

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biolistrik

Biolistrik yaitu sesuatu yang berhubungan dengan kelistrikan yang dihasilkan oleh sel maupun jaringan. Kelistrikan ini yaitu segala yang berkaitan dengan muatan-muatan, ion-ion, medan listrik yang terdapat dalam mahluk hidup serta tegangan yang dibangkitkannya. Tegangan listrik atau biasa disebut dengan potensial listrik atau biasa disebut dengan tegangan-bio atau biopotensial. Tegangan yang terjadi pada sel disebut dengan tegangan sel (*cell potentials*) yang terus menerus terjaga keberadaannya dan untuk menjaganya dibutuhkan energi yang besar, setidaknya sekitar 25% digunakan untuk menjaga adanya tegangan pada sel. Tegangan sel dapat bertahan konstan dalam waktu yang lama, namun selain itu juga dapat diubah melalui suatu perlakuan internal maupun eksternal dalam bentuk rangsangan (*fires*). Nilai tegangan yang diubah akan menghasilkan suatu pulsa tegangan (*voltage pulses*). Efek yang ditimbulkan dari perubahan nilai tegangan ini bergantung pada jenis selnya. Misalnya sel-sel saraf, karena ada perubahan nilai tegangan selnya dapat menghasilkan pulsa tegangan. Pulsa tegangan tersebut akan dirambatkan ke berbagai sel lainnya untuk memberikan informasi tentang perintah yang diberikan. Aktivitas dari sekumpulan sel ini ditentukan oleh keadaan tegangan yang dihasilkannya dan dapat diukur melalui suatu alat pengukur pulsa-pulsa tegangan (Saragih, 2004).

Jaringan mempunyai dualisme sifat karakteristik kelistrikan yaitu dapat bersifat sebagai konduktor dan dielektrik. Umumnya rentang frekuensi <100 kHz jaringan akan bersifat konduktor elektrolit. Pengukuran yang beresolusi tinggi dapat memunculkan sifat kapasitif atau yang biasa disebut dengan sifat dielektrik yang dapat muncul pada frekuensi rendah (10Hz). Sifat dielektrik pada jaringan akan lebih mendominasi pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu 50 kHz. Hubungan yang terdapat pada jaringan tidak dapat dipisahkan yaitu antara kelistrikan dan kimia. Bioimpedansi dan biolistrik dapat terjadi pada material biologis yang lengkap dan sudah mati. Jaringan merupakan material yang heterogen (Hidayat, 2014).

2.2 Karakteristik Biolistrik

2.2.1 Impedansi dan Bioimpedansi

Impedansi adalah rasio antara arus dan tegangan yang diaplikasikan baik pada arus AC maupun DC. Dari pernyataan ini bioimpedansi dapat dideskripsikan sebagai sifat listrik pasif yang dimiliki oleh bahan biologis untuk melawan arus listrik. Jika dimodelkan dalam rangkaian sederhana, metode ini hanya memerlukan dua atau lebih elektroda (satu CC, pembawa arus, dan PU, penerima sinyal) dan masukan arus untuk dapat bekerja (Khalil dkk, 2014).

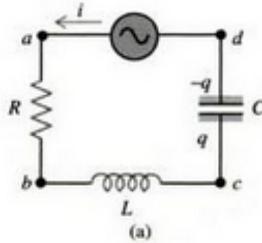
Arus AC atau arus bolak balik memiliki keunggulan utama dalam hal energy listrik yang dapat disalurkan dalam jarak jauh pada tegangan tinggi dan arus rendah untuk menghindari kerugian energy dalam bentuk kalor Joule. Arus tegangan yang tinggi ini kemudian dapat diubah ke tegangan yang lebih rendah atau lebih aman dan bersesuaian dengan ini ke arus yang lebih tinggi untuk penggunaan sehari – hari (Tipler, 1996).

Suatu sumber AC untuk sebarang alat yang menghantarkan tegangan v atau arus i yang berubah secara sinusoidal. Sebuah tegangan sinusoidal dapat dijelaskan oleh persamaan 2.1.

$$v = V \cos \omega t \quad (2.1)$$

Dalam persamaan 2.1, v adalah selisih potensial sesaat; V adalah selisih potensial maksimum, yang dinamakan amplitude tegangan; dan ω adalah frekuensi sudut, yang sama dengan 2π kali frekuensi f . Pada suatu rangkaian L-R-C arus bolak balik seperti Gambar 2.1, diketahui bahwa selisih potensial diantara terminal – terminal sebuah resistor sefasa dengan arus di dalam resistor itu dan bahwa nilai maksimum V_R diberikan oleh persamaan 2.2.

$$V_R = IR \quad (2.2)$$



Gambar 2.1 Rangkaian L-R-C dengan sumber arus AC

Tegangan yang melalui sebuah induktor mendahului arus sebanyak 90° , amplitudo tegangan diberikan oleh persamaan 2.3.

$$V_L = IX_L \quad (2.3)$$

Sementara tegangan yang melalui kapasitor dari rangkaian tersebut dinyatakan oleh persamaan 2.4.

$$V_C = IX_C \quad (2.4)$$

Sehingga tegangan total yang terukur dinyatakan dalam persamaan 2.5 dan 2.6 yaitu,

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L - V_C^2} = \sqrt{IR^2 + IX_L - IX_C^2} \quad (2.5)$$

$$V = I \sqrt{R^2 + X_L - X_C^2} \quad (2.6)$$

Impedansi (Z) dari sebuah rangkaian AC sebagai rasio dari amplitudo dan tegangan yang melalui rangkaian tersebut sehingga,

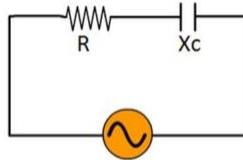
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L - X_C^2} \quad (2.7)$$

(Young, 2003)

Persamaan tersebut dapat disesuaikan kembali untuk memahami konsep impedansi dari suatu bahan biologis yang dimodelkan dengan rangkaian R-C, yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Sehingga impedansi Z (ohm, Ω) ditulis kembali menjadi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (2.8)$$

Nilai tersebut menunjukkan hubungan antara arus sinusoidal AC dan tegangan sinusoidal AC. Impedansi menjelaskan secara lebih terinci konsep dari resistansi suatu rangkaian AC, termasuk perbesaran dan fase di dalamnya. Pada rangkaian DC, resistansi dan impedansi adalah sama, namun terdapat beberapa kekurangan beda fase antara tegangan dan arus di dalamnya (Khalil dkk, 2014).



Gambar 2.2 Rangkaian R-C dengan sumber arus AC

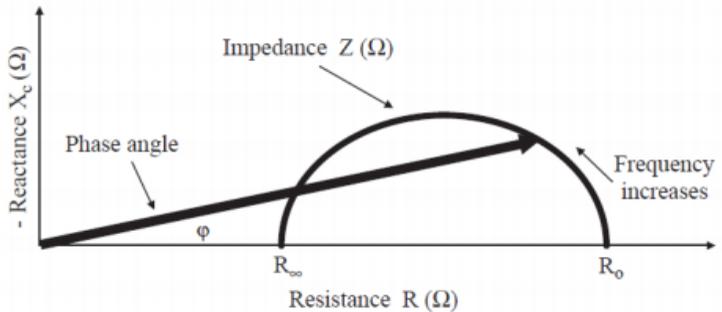
Bioimpedansi merupakan nilai kompleks karena material biologis tidak hanya melawan aliran arus tetapi juga menambah perubahan fase dari tegangan berdasarkan arus yang bergantung waktu. Impedansi pada suatu jaringan terdiri dari dua yaitu Resistansi (R) dan reaktan X atau Xc . Resistansi merupakan bagian asli (real) dari impedansi, resistansi menjelaskan nilai jaringan yang berlawanan dengan arus dan tidak berubah oleh frekuensi. Reaktan adalah bagian khayalan (*imaginary*) dari impedansi dan sifat kapasitif dari jaringan (nilai dipengaruhi oleh membran sel – kapasitor) dan nilai ini dapat berubah oleh perubahan frekuensi. Sifat kapasitif dari jaringan ini dikarenakan sel yang memiliki kemampuan yang buruk dalam mengkonduksi membran (Hlúbik dkk, 2015). Kedua nilai tersebut terikat dalam sudut fase ϕ sebagai berikut:

$$\phi = \arctg \frac{X}{R} \tag{2.9}$$

Persamaan ini menjelaskan bahwa sudut fase dapat menunjukkan distribusi relatif dari cairan. Nilainya dapat bervariasi dalam teori dari 0 (tidak ada sel membran) hingga 90° (sel membran). Bioimpedansi didefinisikan sebagai rasio antara tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh frekuensi. Perbesaran dari nilai bioimpedansi menunjukkan rasio dari amplitudo tegangan hingga amplitudo arus. Dimana fasenya menunjukkan perubahan fase akibat arus yang tertinggal dari tegangan. Menggunakan hukum Ohm impedansi dijelaskan sebagai berikut:

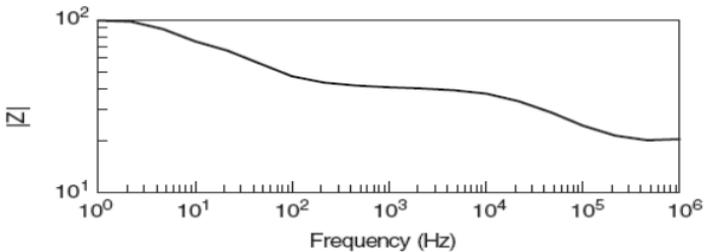
$$V = IZ = I Z e^{j\arg(z)} \quad (2.10)$$

Perbesaran impedansi Z menyatakan resistansi (penurunan amplitude tegangan sepanjang impedansi) Z untuk arus masukan I . Faktor fase menunjukkan keterlambatan arus dibanding tegangan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Interpretasi geometris dari Impedansi (Z), Resistansi (R), Reaktansi (X_c) dan sudut fase terhadap perubahan Z yang dipengaruhi frekuensi

Pada jaringan biologis terdapat banyak membran sel yang memiliki efek terhadap bioimpedansi yang bergantung frekuensi. Pada frekuensi yang tinggi impedansi yang terukur lebih rendah dan demikianpun sebaliknya. Hubungan bioimpedansi dan frekuensi ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.

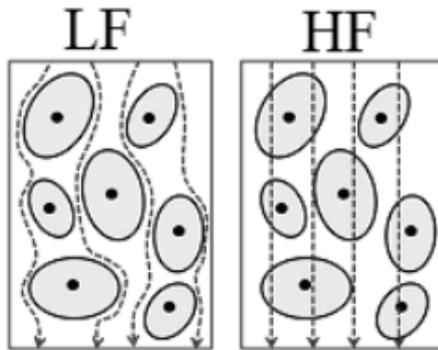


Gambar 2.4 Perubahan Impedansi yang dipengaruhi oleh frekuensi

Hal ini dikarenakan arus listrik tidak dapat melewati material pada frekuensi rendah karena sifat kapasitifnya, dan akan dialihkan

menuju jalur resistor, sementara pada frekuensi tinggi arus akan mengalir melewati bahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5(Khaled dkk, 2015).

Menurut Nuwaiir (2009) semakin besar frekuensi maka semakin kecil nilai impedansi dan semakin banyak pula gelombang yang menembus suatu bahan. Pada kondisi ini molekul pada bahan akan terpolarisasi dengan cepat, akibatnya kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan semakin kecil sehingga kemampuan bahan untuk melewatkan arus menjadi besar.



Gambar 2.5 Perbandingan aliran arus listrik pada frekuensi rendah dan tinggi pada sel(Khaled dkk, 2015)

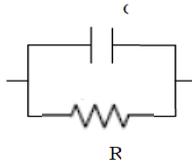
2.2.2 Kapasitansi dan Resistansi

Kapasitansi adalah besaran yang menyatakan kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan listrik (Tipler,1996). Kapasitansi bergantung pada ukuran dan bentuk konduktor dan akan bertambah bila ada sebuah material pengisolasi atau dielektrik (Young dan Freedman, 2003).

Kapasitansi diukur berdasarkan besar muatan yang dapat disimpan pada suatu kenaikan tegangan (Nuwaiir,2009). Dapat dituliskan:

$$C = \frac{Q}{V} \tag{2.11}$$

Dimana C adalah nilai kapasitansi dalam F (farad), Q adalah muatan elektron dalam C (coulomb) dan V adalah besar tegangan dalam V (volt).



Gambar 2.6 Model rangkaian membran

Resistansi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 adalah kemampuan suatu benda untuk menahan/menghambat aliran arus listrik. Jika pada dua macam bahan dengan bentuk geometri dan ukuran yang sama diberi tegangan listrik dari sumber daya yang sama, kenyataannya memberikan nilai arus yang berbeda. Hal ini adalah disebabkan berbedanya resistansi kedua bahan tersebut, Jika resistansinya rendah, arus yang mengalir besar dan sebaliknya arus mengalir kecil bila resistansinya besar. Perbedaan potensial yang sama dan diberikan diantara ujung ujung kawat tembaga atau perak yang memiliki geometri yang sama maka dihasilkan arus yang berbeda karakteristik (sifat) penghantar ini disebabkan oleh hambatan (Resistansi). Hambatan R dari suatu material ohmik merupakan perbandingan perbedaan potensial V antara titik titik tersebut dengan arus listrik I dan dikenal sebagai hukum Ohm, dapat didefinisikan sebagai Persamaan 2.6 berikut (Halliday, 2007).

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.12)$$

Untuk material – material yang mematuhi hukum Ohm resistansi tidak bergantung pada arus yaitu perbandingan V/I tidak bergantung pada I. Material seperti ini, seperti logam, yang dikenal sebagai material ohmik. Untuk material nonohmik, perbandingan V/I bergantung pada arus sehingga arus tidak sebanding dengan beda potensial. Untuk nonohmik, resistansi suatu material bergantung pada panjang, luas penampang lintang, dan resistivitas ρ ditunjukkan oleh persamaan 2.13. Satuan SI untuk resistansi adalah volt per ampere yang disebut Ohm (Ω).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.13)$$

(Tipler, 1996)

2.2.3 Dielektrik

Dielektrik dapat didefinisikan secara sederhana sebagai volume bahan yang diletakkan diantara plat kapasitor untuk diukur dengan cara diaplikasikan medan magnet. Secara etimologi, dielektrik merupakan bahan yang dipenetrasi oleh medan listrik (berdasarkan pemahaman Yunani). Konduktor tidak membiarkan penetrasi medan listrik statis, yang berarti suatu bahan dielektrik sempurna merupakan bahan yang tidak memiliki muatan bebas. Define spesifik dari dielektrik yaitu, dielektrik merupakan bahan dimana arus kapasitifnya (perpindahan) lebih besar daripada arus pada fase, $\omega C > G$ atau $f > \sigma/2\pi\epsilon$. Suatu jaringan hidup merupakan biomaterial dan oleh karena itu merupakan konduktor elektrik, dengan ion yang dapat bergerak bebas dan memiliki konduktivitas DC. Suatu konduktor elektrik dikarakteristikan dengan imitasi, dielektrik (permitivitas) atau kapasitansinya (Grimnes dan Martinsen, 2013).

Ruang antara konduktor pada suatu kapasitor biasanya diisi dengan bahan isolator yang dinamakan dielektrik, misalnya kaca, kertas, mika, dan lain-lain. Eksperimen yang dilakukan Faraday menunjukkan bahwa adanya dielektrik menyebabkan kapasitansi bertambah. Penambahan kapasitansi ini disebabkan karena adanya dielektrik mengakibatkan medan listrik di antara kapasitor berkurang. Sifat dielektrik adalah sifat yang dapat menggambarkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi dalam bahan dan menghamburkan energi dalam bentuk panas, ketika bahan tersebut diekspos pada medan arus listrik. Sifat ini dihasilkan dari arus pengisian dan arus hilang yang berhubungan dengan kapasitansi listrik dan tahanan material (Silalahi, 2003).

Bahan dielektrik suatu kapasitor berfungsi untuk menghambat aliran arus antar plat. Bahan dielektrik dinilai berdasarkan kemampuan bahan untuk mempengaruhi gaya elektrostatis pada suhu tertentu yang disebut konstanta dielektrik. Kemampuan dari bahan dielektrik untuk mendukung gaya elektrostatis berbanding lurus dengan konstanta dielektrik (Putri, 2007). Karakteristik pada

bahan dielektrik baik yang berwujud cairan, padatan, maupun gas, berbentuk kristal atau bukan, merupakan kemampuan untuk menyimpan energi listrik. Penyimpanan ini terjadi dengan relatif yang terjadi pada kedudukan muatan positif internal dan muatan negatif internal terhadap gaya atomik dan molekular yang normal (Hayt, 1986).

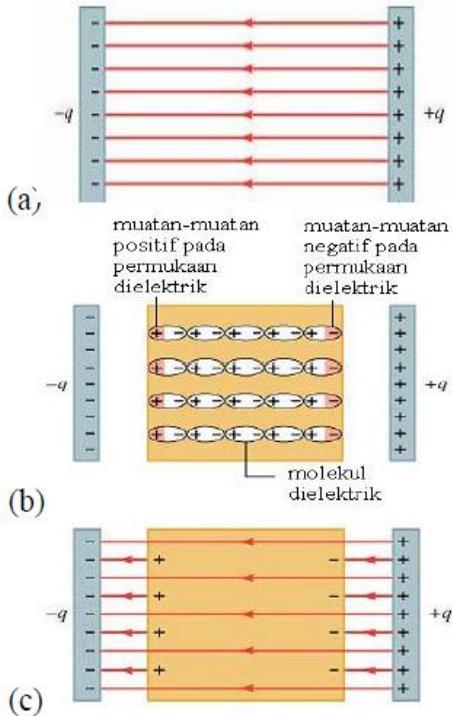
Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relatif kompleks yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolut dengan permitivitas ruang hampa.

$$\epsilon_{abs} = \epsilon' \epsilon_0 \quad (2.14)$$

Dimana ϵ_{abs} adalah permitivitas absolut bahan, ϵ_0 adalah permitivitas ruang hampa ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m) dan ϵ' adalah permitivitas relatif bahan atau konstanta dielektrik k. sehingga dari persamaan 2.3. dihasilkan

$$k = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \quad (2.15)$$

(Nuwair, 2009).

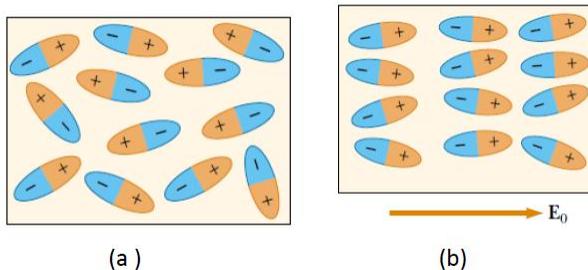


Gambar2.7Efek dielektrik

Gambar 2.7 menunjukkan kapasitor mempunyai muatan $+q$ pada satu plat dan $-q$ di plat yang lain (gambar a). Kapasitor diisolasi sehingga muatan tidak bisa mengalir ke plat-plat atau dari plat-plat tersebut. Dielektrik di sisipkan diantara kedua plat (gambarb). Molekul-molekul dielektrik dapat bersifat polar, dimana walaupun molekul-molekul tersebut netral, elektron-elektronnya mungkin tidak terdistribusi rata, sehingga satu bagian dari molekul akan positif dan bagian lainnya negatif. Karena adanya medan listrik diantara plat-plat tersebut, molekul-molekul akan cenderung menjadi terorientasi sebagaimana digambarkan. Bahkan jika molekul-molekul itu bukan polar, medan listrik diantara plat akan menginduksi pemisahan muatan molekul. Beberapa garis medan listrik sebenarnya tidak menembus dielektrik, tetapi berakhir (dan memulai kembali) pada

muatan-muatan yang diinduksi pada permukaan dielektrik (Giancoli,2001).

Dielektrik dapat memperlemah medan listrik antara keping – keping suatu kapasitor karena adanya medan listrik. Molekul molekul dalam dielektrik akan menghasilkan medan listrik tambahan yang memiliki arah berlawanan dengan medan listrik luar. Molekul terdiri dari dua buah sifat, yaitu molekul yang memiliki sifat polar dan nonpolar. Molekul-molekul dalam dielektrik yang bersifat polar maka, dielektrik tersebut memiliki momen dipol yang permanen. Momen dipol pada molekul polar dan nonpolar normalnya tersebar secara acak. Pada saat keping kapasitor diberi medan listrik, momen dipol menerima suatu gaya torka yang memaksa momen dipol tersebut menyetarakan diri dengan arah medan listrik seperti pada Gambar 2.8. Kemampuan momen dipol untuk menyetarakan diri dengan medan listrik bergantung pada kuat medan dan temperatur. Pada temperatur tinggi, gerak termal, molekul-molekul yang bersifat acak cenderung menghambat proses penyetaraan. Jika molekul dielektrik bersifat nonpolar, maka dalam pengaruh medan listrik luar, molekul-molekul dielektrik akan menginduksi momen-momen dipol yang searah dengan arah medan. Dielektrik dengan momen-momen dipol yang searah dengan medan listrik dikatakan terpolarisasi oleh medan, baik polarisasi yang disebabkan oleh penyetaraan momen-momen dipol permanen dari molekul polar, atau akibat terjadinya momen dipol induksi dari molekul non polar. Keduanya menghasilkan medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan awal, sehingga dapat melemahkan medan awal (Tipler, 2001).



Gambar 2.8 (a) Dipol-dipol listrik dielektrik polar. (b) Penyearahan dipol dipol karena adanya medan listrik

2.3 Elektrolit dan Larutan Elektrolit

Elektrolit adalah senyawa di dalam larutanyang berdisosiasi menjadi partikel yang bermuatan (ion) positif atau negatif. Ion bermuatan positif disebut kation dan ion bermuatan negatif disebut anion. Keseimbangan keduanya disebut sebagai elektronetralitas. Elektrolit kuat merupakan suatu zat yang apabila dilarutkan akan terionisasi sempurna. Sehingga konsentrasi ion pada larutan sesuai dengan jumlah konsentrasi dari elektrolit yang ditambahkan. Elektrolit kuat diantaranya adalah ionik padat dan asam kuat, seperti HCl. Larutan dari elektrolit kuat dapat mengkonduksi listrik dengan baik karena ion positif dan negatif dapat bermigrasi masal secara independen dibawah pengaruh medan listrik. Elektrolit lemah merupakan zat yang apabila dilarutkan tidak dapat terionisasi sempurna. Seperti, asam asetat, asam sitrit, dll. Asam asetat terionisasi sebagian menjadi ion asetat dan ion hydrogen, sehingga larutan asam asetat mengandung kedua molekul dan ion tersebut. Larutan elektrolit lemah dapat mengkonduksi listrik, namun tidak sebaik elektrolit kuat karena memiliki ion yang lebih sedikit untuk membawa muatan dari satu elektroda ke elektroda lainnya (Ferawati dan Yaswir, 2012).

Larutan adalah campuran homogen dalam molekul, atom atau ion dari dua zat atau lebih. Suatu larutan disebut campuran karena susunannya dapat berubah-ubah. Sifat larutan terdiri atas homogen dan heterogen. Larutan homogen merupakan larutan yang susunannya seragam sehingga tidak dapat diamati adanya bagian-bagian yang berlainan. Sedangkan dalam campuran heterogen, permukaan-permukaan tertentu dapat dideteksi antara fase-fase yang

terpisah. Komponen yang paling banyak dalam larutan disebut pelarut (*solvent*) dan komponen yang kuantitasnya lebih kecil disebut zat terlarut (*solute*) (Nuwairi, 2009).

Kelarutan ditentukan oleh konsentrasi zat terlarut dalam larutan jenuhnya. Konsentrasi merupakan banyaknya zat terlarut dalam pelarut ataupun larutan. Konsentrasi dapat dinyatakan dalam persen, molar, molal, persen mol, fraksi mol dan ppm. Larutan jenuh adalah larutan yang mengandung zat terlarut dalam jumlah yang diperlukan untuk adanya kesetimbangan antara zat terlarut yang larut dan yang tidak larut. Larutan jenuh tidak dapat menampung zat terlarut lebih banyak., tetapi larutan ini belum tentu suatu larutan pekat. Konsentrasi molar (M) adalah banyaknya partikel zat terlarut dalam larutan yaitu konsentrasi molar. Secara matematis dapat dinyatakan dengan:

$$M = \frac{\text{Banyaknya mol zat terlarut}}{\text{Banyaknya liter larutan}} = \frac{g^r}{L} \quad (2.16)$$

Berdasarkan daya hantar listriknya, larutan dapat dibagi menjadi larutan elektrolit dan non elektrolit. Sedangkan elektrolit dapat dikelompokkan menjadi larutan elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit merupakan zat yang jika dilarutkan ke dalam air akan terurai menjadi ion-ion (terionisasi), sehingga dapat menghantarkan listrik (Nuwairi, 2009).

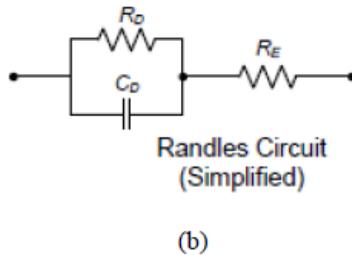
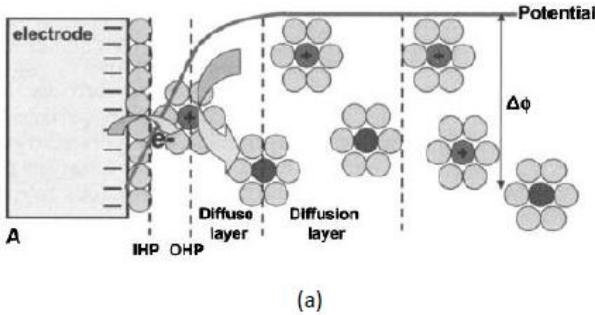
2.4 Metode Dielektrik

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode dielektrik menggunakan elektroda jarum dan piringan serta model rangkaian Randles. Metode dielektrik merupakan pengukuran yang dilakukan secara langsung pada objek dimana dalam penelitian ini objek yang digunakan adalah larutan elektrolit yaitu air kelapa muda. Untuk mengetahui cara kerja metode dielektrik tidak terlepas dari elektroda dan model rangkaian sel yang digunakan.

2.4.1 Model Rangkaian Sel

Dalam percobaan elektrokimia dasar, ada dua elektroda yang berada diantara suatu sampel dengan tegangan luar V. Sampel dibawah pengaruh medan listrik dan arus melewati suatu rangkaian (Lvovich, 2015). Rangkaian listrik dimodelkan sebagai rangkaian randles sederhana dimana plat sejajar dalam metode dielektrik

mewakili nilai resistansi dan kapasitansi *double layer* yaitu pada nilai RD dan CD. Molekul molekul sampel yang menempel dengan plat akan membentuk *double layer*, sehingga dapat dianalogikan sebagai rangkaian paralel (Nilai RD dan CD) Nilai RE adalah resistansi dari bahan. Pengukuran dimodelkan seperti pada Gambar 2.9. Pada model randels larutan atau bahan dikombinasikan dengan resistansi (R) dan kapasitansi (C) secara seri ataupun paralel (Islahiyya, 2016).



Gambar 2.9(a) Reaksi elektrokimia antarmuka dengan difusi pada komponen lapisan ganda (Lvovich, 2015) (b) Rangkaian Listrik model Randles (Islahiyya, 2016)

Besarnya nilai impedansi total (Z_T) yang terukur pada rangkaian diatas adalah jumlah impedansi pararelnya (Z_D), impedansi *double layer* dengan impedansi bahan (Z_E) yang dinyatakan pada persamaan 2.17 hingga 2.21 berikut:

$$Z_T = Z_D + Z_E \tag{2.17}$$

Dimana

$$Z_D = RD // X_{CD}, X_{CD} = \frac{1}{j\omega CD} \omega = 2\pi f \tag{2.18}$$

$$\frac{1}{Z_D} = \frac{1}{R_D} + \frac{1}{X_{CD}} = \frac{1}{R_D} + j\omega C_D \quad (2.19)$$

$$Z_D = \frac{R_D}{1+j\omega R_D C_D} \quad (2.20)$$

$$Z_T = R_E + \frac{R_D}{1+j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)} \quad (2.21)$$

(Islahiyya, 2016)

2.4.2 Elektroda

Elektroda merupakan alat yang unik dan tidak dapat digunakan sendiri, dibutuhkan minimal dua elektroda untuk elektroda dapat berfungsi dengan semestinya. Pada rangkaian ini digunakan empat elektroda, dimana dua elektroda sebagai pembawa-arus (*current-carrying*) CC untuk membawa arus menuju bahan biologis dan dua elektroda pengangkut (*pick-up*) PU untuk merekam perbedaan biopotensial antara kedua bahan yang berinteraksi. Hal ini menunjukkan ketika bahan elektroda mengenai bahan biologis akan ada pendistribusian arus oleh dua elektroda CC dan kemudian menyebabkan perbedaan biopotensial yang terekam oleh dua elektroda PU dalam bentuk sinyal transmisi. Sistem empat elektroda ini digunakan untuk menghilangkan pengaruh apapun akibat impedansi polarisasi elektroda. Kekuatan mekanis dari logam yang digunakan sebagai elektroda sangat berpengaruh terhadap pengukuran seperti pada batang elektroda jarum. Biokompabilitas merupakan hal yang perlu diperhatikan jika logam berinteraksi dengan jaringan. Untuk itu jenis logam elektroda yang digunakan dipilih berdasarkan biokompabilitasnya, emas digunakan sebagai logam elektroda karena bersifat nonkorosif dan tidak sebiokompabilitas platinum, lapisan logam emas juga biasa digunakan pada elektroda berbentuk jarum dan piringan. Walaupun logam emas memiliki tingkat polarisasi yang tinggi, dengan memberikan resistansi yang besar dapat mengurangi polarisasi arus pada elektroda PU, mengurangi polarisasi dan mengurangi distorsi gelombang. Penggunaan dua macam elektroda yaitu jarum dan piringan dapat diandaikan seperti elektroda bola, apabila elektroda piringan diumpamakan bola yang diratakan maka elektroda jarum diumpamakan sebagai bola yang ditarik. Sama seperti elektroda berbentuk bola kedua elektroda piringan dan jarum mendistribusikan

arus secara radial seperti pada Gambar 2.10. Kemampuan distribusi radial ini sangat cocok untuk medium cairan seperti larutan.



Gambar 2.10 Distribusi arus oleh elektroda piringan dan jarum

(Grimnes dan Martinsen, 2013)

2.5 Air Kelapa Muda

Air kelapa, cairan jernih di dalam kelapa muda memiliki mafaat yang besar karena banyaknya nutrisi serta manfaat kesehatan yang dimilikinya. Air kelapa telah lama berhasil digunakan di berbagai belahan dunia untuk mengatasi rehidrasioral, perawatan terhadap diare anak-anak, gastroenteritis dan kolera. Minuman ini biasanya banyak dikonsumsi langsung di daerah tropis. Air kelapamuda memiliki kandungan elektrolit yang tinggi dan telah ditetapkan sebagai minuman isotonik karena kandungan elektrolitnya seperti sodium dan potassium yang dapat mengembalikan kehilangan elektrolit di dalam tubuh. Komponen air kelapa terdiri dari 94% air, gula seperti glukosa, fruktosa dan sukrosa sekitar 5%, protein sebanyak 0,02%, dan lipid sekitar 0,01%. Air kelapa kaya akan kandungan mineral seperti potasium, kalsium, magnesium, mangan dan sodium (Reddy and Lakshmi, 2014). Komposisi kimia di dalam air kelapa muda dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia Air Kelapa Muda (Yong dkk, 2009)

Jenis Kelapa	Muda
Berat rata-rata kelapa (g)	206 (air kelapa)
Presentase	%
Air kelapa	94,99
Karbohidrat	3,71

Serat	1,1
Gula	(g/100g)
Total	2,61
Ion Anorganik	(mg/100g)
Kalsium,Ca	24
Iron,Fe	0,29
Magnesium,Mg	25
Phosphorus, P	20
Potassium,K	250
Sodium,Na	105
Zinc,Zn	0,1
Tembaga,Cu	0,04
Mangan,Mn	0,142
Selenium,Se	0,001

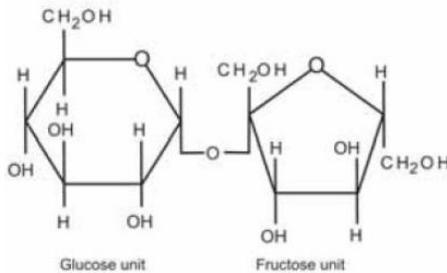
Komposisi kimia yang dimiliki air kelapa muda yang memiliki peran dalam banyaknya manfaat air kelapa untuk kesehatan. Seperti sitokinin yang telah diakui memiliki efek sebagai zat antipenuaan terhadap sel pada jaringan manusia. Selain itu air kelapa muda juga mengandung lima elektrolit yang sangat dibutuhkan tubuh antara lain, potasium merupakan ion positif (kation) yang paling penting dalam sel manusia, potasium berperan mengatur regulasi detak jantung dan fungsi kerja otot; sodium merupakan ion positif yang sangat penting di dalam cairan yang berada diluar sel, dan merupakan zat yang paling cepat hilang ketika berolahraga karena dapat dengan mudah keluar dari keringat dan urin; Magnesium merupakan zat yang memiliki peran penting untuk menjaga potensial listrik di dalam sel, menjaga fungsi kerja otot, dan mencegah kelebihan kalsium; Phosphorus merupakan zat yang memiliki peran penting dalam kesehatan tulang untuk mentransfer energi keseluruhan tubuh, membantu otot berkontraksi dan mengatur regulasi fungsi saraf bekerjasama dengan kalsium; serta kalsium yang memiliki peran penting bekerjasama dengan phosphorus untuk menjaga kesehatan tulang (Reddy dan Lakshmi, 2014).

Air kelapa muda memiliki komposisi air sebesar 95% (Yong, 2009). Air merupakan pelarut yang bersifat polar karena momen

dipolnya yang cukup besar. Air sangat efektif dijadikan sebagai pelarut yang mampu menstabilkan zat terlarut polar maupun ionik (Oxtoby,2001).

2.6 Gula Tebu

Gula merupakan suatu karbohidrat sederhana yang dikenal sebagai sukrosa seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11, dengan rumus molekul $C_{12}H_{22}O_{11}$.Gula memiliki kelarutan yang tinggi didalam air yaitu 2000gr/L. Gula pasir berasal dari cairan sari tebu. Setelah dikristalkan, sari tebu akan mengalami kristalisasi dan berubah menjadi butiran gula berwarna putih bersih atau putih agak kecoklatan (*raw sugar*). Gula memiliki sifat netral dan molekulnya bukan elektrolit, dimana ketika gula dilarutkan dalam pelarut, larutan akan bersifat insulator atau tidak dapat menghantarkan arus listrik. Mengonsumsi gula harus dilakukan dengan seimbang, dalam hal ini seimbang dimaksudkan bahwa kita harus mengatur karbohidrat yang masuk harus sama dengan energi yang dikeluarkan oleh tubuh. Energi yang dikeluarkan oleh manusia tidak sama satu dengan lainnya, ada beberapa faktor yang mempengaruhi seperti jenis kelamin, berat badan, usia, dan aktivitas yang dilakukan. Berdasarkan Permenkes No 30 tahun 2013 konsumsi maksimum gula adalah 50 gr/hari hari atau sama dengan empat sendok makan per hari, konsumsi melebihi batas tersebut dapat mengakibatkan hipertensi,diabetes maupun gangguan kesehatan lainnya (Darwin, 2013).



Gambar 2.11 Struktur kimia Sukrosa (Darwin, 2013)

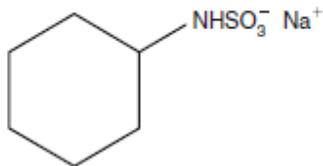
2.7 Siklamat

Siklamat umumnya dikenal dalam bentuk natrium siklamat seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.12, dengan nama molekul $C_6H_{12}NO_3SNa$. Natrium siklamat berbentuk kristal putih, tidak berbau, tidak berwarna, dan mudah larut dalam air dan etanol, intensitas kemanisannya ± 30 kali kemanisan sukrosa (Yusuf,2013).Siklamat dalam bentuknya sebagai sodium (natrium) siklamat merupakan elektrolit kuat yang terionisasi dengan baik dalam larutan.Siklamat memiliki tingkat kelarutan yang tinggi di dalam air (200g/L) dan pada konsentrasi yang melebihi batas maksimal penggunaannya, namun memiliki kelarutan yang rendah pada minyak dan larutan nonpolar. Larutan siklamat biasanya bersifat stabil terhadap perubahan panas, cahaya, udara maupun perubahan PH yang besar (Nabors, 2012).

Sifat fisik siklamat yang tahan terhadap panas, sering digunakan dalam pangan yang diproses dalam suhu tinggi misalnya pangan dalam kaleng. Meskipun memiliki tingkat kemanisan yang tinggi dan rasanya enak (tanpa rasa pahit) tetapi siklamat dapat membahayakan kesehatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tikus yang diberikan siklamat dapat menimbulkan kanker kantong kemih.Hasil metabolisme dari siklamat yaitu senyawa sikloheksamina merupakan senyawa karsinogen, pembuangan sikloheksamina melalui urin dapat merangsang tumbuhnya tumor kandung kemih (Yusuf,2013).Pedagang pangan pada umumnya lebih memilih untuk menggunakan siklamat dibanding pemanis alami karena memiliki tingkat kemanisan tiga puluh kali lipat dibanding pemanis alami sehingga pemakaian sedikit sudah menimbulkan rasa manis, tidak memiliki nilai kalori sehingga tidak meningkatkan kandungan gula darah dan tidak menyebabkan rasa pahit seperti kebanyakan pemanis buatan lainnya (Lanywati,2001).

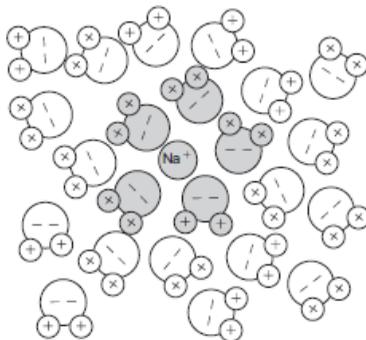
Di Indonesia,penggunaan siklamat sebagai bahan tambahan makanan pemanis sinteti diatur dan diawasi oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 033 tahun 2012 tentang Bahan Tambahan Pangan, disebutkan bahwa bahan tambahan pangan termasuk pemanis sintetis tidak boleh digunakan melebihi batas maksimum. Batas maksimum penggunaan siklamat sebagai tambahan pangan dalamPermenkes No.722/Menkes/IX/88 tentang Batas Maksimum Penggunaan Bahan

Tambahan Pangan Pemanis, batas maksimum penggunaan Siklamat adalah 3g/kg bahan makanan atau minuman(Putri, 2015).



Gambar 2.12 Struktur kimia Natrium Siklamat(Nabors, 2012)

Natrium pada siklamat akan mengalami proses hidrasi ketika larut dalam air. Molekul –molekul air akan membentuk lapisan yang mengitari molekul natrium seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.13. Lapisan ini akan menstabilkan setiap ion sehingga proses ionisasi dapat terjadi (Grimnes dan Martinsen, 2013).



Gambar 2.13 Proses Hidrasi molekul air terhadap molekul natrium(Grimnes dan Martinsen, 2013)