

## **Simulasi numerik gaya dielektroforesis pada biopartikel berbentuk bola**

M. Azam

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang  
E-mail: [azamfisika@gmail.com](mailto:azamfisika@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*This paper presents results of simulations of the electric field and dielectrophoretic force on a bioparticle suspended in a host liquid lying between point-plate electrodes. The method of calculation is based on the method of dipole images using the finite-element technique. We have investigated the effect of the bioparticle permittivity, and liquid permittivity on the dielectrophoresis spectrum. The results show that the bioparticle permittivity, and liquid permittivity influence to the dielectrophoresis spectrum on the different frequency range and the point-plate electrode configuration is suitable with dielectrophoresis system because the configuration can produce the inhomogen electric field.*

**Keywords:** Dielectrophoresis, sphere bioparticle, permittivity, point-plate electrode

### **ABSTRAK**

*Pada tulisan ini telah dilakukan simulasi medan listrik dan gaya dielektroforesis pada biopartikel dalam medium yang berada diantara elektroda titi-bidang. Metode penghitungan gambar dipol dan medan listrik didasarkan pada metode elemen hingga. Telah diteliti pula pengaruh permitivitas biopartikel maupun mediumnya terhadap spektrum dielektroforesis. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai permitivitas dari biopartikel dan mediumnya berpengaruh terhadap spektrum dielektroforesis pada daerah frekuensi yang berbeda dan konfigurasi elektroda titik-bidang sesuai untuk sistem dielektroforesis, karena menghasilkan medan listrik yang tak homogen.*

**Kata kunci:** Dielektroforesis, bio partikel berbentuk bola, permitivitas, elektroda titik bidang

## **PENDAHULUAN**

Bakteri merupakan sumber utama kontaminasi dalam air minum dan makanan sehingga dapat menimbulkan keracunan dan terjangkitnya penyakit. Meskipun monitoring konsentrasi bakteri yang sering dilakukan dapat mengurangi timbulnya penyakit yang berkaitan dengan makanan, penghitungan bakteri dalam medium makanan membutuhkan waktu yang lama dan sukar dilakukan. Menurut Bishop dkk [1], sampai saat ini metode yang sering digunakan untuk menghitung bakteri yaitu *standard plate count (SPC)* atau *psychrotrophic bacteria count (PBC)*, kedua metode ini dilakukan di dalam laboratorium dan butuh waktu yang lama.

Bakteri merupakan biopartikel yang 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. Rajewski dan kawan-kawannya telah berhasil mengukur konduktivitas dari beberapa material, mencakup jaringan dan cairan biologi pada frekuensi beberapa kHz sampai 100 MHz dengan menggunakan frekuensi radio [2]. Aldaeus [3] memperkenalkan dua konsep baru untuk pemisahan secara dielektroforesis dan pengukuran sifat dielektrik dari biopartikel.

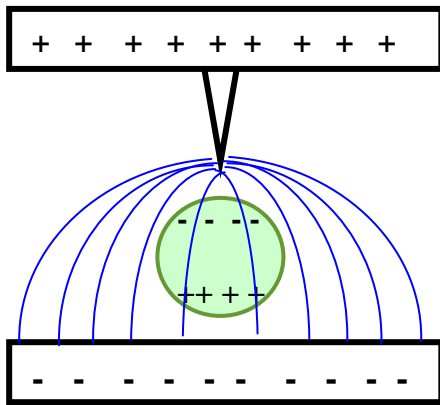
Dari penelitian yang telah dilakukan dicoba suatu metode yang dapat digunakan untuk memonitor pertumbuhan bakteri dengan memanfaatkan fenomena Dielektroforesis. Dalam tulisan ini akan difokuskan pada

analisa numerik menggunakan metode elemen hingga untuk menentukan pengaruh permitivitas bakteri, permitivitas medium dan jarak elektroda terhadap kuat medan listrik dan gaya dielektroforesis .

**DASAR TEORI**

**Dielektroforesis**

Pada Gambar 1 terlihat biopartikel dielektrik berada dalam medan tak homogen.. Medan listrik akan menyebabkan terjadinya polarisasi (pemisahan muatan) dalam partikel. Interaksi momen dipol listrik induksi dengan medan listrik menimbulkan sebuah gaya dielektroforesis.



**Gambar 1.** Skema biopartikel yang terpolarisasi di antara dua elektroda tak homogen

Perbedaan distribusi muatan listrik dalam biopartikel, menyebabkan biopartikel bergerak ke daerah yang memiliki intensitas medan listriknya lebih besar. Jika polaritas elektroda dibalik, muatan listrik dalam partikel meloncat ke sisi yang lain, tetapi arah gaya tidak berubah.

Momen dipol listrik biopartikel model kulit bola akibat induksi medan listrik  $E$  dapat menurut Mahaworasilpa dkk [4] dituliskan

$$\mu(\omega) = 4\pi\epsilon_s R^3 \left[ \frac{(\epsilon'_p - \epsilon'_s)}{(\epsilon'_p + 2\epsilon'_s)} \right] \mathbf{E} \quad (1)$$

dengan  $R$  : jari-jari biopartikel

$\epsilon'_s$  : permittivitas medium

$\epsilon_s$  : permittivitas kompleks medium

$\epsilon_p$  : permittivitas biopartikel

$\omega$  : frekuensi angular ( $=2\pi f$ )

$f$  : frekuensi medan listrik AC

$\sigma_s$  : konduktivitas medium.

Atau dapat dituliskan dalam bentuk lain:

$$\mu(\omega) = 4\pi\epsilon_s R^3 \kappa(\omega) \mathbf{E} \quad (2)$$

dengan  $\kappa$  menyatakan polarisabilitas atau faktor Clausius –Mossoti pada biopartikel (sel) model bola dan dapat dituliskan:

$$\kappa(\omega) = \frac{(\epsilon'_p - \epsilon'_s)}{(\epsilon'_p + 2\epsilon'_s)} \quad (3)$$

dan

$$\epsilon'_{i(i=p,s)} = \epsilon_i - j \frac{\sigma_i}{\epsilon_0 \omega} \quad (4)$$

dengan indek  $p$  dan  $s$  berturut-turut menyatakan partikel dan medium.  $\epsilon$  menyatakan permitivitas dari dielektrik,  $\sigma$  menyatakan konduktivitas dielektrik ,  $\omega = 2\pi f$  menyatakan frekuensi angular dari medan listrik dan  $j = \sqrt{-1}$  .

Gaya dielektroforesis yang bekerja pada biopartikel dielektrik berbentuk bola dan homogen menurut Hughes [5] dituliskan :

$$\mathbf{F}_{DEP} = 2\pi\epsilon_s R^3 \nabla (E^2) \text{Re}[\kappa(\omega)] \quad (5)$$

dengan  $E$  menyatakan medan listrik antara dua elektroda.

**Medan listrik antara dua Elektroda**

Menurut Baoyu Songa dkk [6] pada daerah dielektrik ideal, potensial listrik  $\phi$  ditentukan dengan persamaan poisson :

$$\nabla \cdot \epsilon_r \nabla \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Jika didalam medium ada rapat muatan dielektrik ( $\rho_d$ ) dan muatan ruang ( $\rho_s$ ) maka persamaan (5) bisa ditulis:

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho_d}{\epsilon_0} + \frac{\rho_s}{\epsilon_0} \quad (7)$$

atau dalam bentuk persamaan Gauss:

$$\iint_s \epsilon_r E \cdot nds = \frac{\iiint_V dV \rho_s}{\epsilon_0} \quad (8)$$

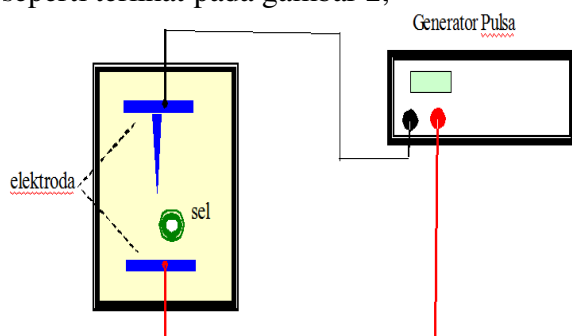
Untuk rapat muatan  $\rho=0$ , persamaan Laplace dapat digunakan untuk menyelesaikan kuat medan listrik antara dua elektroda dan persamaannya dituliskan:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (9)$$

Pada tulisan ini telah dilakukan simulasi pengaruh permitivitas biopartikel maupun mediumnya terhadap spektrum dielektroforesis dan penghitungan kuat medan listrik diantara elektroda titik-bidang.

## METODE PENELITIAN

Simulasi yang dilakukan didasarkan pada susunan peralatan dielektroforesis seperti terlihat pada gambar 2,



Gambar 2. Sistem Dielektroforesis

Sistem dielektroforesis terdiri dari sepasang elektroda yang terbuat dari emas dan dihubungkan dengan generator pulsa. Elektroda diletakkan dalam medium yang berisi aquabides dan diantara elektroda ditaruh

biopartikel. Jarak antara dua elektroda bisa divariasi. Jenis biopartikel dan media biopartikel bisa divariasi dengan nilai permitivitasnya yang berbeda-beda.

Simulasi pada gaya dielektroforesis yang dilakukan meliputi:

1. Variasi jarak elektroda terhadap medan listrik
2. Variasi permitivitas medium terhadap medan listrik
3. Variasi permitivitas biopartikel terhadap medan listrik

Pada penelitian ini, untuk simulasi medan listrik yang dihasilkan diantara dua elektroda yang dihubungkan dengan generator pulsa digunakan metode elemen hingga dengan bantuan program ESTAT 7.0 .

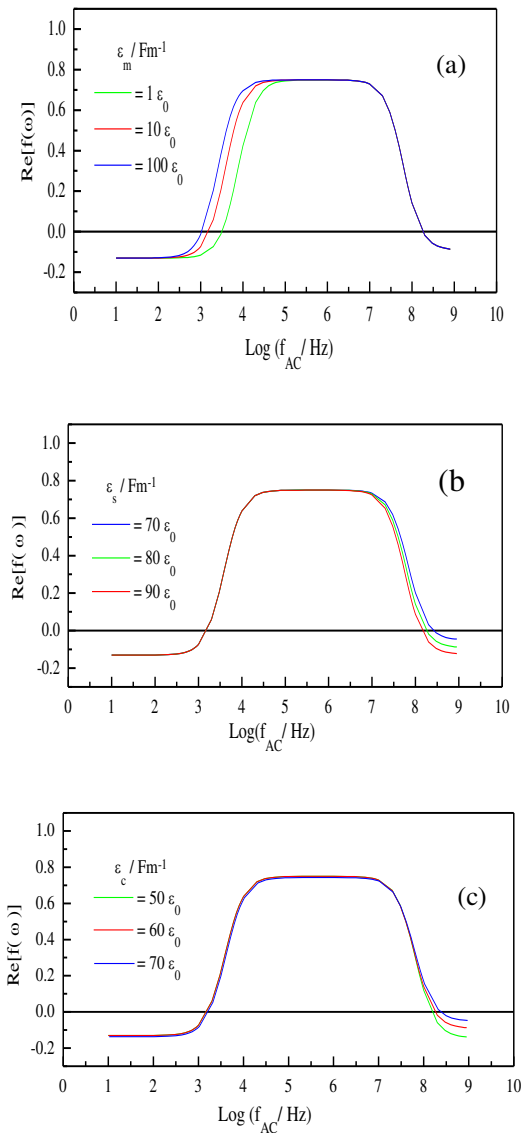
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Permitivitas Dielektrik Terhadap Spektrum Frekuensi Dielektroforesis.

Faktor Clausius –Mossoti tergantung pada frekuensi medan listrik AC sesuai persamaan (5). Dengan variasi frekuensi tersebut maka dapat dibuat spektrum frekuensi dielektrofotesisi. Spektrum ini dipengaruhi oleh pemilihan parameter dielektrik ( permitivitas ) dari sel. Secara umum perbedaan nilai permitivitas berpengaruh terhadap tampilan grafik. Pada gambar 3a, 3b dan 3c terlihat simulasi spektrum dielektroforesis dari partikel model bola untuk nilai permitivitas medium luar ( $\epsilon_s$ ), permitivitas sitoplasma ( $\epsilon_c$ ) dan permitivitas membran sel ( $\epsilon_m$ ) yang berbeda-beda. Parameter yang digunakan dalam simulasi:  $\sigma_s = 10^{-2} \text{ Sm}^{-1}$ ,  $\sigma_m = 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ ,  $\sigma_c = 0,1 \text{ Sm}^{-1}$ ,  $\epsilon_s = 80 \epsilon_0$ ,  $\epsilon_m = 10 \epsilon_0$ ,  $\epsilon_c = 60 \epsilon_0$  dan  $R_{\text{sel}} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ .

Pada Gambar 3.a terlihat bahwa untuk daerah frekuensi  $10^2 - 10^5 \text{ Hz}$ , perbedaan nilai permitivitas membran sel ( $\epsilon_m$ ) sangat berpengaruh terhadap nilai  $\text{Re}[f(\omega)]$ . Semakin besar nilai  $\epsilon_m$  semakin

besar pula nilai  $\text{Re}[\square f(\omega)]$ -nya, sedangkan untuk daerah frekuensi kurang dari  $10^2$  Hz maupun lebih dari  $10^5$  Hz, perbedaan nilai  $\epsilon_m$  tidak berpengaruh terhadap tampilan spektrum.



**Gambar 3.** Spektrum Dielektroforesis untuk parameter dielektrik yang berbeda:  
 (a) Permittivitas membran sel  
 (b) Permittivitas medium  
 (c) Permittivitas Sitoplasma

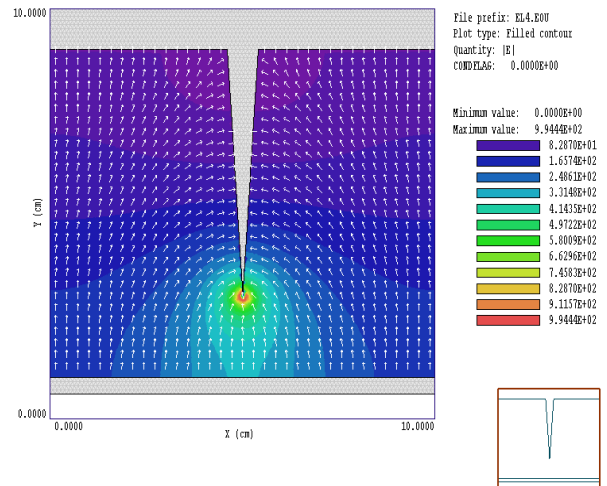
Pengaruh perbedaan nilai permittivitas medium luar tempat sel ( $\epsilon_s$ ) terhadap nilai  $\text{Re}[\square(\omega)]$  dapat dilihat pada Gambar

3b. Dari gambar tersebut diketahui bahwa kenaikan nilai  $\epsilon_s$  pada daerah frekuensi lebih dari  $10^7$  Hz akan menurunkan nilai  $\text{Re}[\square(\omega)]$ . Sedangkan pada daerah frekuensi dibawah  $10^7$  Hz, tampilan spektrum tidak terpengaruh oleh perbedaan nilai  $\epsilon_s$ .

Perbedaan nilai permittivitas sitoplasma ( $\epsilon_c$ ) berpengaruh terhadap tampilan spektrum hanya pada daerah frekuensi diatas  $10^7$  Hz seperti terlihat pada gambar 3c. Pada daerah frekuensi tersebut, nilai  $\epsilon_c$  semakin besar akan menyebabkan nilai  $\text{Re}[f(\omega)]$  semakin kecil. Sedangkan pada daerah frekuensi yang lebih kecil dari  $10^7$  Hz, nilai  $\text{Re}[f(\omega)]$  tidak terpengaruh oleh perbedaan nilai  $\epsilon_c$ .

**Simulasi Numerik Medan listrik antara elektroda titik-bidang**

Hasil simulasi medan listrik diantara elektroda titik-bidang dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4:** Hasil simulasi dipol listrik dan medan listrik antara elektroda titik -bidang.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa medan listrik yang dihasilkan oleh elektroda titik-bidang tidak homogen, semakin dekat dengan elektroda titik maka medan listrik yang dihasilkan semakin besar. Besar kecilnya medan listrik bisa diketahui dari warnanya. Semakin mendekati warna merah maka

menunjukkan semakin kuat medan listriknya. Ketidakhomogenan medan listrik yang dihasilkan oleh elektroda titik bidang dapat dijadikan kesimpulan bahwa konfigurasi elektroda titik-bidang sesuai untuk sistem dielektroforesis. Semakin besar gradien perubahan medan listriknya maka akan semakin besar gaya dielektroforesis yang dihasilkan.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai permitivitas dari biopartikel dan mediumnya berpengaruh terhadap spektrum frekuensi dielektroforesis pada daerah frekuensi yang berbeda. Konfigurasi elektroda titik-bidang sesuai untuk sistem dielektroforesis, karena medan listrik yang dihasilkan tak homogen.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia atas dukungan dana pada program penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Bishop, J. R.; White, C. H.; Firstenberg-Eden, R.(1984,):*Rapid impedimetric method for determining the potential shelf-life of pasteurized whole milk*. J. Food Protect. 47(6), 471-475.

- [2] 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
- [3] Aldaeus,F, Yuan Lin, Gustav Amberg, Johan Roeraade,(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 ,Limerick, Ireland, June 19–21, 2006
- [4] 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 Biophysics Acta 1193,118-126
- [5] Hughes, M.P., 1999, AC Electrokinetics: Application for Nanotechnology, <http://www.foresight.org/Conferences/MNT7/Paper/Hughes/index.html>.
- [6] Baoyu Songa, Deli Liub, Lining Sunb, Ligu Chenca, (2011), *Numerical Study of a Dielectrophoresis Separation Device at Multiple Frequencies*, Procidia Engineering 15, 341 – 345,