

Penentuan Konduktivitas Listrik dan Frekuensi Karakteristik Sel Ragi dengan Memanfaatkan Proses Dielektroforesis

Much. Azam, Wahyu Setia Budi, dan Hermin Pancasakti

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro, Semarang

Abstract

Dielectrophoretic (DEP), a phenomenon where small particles such as yeast cells are manipulated by non-uniform electric fields. The net dielectrophoretic force is proportional to the polarisability of the cell and cause this cell moving toward higher field. By measuring velocity of the cell on the various frequency of the electric field, it can determine the electrical conductivity and the characteristic frequency of the yeast cells. The results showed that the conductivity of the yeast cell was $(10,0 \pm 0,4)10^{-9} \text{ Sm}^{-1}$ and the characteristic frequency was 60 kHz.

Key words: Dielectrophoresis, cell membrane, electrical conductivity, yeast cell

Pendahuluan

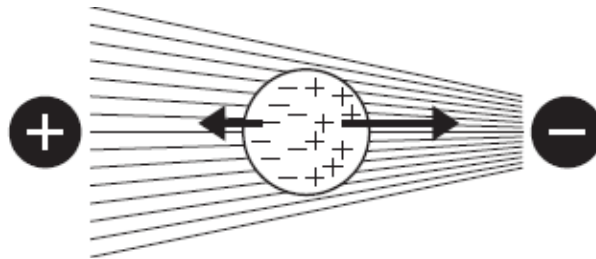
Sel mikroba dapat dibedakan berdasarkan permitivitas dan konduktivitas dari membran sel dan sitoplasmanya. Perkembangan peralatan dan metode pengukuran pada penentuan sifat-sifat dielektrik dari sampel biologi telah mendorong terjadinya peningkatan usaha di bidang biofisika. Konduktivitas dari beberapa material, mencakup jaringan dan cairan biologi pada frekuensi beberapa kHz sampai 100 MHz telah berhasil diukur menggunakan frekuensi radio (Foster dan Schwan, 1996). Mahaworasilpa *et al.* (1994) menerapkan proses dielektroforesis dan elektrotasi untuk menentukan permitivitas dan konduktivitas membran sel darah merah pada tikus dan manusia.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbedaan nilai parameter dielektrik (permitivitas), 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 (Azam, 2001).

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 (Azam, 2001). Dengan mengukur kecepatan gerak sel telur ikan mas akibat gaya dielektroforesis dan mensimulasikannya, maka permitivitas dan konduktivitas listrik sel dapat ditentukan. Metode ini telah digunakan untuk pemisahan bakteri jenis Gram-positif (Markx *et al.*, 1994), pelabelan bakteri, penggabungan sel, deteksi bakteri patogen dalam darah, pemisahan sel tumor dari sumsum tulang, pengujian sensitivitas antibiotika dan pemisahan virus dari plasma. Aldaeus memperkenalkan dua konsep baru untuk pemisahan secara dielektroforesis dan pengukuran sifat dielektrik dari biopartikel (Aldaeus, 2006). Penggunaan cahaya laser untuk menimbulkan induksi dielektroforesis pada manipulasi DNA dilakukan oleh Marco Hoeb *et al.* (2007).

Dari penelitian yang telah dilakukan dicoba suatu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari mikroba dengan memanfaatkan fenomena dielektroforesis. Dengan sistem ini diharapkan akan diperoleh suatu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi mikroba yang lebih unggul dibanding alat atau metode pendeteksi yang telah ada sebelumnya karena hasilnya lebih cepat diketahui, murah, lebih akurat dan dapat mendeteksi jenis mikroba yang tidak dapat dideteksi oleh alat lain. Penelitian difokuskan pada penggunaan metode dielektroforesis untuk menentukan konduktivitas listrik dan frekuensi karakteristik dari sel ragi (*yeast cell*) dengan mengasumsikan bahwa sel fungi berbentuk bola.

Partikel dielektrik berada dalam medan tidak seragam. Medan listrik akan menyebabkan terjadinya polarisasi (pemisahan muatan) dalam partikel (Gambar 1). 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 dengan 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 dua elektroda tidak homogen pada dielektroforesis (Aldeus *et al.*, 2006).

Figure 1. The graph of polarized particles in non-homogenous two system electrode on the dielectrophoresis (Aldeus *et al.*, 2006)

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

Gaya dielektroforesis yang bekerja pada partikel dielektrik, berbentuk bola dan homogen dinyatakan oleh Hughes (1999) sebagai berikut:

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

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

Momen dipol listrik sel model kulit bola akibat induksi medan listrik E dapat dinyatakan oleh Azam (2001) sebagai berikut:

$$\mu(\omega) = 4\pi R^3 \epsilon_s f(\omega) E \dots\dots\dots (2)$$

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), dengan $F_\eta = -6\pi\eta\epsilon_s Rv$. Dengan menggunakan persamaan (1) maka kecepatan gerak partikel dapat ditentukan sebagai berikut (Mahaworasilpa *et al.*,1994):

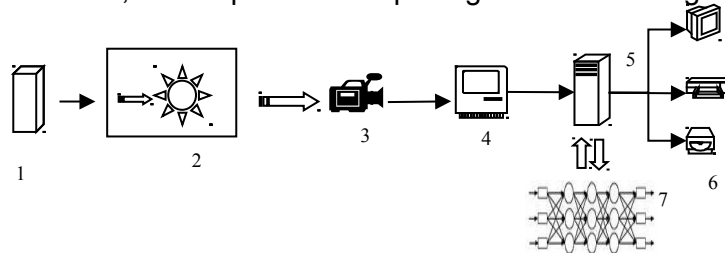
$$v = \frac{\epsilon_s R^2 \text{Re}[f(\omega)] \nabla(E^2)}{3\eta} \dots\dots\dots (3)$$

Materi dan Metode

Penentuan konduktivitas sel ragi dan pengukuran kecepatan gerak sel ragi dilakukan dengan menggunakan alat yang terdiri dari handycam (kamera CCD), mikroskop, komputer dan sumber tegangan AC yang disusun seperti pada gambar 2. Sampel sel ragi diencerkan kemudian diletakkan dalam medium yang berisi akuades dan terletak diantara dua buah elektroda yang terbuat dari emas. Medium diletakkan di bawah mikroskop dengan perbesaran 400x. Elektroda diberi tegangan listrik AC dari generator

sinyal dengan frekuensi yang bervariasi. Gambar sel yang diperoleh direkam dengan Video Handycam yang terhubung Komputer. Hasil rekaman diolah dengan software simulasi dielektroforesis, sehingga dapat diketahui konduktivitas sel ragi dan kecepatan rata-rata gerak sel ragi.

Secara keseluruhan, sistem peralatan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. Sistem dielectrophoresis

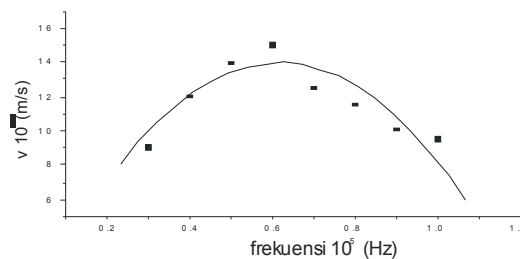
Figure 2: Dielectrophoretic system

Keterangan:

1. perangkat pembangkit medan listrik AC
2. Pemisah mikroba terdiri dari elektroda emas, media, sampel, dan perangkat optik
3. Perekam citra
4. TV Capture
5. Komputer
6. Periferan Input/Output (I/O) yaitu monitor, printer, disk drive/hard disk
7. Program simulasi

Hasil dan Pembahasan

Kecepatan sel ragi optimal pada frekuensi 6×10^4 Hz. Data nilai frekuensi karakteristik yang diperoleh dapat digunakan untuk memisahkan mikroba tersebut dari mikroba jenis yang lain (Gambar 3).



Gambar 3. Grafik hubungan antara frekuensi medan AC dengan kecepatan gerak sel ragi
Figure 3. Relationship between frequency of electric current and yeast velocity

Pengaruh ukuran sel terhadap gaya dielektroforesis dapat diketahui dengan membuat grafik kecepatan rata-rata sel sebagai fungsi $\nabla (E^2)$ untuk beberapa sel dengan ukuran yang berbeda. Nilai $\text{Re}[f(\omega)]$ yang diperoleh dari gradien grafik digunakan untuk menunjukkan besar gaya dielektroforesis yang bekerja pada sel. Penelitian menggunakan dua macam sel ragi dengan ukuran sel yang berbeda. Hasil pencocokan data dengan garis linier menggunakan program Origin 40 bahwa nilai $\text{Re}[f(\omega)]$ dari ke dua sel (Tabel 1).

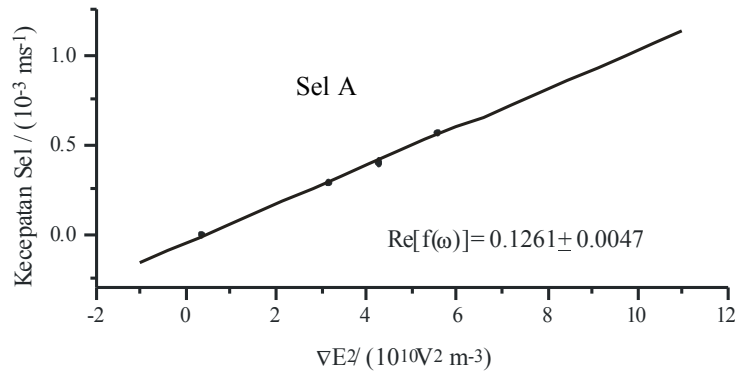
Tabel 1. Nilai $\text{Re}[f(\omega)]$

Table 1. The value of $\text{Re}[f(\omega)]$

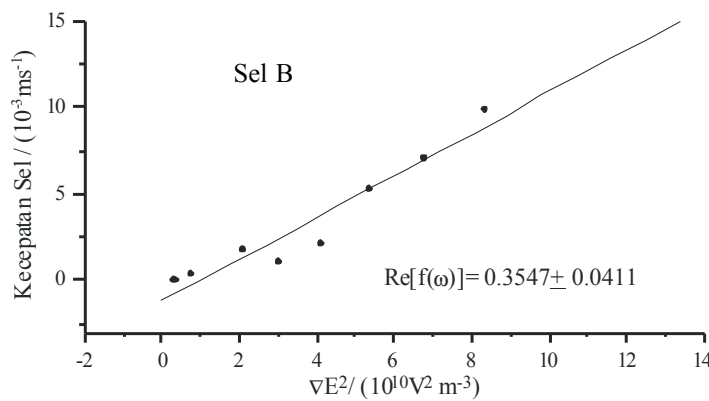
No.	Jenis mikroba	$R_{\text{sel}} (10^{-6} \text{ m})$	$\text{Re}[f(\omega)]$
1.	A	$6,0 \pm 0,5$	$0,1261 \pm 0,0047$
2.	B	$12,0 \pm 0,5$	$0,3547 \pm 0,0411$

Nilai $Re[f(\omega)]$ dipengaruhi oleh ukuran sel. Semakin besar ukuran sel, semakin besar nilai $Re[f(\omega)]$ -nya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya dielektroforesis akan semakin besar jika ukuran sel juga semakin besar.

Semakin besar gradien medan listrik kuadrat akan menyebabkan kecepatan gerak mikroba meningkat. Pengaruh besar gradien medan listrik kuadrat ($\nabla(E^2)$) terhadap kecepatan gerak sel dapat dilihat gambar 4.a dan 4.b.

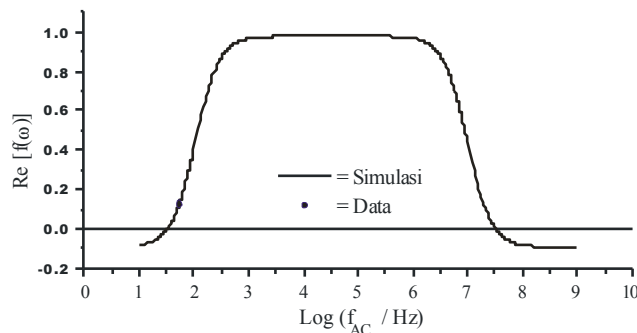


Gambar 4a. Grafik kecepatan rata-rata sel sebagai fungsi $\nabla(E^2)$ untuk sel A.
 Figure 4a. Mean velocity of the cells as a function of $\nabla(E^2)$ in cell A



Gambar 4b. Grafik kecepatan rata-rata sel sebagai fungsi $\nabla(E^2)$ untuk sel B.
 Figure 4b. Mean velocity of the cells as a function of $\nabla(E^2)$ in cell B

Permitivitas membran sel, konduktivitas membran sel, konduktivitas medium dan konduktivitas sitoplasma ditentukan dengan mensimulasikan parameter tersebut menggunakan program simulasi dielektroforesis. Sebagai acuan simulasi, nilai $Re[f(\omega)]$ untuk tiap macam sel (Tabel 1) digunakan. Permitivitas akuades (medium), permitivitas sitoplasma dan viskositas akuades diambil dari referensi (Claveland, 1987). Dalam simulasi diasumsikan bahwa tebal membran sel 10 nm. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 5.



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

Figure 5. Simulated plot of the experimental data for the cells with radii of $(6,0 \pm 0,5)10^{-6}$ m

Pada gambar tersebut tampak titik data penelitian terletak tepat pada spektrum dielektroforesis hasil simulasi. Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi dan merupakan hasil estimasi (Tabel 2).

Tabel 2. Parameter hasil simulasi.
Table 2. Resulted simulation parameters

No	Parameter	Hasil
1.	σ_c (Sm^{-1})	$(1,20 \pm 0,05)10^{-1}$
2.	σ_m (Sm^{-1})	$(10,0 \pm 0,4)10^{-9}$

Kesimpulan

Nilai konduktivitas listrik membrane sel dari sel ragi sebesar $(10,0 \pm 0,4)10^{-9} \text{ Sm}^{-1}$ dan $(0,12 \pm 0,05) \text{ Sm}^{-1}$ dan diperoleh frekuensi karakteristiknya sebesar 60 kHz.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DP2M DIKTI yang telah memberi dana penelitian lewat Hibah HPSN.

Daftar Pustaka

- Azam, M., 2001. Pengaruh gradien medan listrik terhadap kecepatan sel telur ikan pada proses dielektroforesis. Berkala Fisika 4(3).
- Aldaeus,,F., Yuan Lin, Amberg, G., Roeraade, J., 2006. Simulation of dielectrophoretic motion of microparticles, using a molecular dynamics approach, Submitted to Proceedings of ASME ICNMM 2006 – 4th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels (2006), Limerick, Ireland, June 19-21, 2006.
- Claveland, 1987, Handbook of chemistry and physics. Edisi 67. CRC Press Inc.
- Foster,K.R. and Schwan, H.P., 1996. Dielectric properties of tissues. In: Polk, C. and Postow, E. (Eds). Handbook of biological: Effect of electromagnetic fields. CRC, Press, Inc., London.
- Hughes, M.P, 1999, AC electrokinetics application for Nanotechnology, <http://www.foresight.org/Conferences /MNT7/Paper/Hughes/index.html>.
- Hoeb, M., Radler,J.O., Klein, S., Stutzmann, M., and Brandt, M.S., 2007. Light-induced dielectrophoretic manipulation of DNA. Biophysical Journal 93(3), 1032-1038.
- Mahaworasilpa, T.L , Coster, H.G.L., and George, E.P., 1994. Forces on biological cells due to applied alternating (AC) electric fields,dielectrophoresis. Biochimica et Biophysics Acta 1193,118-126.
- Markx, G.H., Huang, Y., Zhou, X-F. and Pethig, R., 1994. Dielectrophoretic characterization and separation of micro-organisms. Microbiology 140, 585-591.
- Pohl, H.A, 1978. Dielectrophoresis. Cambridge University, Cambridge.