

SIMULASI PENGARUH PANJANG GELOMBANG TERHADAP AKURASI PENGUKURAN *DYNAMIC LIGHT SCATTERING*

NOWO RIVELI^{1,*}, ILHAM SATRIO PRAKOSO²

¹*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*
²*Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

**Corresponding author
Email: nowo@ unpad.ac.id*

Diserahkan : 11/07/2024
Diterima : 18/07/2024
Dipublikasikan : 06/08/2024

Abstrak. *Dynamic Light Scattering (DLS)* adalah metode pengukuran diameter partikel yang mengandalkan pendeteksian fluktuasi intensitas cahaya hamburan. Terdapat hubungan langsung antara fungsi autokorelasi intensitas hamburan dengan besar diameter partikel. Akurasi pengukuran akan sangat ditentukan oleh bagaimana fluktuasi tersebut dapat tertangkap dalam eksperimen. Simulasi telah dilakukan untuk mempelajari apakah panjang gelombang dari cahaya hamburan akan mempengaruhi akurasi pengukuran. Didapatkan bahwa cahaya hamburan dengan panjang gelombang yang besar akan sensitif terhadap gerakan partikel dengan ukuran yang kecil, dan sebaliknya.

Kata kunci: dynamic light scattering, autokorelasi, simulasi, panjang gelombang

Abstract. *Dynamic Light Scattering (DLS)* is a method of measuring particle diameter that heavily relies on the detection of scattered light intensities. There is a direct relation between the autocorrelation function of scattered light intensity fluctuation with the diameter of the particles. The accuracy of measurement will depend on how such fluctuation can be captured in the experiment. A simulation has been conducted to investigate the role of scattering light wavelength in affecting the accuracy of measurement. It is obtained that scattering light with large wavelength is sensitive to small size particles, while the one with small wavelength is sensitive to large size particles.

Keywords: dynamic light scattering, autocorrelation, simulation, wavelength

1. Pendahuluan

Dynamic Light Scattering (DLS) adalah teknik pengukuran ukuran partikel yang tersuspensi dalam larutan pada wilayah submikron sampai nanometer [1]. DLS menggunakan efek fluktuasi intensitas hamburan cahaya akibat gerak Brown dalam mengestimasi distribusi ukuran partikel. Instrumentasi DLS saat ini telah tersedia dengan cukup luas dan bervariasi dengan pemanfaatan lintas bidang mulai dari energi sampai kedokteran. DLS dapat dimanfaatkan untuk mengetahui sebaran ukuran partikel, mendeteksi aglomerasi, hingga menganalisa kestabilan suatu larutan [2].

Dalam teknik pengukuran DLS, berkas cahaya, biasanya berupa sinar laser, dilewatkan pada koloid yang mengandung molekul-molekul yang ingin diketahui ukurannya. Setiap partikel pada larutan akan menghamburkan cahaya yang datang yang kemudian di

tangkap di layar pada posisi tertentu. Jika ukuran partikel jauh lebih kecil dari panjang gelombang cahaya, maka cahaya akan terhambur secara isotropik ke segala arah, disebut dengan hamburan Rayleigh [3]. Fluktuasi nilai intensitas terhadap waktu muncul karena partikel dalam larutan mengalami difusi gerak Brown. Laju difusi sendiri dipengaruhi salah satunya oleh ukuran partikel. Sehingga perbedaan fluktuasi intensitas yang diperoleh di detektor akan dapat memberikan informasi terhadap ukuran partikel yang ada.

Pada dasarnya, laju pergerakan partikel dalam koloid memiliki peran vital dalam pengukuran ukuran partikel DLS. Sebagai contoh, bila tidak ada pergerakan sama sekali, maka teknik DLS tidak dapat diterapkan. Akurasi pengukuran akan sangat ditentukan dari bagaimana sistem eksperimen dapat menangkap laju pergerakan partikel tersebut, yang kemudian terproses menjadi besaran fluktuasi intensitas. Sebagai hipotesa, panjang gelombang cahaya penghambur akan mempengaruhi sistem eksperimen dalam menangkap fluktuasi cahaya terhambur.

Dalam penelitian ini, untuk mengeksplorasi efek dari panjang gelombang cahaya terhadap akurasi pengukuran, dibuat program simulasi DLS secara sederhana. Terdapat dua bagian dari simulasi, yaitu pensimulasian gerak Brownian, lalu pensimulasian hamburan cahaya. Perhitungan ukuran partikel diperoleh dari fitting fungsi autokorelasi [5-7]. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari panjang gelombang terhadap akurasi pengukuran. Penelitian ini adalah kelanjutan dari penelitian sebelumnya [8] yang belum mendapatkan hasil yang definitif, dimana dalam penelitian rentang variasi ukuran partikel lebih diperbesar.

2. Metode Penelitian

2.1 Teori

Gerak Brown adalah gerakan partikel yang berdifusi di dalam suatu larutan secara acak ke berbagai arah. Lebih tepatnya gerak acak yang dimaksud adalah gerak Gaussian dengan besar deviasi yang ditentukan oleh suhu, viskositas larutan serta ukuran partikel. Deviasi tersebut terkandung dalam suatu besaran yang disebut dengan tetapan difusi yaitu

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \quad (1)$$

k_B adalah konstanta Boltzmann, T adalah suhu, η adalah viskositas, dan r adalah diameter dari partikel (dianggap berbentuk bola sempurna). Nilai konstanta difusi digunakan sebagai deviasi gerak Brown dengan hubungan

$$pos_{baru} = pos_{lama} + w\sqrt{2D\Delta t}. \quad (2)$$

dimana w adalah bilangan acak berdistribusi normal dan Δt adalah satuan interval waktu.

Gelombang elektromagnetik yang datang dan dihamburkan oleh masing-masing partikel diwakili oleh vektor gelombangnya yaitu \vec{k}_{in} dan \vec{k}_{out} . Vektor hamburan didefinisikan dengan Pers. (3) berikut

$$\vec{q} = \vec{k}_{out} - \vec{k}_{in} \quad (3)$$

dan

$$|q| = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \quad (4)$$

Intensitas total dari hamburan oleh semua partikel adalah penjumlahan dari masing-masing berkas gelombang hamburan. Di asumsikan bahwa setiap berkas memiliki bilangan gelombang yang sama (paralel) dan amplitudo yang sama, maka superposisi gelombang adalah penjumlahan fase-fase gelombang. Dalam eksperimen intensitas total hamburan diukur setiap interval waktu tertentu. Gerak brownian akan mengakibatkan fluktuasi perubahan intensitas total.

Pada prinsipnya informasi ukuran partikel terkandung dalam fluktuasi intensitas total hamburan. Fungsi autokorelasi [5] diperoleh dari nilai rata-rata produk dari dua nilai intensitas dengan selisih waktu τ .

$$G(\tau) = \frac{\langle I(t)I(t + \tau) \rangle}{\langle I(t)^2 \rangle} \quad (5)$$

Secara teori, fungsi autokorelasi dapat di fit dengan fungsi berikut:

$$G(\tau) = 1 + \alpha e^{-2Dq^2\tau} \quad (6)$$

Sehingga ukuran partikel akan dapat diperoleh.

2.2 Simulasi

Pada penelitian ini disimulasikan sebanyak 50 buah partikel identik, dengan ukuran yang ditentukan pada tiga variasi yaitu 20 nm, 200 nm dan 2000 nm, tersebar dalam volume 3 dimensi dengan panjang sisi $1,2 \times \text{jumlah partikel} \times \text{diameter}$. Gerak Brownian disimulasikan dengan membangkitkan bilangan acak Gaussian untuk setiap partikel, kemudian menggunakan Pers. (2) untuk memperoleh posisi yang baru. Simulasi rentang waktu yang digunakan adalah $\tau = 500$ ms, dan total pengukuran selama $N_t = 5000$ titik waktu. Pada simulasi ini tidak diperhitungkan bila dua buah partikel saling berhimpit, dan tidak ada batasan volume yang ditempati seluruh partikel.

Dalam mensimulasikan hamburan, digunakan sudut hamburan sebesar 90 dengan tiga variasi panjang gelombang yaitu 405, 532 dan 633 nm (biru, hijau dan merah). Dalam menghitung intensitas total, dihitung amplitudo total yaitu superposisi setiap gelombang yang dihamburkan dari masing-masing partikel yang bergerak secara acak. Vektor gelombang didapatkan dari Pers. (3). Intensitas total lalu diperoleh dari $I_{\text{total}} = E_{\text{total}}^2$.

Setelah fluktuasi intensitas total diperoleh, berikutnya dilakukan prosedur analisa yang biasa digunakan dalam eksperimen, yaitu perhitungan fungsi autokorelasi dan ekstraksi ukuran partikel. Fungsi korelasi dibatasi sampai $N_t = 500$ titik waktu. Untuk mendapat fungsi yang baik untuk dilakukan fitting, diambil rata-rata dari sebanyak 90 data fungsi autokorelasi, baru dilakukan prosedur fitting. Kemudian dikumpulkan sebanyak 200 nilai ukuran partikel untuk melihat sebaran statistiknya.

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk melihat bagaimana akurasi pengukuran berubah, dilihat dari dua hal yaitu nilai kesalahan relatif terhadap ukuran partikel sebenarnya, dan dari standar deviasi sebaran ukuran partikel hasil simulasi.

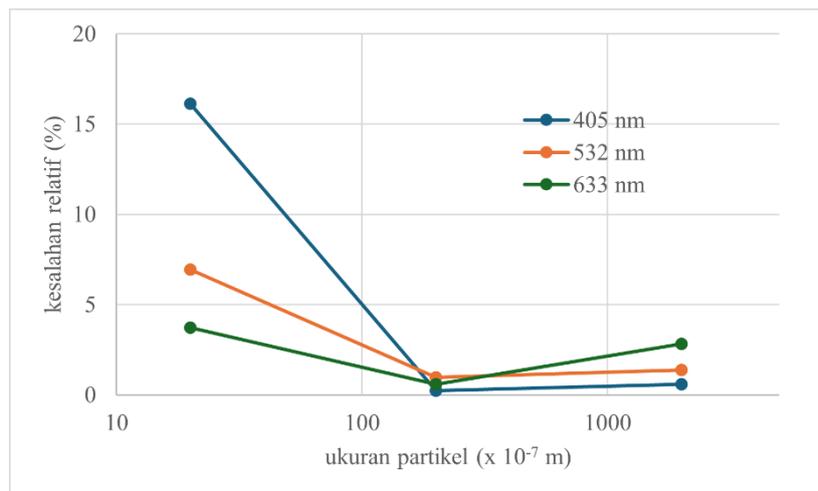
Hasil pengukuran nilai ukuran dengan variasi panjang gelombang ditampilkan pada Tabel 1. Nilai kesalahan relatif diperoleh dari

$$\% - error = \frac{|r_{sim} - r_{true}|}{r_{true}} \times 100\% \quad (7)$$

Tabel 1. Hasil pengukuran ukuran partikel dan nilai kesalahannya untuk setiap variasi ukuran simulasi dan panjang gelombang.

Simulated Diameter ($\times 10^{-6} m$)	20		200		2000	
Wavelength (nm)	$r_{exp} \times 10^{-6} m$	%-err	$r_{exp} \times 10^{-6} m$	%-err	$r_{exp} \times 10^{-6} m$	%-err
405	23,23	16,13	200,05	0,24	1988	0,6
532	21,39	6,94	201,90	0,96	2028	1,39
633	20,74	3,72	198,80	0,58	2057	2,83

Grafik untuk membandingkan besar nilai kesalahan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan nilai kesalahan relatif pengukuran ukuran partikel.

Dari Tabel 1 dan Gambar 1 dapat dilihat bahwa untuk ukuran partikel kecil, nilai kesalahan terkecil diperoleh dengan panjang gelombang yang besar, dan kesalahan relatif meningkat dengan menurunnya panjang gelombang. Sebaliknya, untuk ukuran partikel besar, nilai kesalahan relatif diperoleh ketika panjang gelombang kecil, dan meningkat dengan menurunnya panjang gelombang. Hal ini terkait dengan bagaimana kemampuan gelombang cahaya terhambur menangkap fluktuasi intensitas yang terjadi di layar. Ketika panjang gelombang cahaya besar, akan sensitif terhadap pergeseran fase yang besar atau kecepatan tinggi, dan sebaliknya cahaya dengan panjang gelombang yang kecil akan sensitif terhadap pergeseran fase yang kecil, atau gerakan yang lambat.

Besaran lain untuk menilai akurasi yang digunakan di sini adalah koefisien akurasi yaitu:

$$CV = \frac{SD}{mean} \times 100\% \quad (8)$$

CV untuk setiap variasi panjang gelombang dan ukuran partikel diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Varian dalam pengukuran ukuran partikel.

Simulated Diameter ($\times 10^{-6} m$)	20	200	2000
Panjang gelombang (nm)	CV (%)		
405	1,5	6,3	17,3
532	2,2	9,2	23,8
633	2,8	9,6	31,7

Nilai koefisien varian menunjukkan kebergantungan yang lebih sederhana dibandingkan perilaku dari kesalahan relatif. Secara umum deviasi atau lebar distribusi sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, dimana semakin besar ukuran partikel mengakibatkan semakin besar deviasi. Hubungan tersebut ternyata berlaku sama untuk setiap panjang gelombang. Analisa dari perilaku koefisien varian ini perlu dipelajari lebih lanjut, namun untuk saat ini dapat diambil kesimpulan bahwa simulasi perhitungan kesalahan relatif dapat menjadi ukuran dalam menentukan efek panjang gelombang cahaya hamburan terhadap akurasi pengukuran DLS.

4. Kesimpulan

Simulasi pengukuran ukuran partikel dengan teknik DLS telah dilakukan. Simulasi dilakukan dengan variasi tiga nilai panjang gelombang, dan tiga nilai ukuran partikel. Diperoleh bahwa untuk rentang variasi ukuran partikel yang besar, terdapat efek dari panjang gelombang terhadap akurasi pengukuran. Gelombang hamburan dengan panjang gelombang yang besar akan sensitif terhadap gerakan partikel dengan ukuran yang kecil, dan sebaliknya. Hasil ini dapat menjadi kontribusi dalam perbaikan teknik pengukuran DLS untuk mencapai peningkatan akurasi.

Daftar Pustaka

1. Goldberg, WI. Dynamic Light Scattering. *Am. J. Phys.* 67, 1999, pp.1152
2. Minton, AP. Recent applications of light scattering measurement in the biological and biopharmaceutical sciences. *Anal Biochem.* 501, 2016, pp. 4–22
3. Barnett, CE. Some applications of wave-length turbidimetry in the infrared. *J Phys Chem.* 46,1941 pp.69–75
4. Ruf, H. Data accuracy and resolution in particle sizing by dynamic light scattering. *Adv Coll Interface Sci.* 46, 1993, pp.333–342
5. Mueller, PK., Givens, RG. Dynamic calibration and data interpretation of a light-scattering instrument. *J Air Pollut Control Assoc.* 11, 1961, pp.576–580
6. Cummins, HZ., Knable, N., Yeh, Y. (1964) Observation of diffusion broadening of Rayleigh scattered light. *Phys Rev Lett.* 12, 1964 pp.150–153
7. Chu, B. Laser Light Scattering. *Annu Rev Phys Chem.* 21, 1970, pp.145–174.
8. Riveli, N. Simulasi Dynamic Light Scattering Untuk Menyelidiki Pengaruh Panjang Gelombang Terhadap Akurasi Pengukuran Ukuran Partikel, *Jurnal Material dan Energi Indonesia* 13(1), 2023, pp. 39-4