Jurnal Dinamika, April 2015, halaman 11-24 Vol. 06. No. 1
ISSN 2087-7889

MEKANISME TRANSPORT ION MELALUI KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK PADA MEMBRAN JERUK LEMON (*Citrus medica* Linn)

Idawati Supu

Program Studi Fisika, Fakultas Sains
Universitas Cokroaminoto Palopo
Email: idawatisupu@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sifat listrik membran lemon (basah dan kering) dengan variasi frekuensi dan suhu. Variasi frekuensi dilakukan pada pengukuran konduktansi dan kapasitansi membran mulai dari 500 Hz sampai 1MHz. Adapun variasi suhu diamati pada pengukuran konduktansi membran pada larutan elektrolit KCl dengan konsentrasi 0,1 M dan 0,01 M dengan suhu dari 25^0C sampai 55^0C dengan kenaikan tiap 1^0C. Hasil uji pengukuran konduktansi dan kapasitansi membran secara langsung dengan variasi frekuensi menunjukkan bahwa semakin besar frekuensinya maka nilai konduktansinya meningkat dan nilai kapasitansinya menurun. Adapun hasil pengukuran dalam larutan elektrolit dengan variasi suhu menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka nilai konduktansinya pun makin meningkat. Selain itu dari pengukuran ini diperoleh grafik hubungan antara 1/T terhadap ln G yang menunjukkan hubungan linier dengan kemiringan negatif yang menunjukkan kebergantungan nilai konduktansi terhadap suhu. Dari grafik ini diperoleh pula besar nilai energi barrier atau energi diri membran dari slope kurva yang merupakan metode paling baik untuk mengamati mekanisme transport ion pada membran. Selain itu diperoleh juga ukuran pori membran sebesar 0,745 nm dan 0,856 nm. Sehingga disimpulkan bahwa mekanisme transport ion yang melewati membran lemon dapat dikaji melalui pengukuran konduktansi baik secara langsung maupun dalam larutan elektrolit.

Kata kunci: membran lemon, konduktansi, kapasitansi, energi diri, elektrolit

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi membran banyak dimanfaatkan dalam bidang industri, biologi dan kesehatan sehingga semakin banyak penelitian mengenai fenomena membran baik membran biologi maupun membran buatan. Karakterisasi membran adalah salah satu topik penelitian yang banyak dilakukan untuk mempelajari lebih jauh tentang fenomena membran.

Banyak penelitian dengan berbagai metode yang digunakan para peneliti khususnya untuk memperbaiki metode penerapan teknologi untuk keperluan industri. Karena dalam berbagai bidang, membran merupakan pilihan dalam penyaringan, pemisahan, dan pemurnian zat-zat yang peka terhadap senyawa kimia dan lingkungan.Pada penelitian ini yang menjadi fokus penelitian adalah karakterisasi membran secara fisika yaitu melalui sifat listriknya yang dapat dilihat dari

nilai konduktansi membran. Dengan pengukuran parameter ini maka akan mampu menganalisis mekanisme transportasi ion eksternal melalui membran sehingga melalui penelitian ini diharapkan mampu memperoleh informasi yang penting dalam kemajuan teknologi membran.

Setiap sel penyusun organ makhluk hidup dibungkus oleh suatu membran semipermeabel (hanya melalukan beberapa ion tertentu saja) yang tersusun atas molekul-molekul lipida berlapis ganda (*bilayer lipids*) dan protein-protein. Membran semipermeabel ini berfungsi untuk memisahkan larutan ionik di dalam sel (*intracellularfluid*) dari larutan ionik di luar sel (*extracellular fluid*). Membran adalah fasa antara atau fasa penghalang khusus yang memisahkan dua macam fasa dan membatasi bermacam spesi kimia dengan cara spesifik (Ginanjar, 2004). Membran dapat melewatkan molekul tertentu dan menahan molekul lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Notodarmojo, 2004).

Dua fasa tersebut memiliki karakter yang berbeda. Karakter tersebut diantaranya: perbedaan konsentrasi, suhu, tekanan, viskositas dan komposisi larutan. Defenisi lain membran adalah suatu lapisan yang memisahkan dua fasa dan mengatur perpindahan massa dari kedua fasa yang dipisahkan (Gea, 2005). Fasa pertama adalah *feed* atau larutan pengumpan yaitu komponen atau partikel yang akan dipisahkan. Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), dan gaya dorong (driving force) akibat perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC) dan perbedaan energi (ΔE). Upaya pemisahan dengan membran yang menggunakan gaya dorong beda tekanan sangat dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi pori membran (Notodarmojo, 2004).

Tujuan

1. Mengukur konduktansi dan kapasitansi membran jeruk lemon (*Citruss medica* Linn) secara langsung.
2. Mengukur konduktansi membran jeruk lemon (*Citruss medica* Linn) pada larutan elektrolit dengan variasi suhu
3. Menentukan perubahan energi diri membran jeruk lemon (*Citruss medica* Linn)

TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan proses pembentukannya, membran terdiri dari dua jenis yaitu membran alami (membran biologi) dan membran buatan (membran sintetik). Membran alami adalah membran dalam proses-proses kehidupan makhluk hidup dan biasanya terdapat dalam sel makhluk hidup. Komponen utama membran alami adalah lipid dan protein. Membran sintetik adalah membran yang terbuat dari berbagai bahan sesuai kebutuhan dan biasanya berbentuk padat atau cair (Azizah, 2008). Beberapa membran biologis berbentuk lapisan tipis yang menyelubungi bagian tertentu.

Tanaman jeruk terdiri dari berbagai jenis, namun yang terkenal di Indonesia adalah jeruk manis, jeruk keprok,jeruk besar, dan jeruk lemon. Keempat jenis jeruk tersebut biasanya dikonsumsi sebagai buah segar. Rasa masam pada jeruk lemon dan lime dalam racikan yang pas merupakan penyegar alami untuk berbagai jenis makanan dan minuman. Jeruk Lemon (*Citrus medica* Linn) Di samping kandungan vitamin C yang

melimpah, jeruk lemon juga kaya dengan vitamin B, E, natrium, dan beberapa mineral mikro yang dibutuhkan tubuh untuk sisitem imunitas (kekebalan) serta mencegah virus penyebab influenza. Lemon juga berserat dengan kandungan bioflavanoid yang berperan sebagai antioksidan pencegah kanker. Flavanoid jeruk lemon berfungsi menghalangi oksidasi LDL sehingga aterosklerosis penyebab jantung dan stroke bisa dihindari. Jeruk lemon juga berlimpah kandungan serat berupa pektin yang baik untuk menurunkan kadar kolesterol dan trigliserida (Iglesisas *et al.* 2007).

Gambar 1 Jeruk Lemon (*Citrus medica* Linn).

Jeruk termasuk dalam genus *Citrus* dan family *Rutaceae*, serta memiliki banyak jenis spesies yang berbeda, diantaranya: lemon (*Citrus limon*), Citron (*Citrus medica* Linn.), Ponkan (*Citrus reticulata*, Blanco) (Ladaniya, 2008). Di indonesia sendiri banyak terdapat jenis buah jeruk dengan karakteristik masing-masing seperti jeruk Pontianak, jeruk Bali, jeruk Medan, dan yang lainnya. Buah jeruk juga diklasifikasikan ke dalam jenis *hesperidiums*, sebuah klasifikasi khusus untuk buah yang memiliki *pulp* yang tersimpan di dalam segmen.

Berikut ini klasifikasi berbagai varietas jeruk (Sarwono, 1994):

Kingdom : Plantae
Divisi :Spermatophyta
Kelas :Dicotyledonae
Sub-kelas :Dialypetales
Familia :Rutaceae
Genus : Citrus
Spesies :*Citrus medica*var. (jeruk lemon)
Citrus amblycarpa (jeruk limau)
Citrus aurantifolia,Swinge (jeruk nipis)
Citrus hystrix D.C (jeruk purut).

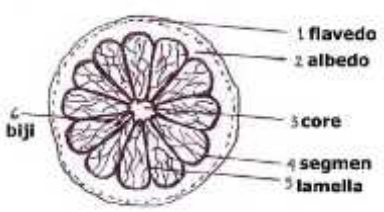
Tabel 1.Komposisi kimia buah jeruk lemon

Komposisi	Kandungan
Air	90%
Energi	20 kkal
Protein	1 g
Lemak	-
Karbohidrat	6 g
Kalsium	19 mg
Besi	0.4 mg
Vitamin A	10 IU
Thiamin	0.03 mg
Riboflavin	0.01 mg
Niacin	0.1 mg
AsamAskorbat	39 mg

Sumber: Woodroof *et.al.*,1975

Telah banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dan produksi jeruk. Area yang menjadi fokus para peneliti diantaranya: genetika dan teknologi pembuatan bibit unggul, pembasi hama pada jeruk, teknologi pascapanen, dan sebagainya. Selain pada area peningkatan manfaat jeruk, penelitian juga dilakukan untuk mengetahui fisiologi dan mekanisme biologis atau kimiawi yang berlangsung di dalam buah jeruk. Studi tentang mekanisme regulasi pada jeruk berdasarkan perbedaan molekul spesifik mengantarkan pada proses

metabolisme sekunder dari asam sitrat (*citric acid*) (Iglesias *et al*. 2007).



Gambar 1. Penampang buah jeruk

Secara anatomi buah Jeruk Lemon (*Citrus medica* Linn) tersusun atas 8-16 bagian yang disebut sebagai *carpels* yang membentuk *cluster* mengelilingi inti buah. *Carpels* membentuk *locules* atau *segments*, tempat dimana biji dan *pulp* atau *juice sacs* tersimpan. Bagian terluar buah disebut sebagai *pericarp* dan dibagi menjadi dua bagian, yaitu *exocarp* atau *flavedo* dan *mesocarp* atau *albedo*.*Flavedo* merupakan bagian terluar yang memiliki warna, sedangkan *albedo* bagian dalam cangkang yang berwarna putih. *Flavedo* tersusun atas hipodermis, bagian terluar *mesocarp*, dan *oil glands*. Sedangkan bagian terluar *pericarp* merupakan kulit perlindungan yang berlapis atau kutikula yang bertanggung jawab dalam perlindungan dan pertumbuhan buah.

Lapisan ini dibangun dari selulosa dan asam lemak. Kutikula memainkan peranan penting dalam pengaturan jumlah air di dalam jaringan agar sesuai dengan yang dibutuhkan. *Pericarp* juga memiliki sel yang mengandung klorofil yang berubah secara bertahap menjadi *chromoplast* ketika buah berubah warna. Buah yang masih mentah mengandung banyak klorofil, karena itu buah terlihat berwarna hijau. Ketika mendekati masa matang maka klorofil akan berubah menjadi *chromoplast* yang terlihat oleh mata dalam bentuk warna kuning. Pada saat itu hanya sedikit klorofil yang tersisa di buah [Iglesias *et al*. 2007; Ladaniya, 2008).

Albedo menyusun bagian dalam cangkang jeruk lemon (*Citrus medica* Linn) yang tersusun atas sel parenkim dengan rongga udara yang besar. Ketebalan *albedo* sekitar 1-2 mm pada lemon dan sekitar 2-5 mm pada jeruk biasa. Berbagai penelitian menunjukan bahwa *albedo* banyak mengandung vitamin C, *flavanoids*, dan meterial esensial lainnya yang sangat berguna bagi kesehatan manusia (Ladaniya, 2008). Telah diketahui bahwa terdapat hubungan antara *flavanoid* dan penyakit jantung (Hertog *et al*. 1993), bersama dengan *carotenoids* yang dihasilkan bagian lainnya *flavanoid* dianggap bertanggung jawab dalam pencegahan kanker dan penyakit degeneratif (Ejaz *et al*. 2006).

Bagian terdalam jeruk lemon (*Citrus medica* Linn) adalah endocarp yang tersusun atas beberapa *locular* atau *segment*. Setiap *segment* mengeliling poros tengah buah dan menjadi tempat menempelnya *pulp* dan biji. Setiap segmen ditutupi oleh lapisan membran *endocarp*. Ketebalan lapisan membran ini sekitar 300-600 mm, dengan warna yang terlihat agak transparan. Pada bagian ini pula biasanya ditemukan *vascular* yang menempel sebagai media untuk mengalirkan hasil fotosintesis pada buah (Ladaniya, 2008).

Membran didefinisikan sebagai sebuah struktur yang memiliki dimensi

lateral jauh lebih besar dari ketebalannya, dan sejumlah perpindahan massa dapat terjadi melalui membran di bawah berbagai variasi gaya penggerak (Pellegrino 2000). Membran dapat melewatkan molekul atau partikel dari fasa satu ke fasa lain karena beberapa faktor, seperti gradien temperatur, gradien konsentrasi, gradien tekanan, dan gradien energi (Baker 2004).

Membran dapat dianggap sebagai penghalang yang permeabel dan selektif antara dua fasa. Fasa pertama biasanya dianggap sebagai umpan (*feed*), sementara fasa kedua adalah hasil pemisahan (*permeate*). Pemisahan tercapai karena membran memiliki kemampuan untuk mengangkut salah satu komponen campuran umpan lebih mudah daripada komponen lainnya. Membran dapat berukuran tebal ataupun tipis, strukturnya bisa homogen ataupun heterogen (komposit), dan proses perpindahan material melewati membran dapat terjadi melalui proses transpor aktif dan pasif. Transpor pasif dapat digerakkan oleh perbedaan tekanan, konsentrasi, atau perbedaan temperatur di antara kedua sisi membran (Mulder, 1991).

Efektivitas kerja suatu membran dapat ditentukan melalui karakteristik membran yang digunakan. Karakterisasi yang banyak dilakukan ditinjau dari sifat listrik, termal dan mekanik. Sifat kelistrikan membran dipengaruhi oleh aliran elektron dan ion-ion yang melintasi membran (Juansah, 200). Karakteristik mekanik biasa digunakan untuk menentukan morfologi membran.

Kerapatan molekul dapat didekati dari pengujian besar gaya yang mampu ditahan oleh membran. Semakin rapat struktur membran, berarti jarak antar molekul semakin dekat sehingga membran akan memiliki daya tarik atau tembus yang besar (Azizah, 2008). Beberapa parameter yang penting dalam menentukan kualitas suatu membran diantaranya yaitu mempunyai permeabilitas yang tinggi, selektifitas yang tinggi, stabil pada temperatur yang tinggi, kestabilan mekanik dan tahan terhadap zat kimia yang akan dipisahkan (Maryati, 2003).

Berdasarkan kelistrikannya membran terdiri atas membran bermuatan tetap dan membran bermuatan netral. Membran bermuatan tetap dapat dilalui oleh ion-ion tertentu. Membran bermuatan tetap yang hanya dapat dilalui oleh kation saja disebut *Kation Exchange Membrane* (KEM), sedangkan jika anion saja disebut Anion *Exchange Membrane* (AEM). Selain kedua membran tersebut ada juga membran yang merupakan gabungan keduanya yang disebut *Double Fixed Charge Membrane* (DFCM). KEM dan AEM memiliki karakter berbeda dan pada aplikasinya dapat digunakan bersamaan.

Membran bermuatan tetap dapat digunakan dalam proses industri, seperti proses elektrodialisis, *fuel cell* dan berbagai proses filtrasi. Membran bermuatan netral banyak digunakan dalam aplikasi bidang-bidang sains dan teknologi. Membran netral terdiri dari polimer yang tidak mengikat ion-ion tetap. Membran netral juga dapat bersifat selektif terhadap larutan-larutan kimiawi. Selektivitas membran ditentukan oleh unsur-unsur penyusun (monomer), ukuran kimia, ukuran pori, daya tahan terhadap tekanan dan suhu, resistivitas dan

konduktansi serta kelistrikan lainnya (Rakhmanudin, 2005).

Berdasarkan prinsip struktur dan pemisahannya, membran dibagi menjadi tiga tipe yaitu membran *porous* (mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi), membran *nonporous* (separasi gas, pervaporasi, dialisis) dan membran *carrier*. Klasifikasi pori menurut IUPAC dapat dikelompokkan menjadi *macropores* (>50nm), *mesopores* (2-50nm), dan *micropores* (<2nm) (Rakhmanudin, 2005). Selain itu berdasarkan morfologinya membran dibedakan menjadi: membran simetrik dan membran asimetrik (Cahyani, 2012). Sedangkan berdasarkan sifat listriknya, membran dibedakan menjadi dua, yaitu: membran netral, dan membran bermuatan tetap. Membran bermuatan tetap dapat berupa Membran Penukar Anion (MPA), Membran Penukar Kation (MPK), atau *Double Fixed Charge Membrane* (Rustami, 2010).

Sifat konduktivitas muncul karena adanya interaksi antara ion dengan membran. konduktansi membran dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan persamaan sebagai berikut:

$$G = n\,G_p$$

Dengan G = konduktansi , G_p= konduktansi tiap pori dan n = jumlah pori membran (Iglesias *et. al.* 2007).

Nilai G_p ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya geometri pori, konsentrasi pori dan mobilitas ionnya. Dengan asumsi bahwa ion di dalam suatu medium dielektrik akan mengalami interaksi elektrostatik dengan membran, maka ion tersebut memiliki energi diri sebesar U. Untuk melewati pori membran akibat adanya interaksi dengan ε membran, energi bebas (ΔU) bergantung dari seberapa dekat ion pada membran, maka dapat dituliskan energi bebasnya sebagai berikut:

$$\Delta U = \frac{z^2\ q^2\ \sim}{4\circledR\,£_0\,£_m\,b}$$

Secara umum konduktansi membran merupakan fungsi suhu, yang merupakan fungsi eksponensial dan terkait dengan perubahan energi diri ionnya (Juansah, 2000). Konduktansi membran tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$G = G_0\ \exp\left(-dU\big/_{kT}\right)$$

Peningkatan energi diri *ΔU* akan mempengaruhi konsentrasi ionik yang ada di dalam membran. Secara energetika, kenaikan energi diri kurang baik untuk ion yang berada dalam pori-pori membran yang rapat, dengan konstanta dielektrik rendah. Jika *C* adalah konsentrasi ion di pusat membran, *Co* adalah konsentrasi ion pada jarak yang jauh dari membran, *G* adalah konduktansi di pusat membran, *Go* adalah konduktansi yang berjarak jauh dari membran, dengan konstanta Boltzman *k* dan suhu *T*, maka koefisien partisi *γ* dapat dihitung dengan menggunakan statistik Boltzman:

$\gamma = C / Co = G / Go = \exp(-\Delta U / k\,T)$

Pada elektrolit dengan konsentrasi kation *P* dan anion *N*, serta valensi *zp* dan *zn*, dan dengan c*o* adalah kekuatan ionik larutan, maka:

$z_p\,P = z_p\,N = Co$

Untuk membran dengan ukuran pori lebih besar dari panjang Debye dan dengan medan listrik konstan, maka besarnya nilai konduktansi untuk tiap pori *Gp* terhadap ion yang mengalir adalah:

$$G_p = \frac{q^2 C_0 (z_p \gamma_p D_p + z_n \gamma_n D_n) \pi b^2}{kTL}$$

Dengan:

$$\gamma_{p=} exp(-z_p{}^2 q^2 \alpha / 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon_m bRT)$$

$$\gamma_{n=} exp(-z_n{}^2 q^2 \alpha / 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon_m bRT)$$

Dimana *b* adalah jari-jari pori membran, *L* adalah ketebalan membran, *K* adalah konstanta Boltzman (1.38662 x 10^{-23} J/K), *T* merupakan suhu dalam Kelvin, dan *R* adalah konstanta molar gas (8.314 J/mol K). Dari persamaan (6) dapat diamati bahwa ada kebergantungan dari *Gp* terhadap temperatur, dan menunjukkan hubungan yang linear. Pada suhu yang tinggi, nilai *G* akan semakin besar, ini berarti pula bahwa pergerakan ion juga lebih besar. Di samping itu, koefisien partisi *γ* juga akan membesar, dengan demikian energi diri *ΔU* akibat interaksi medan magnet juga meningkat. Dengan menganggap konduktansi untuk tiap pori (*Gp*) adalah sama, maka jumlah pori *n* dapat diketahui melalui persamaan (1), dan mekanisme transpor pun dapat diketahui (Smith *et al*. 1992).

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). Untuk tinjauan kapasitor keping sejajar, faktor geometri yang menentukan adalah luas penampang keping sejajar dan jarak antara kepingnya, sedangkan sifat bahan dielektriknya ditentukan oleh nilai konstanta dielektrik bahannya. Kapasitansi diukur berdasarkan besar muatan yang dapat disimpan pada suatu kenaikan tegangan dapat dituliskan:

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

C adalah kapasitansi dalam farad (F)
Q adalah muatan elektron Coulomb (C)
V adalah besarnya tegangan Volt (V)

Permukaan kapasitor yang berhubungan biasanya berbentuk plat rata. Kapasitansi dari suatu kapsitor dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu pada luas plat, jarak antar plat dan medium penyekat atau bahan dielektris. Untuk kapasitor plat sejajar yang masing-masing memiliki luas A dan dipisahkan oleh jarak d yang berisi udara, kapasitansi dinyatakan dengan:

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

A adalah luas area plat (m^2)
d adalah jarak antar plat (m)
ε_0 adalah permitivitas ruang hampa 8.85 x 10^{-12} F/m

Ketika luas area plat meningkat, maka kapasitansi akan meningkat. Ketika jarak antar plat besar, maka nilai kapasitansi berkurang. Ketika bahan dielektrik besar, maka kapasitansi akan meningkat. Dengan mempertimbangkan tiga faktor tersebut, maka kapasitansi kapasitor antar dua plat sejajar dapat dihitung menggunakan rumusan:

$$C = K\varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

Dimana K adalah konstanta dielektrik sel membrandapat dimodelkan dengan rangkaian listrik yang terdiri dari gabungan kapasitor dan resistor (Coster *et al*. 1992).

$$Z_1 = \frac{1}{G_1 + \omega C_1}$$

dan

$$Z_2 = \frac{1}{G_2 + \omega C_2}$$

Maka

$$Z_m = \frac{1}{G_m + \omega C_m}$$

Gabungan antara Z_1 dan Z_2 dengan melihat rumus Z_m akan menghasilkan nilai konsentrasi membran:

$$C_m = \frac{G2^2C1 + G1^2C2 + \omega^2C1C2(C1 + C2)}{(G1 + G2)^2 + \omega^2(C1 + C2)^2}$$

Dimana $\omega = 2\pi f$ merupakan frekuensi sudut sehingga kapasitansi bergantung pada frekuensi.

METODE PENELITIAN

Preparasi Membran

Membran lemon yang dimaksud dalam penelitian ini adalah *locular membrane* yang menjadi tempat menempelnya *pulp*. Membran diambil dengan perlakuan khusus untuk mencegah terjadinya kebocoran dan tertinggalnya vascular. Membran yang sudah diambil selanjutnya diuji dalam keadaan basah dan kering. Data konduktansi yang diambil menunjukkan karakteristik yang sebenarnya dari membran lemon. Ukuran membran yang diambil sekitar 2,5 cm^2.

Pengukuran Konduktansi Membran

Pengukuran konduktansi membran dilakukan melalui dua metode. Metode pertama adalah pengukuran membran langsung dengan menggunakan papan PCB dan metode yang kedua adalah pengukuran konduktansi saat berada dalam larutan elektrolit NaCl.

Alat yang digunakan pada metode pertama adalah papan PCB dengan ukuran 2,5 cm^2 dengan ukuran efektif yang digunakan sebesar 2,2 cm x 2,1 cm. Membran lemon dalam keadaan kering dan basah diukur secara langsung menggunakan LCR Hitester 3522-50 dengan frekuensi 500 Hz – 1 MHz. Alat yang digunakan serta pengukuran yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2.

(a)

(b)

Gambar 2. Papan PCB (a) Pengukuran konduktansi membran secara langsung (b).

Pada metode kedua, alat yang digunakan meliputi *chamber* pengujian dengan luasan lubang sekitar2 cm^2. Jenis *chamber* yang digunakan merupakan jenis horisontal. Gambar 3 menunjukkan bentuk dari *chamber* yang digunakan. Nilai konduktansi diukur menggunakan LCR Hitester 3522-50. Alat lain yang digunakan diantaranya *stopwatch*, pemanas, dan termometer digital.

Bahan yang digunakan sebagai larutan elektrolit adalah larutan NaCl dengan konsentrasi sebesar 0,1 Mdan 0,01 M. Variasi suhu yang digunakan adalah dari25-55^oC dengan penambahan setiap 1^oC. Adapun membran yang diukur adalah membran dalam keadaan basah dan

kering. Pengukuran membran dalam larutan elektrolit terlihat seperti pada Gambar 4.

Gambar 3. *Chamber* pengujian membran.

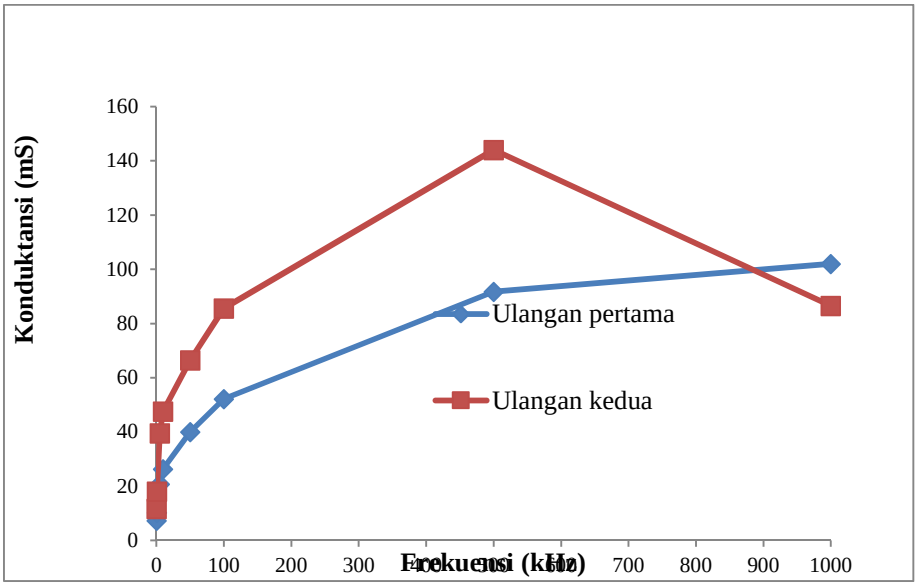
Gambar 4. Pengukuran konduktansi membran dalam larutan elektrolit NaCl.

Pada pengujian ini dilihat pengaruh suhu terhadap nilai konduktansi membran dan dilakukan dua kali pengulangan untuk mendapatkan data yang lebih valid dan hasilnya ditampilkan dalam grafik hubungan antara ln G terhadap 1/T yang nantinya akan diperoleh nilai perubahan energy dirinya (ΔU) yang dapat diperoleh dari kemiringan atau slope grafik.

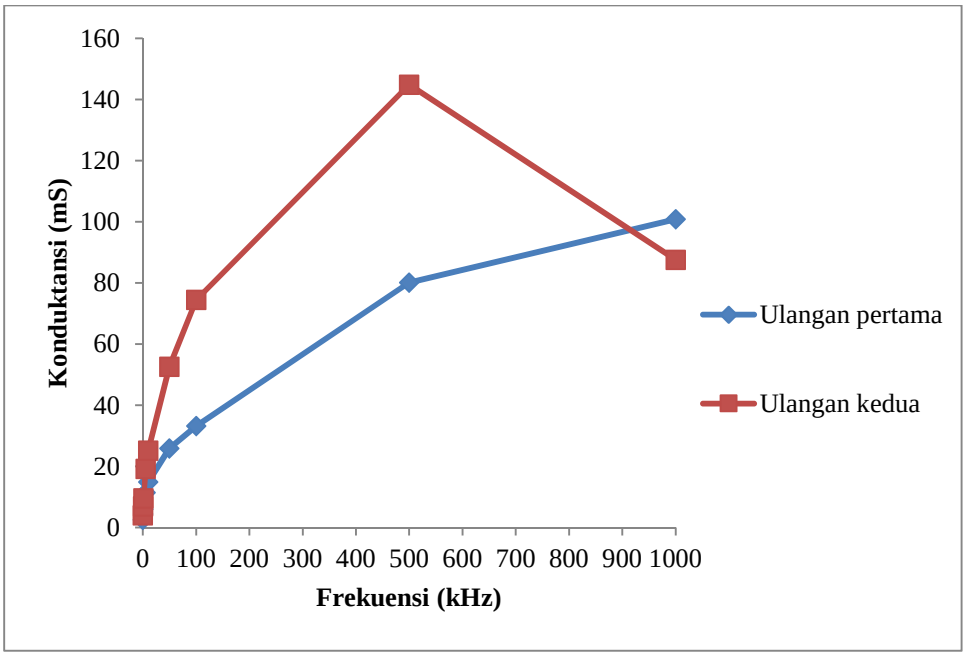
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Konduktansi Membran secara Langsung

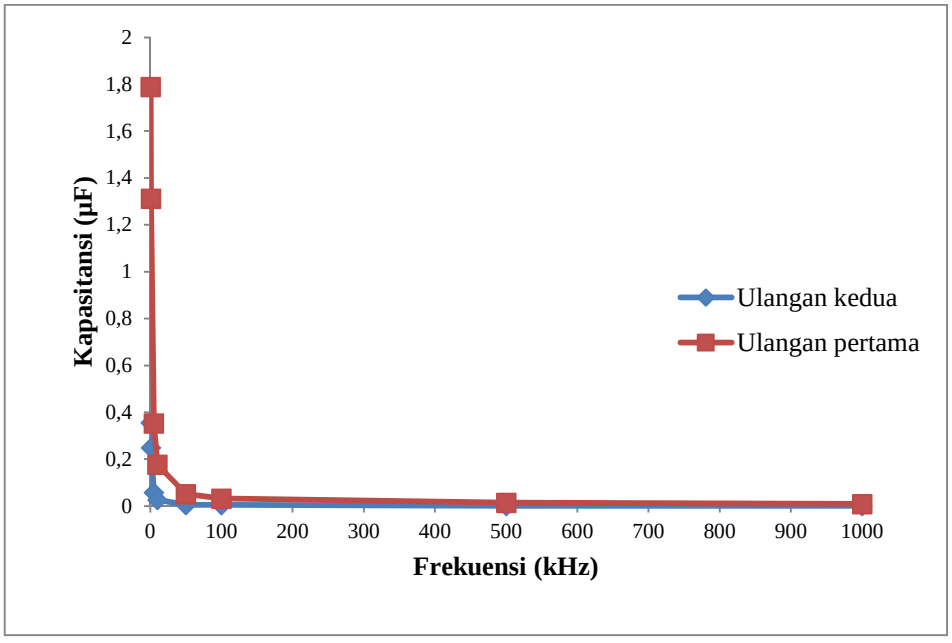
Pengukuran konduktansi membran lemon secara langsung frekuensi yang digunakan mulai dari yang terendah yaitu 500 Hz hingga yang tertinggi yaitu 1 MHz agar terlihat nilainya secara signifikan dengan range yang lebar.



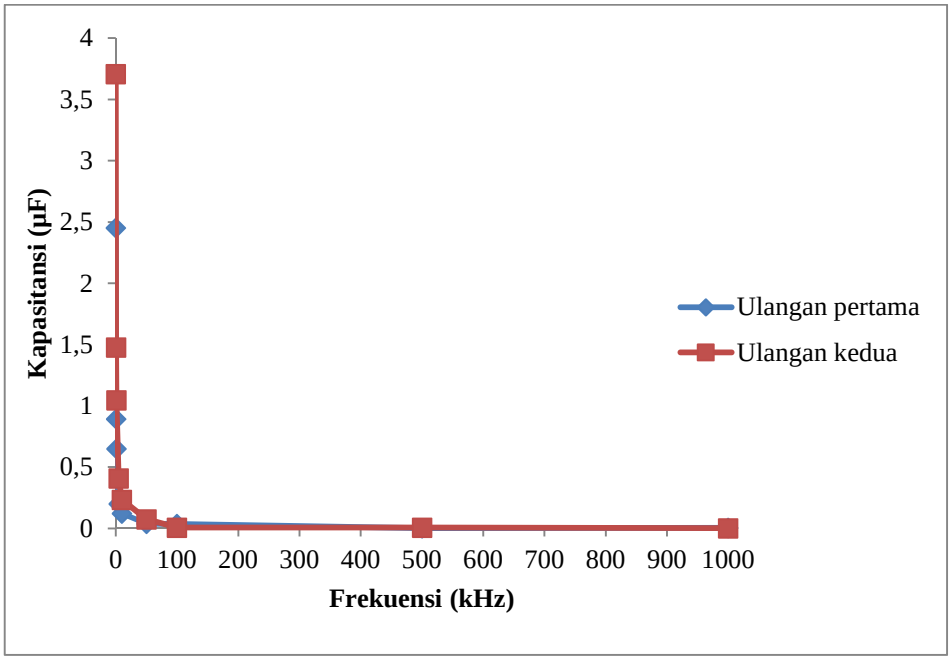
Gambar 5 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai konduktansi membran basah.



Gambar 6. Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai konduktansi membran kering.



Gambar 7 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai kapasitansi membran basah.



Gambar 8 Grafik hubungan frekuensi terhadap kapasitansi membran kering.

Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar nilai konduktansinya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan menghasilkan aliran arus yang semakin cepat melalui membran. Gambar 5 menunjukan grafik hubungan frekuensi terhadap nilai konduktansi untuk membran basah dan Gambar 6 untuk membran kering.

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa nilai konduktansi membran basah lebih besar dari pada membran kering. Hal ini disebabkan karena pada membran basah masih terdapat cairan buah yang jauh lebih konduktif sehingga arus lebih memilih melewati medium yang lebih konduktif. Adapun grafik dari membran kering menunjukkan nilai konduktansi yang lebih rendah karena cairan buah sudah hamper tidak ada pada membran lemon sehingga nilai konduktansi yang didapat lebih didominasi oleh nilai konduktansi membran lemon itu sendiri.

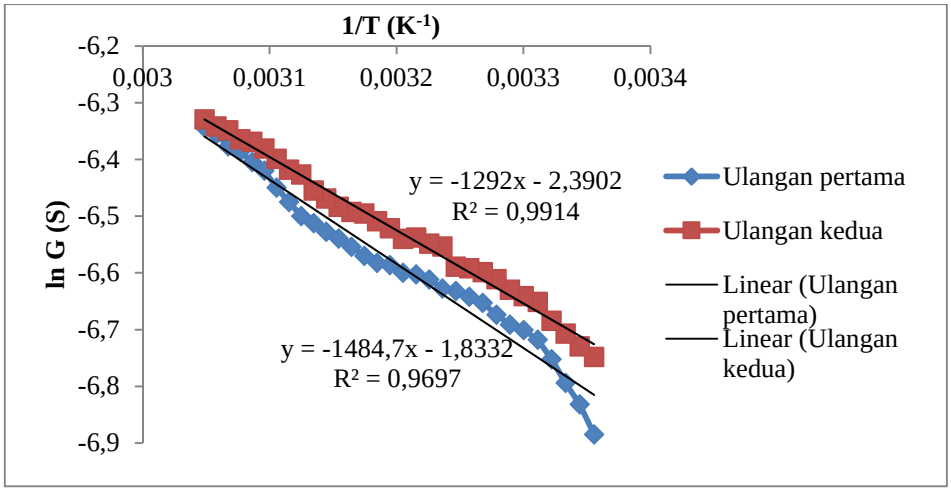
Dari metode pengukuran membran lemon secara langsung dapat diperoleh pula nilai kapasitansi membran. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi maka nilai kapasitansinya menurun. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.

Pengaruh Variasi Suhu terhadap Konduktansi

Mekanisme transport ion melalui pori membran merupakan model yang tepat untuk analisa pengaruh suhu terhadap perubahan pori-pori dan energy *barrier* membran. Besarnya pori-pori dan energy *barrier* membran menunjukkan karakteristik dari membran yang digunakan.

Peningkatan suhu larutan eksternal menyebabkan semakin banyak ion dan elektron yang bergerak cepat melewati

pori membran. Pergerakan ion-ion ini disebabkan oleh energi kinetik ion-ion dalam larutan sehingga banyak arus yang melewati membran. Arus ini muncul karena adanya beda potensial akibat gradien konsentrasi bagian kanan dan kiri membran. Pada bagian kiri membran konsentrasinya jauh lebih besar dari pada bagian kanan berturut-turut sebesar 0,1 M dan 0,01 M.



Gambar 9. Grafik hubungan 1/T terhadap ln G membran lemon.

Fenomena transport ion dapat diamati dengan pendekatan energy *barrier* dimana dapat diperoleh melalui slope/kemiringan grafik hubungan 1/T terhadap ln G yang biasa disebut dengan perubahan energy diri membran (ΔU) pada Gambar 9. Pada grafik tersebut masing-masing ulangan memiliki koefisien deterministik yang tidak jauh berbeda yaitu sebesar 0,9697 dan 0,9914 atau dalam persen sebesar 96,97% dan 99,14%. Nilai koefisien deterministik yang mendekati 100% ini menunjukkan bahwa ada korelasi antara 1/T dengan ln G dan juga menunjukkan bahwa data tersebut mendekati teori.

Kurva hubungan ln G dan 1/T cenderung linier dengan kemiringan negative sebesar -1484,7 dan -1292. Hal ini menunjukkan nilai konduktansi memiliki kebergantungan terhadap suhu dengan perubahan energi diri sebesar 1484,7 dan 1292. Kenaikan suhu menyebabkan energy kinetic meningkat sehingga pergerakan ion lebih cepat yang akhirnya menyebabkan nilai konduktansi membran meningkat sehingga secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap karakteristik membran tersebut.

KESIMPULAN

Mekanisme transport ion yang melewati membran lemon dapat dikaji melalui pengukuran konduktansi baik secara langsung maupun dalam larutan elektrolit.Perubahan frekuensi dan suhu mempengaruhi nilai konduktansi membran yang juga mempengaruhi mekanisme transport yang terjadi.

Semakin tinggi frekuensi maka nilai konduktansinya akan semakin besar. Nilai konduktansi membran basah lebih tinggi dari pada membran kering karena pada membran basah masih terkandung cairan buah yang sifatnya lebih konduktif. Pengaruh suhu juga mempengaruhi nilai konduktansi membran. Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula nilai konduktansi membran lemon dalam larutan elektrolit. Kurva hubungan antara 1/T terhadap ln G berbanding linier negative dimana slope/kemiringannya menunjukkan besarnya energi diri membran sehingga dapat diperoleh ukuran pori membran sebesar 0,745 nm dan 0,856 nm.

DAFTAR PUSTAKA

Azizah, F. 2008. *Kajian Sifat Listrik Membran Selulosa Asetat yang Direndam dalam Larutan Asam Klorida dan Kalium Hidroksida*. Bogor: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor

Baker RW. 2004. *Membrane Technology and Application.* 2nd Edition. Menlo Park, California: Membrane Technologi and Research, Inc.

Cahyani, Rani. 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Membran Polisulfon Didadah Karbon Aktif untuk Filtrasi Air*. Bogor: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Penegetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.

Coster, H.G.L. et al. 1992. *Characterisation of Ultrafiltration Membrane by Impedance Spectroscopy*. J. Determination of Separate Electrical Parameter and Porosity of the Skin and Sublayers. Journal of Membrane Science 66, Elsexier Scince B.V. Amsterdam. pp: 19-26.

Ejaz, S., Ejaz, A., Matsuda, K., & Chae, W. L. (2006). *Limonoids as Cancer Chemopreventive Agents*. Journal of the Science of Food and Agriculture,86, 339–345.

Gea, Sahaman. Andriyani. Sovia Lenny. 2005. *Pembuatan Elektroda Selektif – Ion Cu (II) dari Kitosan Polietilen Oksida.* Padang: Universitas Sumatera Utara

Ginanjar, Reza P. 2004. *Penentuan Fluks Volum dan Koefisien Rejeksi Membran Polimer dengan Variasi Berat Molekul Aditif.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Hertog, M. G., Hollman, P. C. H., Katan, M. B., & Kromhout, D. (1993). *Dietary Antioxidant Flavonoids and Risk of Coronary Heart Disease*. Lancet, 342, 1007–1011.

Iglesias *et. al.* 2007. *Physiology of Citrus Fruiting*. Braz. J. Plant Physiol., 19(4):333-362.

Juasah, Jajang. 2000. *Karakteristik Arus Tegangan Membran Poliulfon dalam Larutan Elektrolit pada Berbagai Frekuensi, Konsentrasi Suhu,* Bogor: Institiut Pertanian Bogor.

Ladaniya, M. 2008. *Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation*. San Diego: Academic Press, Elsevier.

Maryati, Ratih Eka. 2003. *Pengaruh Protein terhadap Konduktansi Listrik Membran Filtrasi pada*

Berbagai Suhu. Bogor: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.

Mulder, Marcel. 1991. *Basic Principle of Membrane Technology*. Kluwer Academy Publisher. Netherlands.

Notodarmojo, Suprihanto. dkk. 2004. *Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Proses Membran Ultrafiltrasi Dua-tahap Aliran Cross-flow.* Jurnal Sains dan Teknologi Institut Teknologi Bandung Vol. 36A No. 1, Hal. 45-62.

Pellegrino J. 2000. Filtration and ultrafiltration equipment and techniques. *Separation and Purification Methods*, 29(1):91–118.

Rakhmanudin, M. 2005. *Karakteristik Kelistrikan Membran Selulosa Asetat dalam Berbagai Tingkat Keasaman Larutan.* Bogor : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.

Rustami, Erus. 2010. *Karakterisasi Listrik Membran Jeruk Keprok (Citrus reticulata).* Bogor: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.

Sarwono, B. 1994. *Jeruk dan Kerabatnya*. Penebar Swadaya, Jakarta.

Smith, J.R., K. Dahlan and H.G.L. Coster. 1993. *The Estimation Pore Diameter by Electrical Measurement*. Commonwealth Center for Membrane Science and Technology. New South Wales.

Tipler, Paul A. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2 Edisi Ketiga*. (diterjemahkan Bambang Soegijono). Jakarta: Erlangga.

Woodroof, J.G., Bor, S.L. 1975. *Commercial Fruit Processing.* AVI Publ. Comp. Inc., Westport Connecticut.

Young, Hugh dan Roger A Freedman. 2003. *Fisika Universitas Jilid 2 Edisi Kesepuluh.* (diterjemahkan Pantur Silaban). Jakarta: Erlangga.