BAB II KAJIAN PUSTAKA

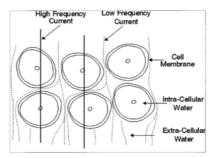
2.1 Biolistrik

Karakteristik biolistrik adalah sifat kelistrikan yang dipunyai oleh suatu sel atau jaringan makhluk hidup. Sifat biolistrik ditentukan oleh kondisi internal bahan biologis tersebut. Kelistrikan dalam tubuh dipengaruhi oleh adanya perpindahan ion dan proses metabolism tubuh (Hidayat, 2014).

Bahan makanan yang berasal dari makhluk hidup juga mempunyai karakteristik biolistrik yang berbeda-beda atau unik. Karakteristik biolistrik antara lain impedansi, kapasitansi, konstanta dielektrik, konduktivitas, impedansi dan induktansi. Pengukuran karakteristik biolistrik dapat dilakukan dengan metode plat sejajar. Diantara plat sejajar tersebut akan dimasukkan bahan dielektrik, yang mana bahan tersebut merupakan sampel yang digunakan (Sverre Grimnes, 2010).

Setiap bahan biologis memiliki karakteristik kelistrikan yang berbeda-beda yang ditentukan oleh kondisi internal bahan. Kondisi internal bahan yang mempengaruhi antara lain kadar air, suhu, komposisi kimia, keasaman, kadar garam dan sifat internal lainnya. Sifat dilektrik suatu bahan akan memberikan gambaran kandungan bahan. Sifat kelistrikan pada berbagai macam bahan pangan dibutuhkan untuk memahami perilaku bahan ketika dimasukkan ke medan elektromagnetik pada frekuensi dan suhu tertentu (Juansah dan Irmansyah, 2007)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa adanya hubungan frekuensi arus dengan sebaran arus pada bahan biologis. Jus buah memiliki bagian intraseluler dan ekstraseluler. Jika arus dengan frekuensi rendah diinjeksikan menuju jus buahmaka arus akan terdistribusi pada ekstraseluler. Sedangkan pada arus dengan frekuensi tinggi, arus dapat menembus bagian intraseluler (De Lorenzo, 1997).



Gambar 2. 1 Sebaran arus listrik pada bahan biologis (De Lorenzo, 1997)

2.2 Metode Dielektrik

Sifat dielektrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan dan mentransmisikan energi listrik. Material isolator seperti kaca, kayu, kertas dan kermaik disebut sebagai dielektrik. Gambar 2.2 menjelaskan, ketika ruang diantara dua plat tembaga sejajar dimasukkan bahan dielektrik, maka kapasitansinya naik sebanding dengan nilai faktor k. Faktor k merupakan karakteristik biolistrik yang disebut konstanta dielektrik. Konstanta dielektrik diamati oleh Faraday, dan mengemukakan bahwa kapasitansi akan naik disebabkan oleh melemahnya medan listrik diantara plat tembaga sejajar akibat adanya bahan dielektrik. Jika medan listrik awal antara keping suatu plat tembaga tanpa adanya bahan dielektrik disebut E₀, maka medan listrik di dalam dielektrik dapat dirumuskan sebagai

$$E = \frac{E_0}{k} \tag{2.1}$$

E = medan listrik dielektrik (N/C)

 E_0 = medan listrik ruang hampa (N/C)

k = konstanta dielektrik

Kapasitor keping sejajar dengan jarak antar keping adalah d maka perbedaan potensial antara keping dirumuskan pada persamaan 2.2

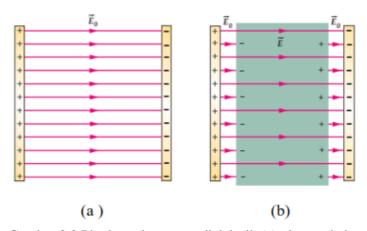
$$V = Ed = \frac{E_0 d}{k} = \frac{V_0}{k}$$
 (2.2)

V =Potensial listrik (Volt)

 V_0 = Potensial listrik vakum (Volt)

d = jarak antar plat (m)

Dimana V merupakan potensial dengan bahan dielektrik sedangkan V_0 merupakan potensial awal sebelum ditambahkan bahan dielektrik. Jarak antar plat sejajar diberikan dengan nilai d. Dapat disimpulkan bahwa tegangan kapasitor sebanding dengan medan listrik dan berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Tegangan keluaran kapasitor juga sebanding dengan jarak antar plat kapasitor (Freedman dan Young, 2004).



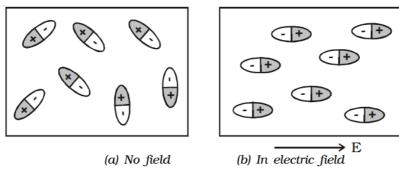
Gambar 2.2 Plat kapasitor tanpa dielektrik (a), dengan bahan dielektrik (b) (Tipler, 2008)

Setiap bahan pangan, termasuk buah memiliki karakteristik nilai dielektrik yang berbeda-beda. Besarnya dilektrik bergantung pada kandungan buah tersebut. Sifat dielektrik buah juga dipengaruhi oleh kandungan air, garam, gula dan suhu (Martín-Esparza dkk.,

2006). Analisis sifat dilektrik buah apel akan memberikan informasi beberapa kandungan buah. Campuran aspartam dan gula akan menghasilkan karakteristik biolistrik yang berbeda dengan bahan tanpa campuran pemanis.

Bahan dielektrik merupakan bahan yang disisipkan diantara plat sejajar kapasitor. Bahan dielektrik berfungsi untuk menahan medan listrik yang dialirkan melewati plat sejajar. Medan listrik pada plat sejajar dapat mempengaruhi bahan dielektrik di dalamnya. Bahan listrik didalamnya berisi molekul yang dibedakan menjadi dua berdasarkan momen dipolnya yaitu polar dan nonpolar. Molekul yang disebut telah mengalami polarisasi merupakan molekul yang telah terpisah antara posisi muatan molekul positif dan molekul negatif. Molekul polar merupakan molekul yang terbedakan kutub positif dan negatif secara permanen. Sedangkan molekul nonpolar merupakan molekul yang tidak terpolarisasi secara permanen (Jewwet, 2004).

Molekul polar dapat dipelajari pada molekul air yang mana mempunyai ikatan atom oksigen dan hydrogen. Ikatan antara atom oksigen dan hidrogen membentuk sudut sebesar 105° diantara dua ikatan. Ada muatan negatif diantara dua ikatan di dekat atom oksigen menyebabkan ikatan atom oksigen dan hydrogen terdorong hingga bergeser tidak 180°. Model molekul air dan molekul polar lainnya dapat kita anggap sebagai dipol-dipol karena posisi dari muatan positif dan negatif berperan sebagai titik muatan.

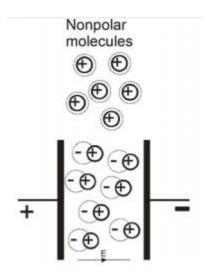


Gambar 2. 3 Molekul Polar pada Plat Sejajar Tanpa Medan Listrik (a) dan dengan Adanya Medan Listrik (Jewwet, 1996)

Polar molecules

Gambar 2.3 menjelaskan, ketika molekul polar dimasukkan kedalam kapasitor atau sebagai bahan dielektrik. Dipol-dipol molekulnya terisi acak karena tidak adanya medan listrik dari luar. Ketika medan listrik dari luar diaplikasikan pada plat kapasitor, menyebabkan dipol-dipol molekul mengalami perubahan arah. Dipol-dipol molekul mengalami penyearahan, sejajar dengan medan medan listrik luar yang diaplikasikan. Kutub positif molekul searah dengan arah medan listrik dan kutub negatif berlainan arah dengan arah medan listrik. Penyearahan molekul polar menimbulkan medan listrik induksi yang arahnya berlawanan dengan medan listrik eksternal. Jadi medan listrik yang keluaran plat kapasitor merupakan selisih medan listrik eksternal dengan medan listrik induksi (Giancoli, 2008).

Gambar 2.4 menjelaskan pada dielektrik dengan bahan nonpolar medan listrik luar yang diaplikasikan kedalam plat kapasitor mengalami pemisahan muatan terlebih dahulu dan timbul momen dipol induksi. Molekul non polar tidak memiliki momen dipol atau tidak memiliki dipol secara permanen. (Gollei, 2017). Momen induksi dipol tersebut berperan untuk mensejajarkan molekul dengan medan listrik dari luar dan dielektrik mengalami polarisasi. Medan listrik dari luar dapat mempolarisasikan molekul polar maupun non polar.



Gambar 2. 4 Interaksi Molekul Nonpolar pada Plat Kapasitor (Gollei, 2007)

2.3 Kapasitansi

Kapasitansi adalah besaran yang menyatakan kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan listrik. Jika kapasitor diberi tegangan, maka kapasitor akan bermuatan. Satu plat bermuatan negatif dan sisi plat yang lainnya bermuatan positif dengan jumlah yang sama. Untuk kapasitor tertentu, jumlah muatan Q yang didapat oleh setiap plat sebanding dengan beda potensialnya V, yang ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$Q = C V \tag{2.3}$$

Q = Jumlah muatan (Coulomb)

C =Kapasitansi (Farad)

V = Tegangan (Volt)

Dimana nilai C adalah kapasitansi dari kapasitor yang besarnya Coloumb per volt atau juga disebut farad (F) (Jewwet, 2004).

Kapasitansi dari suatu kapsitor dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu pada luas plat, jarak antar plat dan medium penyekat atau bahan dielektrik. Kapasitansi kapasitor plat sejajar tanpa bahan dielektrik sebanding dengan luas permukaan keping A dan berbanding terbalik dengan jarak antar platnya d yang berisi udara, kapasitansi dinyatakan yang dirumuskan sebagai berikut (Freedman dan Young, 2004)

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \tag{2.4}$$

 ε_0 = permitivitas vakum (F/m)

A = luas permukaan plat (m²)

d = jarak antar plat (m)

Jika menginginkan kapasitor dengan nilai kapasitansi yang rendah maka harus memperkecil jarak antar plat paralel. Nilai kapasitansi akan semakin tinggi jika permitivitas bahan semakin besar. Luas plat kapasitor juga mempengaruhi besar kapasitansi.

2.4 Hambatan Listrik

Resistansi adalah kemempuan suatu bahan untuk menahan atau menghambat aliran arus listrik. Jika pada suatu tegangan listrik dialirkan pada dua bahan yang sama, mengalami perubahan nilai arus maka kedua bahan tersebut mempunyai nilai resistansi. Nilai resistansi suatu bahan perbanding terbalik dengan besar arus listrik. Semakin besar nilai resistansinya maka akan menghasilkan arus yang kecil, begitu pula sebaliknya semakin kecil resistansinya maka akan semakin besar arus listriknya. Hambatan atau nilai resistansi dari suatu penghantar merupakan perbandingan perbedaan potensial antara titiktitik persebut dengan arus listrik (Giancoli, 2008). Hukum yang menjelaskan adanya hambatan pada suatu penghantar yang dialiri tengangan listrik disebut hukum Ohm. Besarnya resistansi pada sebuah penghantar berbanding lurus dengan nilai resistivitas bahan dan panjang penghantar, berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Persamaan 2.5 menunjukkan rumus resistansi penghantar.

$$R = \frac{\rho \, l}{A} \tag{2.5}$$

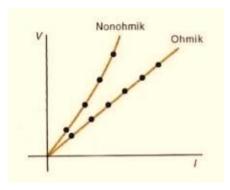
R = resistansi (Ω) ρ = resistivitas bahan (Ω m) l = panjang bahan (m) A = luas penampang (m²)

Satuan Internasioanal untuk hambatan atau resistansi adalah Ohm (Ω) . Resistansi suatu bahan bergantung pada panjang, luas penampang, jenis material damn suhu. Bahan-bahan yang memenuhi hukum Ohm dan tidak bergantung pada arus listrik disebut bahan ohmik. Logam merupakan salah satu contok bahan ohmik. Dengan begitu tegangan dapat dirumuskan pada persamaan 2.6, dengan R konstan

$$V = I R \tag{2.6}$$

.

Bahan non Ohmik merupakan bahan yang nilai resistansinya bergantung pada besar arus yang dialirkan. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan perbandingan plot V terhadap I untuk bahan omhik dan non ohmik.

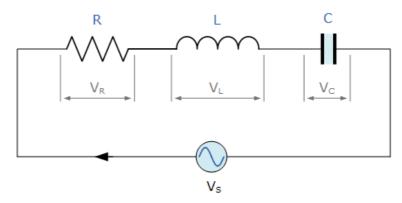


Gambar 2. 5 Plot bahan Ohmik dan non ohmik (Giancoli 2008).

2.5 Impedansi Listrik

Rangkaian arus AC merupakan arus yang mengalir mengalami perubahan fase terhadap waktu. Berbeda dengan arus DC yang fasenya tetap terhadap waktu. Arus AC berbentuk sinus melewati fase 0. Ketika arus AC melewati rangkaian RLC maka akan menimbulkan impedansi. Impedansi merupakan hambatan total yang timbul akibat adanya hambatan baru oleh rangkaian RLC. Hambatan (R) adalah komponen yang dapat menghilangkan respon dielektrik. Kapasitansi (C) adalah komponen yang dapat meyimpan dielektrik suatu bahan (Martin, 2008).

Gambar 2.6 menunjukkan pada arus AC yang diinjeksikan ke rangkaian RLC akan menimbulkan impedansi. Rangkaian RLC yang disusun seri dan paralel memiliki perbedaan dalam perumusan impedansi. Pada rangkaian RLC seri satu putaran, arus akan mengalir kedalam tiap-tiap komponen dengan besar yang sama. Impedansi dari rangkaian RLC, bergantung pada hambatan yang timbul pada induktor dan kapasitor. Reaktansi kapasitif (X_c) dan reaktansi Induktif (X_L) akan berubah-ubah sesuai dengan frekuensi pada sumber AC (Sabah, 2010). Sedangkan, hambatan dari resistor akan bernilai tetap tidak bergantung pada perubahan frekuensi.



Gambar 2. 6 Rangkaian Seri RLC

Nilai impedansi total rangkaian RLC seri ditunjukkan pada persamaan 2.7 sampai 2.9

$$Z_t = R + X_L + X_C (2.7)$$

$$|Z_S| = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}$$
 (2.8)

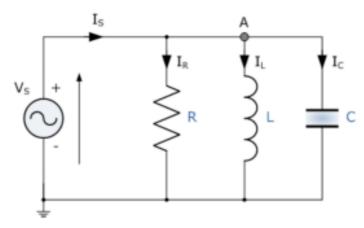
$$Z_{t} = R + X_{L} + X_{C}$$

$$|Z_{S}| = \sqrt{R^{2} + (X_{L} + X_{C})^{2}}$$

$$|Z_{S}| = \sqrt{R^{2} + (2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C})^{2}}$$
(2.8)
$$(2.9)$$

Reaktansi total merupakan selisih antara reaktansi kapasitif dengan reaktansi induktif. Reaktansi total dipengaruhi oleh besarnya frekuensi. Besarnya resistansi tidak dipengaruhi oleh frekuensi.

Pada Gambar 2.7 merupakan model rangkaian RLC paralel. Arus AC pada rangkaian RLC paralel mengalami perbedaan. Jika pada rangkaian RLC seri arus memiliki besar yang tetap pada setiap komponennya maka pada rangkaian RLC paralel tegangan yang bernilai tetap setiap komponennya (Sabah, 2010). Arus listrik pada rangkaian paralel terbagi pada tiap komponen. I_R adalah arus listrik yang melewati komponen resistor. I_L merupakan arus yang masuk kedalam komponen induktor. I_C adalah arus yang masuk kedalam komponen kapasitor.



Gambar 2. 7 Rangkaian RLC Paralel

Pada perumusan impedansi total rangkaian RLC paralel lebih mudah diselesaikan dengan penggunaan admitansi (Y). Pada rangkaian paralel total impedansi dijelaskan pada persamaaan 2.10 sampai 2.12

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C}$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$|Y| = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (2\pi fC - \frac{1}{2\pi fL})^2}$$
(2.10)

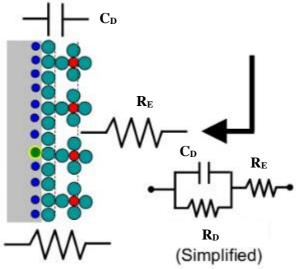
Sehingga impedansi total rangkaian RLC paralel adalah

$$|Z| = \frac{1}{|Y|} = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (2\pi fC - \frac{1}{2\pi fL})^2}}$$
 (2.12)

2.6 Rangkaian Randles

Setiap bahan biologis dapat dimodelkan dengan rangkaian listrik yang terdiri dari kapasitor dan resistor. Salah satu model rangkaian listrik untuk bahan biologis adalah rangkaian Randles. Rangkaian Randles merupakan model rangkaian elektronika yang mendekati dari rangkaian probe plat sejajar pada suatu bahan biologis. Plat sejajar yang dimasukkan bahan maupun larutan didalamnya akan mempengaruhi medan listrik dan arus listrik yang dialirkan pada plat

(Hamilton, 2003). Rangkaian Randles mewakili interaksi plat dengan larutan. Ketika molekul-molekul sampel menempel pada elektroda akan timbul efek double layer. Efek double layer dianalogikan dengan rangkaian paralel kapasitor dan resistor. Kapasitor disebut $C_{\rm D}$ dan resistor $R_{\rm D}$ pada efek double layer. Sedangkan larutan memiliki resistansi bahan tersendiri yang disebut $R_{\rm E}$. Pada Gambar 2.8 menunjukkan bahwa adanya interaksi elektroda dengan larutan membentuk kapasitasi dan resistansi double layer.



Gambar 2. 8 Interaksi Elektroda dengan Larutan Dimodelkan dengan Rangkaian Randles

Pada Gambar 2.8 dapat dijelaskan bahwa interaksi langsung elektrode dengan molekul dianalogikan sebagai resistor. Interaksi elektrode dengan gap molekul dianalogikan sebagai kapasitor. Sampel memiliki resistansi tersendiri yang nilainya tidak terpengaruh frekuensi yang diinjeksikan. Nilai impedansi listrik total ($Z_{\rm E}$) adalah penjumlahan nilai impedansi paralel *double layer* ($Z_{\rm D}$) dan resistansi bahan ($R_{\rm E}$). Pada penelitian ini digunakan model rangkaian Randles karena telah mewakili sistem pengukuran dengan baik (Lvovich, 2012).

Besar nilai impedansi double layer merupakan hasil impedansi paralel kapasitor dan resistor, dapat dinyatakan pada persamaan 2.13 sampai 2.18

$$Z_T = Z_D + Z_E \tag{2.13}$$

Sedangkan untuk impedansi double layer dengan rumus,

$$Z_D = R_D / / X_{CD} \tag{2.14}$$

$$X_{CD} = \frac{1}{i\omega C_D}, \quad \omega = 2\pi f \tag{2.15}$$

$$\frac{1}{Z_D} = \frac{1}{R_D} + \frac{1}{X_{CD}} = \frac{1}{R_D} + j\omega C_D$$
 (2.16)

$$Z_D = \frac{R_D}{(1+j\omega R_D C_D)}$$
 (2.17)

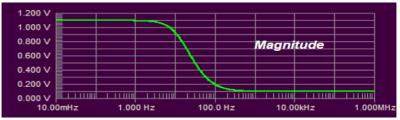
$$Z_{D} = \frac{R_{D}}{R_{D}}$$

$$Z_{D} = \frac{R_{D}}{(1+j\omega R_{D}C_{D})}$$

$$Z_{T} = R_{E} + \frac{R_{D}}{(1+j\omega R_{D}C_{D})}$$
(2.17)

Sehingga didapatkan dari rumus diatas bahwa besar impedansi paralel double layer bergantung pada frekuensi. Sedangkan nilai resistansi bahan tidak terpengaruh oleh perubahan frekuensi. Ketika frekuensi sangat kecil ($\omega = 0$) maka reaktansi kapasitif akan sangat besar. Pada frekuensi sangat besar ($\omega = \sim$) maka reaktansi kapasitif bernilai nol (Sari, 2016).

Rangkaian Randles dapat disimulasikan untuk mengetahui hubungan impedansi dengan frekuensi. Penelitian sebelumnya telah berhasil membuat simulasi rangkaian Randles dengan R_D sebesar $1k\Omega$, C_D sebesar 10μF dan R_E sebesar 100Ω dengan arus injeksi 1 mA. Nilai impedansi yang dihasilkan merupakan hasil dari penghitungan menggunakan rumus persamaan 2.18. Gambar 2.9 menunjukkan bahwa imepedansi rangkaian Randles bergantung pada frekuensi. Saat frekuensi direntang 10 mHZ sampai 1 Hz, nilai impedansi konstan. Pada frekuensi 1 Hz sampai 100 Hz, nilai impedansi mengalami penurunan karena adanya komponen reaktansi kapasitif. Frekuensi tinggi, nilai I pedansinya bernilai sangat kecil mendekati nol (Islahiyya, 2016).



Gambar 2. 9 Simulasi Rangkaian Randles (Islahiyya, 2016)

Seperti yang telah dijelaskan bahwa setiap bahan biologis memiliki sifat resistansi dan reaktansi yang mempengaruhi impedansi total bahan. Ketika nilai impedansi turun akibat adanya penambahan nilai frekuensi maka bahan berada pada fase dispersi (Ando dkk., 2014). Terdapat tiga macam dispersi yaitu dispersi α , dispersi β dan dispersi γ . Tiga macam dispersi tersebut bergantung pada nilai frekuensi. Pada dispersi α , penurunan nilai impedansi terjadi pada frekuensi rendah (mHz - Hz) yang diakibatkan oleh efek *counter-ion* di dekat permukaan membrane, struktur ekstraseluler dan difusi ionik. Dispersi β terjadi pada frekuensi 1kHz – 100 MHz yang diakibatkan oleh kapasitansi membrane sel. Dispersi γ terjadi pada rentang frekuensi antara 100 MHz – 100 GHz, yang disebabkan oleh mekanisme dipolar pada bahan polar seperti garam, air dan protein (Sverre Grimnes, 2010).

2.6 Apel

Buah apel merupakan salah satu komoditas buah di Kota Malang. Apel Malang berasal dari dua daerah yaitu dari daerah Batu dan daerah Nongkojajar. Apel Malang dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian 700 sampai 1200 dpl. Apel Malang digemari karena rasanya dan kandungan gizinya yang bermanfaat. Kandungan apel antara lain air, serat, gula, vitamin A, vitamin C, vitamin B dan vitamin E. terdapat dua jenis apel yang dapat tumbuh di daerah Batu yaitu Apel Manalagi dan Apel Anna. Apel Anna memiliki kandungan air dan keasaman yang lebih tinggi dibandingkan Apel Manalagi. Selain itu apel Anna lebih digemari untuk diolah dijadikan jus maupun sari buah apel (Aprillia dan Susanto, 2014).

Tabel 2. 1 Komposisi kimia apel per 100 gram (Falguera, 2014)

Komposisi	Nilai per 100 gram
Air	86 g
Protein	0,3 g
Gula	10,4 g
Serat	2,4 g
Lemak	0,2 g
Vitamin C	4,6 mg
Kalsium	6 mg
Besi	0,12 mg
Magnesium	5 mg
Fosfor	11 mg
Kalium	107 mg
Natrium	1 mg

Apel sangat digemari oleh semua kalangan di seluruh dunia. Apel diyakini mengandung banyak manfaat untuk kesehatan tubuh. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia dari apel, dapat dilihat bahwa apel mengandung 86 gram air per 100 gram buah. Kandungan air yang tinggi akan menjadikan apel akan cepat rusak. Apel juga mengandung kadar asam yang cukup rendah yaitu sekitar pH 4. Apel mengandung vitamin C cukup banyak, sekitar 4,6 mg. Mineral yang terkandung pada apel juga bervariasi antara lain, besi, magnesium, fosfor, kalium dan natrium. Kadar keasaman juga dipengaruhi oleh vitamin, contohnya vitamin C atau asam askorbat. Keasaman akan mempunyai kadar yang tinggi sebading dengan kadar vitamin C yang tinggi pula. (Falguera dan Ibarz, 2014). Apel mengandung air 86 gram tiap 100 gram buah, atau mendominasi kandungan apel. Air merupakan senyawa yang terdiri dari atom hydrogen dan oksigen yang terikat oleh ikatan kovalen polar. Air murni memiliki sifat resistansi. Air murni memiliki resistivitas sebesar 18 MQ cm.

2.7 Pemanis

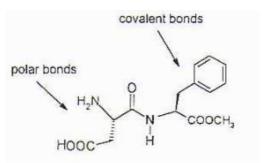
Pemanis merupakan bahan pangan tambahan yang digunakan untuk memberikan rasa manis dalam makanan. Pemanis dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan cara pembuatannya yaitu pemanis alami dan pemanis buatan. Pemanis alami didapatkan langsung dari alam dengan proses ekstraksi. Sedangkan pemanis buatan berasal dari senyawa buatan hasil sintetis laboratorium (Skytte, 2008). Pemanis alami dapat diperoleh dari tumbuhan antara lain buah bit, aren, tebu, kelapa dan jagung. Selain itu pemanis alami juga dapat diperoleh dari hewan yaitu madu. Pemanis buatan yang sering ditambahkan ke bahan pangan antara lain sorbitol, xylitol, aspartam, siklamat dan sakarin.

Pemanis buatan merupakan pemanis yang diciptakan di laboratorium dengan maksud memenuhi kekurangan kebetuhan gula alami. Menurut Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2014, pemanis buatan yang boleh digunakan adalah siklamat, sakarin, aspartam dengan jumlah yang dibatasi dengan dosis tertentu. Penggunaan dengan dosis yang berlebihan akan menimbulkan dampak kesehatan terhadap penggunanya. Pemanis buatan berharga lebih murah dan memiliki tingkat rasa manis ratusan kali dibandingkan dengan pemanis gula alami. Pada dosis yang rendah atau tertentu, pemanis buatan masih diijinkan untuk digunakan sebagai bahan tambhan pangan. Dibandingkan pemanis alami, pemanis buatan memiliki keunggulan yaitu sukup stabil jika dipanaskan, memiliki kalori rendah, cocok untuk pengguna oleh pasien diabetes, berasa manis ratusan kali lipat dan harganya terjangkau. Namun dibalik keunggulan pemanis buatan, ada kerugian dibandingkan dengan pemanis alami menimbulkan rasa pahit atau getir jika berlebihan dan menimbulakan dampak buruk dalam pemakaian melebihi dosis yang diperbolehkan. Beberapa pemanis buatan bahkan dapat dikategorikan sebagai karsinogen (BPOM, 2014).

2.7.1 Aspartam

Aspartam adalah pemanis buatan yang tersusun dari dua macam asam amino yaitu asam aspartate (*L-aspartic acid*) dan fenilalanin (*L-phenylalanine*) oleh sebuah metil-ester. Nama lengkapnya adalah (35)-3-amino-N [alpha-S-alpha methoxy carbonylphenythyl] succinic

acid. Memiliki kode di Eropa yaitu E951. Memiliki rumus C₁₄H₁₈N₂O₅ dan massa molekul 294,31. Ditemukan pada tahun 1965 oleh James Schlatter di laboratorium GD Searle, sebelum dipasarkan pertama kali di pasar Amerika pada tahun 1981. Aspartam memiliki nama dagang *Nutrasweet*, yang mana sukses sebagai pengganti gula pada tahun 1980 dampai tahun 1990. Selain nama *Nutrasweet*, aspartam mempunyai nama lain di daerah lain seperti *Equal*, dan *Canderel*. Aspartam memiliki kadar kemanisan 180 - 200 kali daripada gula (sukrosa), dan banyak dijumpai pada produk-produk minuman, soda, yogurt dan permen rendah kalori. Aspartam diproduksi oleh perusahaan kimia bernama Monsanto (Skytte, 2008).



Gambar 2. 10 Struktur Kimia Aspartam (Mitchell, 2007).

Aspartam memiliki rasa yang manis lebih murni dibandingkan pemanis buatan lainnya. Aspartam memiliki intensitas manis maksimum 13-14% lebih ekuivalen sukrosa (SE), yang mana sangat bagus untuk digunakan sebagai pemanis tambahan disemua produk makanan. Pada awal 1980 setelah dinyatakan aman oleh Amerika, pemanis aspartam memberikan keuntungan yang sangat baik karena dirasa sangat mirip dengan gula (sukrosa). Kadar rasa manis relatif (RS) dari aspartam bergantung pada konsentrasi, pH, suhu dan pengaplikasiannya yang mana sangat sulit ditentukan secara tepat. Pada umumnya RS bernilai 180-200. Aspartam sering digunakan pada produk makanan dicampurakan dengan gula, sakarin dan *aluminium potassium sulphate* (Mitchell, 2007).

Aspartam merupakan pemanis yang dapat dicerna oleh tubuh menjadi dua komponen yaitu asam amino dan methanol. Asam amino akan mengalami metabolism secara normal dalam pencernaan dan diserap oleh tubuh seperti makanan pada umumnya. Asam aspartat dan fenilalanin sendiri merupakan asam amino penyusun protein. Asam aspartate dapat menjadi neurotransmitter namun tidak sekuat asam amino L-glutamat. Asam aspartate menyusun aspartam sekitar 40% (Skytte, 2008).

Tabel 2. 2 Sifat fisis aspartam (Mitchell, 2007)

Sifat Fisis	Keterangan
Titik leleh	246,4°C
Massa molekul	294,31 gram/mol
Tingkat kemanisan (RS)	200
Warna	tidak berwarna (dalam larutan) dan putih (kristal)
Solubilitas (air, 25°C)	30 gram/liter

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa aspartam memiliki titik leleh yang tinggi, disebabkan oleh ikatan kovalen antar molekulnya cukup kuat dan massa molekulnya tinggi. Aspartam termasuk pemanis yang kurang larut dalam air dibandingkan dengan pemanis lain seperti sukrosa, sakarin maupun gula. Sulit larutnya aspartam pada air di suhu ruang diakibatkan oleh ikatan kovalen (nonpolar) sehingga diperlukan pemanasan untuk menambahkan solubilitas aspartam dalam air (Leng dan Qi, 2014).

2.7.2 Gula Pasir

Gula merupakan salah satu karbohidrat yang paling sederhana dapat di serap oleh tubuh. Terdapat banyak macam gula bergantung dengan jumlah molekul sakarida. Monosakarida merupakan molekul gula paling sederhana yang dapat masuk ke dalam darah manusia. Monosakarida mempunyai sifat larut dalam air, tidak berwarna dan berbentuk padat. Monosakarida dibedakan lagi menurut jumlah atom karbon seperti galaktosa, ribosa dan fruktosa (Polopulus, 1991).

Gambar 2. 11 Stuktur kimia sukrosa terdiri dari glukosa dan fruktosa

Gula termasuk kedalam disakarida yaitu sukrosa. Disakarida adalah gula dengan dua molekul sakarida. Jika masuk kedalam tubuh manusia akan terpecah menjadi dua monosakarida. Sukrosa merupakan disakarida yang berasal dari glukosa dan fruktosa. Glukosa sering disebut gula darah karena dalam tubuh manusia sbanyak ditemukan. Fruktosa sering disebut sebagai gula buah. Fruktosa memiliki gugus fungsi yang sama dengan glukosa namun memiliki keton sebagai gugus fungsionalnya. Pada Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa sukrosa merupakan hasil penggabungan fruktosa dan glukosa.

Tabel 2. 3 Sifat fisis gula (Guerra, 2010)

Sifat Fisis	Keterangan
Titik leleh	185,5°C
Massa molekul	342 gram/mol
Tingkat kemanisan (RS)	1
Warna	Tidak berwarna
Solubilitas (air, 25°C)	2100 gram/l

Pada tabel 2.3 dapat diketahui bahwa titik leleh gula sekitar 185,5°C yang dipengaruhi oleh ikatan kovalen antar molekul dan massa molekul gula. Sukrosa memiliki tingkat kelarutan atau solubilitas dalam air yang tinggi yaitu 2,1 kg dalam 1 liter air. Kelarutan gula yang tinggi tersebut disebabkan oleh ikatan gula dan air merupakan ikatan kovalen polar. Air merupakan senyawa yang polar, seperti halnya gula.