

Penentuan Permittivitas dan Konduktivitas Sel Telur Ikan dengan Memanfaatkan Proses Dielektroforesis

Much. Azam¹ dan Idham Arif²

¹ Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang

² Jurusan Fisika, FMIPA, ITB Bandung

ABSTRAK

Proses dielektroforesis terjadi pada sel telur ikan mas (*Cyprinus Carpio*) yang berada di dalam medan listrik AC. Sel telur ikan akan bergerak lateral akibat gaya dielektroforesis. Besar gaya tergantung pada permittivitas dan konduktivitas listrik dari membran sel, sitoplasma dan medium sel. Dengan mengukur kecepatan gerak sel telur ikan dan mensimulasikannya, maka permittivitas dan konduktivitas listrik sel dapat ditentukan.

Dari hasil penelitian diketahui nilai konduktivitas membran, konduktivitas sitoplasma dan permittivitas membran sel telur ikan mas pada frekuensi listrik 54,76 Hz berturut-turut adalah $(10,0 \pm 0,4)10^{-9} \text{ Sm}^{-1}$, $(0,12 \pm 0,05) \text{ Sm}^{-1}$ dan $(5,9 \pm 0,2) \epsilon_0$.

Kata Kunci : Dielektroforesis, Membran sel, Konduktivitas, Permittivitas.

Pendahuluan

Sel makhluk hidup dapat dibedakan berdasarkan permittivitas dan konduktivitas dari membran sel dan sitoplasmanya. Perkembangan peralatan dan metode pengukuran pada penentuan sifat-sifat dielektrik dari sampel biologi telah mendorong terjadinya peningkatan usaha di bidang Biofisika. Rajewski dan kawan-kawannya telah berhasil mengukur konduktivitas dari beberapa material, mencakup jaringan dan cairan biologi pada frekuensi beberapa KiloHertz sampai 100 MHz dengan menggunakan frekuensi radio [1]. Mahaworasilpa, Coster dan George (1994) menerapkan proses dielektroforesis dan elektrotorasi untuk menentukan permittivitas dan konduktivitas membran sel darah merah pada tikus dan manusia [2].

Hasil simulasi dengan menggunakan sel telur ikan mas menunjukkan bahwa perbedaan nilai parameter dielektrik (permittivitas), konduktansi listrik sel, medium sel dan jari-jari sel berpengaruh terhadap tampilan spektrum frekuensi pada proses dielektroforesis. Masing-masing parameter memiliki pengaruh yang berbeda pada daerah frekuensi medan listrik AC yang berbeda [3].

Gaya dielektroforesis dipengaruhi juga oleh gradien medan listrik AC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya dielektroforesis berbanding lurus dengan gradien medan listrik kuadrat (∇E^2). Besar gradien ini dapat divariasikan dengan mengubah beda tegangan antara dua elektroda [4].

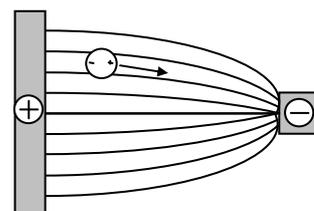
Dengan mengukur kecepatan gerak sel telur ikan mas akibat gaya dielektroforesis dan mensimulasikannya, maka permittivitas dan konduktivitas listrik sel dapat ditentukan.

Pada tulisan ini dibahas hasil pengukuran permittivitas dan konduktivitas listrik sel telur ikan dengan memanfaatkan proses dielektroforesis. Dalam simulasi digunakan sel model kulit bola.

Dasar Teori

1. Gaya Dielektroforesis

Pada gambar 1 terlihat partikel dielektrik berada dalam medan tak seragam. Medan listrik akan menyebabkan terjadinya polarisasi (pemisahan muatan) dalam partikel. Interaksi momen dipol listrik induksi dengan medan listrik menimbulkan sebuah gaya. Karena perbedaan distribusi muatan listrik dalam partikel, gaya tersebut akan menyebabkan partikel bergerak ke daerah dimana intensitas medan listriknya lebih besar. Jika polaritas elektroda dibalik, muatan listrik dalam partikel meloncat ke sisi yang lain, tetapi arah gaya tidak berubah.



Gambar 1. Skema partikel yang terpolarisasi di dalam sistem elektroda titik-bidang [5].

Gaya tergantung pada momen dipol induksi dan tidak terpengaruh oleh arah medan listrik, tetapi hanya berkaitan dengan gradien medan listrik. Oleh sebab itu gaya ini dapat dibangkitkan dengan medan listrik AC. Efek ini disebut Dielektroforesis oleh Pohl (1978)[6].

Gaya dielektroforesis yang bekerja pada partikel dielektrik, berbentuk bola dan homogen dituliskan [5]:

$$F_{DEP} = 2\pi\epsilon_s R^3 \nabla (E^2) \text{Re}[f(\omega)] \quad (1)$$

dengan E adalah kuat medan listrik akar kuadrat rata-rata (*rms.*).

Disamping tergantung pada frekuensi medan listrik, besar gaya ini dipengaruhi juga oleh lebih sukar atau mudahnya partikel terpolarisasi dibanding medium. Disebut dielektroforesis positif jika partikel bergerak ke daerah dengan kuat medan listrik lebih tinggi dan sebaliknya disebut dielektroforesis negatif jika partikel meninggalkan daerah tersebut [5].

2. Medan Listrik

Kuat medan listrik luar (E) yang dihasilkan oleh dua elektroda sejajar yang berjarak d , jari-jari a dan diberi tegangan V memenuhi persamaan [4]:

$$E^2 = \left[\frac{Vd}{2 \ln\left(\frac{d-a}{a}\right)} \right]^2 \left[\frac{1}{\left[\frac{d^2}{4}\right]^2} + \frac{1}{\left[\frac{d^2}{4} - z^2\right]^2} \right] \dots\dots\dots(2)$$

Jika operator del dikenakan pada persamaan (2) maka akan dihasilkan :

$$\nabla(E^2) = \frac{V^2 d^2}{2 \ln\left(\frac{d-a}{a}\right)} \frac{z\hat{z}}{\left[\frac{d^2}{4} - z^2\right]^3} \quad (3)$$

3. Momen Dipol Listrik

Momen dipol listrik sel model kulit bola akibat induksi medan listrik E dapat dituliskan [3]:

$$\mu(\omega) = 4\pi R^3 \epsilon_s f(\omega) E \quad (4)$$

Fungsi kompleks $f(\omega)$ dinamakan faktor Clausius-Mossotti dan didefinisikan sebagai berikut:

$$f(\omega) = \left[\frac{\epsilon'_{eff} - \epsilon'_s}{\epsilon'_{eff} + 2\epsilon'_s} \right] \quad (5)$$

- dimana ϵ'_s = permittivitas kompleks medium
- ϵ'_{eff} = permittivitas kompleks efektif partikel
- ω = frekuensi sudut medan listrik

Menurut Maxwell, untuk partikel berbentuk bola tidak homogen dengan kulit dielektrik yang menutupi bahan konduktor bagian dalam, maka konduktivitas dari partikel model kulit dapat diganti dengan bola homogen yang ekuivalen dengan konduktivitas kompleks efektif σ'_{eff} yang dituliskan

$$\sigma'_{eff} = -\frac{\sigma'_m [2(R-\delta)^3 (\sigma'_c - \sigma'_m) + R^3 (\sigma'_c + 2\sigma'_m)]}{[(R-\delta)^3 (\sigma'_c - \sigma'_m) - R^3 (\sigma'_c + 2\sigma'_m)]} \dots\dots\dots(6)$$

- dimana ϵ'_m = permittivitas kompleks kulit partikel (membran)
- ϵ'_c = permittivitas kompleks bagian dalam partikel (sitoplasma)
- σ'_m = konduktivitas kompleks kulit partikel (membran)
- σ'_c = konduktivitas kompleks bagian dalam partikel (sitoplasma).

Penggunaan konduktivitas kompleks untuk mempertimbangkan kenyataan bahwa partikel dan medium menunjukkan sifat-sifat konduksi dan dielektrik ketika dikenai medan listrik. Simbol j menandakan bahwa arus pergeseran dielektrik mendahului arus konduksi dengan sudut fase 90° . Arus konduksi ditunjukkan oleh komponen riil dari konduktivitas kompleks, sedangkan komponen imajiner menunjukkan besar arus pergeseran dielektrik.

Karena $\sigma' = j\omega\epsilon'$ maka persamaan diatas dapat diubah menjadi [2]:

$$\epsilon'_{eff} = -\frac{\epsilon'_m [2(R-\delta)^3 (\epsilon'_c - \epsilon'_m) + R^3 (\epsilon'_c + 2\epsilon'_m)]}{[(R-\delta)^3 (\epsilon'_c - \epsilon'_m) - R^3 (\epsilon'_c + 2\epsilon'_m)]} \dots\dots\dots(7)$$

Partikel yang berada di dalam medium dengan viskositas η , berbentuk bola (jari-jari R) dan bergerak secara translasi di bawah

pengaruh gaya dielektroforesis (F_{DEP}) akan diimbangi oleh gaya Stoke (F_{η}), dimana $F_{\eta} = -6\pi\eta\epsilon_s Rv$. Dengan menggunakan persamaan (1) maka kecepatan gerak partikel dapat ditentukan sebagai berikut [2]:

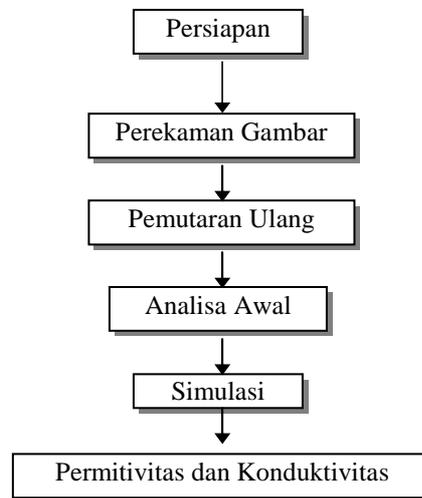
$$v = \frac{\epsilon_s R^2 \text{Re}[f(\omega)] \nabla(E^2)}{3\eta} \quad (8)$$

Metoda Penelitian

Penentuan permitivitas dan konduktivitas membran sel dengan memanfaatkan gaya dielektroforesis pada sel ikan mas (*Cyprinus Carpio*) dalam akuades dapat dilakukan dengan empat tahap, yaitu: studi literatur, pembuatan program simulasi, pengambilan data (perekaman gambar) dan simulasi. Penentuan atau pengukuran gerak sel ikan emas dilakukan dengan menggunakan alat yang terdiri dari handycam, mikroskop, komputer dan sumber tegangan dan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

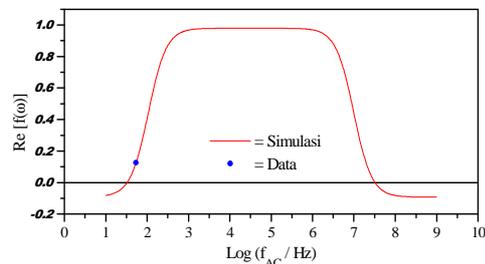
1. Pengambilan sel telur dari perut ikan mas.
2. Sel telur ditaruh di dalam medium yang berisi aquades dan terletak diantara dua buah elektroda yang terbuat dari besi. Jari-jari elektroda = $(2,375 \pm 0,005) \cdot 10^{-3}$ m.
3. Medium diletakan di bawah mikroskop dengan perbesaran 40x.
4. Menghidupkan peralatan perekaman yang terdiri dari Video Handycam dan Komputer.
5. Elektroda diberi tegangan listrik AC dari generator sinyal atau dari sumber tegangan AC PLN setelah melewati pengatur tegangan.
6. Setelah sumber tegangan AC dihidupkan, rekam gerakan sel selama 5 detik dengan menggunakan program perekaman gambar dari TV Tuner.
7. Lakukan langkah 5 dan 6 untuk variasi tegangan listrik AC :20 –100 V.
8. Jalankan hasil rekaman per frame dengan menggunakan program media player yang ada dalam program Windows. Ukur jari-jari dan posisi sel dan waktu yang dibutuhkan. Dengan data tersebut dapat ditentukan kecepatan rata-rata gerak sel telur ikan mas.
9. Untuk memperkecil ukuran file hasil rekaman, ubah format file dari AVI ke MPEG dengan program Blaze Media Player.

Penentuan permittivitas dan konduktivitas listrik sel dilakukan dengan memasukkan data yang diperoleh dari langkah (8) dan disimulasikan dengan Program Proses Dielektroforesis. Urutan tahap-tahap penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok prosedur penelitian.

Hasil dan Pembahasan



Gambar 4. Plot simulasi terhadap data eksperimen, untuk sel berjari $(6,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$ m.

Permittivitas membran sel, konduktivitas membran sel, konduktivitas medium dan konduktivitas sitoplasma ditentukan dengan mensimulasikan parameter tersebut menggunakan program simulasi dielektroforesis. Sebagai acuan simulasi digunakan nilai $\text{Re}[f(\omega)]$ untuk tiap macam sel (lihat tabel 1). Adapun permittivitas akuades (medium), permittivitas sitoplasma dan viskositas akuades diambil dari referensi [7]. Dalam simulasi diasumsikan bahwa tebal membran sel 10 nm. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.

Pada gambar tersebut tampak titik data penelitian terletak tepat pada spektrum

dielektroforesis hasil simulasi. Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi dan merupakan hasil estimasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter hasil simulasi.

No	Parameter	Hasil
1.	σ_e (Sm^{-1})	$(7,98 \pm 0,30) 10^{-4}$
2.	σ_c (Sm^{-1})	$(1,20 \pm 0,05) 10^{-1}$
3.	σ_m (Sm^{-1}) ^e	$(10,0 \pm 0,4) 10^{-9}$
4.	ϵ_s^r	$80,4 \epsilon_0$
5.	ϵ_c^r	$60 \epsilon_0$
6.	ϵ_m^e	$(6,10 \pm 0,23) \epsilon_0$
7.	Rsel (m) ^p	$(6,0 \pm 0,5) 10^{-4}$

Keterangan :

^r = Nilai dari referensi,

^e = Hasil estimasi

^p = Hasil pengukuran

ϵ_0 = Permittivitas ruang hampa

Kesimpulan

Permittivitas dan konduktivitas listrik pada sel telur ikan mas berhasil ditentukan dengan mengukur kecepatan gerak sel dan simulasi menggunakan Program simulasi proses dielektroforesis. Hasil estimasi untuk sel telur ikan berjari-jari $(6,0 \pm 0,5) 10^{-4}$ m diperoleh:

$$\sigma_s = (7,98 \pm 0,30) \text{ mSm}^{-1}$$

$$\sigma_m = (10,0 \pm 0,4) 10^{-9} \text{ Sm}^{-1}$$

$$\sigma_c = (0,12 \pm 0,05) \text{ Sm}^{-1}$$

$$\epsilon_m = (6,10 \pm 0,23) \epsilon_0.$$

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Idham Arif, Staf Fisika ITB yang telah memberikan izin pada penulis

menggunakan fasilitas di Lab. Biofisika ITB selama melakukan eksperimen.

Daftar Pustaka

- [1] Foster, K.R. dan Schwan, H.P., 1996, *Dielectric Properties of Tissues* dalam *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, CRC Press, Inc, U.S
- [2]. Mahaworasilpa, T.L., Coster, H.G.L dan George, E.P., 1994, *Forces On Biological Cells Due to Applied Alternating (AC) Electric Fields*, *Dielectrophoresis*, *Biochimica et Biophysica Acta* 1193, 118-126
- [3] Azam, M, 2001, *Studi Spektrum Dielektroforesis pada Sel Telur Ikan (Ciprinus Carpio)*, *Berkala Fisika*, Volume 4, Nomor 1.
- [4] Azam, M, 2001, *Pengaruh Gradien Medan Listrik Terhadap Kecepatan Sel Telur Ikan pada Proses Dielektroforesis*, *Berkala Fisika*, Volume 4, Nomor 3.
- [5] Hughes, M.P, 1999, *AC Electrokinetics Application for Nanotechnology*, <http://www.foresight.org/Conferences/MNT7/Paper/Hughes/index.html>.
- [6] Pohl, H.A, 1978, *Dielectrophoresis*, Cambridge, Cambridge University
- [7] Claveland, 1987, *Hand Book of Chemistry and Physics*, edisi 67, CRC Press Inc.