakan logam litium, tetapi ion litium. Ketika ion litium digunakan, ion litium berpindah dari satu elektroda ke elektroda lainnya melalui suatu elektrolit. Ketika diisi, aliran ion litium dibalik (Bird, 1993).

## 2. Konsep Reduksi-Oksidasi (Redoks)

Pada dasarnya reaksi redoks hanya meliputi zat-zat yang mengandung oksigen saja. Reaksi oksidasi dianggap sebagai reaksi penambahan oksigen dan reaksi reduksi adalah reaksi pengurangan oksigen. Tetapi, saat ini pengertian redoks diperluas menjadi reaksi perpindahan elektron. Reaksi oksidasi adalah peristiwa pelepasan elektron, dimana suatu zat memberikan elektron kepada zat lainnya, sebagai contoh  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ . Sedangkan reaksi reduksi adalah peristiwa penangkapan elektron, suatu zat menerima elektron dari zat lain, seperti contoh  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ . Senyawa yang mengalami oksidasi disebut sebagai reduktor dan senyawa yang mengalami reduksi disebut sebagai oksidator (Syukri, 1999).

## 3. Deret Elektrokimia (Deret Volta)

Deret elektrokimia atau deret volta merupakan urutan logam-logam berdasarkan kenaikan potensial elektroda standarnya. Umumnya deret volta yang sering dipakai adalah Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Ni, Sn, Pb, H, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au. Pada deret volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif, semakin mudah melepas elektron dan logam merupakan reduktor yang kuat dan mudah mengalami oksidasi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka logam semakin kurang reaktif, semakin sulit melepas elektron dan

logam merupakan oksidator yang kuat dan mudah mengalami reduksi,  
Tabel 2.6 menunjukkan nilai deret volta.

Tabel 2.6. Nilai deret volta (Silberberg, 2000)

<b>Reaksi Reduksi</b>	<b>Logam</b>	<b>E<sup>0</sup> (volt)</b>
Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	Li	-3.04
K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	K	-2.92
Ba <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Ba	-2.90
Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Ca	-2.87
Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	Na	-2.71
Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Mg	-2.37
Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Al	-1.66
Mn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Mn	-1.18
2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> +2OH <sup>-</sup>	-0.83
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Zn	-0.76
Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Cr	-0.71
Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Fe	-0.44
Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Cd	-0.40
Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Co	-0.28
Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Ni	-0.25
Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Sn	-0.14
Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Pb	-0.13
2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub>	0.00
Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Sn <sup>2+</sup>	+0.13
Bi <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Bi	+0.30
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Cu	+0.34
Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	Ag	+0.80
Pt <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Pt	+1.20
Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Au	+1.50

#### 4. Potensial Sel Volta

Potensial sel volta dapat ditentukan melalui percobaan dengan menggunakan voltmeter atau potensiometer. Potensial sel volta dapat juga dihitung berdasarkan data potensial elektroda positif (katoda) dan potensial elektroda negatif (anoda).

$$E^{\circ} \text{ sel} = E^{\circ} \text{ katoda} - E^{\circ} \text{ anoda} \quad (2.2)$$

Katoda adalah elektroda yang mempunyai harga  $E^{\circ}$  lebih besar (lebih positif), sedangkan anoda adalah yang mempunyai  $E^{\circ}$  lebih kecil (lebih negatif) (Dogra, 1990).

##### d. Sel Galvani

Semua reaksi kimia yang disebabkan oleh energi listrik serta reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik dipelajari dalam bidang elektrokimia. Kita dapat menggunakan kelistrikan sejak Luigi Galvani pada tahun 1791 menemukan bahwa pada kodok yang segar dapat bergetar jika dihubungkan dengan dua macam logam bersambungan dan Alessandro Volta berhasil membuat baterai pertama dengan menyusun kepingan perak dan kepingan seng serta kertas yang dibasahi larutan asam (Syukri, 1999).

Sel galvani terdiri atas dua elektroda dan elektrolit, elektroda dihubungkan oleh penghantar luar yang mengangkut elektron ke dalam sel atau keluar sel. Elektroda dapat berperan dan bisa juga tidak berperan dalam reaksi sel. Setiap elektroda dan elektrolit disekitarnya membentuk setengah sel. Reaksi elektroda adalah setengah reaksi yang berlangsung dalam setengah sel. Kedua

setengah sel dihubungkan dengan jembatan garam. Arus diangkut oleh ion-ion yang bergerak melalui jembatan garam. Sel galvanik atau sel volta dapat menghasilkan energi listrik sebagai hasil reaksi kimia yang berlangsung spontan. Cara kerja dari sel galvanik adalah sebagai berikut.

- 1) Pada anoda terjadi oksidasi dan elektron bergerak menuju elektroda.
- 2) Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju ke elektroda.
- 3) Elektron berpindah dari katoda ke zat dalam elektrolit, zat yang menerima elektron mengalami reduksi (Hiskia,1992).

#### **e. Elektroda**

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non logam dari sebuah sirkuit misal semikonduktor, elektrolit atau vakum. Elektroda ditemukan oleh ilmuwan Michael Faraday, berasal dari bahasa Yunani elektron yang berarti sebuah cara. Elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda. Anoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel elektrokimia sehingga terjadi oksidasi dan katoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel elektrokimia sehingga terjadi reduksi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan terhadap sel elektrokimia tersebut. Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya (Hiskia, 1992).

## 1. Jenis-jenis Elektroda

### a) Anoda

Pada sel galvanik, anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan dan elektron akan dilepaskan oleh elektroda. Pada sel elektrolisis, sumber eksternal tegangan didapat dari luar, sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda. Ion-ion bermuatan negatif akan mengalir pada anoda untuk dioksidasi (Dogra, 1990).

### b) Katoda

Katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reduksi berbagai zat kimia. Katoda bermuatan positif bila dihubungkan dengan anoda yang terjadi pada sel galvanik. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda. Pada sel elektrolisis, katoda adalah elektroda yang bermuatan negatif (anion). Ion-ion bermuatan positif (kation) mengalir ke elektroda untuk direduksi, dengan demikian pada sel galvanik elektron bergerak dari anoda ke katoda (Bird, 1993).

## 2. Potensial Elektroda Standar ( $E^{\circ}$ )

Potensial elektroda standar suatu elektroda adalah daya gerak listrik yang timbul karena pelepasan elektron dari reaksi reduksi. Karena itu, potensial elektroda standar sering juga disebut potensial reduksi standar. Nilai potensial elektroda standar dinyatakan dalam satuan volt (V). Untuk elektroda hidrogen,  $E^{\circ}$  nya adalah 0,00 volt.

- a) Bila  $E^{\circ} > 0 \rightarrow$  cenderung mengalami reduksi (bersifat oksidator)
- b) Bila  $E^{\circ} < 0 \rightarrow$  cenderung mengalami oksidasi (bersifat reduktor)

(Hiskia, 1992).

#### **f. Potensial Elektroda**

Arus listrik yang terjadi pada sel volta disebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif ke elektroda positif. Hal ini disebabkan karena perbedaan potensial antara kedua elektroda, misalnya kita mengukur perbedaan potensial ( $\Delta V$ ) antara dua elektroda dengan menggunakan potensiometer ketika arus listrik yang dihasilkan mengalir sampai habis, maka akan diperoleh nilai limit atau perbedaan potensial saat arus listriknya nol yang disebut sebagai potensial sel ( $E^{\circ}_{sel}$ ). Perbedaan potensial yang diamati bervariasi dengan jenis bahan elektroda dan konsentrasi serta temperatur larutan elektrolit. Sebagai contoh untuk sel Daniell, bila diukur dengan potensiometer beda potensial pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  saat konsentrasi ion  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  sama adalah 1,10 volt. Bila elektroda  $\text{Cu}^{2+}$  dalam sel Daniell diganti dengan elektroda  $\text{Ag}/\text{Ag}^{+}$ , potensial sel adalah 1,56 volt. Jadi dengan berbagai kombinasi elektroda dapat menghasilkan nilai potensial sel yang sangat bervariasi (Anderson, et al, 2010).

Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif. Bahan elektroda yang ideal adalah yang memiliki konduktivitas yang tinggi, luas permukaan spesifik yaitu luas permukaan per unit berat sebesar mungkin

untuk penyerapan (Oren, 2007). Pembuatan elektroda yang saat ini dikembangkan adalah menggunakan karbon aktif yang berukuran nano. Karbon aktif paling sering digunakan sebagai elektroda pada sistem ini, karena memiliki daya serap yang baik. Di Indonesia sudah banyak diproduksi karbon aktif dari tempurung kelapa.

Ketika dua buah konduktor seperti Cu-Zn dan C-Zn, terhubung melalui larutan dengan konsentrasi pembawa muatan positif dan negatif tidak seimbang, maka satu jenis pembawa muatan akan terkumpul pada satu konduktor dan lainnya akan terkumpul pada konduktor lainnya, sehingga di kedua ujung konduktor tersebut terdapat beda potensial. Sistem ini dikenal dengan sel volta (*cell voltaic*). Mengingat di kedua ujung konduktor terjadi reaksi redoks terus menerus, maka terjadi pertukaran pembawa muatan dari elektroda ke larutan elektrolit maupun sebaliknya yaitu dari larutan elektrolit ke elektroda, menyebabkan aliran pembawa muatan (arus listrik) pada rangkaian tertutup kedua elektroda tersebut, dengan kata lain gaya gerak listrik dari sel merupakan hasil perubahan energi kimia melalui reaksi redoks (Landis, 1909). Energi listrik yang dihasilkan dari sel volta bergantung pada jenis larutan dan elektroda baik jenis material maupun modifikasi dimensi elektroda.

### **1. Karakteristik Tembaga (Cu)**

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu, berasal dari bahasa latin cuprum dan nomor atom 29. Bernomor massa 63,54 dan merupakan unsur logam dengan warna

kemerahan. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga mempunyai kekonduksian elektrik dan kekonduksian haba yang tinggi diantara semua logam-logam tulen dalam suhu bilik, hanya perak yang mempunyai kekonduksian elektrik lebih tinggi dari padanya, apabila dioksidakan tembaga adalah besi lemah. Tembaga memiliki ciri warna kemerahan, hal itu disebabkan struktur jalurnya, yaitu memantulkan cahaya merah dan jingga serta menyerap frekuensi-frekuensi lain dalam spektrum tampak. Tembaga sangat langka dan jarang sekali diperoleh dalam bentuk murni. Mudah didapat dari berbagai senyawa dan mineral.



Gambar 2.1. Sebuah kristal tembaga (Cu)

Logam ini termasuk logam berat *non ferro* yaitu logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar serta memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik. Produksi tembaga sebagian besar dipakai sebagai kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Biasanya digunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam-

logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn (Van Vliet, et al,1984).

Struktur kristal tembaga murni adalah *face centered cubic (FCC)* dan memiliki titik leleh 1084,62°C. Pada Tabel 2.7 diperlihatkan sifat fisis mekanik dan sifat panas dari tembaga murni.

Tabel 2.7. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni

<b>Sifat Fisis</b>	<b>Satuan</b>
Densitas	8920 kg/m <sup>3</sup>
<b>Sifat Mekanik</b>	
Kuat tarik	200 N/mm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas	130 Gpa
Brinnel hardness	874 MN m <sup>-2</sup>
<b>Sifat Panas</b>	
Koefisien ekspansi thermal	16,5 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Konduktivitas thermal	400 W/mK

Tembaga merupakan logam berwarna kuning seperti emas kuning dan keras bila tembaga tersebut tidak murni, tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat, serta tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yaitu sebesar  $59,6 \times 10^6$  S/m, oleh karena itu tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi atau kedua tertinggi diantara semua logam murni pada suhu kamar (Hammond, 2004).

## 2. Karakteristik Seng (Zn)

Seng dengan nama kimia *Zinc* dilambangkan dengan Zn merupakan salah satu unsur logam berat, Zn mempunyai nomor atom 30 dan memiliki berat atom 65,39. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150°C. Seng (Zn) melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C. Seng dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Beberapa unsur kimia seng mirip dengan magnesium, hal ini dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu, keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2. Seng merupakan unsur yang melimpah dikerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Bijih seng yang paling banyak ditambang adalah seng sulfida (Slamet, 1994).

Luigi Galvani dan Alessandro Volta berhasil meneliti sifat-sifat elektrokimia seng pada tahun 1800. Pelapisan seng pada baja untuk mencegah perkaratan merupakan aplikasi utama seng, aplikasi lainnya meliputi penggunaannya pada baterai. Terdapat berbagai jenis senyawa seng yang dapat ditemukan, seperti seng karbonat dan seng glukonat (suplemen makanan), seng klorida (pada deodoran), seng piriton (pada sampo anti ketombe), seng sulfida (pada cat berpendar) dan seng metil ataupun seng dietil di laboratorium organik. Seng adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Seng dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Seng di alam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung seng di alam

bebas antara lain kalaminit, franklinite, smitkosonit, willenit dan zinkit (Widowati, dkk, 2008).

### 3. Karakteristik Karbon (C)

Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan memiliki nomor atom 6 pada tabel periodik. Sebagai unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non logam dan bervalensi 4, yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Terdapat tiga macam isotop karbon yang ditemukan secara alami, yakni  $^{12}\text{C}$  dan  $^{13}\text{C}$  yang stabil dan  $^{14}\text{C}$  yang bersifat radioaktif. Karbon merupakan salah satu diantara beberapa unsur yang diketahui keberadaannya sejak zaman kuno. Istilah karbon berasal dari bahasa Latin *carbo*, yang berarti batu bara (Lide, 2005). Karbon memiliki beberapa jenis alotrop, yang paling terkenal adalah grafit, intan dan karbon amorf. Sifat-sifat fisika karbon bervariasi bergantung pada jenis alotroponya (Haaland, 1976).

Semua alotrop karbon sangat stabil dan memerlukan suhu yang sangat tinggi untuk bereaksi, bahkan dengan oksigen. Keadaan oksidasi karbon yang paling umum ditemukan adalah +4 dan +2 dijumpai pada karbon monoksida dan senyawa kompleks logam transisi lainnya. Sumber karbon anorganik terbesar terdapat pada batu kapur, dolomit dan karbon dioksida, sedangkan sumber organik terdapat pada batu bara, tanah gambut, minyak bumi dan klatrat metana. Karbon dapat membentuk lebih banyak senyawa dari pada unsur-unsur lainnya, dengan hampir 10 juta senyawa organik

murni yang telah dideskripsikan sampai sekarang. Karbon adalah unsur paling berlimpah ke-15 di kerak bumi dan ke-4 di alam semesta. Karbon terdapat pada semua jenis makhluk hidup dan pada manusia, karbon merupakan unsur paling berlimpah kedua sekitar 18,5% setelah oksigen. Keberlimpahan karbon ini bersamaan dengan keanekaragaman senyawa organik dan kemampuannya membentuk polimer membuat karbon sebagai unsur dasar kimiawi kehidupan. Unsur ini adalah unsur yang paling stabil diantara unsur-unsur yang lain, sehingga dijadikan acuan dalam mengukur satuan massa atom. Keistimewaan unsur karbon dibandingkan dengan unsur golongan IV A yang lain, unsur karbon secara alamiah mengikat dirinya sendiri dalam rantai, baik dengan ikatan tunggal C–C, ikatan rangkap dua C=C, maupun ikatan rangkap tiga C≡C. Hal ini terjadi karena unsur karbon mempunyai energi ikatan yang kuat, yaitu sebesar 356 kJ/mol (Libby, 1952).

Karbon memiliki berbagai bentuk alotrop yang berbeda-beda, meliputi intan yang merupakan bahan terkeras di dunia sampai dengan grafit yang merupakan salah satu bahan terluak. Karbon juga memiliki afinitas untuk berikatan dengan atom kecil lainnya, sehingga dapat membentuk berbagai senyawa dengan atom tersebut. Oleh karena itu karbon dapat berikatan dengan atom lain, termasuk dengan karbon sendiri yang dapat membentuk hampir 10 juta jenis senyawa yang berbeda. Karbon juga memiliki titik lebur dan titik sublimasi yang tertinggi diantara semua unsur kimia (Watson, 1999).

### g. Arus dan Rapat Arus

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya, arus listrik adalah muatan yang bergerak. Dalam konduktor padat sebagai pembawa muatan adalah elektron bebas, dalam konduktor cair atau elektrolit pembawa muatannya adalah ion positif dan ion negatif, dalam bentuk gas muatannya adalah ion positif dan elektron. Elektron bebas dan ion dalam konduktor bergerak karena pengaruh medan listrik. Dalam bahan isolator, elektron bebas terikat kuat pada masing-masing atom sehingga bahan isolator tidak dapat menghantarkan arus. Jika dalam waktu  $\Delta t$  telah lewat sejumlah  $\Delta q$  muatan maka arus listrik  $I$  yang mengalir dapat dinyatakan:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (2.3)$$

dengan  $\Delta q$  adalah banyaknya muatan yang mengalir untuk selang waktu  $\Delta t$  yang sangat kecil. Untuk arus searah, jumlah muatan yang mengalir melalui penampang kawat atau konduktor adalah konstan sehingga dapat dituliskan:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.4)$$

dengan:

$q$  = banyaknya muatan listrik (C);

$I$  = kuat arus (A);

$t$  = waktu (s).

Dengan demikian, arus listrik dalam satuan SI adalah coulomb per sekon (C/s) yang lebih dikenal dengan ampere (A), diambil dari nama seorang fisikawan perancis bernama Andre Marie Ampere. Besaran kuat arus  $I$

termasuk besaran pokok sedangkan muatan  $q$  dan waktu  $t$  adalah besaran turunan. Banyaknya energi listrik yang diperlukan untuk mengalirkan setiap muatan listrik dari ujung-ujung penghantar disebut beda potensial listrik atau tegangan listrik. Hubungan antara energi listrik, muatan listrik dan beda potensial listrik secara matematik dirumuskan:

$$V = \frac{W}{q} \quad (2.5)$$

dengan:

$V$  = beda potensial listrik (V);

$W$  = energi listrik (J);

$q$  = muatan listrik (C).

Rapat arus didefinisikan sebagai besarnya kuat arus per satuan luas penampang atau permukaan. Rapat arus ( $I$ ) mempunyai satuan ampere/m<sup>2</sup>. Arus  $I$  merupakan karakteristik dari suatu penghantar, arus adalah sebuah kuantitas makroskopik, seperti massa sebuah benda, volume sebuah benda dan panjang sebuah benda. Sebuah kuantitas makroskopik yang dihubungkan dengan itu adalah rapat arus. Rapat arus tersebut adalah sebuah vektor dan merupakan ciri sebuah titik di dalam penghantar dan bukan merupakan ciri penghantar secara keseluruhan. Jika arus tersebut didistribusikan secara uniform pada sebuah penghantar yang luas penampangnya  $A$ , maka besarnya rapat arus untuk semua titik pada penampang tersebut adalah:

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.6)$$

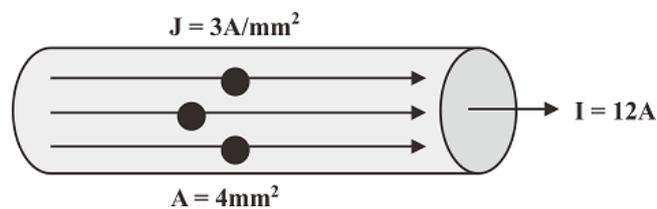
dengan:

$J$  = rapat arus (A/m<sup>2</sup>);

$I$  = kuat arus (A);

$A$  = luas penampang kawat ( $\text{m}^2$ ).

Kerapatan arus adalah besarnya arus yang mengalir tiap satuan luas penghantar. Arus listrik mengalir dalam kawat penghantar secara merata menurut luas penampangnya. Sebagai contoh arus listrik 12 A mengalir dalam kawat berpenampang  $4 \text{ mm}^2$ , maka kerapatan arusnya adalah  $3 \text{ A/mm}^2$ . Rapat arus pada penghantar terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Rapat arus pada penghantar

(Haliday, 1989).

#### **h. Hambatan dan Resistivitas**

Hambatan listrik adalah perbandingan antara tegangan listrik dari suatu komponen elektronik (misalnya resistor) dengan arus listrik yang melewatinya. Resistor adalah komponen elektronik dua saluran yang didesain untuk menahan arus listrik dengan memproduksi penurunan tegangan diantara kedua salurannya sesuai dengan arus yang mengalirinya, berdasarkan hukum ohm.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.7)$$

dengan:

V = tegangan listrik (V);

I = arus listrik (A);

R = hambatan listrik ( $\Omega$ ).

Resistivitas bahan dipengaruhi oleh struktur atom atau struktur molekul suatu bahan, dimana elektron-elektron pada suatu bahan ada yang lebih mudah berpindah dari satu molekul ke molekul yang lain dan ada elektron-elektron pada bahan lain yang susah berpindah. Resistivitas adalah sifat suatu bahan, bahan yang berbeda resistivitanya juga berbeda sifat suatu bahannya sedangkan resistansi merupakan sifat dari suatu bahan.

Tabel 2.8. Sifat-sifat logam sebagai penghantar (Haliday, 1989).

No	Logam	Resistivitas (pada 20°) $10^{-8} \omega.m$	Temperatur koefisien resistivitas, $\alpha$ , per °C(x $10^{-5}$ )
1	Perak	1,6	380
2	Tembaga	1,7	390
3	Alumunium	2,8	390
4	Tungsten	5,6	450
5	Nikel	6,8	600
6	Besi	10	500
7	Baja	18	300
8	Mangan	44	1,0
9	Karbon*	3500	-50

Karbon bukan merupakan sebuah logam, tujuannya dimasukkan dalam tabel ini hanya sebagai perbandingan.

Tahanan listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan aliran arus listrik didalam bahan tersebut. Kebalikan dari tahanan listrik adalah konduktivitas, yaitu kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik didalam bahan tersebut. Tahanan listrik dipengaruhi oleh dimensi dan resistivitas bahan, dengan hubungan:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.8)$$

dengan:

R = hambatan ( $\Omega$ );

$\rho$  = resistivitas bahan ( $\Omega.m$ );

L = panjang bahan (m);

A = luas penampang ( $m^2$ ).

#### **i. Resistansi, Reaktansi dan Impedansi**

Resistansi, reaktansi dan impedansi merupakan istilah yang mengacu pada karakteristik dalam rangkaian yang bersifat melawan arus listrik. Resistansi merupakan tahanan yang diberikan oleh resistor. Reaktansi merupakan tahanan yang bersifat reaksi terhadap perubahan tegangan atau perubahan arus. Nilai tahanannya berubah mengikuti perbedaan fase dari tegangan dan arus, selain itu reaktansi tidak mendisipasi energi. Sedangkan impedansi mengacu pada keseluruhan dari sifat tahanan terhadap arus baik mencakup resistansi, reaktansi atau keduanya. Ketiga jenis tahanan ini memiliki satuan ohm (William and Kemmerly, 1972).

## 1. Resistansi

Resistansi adalah gesekan untuk melawan gerakan elektron. Resistansi terdapat pada semua konduktor bahkan pada superkonduktor sekalipun dan resistansi ada pada resistor. Ketika arus bolak-balik melewati suatu resistansi, akan ada tegangan yang muncul dimana tegangan ini memiliki fasa yang sama dengan arus yang melewati resistansi tersebut. Secara matematis resistansi disimbolkan dengan huruf “R” dan diukur dalam satuan ohm ( $\Omega$ ) (William and Kemmerly, 1972).

## 2. Reaktansi

Reaktansi adalah suatu inersia atau kelembaman yang melawan gerakan elektron. Reaktansi muncul di tempat yang terdapat medan magnet ataupun medan listrik yang ditimbulkan oleh tegangan atau arus listrik, reaktansi terdapat pada komponen induktor dan kapasitor. Ketika arus bolak-balik melewati suatu reaktansi murni, akan dihasilkan tegangan yang memiliki beda fasa sebesar  $90^\circ$  dengan arusnya. Bila reaktansinya kapasitif, arus mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ . Bila reaktansinya induktif, tegangan mendahului arus sebesar  $90^\circ$ . Secara matematis reaktansi disimbolkan dengan huruf “X” dan diukur dalam satuan ohm ( $\Omega$ ) (William and Kemmerly, 1972).

Induktansi adalah kecenderungan dari perubahan arus yang mengalir melalui kawat yang akan melawan arus didekat konduktor. Hal ini terjadi karena arus listrik yang berubah menghasilkan medan magnet yang berubah, yang menyebabkan elektron mengalir dalam materi. Ketika

kawat dililitkan ke koil, membentuk sebuah induktor dan akan menghasilkan aliran elektron yang berlawanan, atau gaya gerak listrik (GGL). Tegangan dari GGL yang diinduksi meningkat seiring dengan laju perubahan tegangan suplai, sehingga meningkatkan frekuensi AC serta meningkatkan reaktansi induktif. Seperti kapasitor, induktor biasanya banyak digunakan dalam berbagai komponen (Horowitz and Winfield, 1989).

### 3. Impedansi

Impedansi adalah bentuk komprehensif atau kompleks yang menunjukkan semua bentuk perlawanan terhadap gerakan elektron yang terdiri dari resistansi dan reaktansi. Impedansi terdapat disemua rangkaian dan semua komponen. Ketika arus bolak-balik melewati suatu impedansi, dihasilkan suatu tegangan dimana tegangannya memiliki beda fasa sebesar  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$  dengan arusnya. Secara matematis impedansi disimbolkan dengan huruf “Z” dan diukur dalam satuan ohm ( $\Omega$ ) (William and Kemmerly, 1972). Sudut fasa impedansi dari suatu komponen merupakan beda fasa dari tegangan dan arus pada komponen tersebut. Untuk resistor yang sempurna, tegangan dan arus selalu berada dalam fasa yang sama. Sudut fasa impedansinya sama dengan nol sehingga beda fasa antara tegangan dengan arus pada resistor sama dengan nol derajat. Untuk induktor yang ideal, tegangan induktor mendahului arus induktor sebesar  $90^\circ$ , sehingga sudut fasa impedansinya adalah  $+90^\circ$ . Untuk kapasitor yang ideal, tegangan tertinggal dari arus sebesar  $90^\circ$ , sehingga sudut fasa impedansi pada kapasitor adalah  $-90^\circ$ .

### j. Konduktivitas

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan akan bergerak dan berpindah menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio dari rapat arus terhadap kuat medan listrik:

$$J = \sigma E \quad (2.9)$$

dengan:

$J$  = kerapatan arus listrik ( $A/m^2$ );

$\sigma$  = konduktivitas bahan ( $S/m$ );

$E$  = kuat medan listrik ( $N/C$ ).

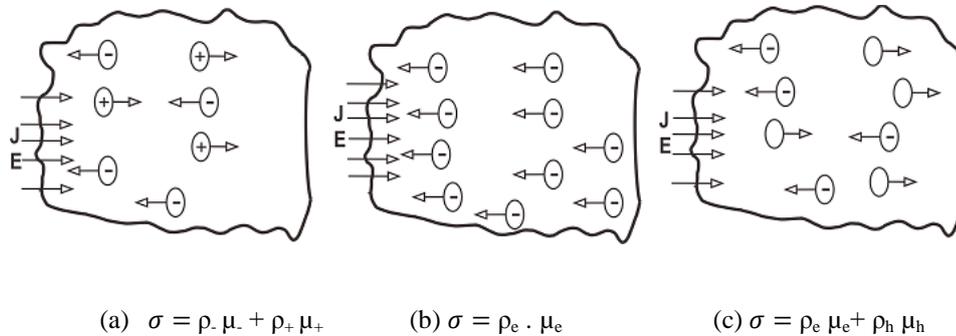
Konduktivitas adalah kebalikan dari resistivitas, yang dihubungkan oleh persamaan:

$$\sigma = 1/\rho \quad (2.10)$$

(Halliday, 1989).

Dalam cairan atau gas, umumnya terdapat baik ion positif atau ion negatif yang bermuatan tunggal atau kembar dengan massa yang sama atau berbeda. Konduktivitas akan terpengaruh oleh semua faktor-faktor tersebut. Tetapi kalau kita anggap semua ion adalah sama, demikian pula ion positif, maka konduktivitasnya hanya terdiri dari dua suku, seperti yang ditunjukkan gambar 2.3(a). Pada konduktor logam, hanya elektron valensi saja yang bebas bergerak. Pada gambar 2.3(b) elektron-elektron itu digambarkan bergerak ke

kiri. Konduktivitas disini hanya mengandung satu suku, yakni hasil kali rapat muatan elektron-elektron konduksi  $\rho_e$  dengan mobilitas  $\mu_e$ .



Gambar 2.3. Konduktivitas cairan atau gas (a), logam (b) dan semikonduktor (c)

Dalam semikonduktor seperti germanium dan silikon, konduktivitasnya lebih kompleks. Dalam struktur kristal, setiap atom mempunyai ikatan kovalen dengan empat atom yang berdekatan. Seperti yang terlihat pada gambar 2.3 (c), konduktivitas  $\sigma$  disini terdiri dari dua suku, satu untuk elektron, lainnya untuk lubang. Dalam konduktivitas  $\sigma$  salah satu dari kerapatan  $\rho_e$  atau  $\rho_h$  akan jauh melampaui yang lainnya (Sinaga, 2010).

## 1. Konduktivitas Elektrik

Pengukuran konduktivitas elektrik adalah penentuan konduktivitas spesifik dari larutan. Konduktivitas spesifik adalah kebalikan dari tahanan untuk  $1 \text{ cm}^3$  larutan. Pemakaian cara untuk pengukuran ini antara lain untuk mendeteksi pengotoran air karena elektrolit atau zat kimia, seperti pada limbah industri, air untuk mengisi ketel uap atau boiler, pengolahan air bersih dan lain-lain. Karena ada relevansi antara konsentrasi dan konduktivitas suatu larutan, maka untuk menentukan

konsentrasi suatu larutan dapat dilakukan dengan cara mengukur konduktivitas larutan tersebut. Dalam hal itu hubungan antara konsentrasi dan konduktivitas larutan telah ditentukan. Larutan asam, basa dan garam dikenal sebagai elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik atau disebut konduktor listrik. Konduktivitas listrik ditentukan oleh sifat elektrolit suatu larutan, konsentrasi dan suhu larutan. Pengukuran konduktivitas suatu larutan dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi larutan tersebut yang dinyatakan dengan persen dari berat, part per million (ppm) atau satuan lainnya. Jika harga konduktivitas dari bermacam konsentrasi larutan elektrolit diketahui, maka untuk menentukan konsentrasi larutan tersebut dapat dilakukan dengan mengalirkan arus melalui larutan dan mengukur resistivitas atau konduktivitasnya.

Elemen pertama pada pengukuran konduktivitas listrik berbentuk konduktivitas sel yang terdiri atas sepasang elektroda yang luas permukaannya ditetapkan dengan teliti. Konduktivitas yang diukur dengan sel konduktivitas dinyatakan dengan rumus:

$$K = c \frac{l}{A} \quad (2.11)$$

dengan:

$K$  = konduktivitas (mho/cm);

$c$  = konduktansi (mho);

$A$  = luas elektroda (cm<sup>2</sup>);

$l$  = jarak antara elektroda (cm).

Dari persamaan di atas suatu konduktansi dengan nilai 1 mho dapat dinyatakan sebagai kemampuan hantar dari zat cair yang berukuran luas penampang 1 cm<sup>2</sup> dan jarak 1 cm atau volume zat cair sebesar 1 cm<sup>3</sup> untuk arus 1 ampere dengan tegangan 1 volt. Jika arus yang dapat dihantarkan lebih besar lagi, maka konduktansinya lebih besar pula. Jika pada suatu resistor dialirkan arus yang membesar, maka tahanan atau resistansinya akan mengecil. Hal ini berarti bahwa konduktivitas adalah kebalikan dari resistansi,  $\text{mho} = 1/\text{ohm}$  (Sinaga, 2010).

Tabel 2.9. Konduktivitas berbagai material (Sinaga, 2010)

No	Material	Tipe	$\sigma$ , S/m
1	Kuarsa	Isolator	$10^{-17}$
2	Belerang	Isolator	$10^{-15}$
3	Mika	Isolator	$10^{-15}$
4	Karet	Isolator	$10^{-15}$
5	Kaca	Isolator	$10^{-12}$
6	Air destilasi	Isolator	$10^{-4}$
7	Tanah pasir	Isolator lemah	$10^{-3}$
8	Tanah rawa	Isolator lemah	$10^{-2}$
9	Air segar	Isolator lemah	$10^{-2}$
10	Germanium	Semikonduktor	2
11	Air laut	Konduktor	5
12	Karbon	Konduktor	$3 \times 10^4$
13	Perak	Konduktor	$3 \times 10^6$
14	Tembaga	Konduktor	$5,7 \times 10^7$
15	Seng	Konduktor	$1,7 \times 10^7$
16	Timah	Konduktor	$9 \times 10^6$
17	Graphite	Konduktor	$10^5$
18	Chrome	Konduktor	$10^6$
19	Silicon	Konduktor	$2 \times 10^6$
20	Mercury	Konduktor	$10^6$
21	Besi tuang	Konduktor	$10^6$
22	Alumunium	Konduktor	$3,5 \times 10^7$
23	Fosfor	Konduktor	$1,0 \times 10^7$
24	Kuningan	Konduktor	$1,1 \times 10^7$
25	Tungsten	Konduktor	$1,8 \times 10^7$

Dalam satuan Sistem Internasional (SI), satuan mho diganti dengan Siemens. Untuk suatu konduktivitas, mho/cm sama dengan mikro siemens per centimeter ( $\mu\text{S/cm}$ ). Namun karena pada SI satuan panjang yang digunakan adalah dalam satuan meter maka satuan konduktivitas adalah mikro siemens per meter,  $\mu\text{S/cm} = 100 \text{ S/m}$ . Pada peralatan ukur konduktivitas di industri, luas permukaan elektroda dapat lebih ataupun kurang dari 1 cm dan jaraknya dapat lebih jauh ataupun lebih dekat dari 1 cm. Hubungan satuan antara elektroda-elektroda dengan sel konduktivitas standar disebut dengan konstanta sel (K). Hal itu dapat diturunkan dengan persamaan:

$$K = c \frac{l}{A} \quad \text{atau} \quad c = \frac{K}{l/A} \quad (2.12)$$

Jarak  $l$  dan  $A$  besarnya tetap, sehingga  $l/A$  merupakan tetapan yang disebut sebagai konstanta sel. Jika  $l/A=F$ , maka  $c=K/F$ .  $F$  adalah konstanta sel dengan satuan  $1/\text{cm}^{-1}$  atau cm konduktivitas. Konstanta sel berkisar antara 0,01 sampai 100 untuk sel konduktivitas (Sinaga. 2010).

## 2. Perbedaan Larutan Berdasarkan Konduktivitas

Berdasarkan daya hantar listriknya, larutan dibedakan menjadi dua golongan yaitu larutan elektrolit dan larutan non elektrolit. Perbedaan antara kedua larutan ini terlihat pada Tabel 2.10.

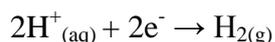
Tabel 2.10. Perbandingan larutan elektrolit dan larutan non elektrolit

No	Larutan Elektrolit	Larutan Non Elektrolit
1	Dapat menghantarkan listrik	Tidak dapat menghantarkan listrik
2	Terjadi proses ionisasi	Tidak terjadi proses ionisasi
3	Lampu dapat menyala terang atau redup dan ada gelembung gas	Lampu tidak menyala dan tidak ada gelembung gas
	Contoh:	Contoh:
	Garam dapur (NaCl)	Larutan gula (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )
	Cuka dapur (CH <sub>3</sub> COOH)	Larutan urea (CONH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
	Air aki (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Larutan alkohol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)
	Garam magnesium (MgCl <sub>2</sub> )	Larutan glukosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )

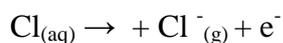
Misalnya, larutan HCl di dalam air mengurai menjadi kation (H<sup>+</sup>) dan anion (Cl<sup>-</sup>). Reaksi ionisasi yang terjadi sebagai berikut:



Ion H<sup>+</sup> akan bergerak menuju katoda, mengambil elektron dan berubah menjadi gas hidrogen,

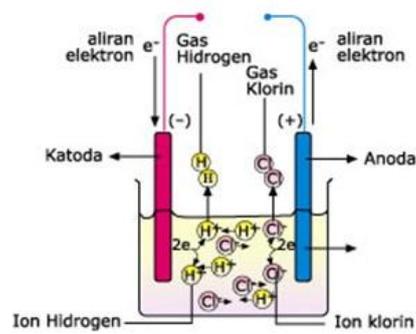


sementara itu, ion Cl<sup>-</sup> akan bergerak menuju anoda, melepas elektron dan berubah menjadi gas klorin



Jadi hantaran listrik melalui larutan HCl terjadi karena ion-ion H<sup>+</sup> menangkap elektron pada katoda dengan membebaskan gas hidrogen. Sedangkan ion-ion Cl<sup>-</sup> melepaskan elektron pada anoda dengan menghasilkan gas klorin. Dengan demikian, dapat dijelaskan bahwa arus

listrik dalam larutan merupakan aliran muatan (aliran ion-ion) (Sinaga, 2010).



Gambar 2.4. Hantaran listrik melalui larutan HCl