

B3

ISBN : 978-979-19438-2-6

PROSIDING SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA DAN FISIKA

Q2012
QUANTUM
HMPS Pendidikan Fisika

*Kompetensi Lulusan Fisika & Pendidikan Fisika
Menghadapi Kebijakan KKNI*

Yogyakarta, 24 Juni 2012



Penyelenggara :
**Himpunan Mahasiswa Program Studi
Pendidikan Fisika**
Jl. Prof. Dr. Soepomo, SH; Yogyakarta 55164
Laman : <http://hmeps.pf.uad.ac.id>
Surat : quantum2012hmeps@ymail.com

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN PENDIDIKAN FISIKA

"Kompetensi Lulusan Fisika & Pendidikan Fisika Menghadapi

KKNI"

24 Juni 2012

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© all right reserved

2012

Penyunting

Dr. Moh. Toifur, M.Si.

Dr. Widodo, M.Si.

Drs. Ishafit, M.Si.

Design Cover

Mustofa Ahyar

Setting – layout

Isnin Khazimah

ISBN:

978-979-19438-2-6

Dicetak dan diterbitkan Oleh :

HMPS Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan Jl. Prof. Dr. Soepomo, Janturan,

Yogyakarta

surat : quantum2012hmps@gmail.com

laman : <http://www.hmps.pf.nad.ac.id/>

<i>Simulasi Desain Perisai Radiasi Sinar X Mesin Berkas Elektron (MBE) Lateks Menggunakan Program MCNP5</i>	140
Safiruddin, dkk, ITS	140
<i>Sistem Detektor Gempa dan Tsunami On-Line Berbasis Antena Wi-Fi 2,4 GHz</i>	141
Yono Hadi Pramono, dkk, FMIPA ITS Surabaya	141
<i>Studi Komparasi Metode Pembelajaran Demonstrasi Nyata dan Demonstrasi Simulasi untuk Mereduksi Miskonsepsi Pada Materi Optika Geometri di SMAN 1 Pajangan</i>	152
Bayu Indriarto, dkk, Pend.Fisika UAD	152
<i>Teoritis Massa Neutrino Melalui Mekanisme Seesaw</i>	156
Nur Anisah, dkk, UIN Sunan Kalijaga	156
<i>Tinjauan Tentang Teknik Penentuan Ukuran Partikel Koloid</i>	159
Suparno, UNY	159
<i>Upaya Meningkatkan Motivasi Belajar dan Pemahaman Konsep Fisika Melalui Pendekatan Inkuiri Terbimbing Dengan Pictorial Riddle pada Siswa Kelas VIII SMP Muhammadiyah Muntilan</i>	163
M. Minan Chusni, SMP Muh Muntilan	163
<i>Upaya Meningkatkan Aktivitas dan Hasil Belajar Fisika dengan Menggunakan Pendekatan Inkuiri Pada Siswa Kelas X3 SMA Negeri 1 Paguyangan</i>	168
Dwi Riyanto, SMA Negeri 1 Paguyangan Brebes	168
<i>Upaya Peningkatan Penguasaan Materi dan Alat Praktikum Fisika SMA Bagi Mahasiswa Pendidikan Fisika Melalui Kegiatan Asistensi di SMA Negeri 1 Purworejo</i>	174
Susilo Edy Purnomo, Pend.Fisika UMP	174

TINJAUAN TENTANG TEKNIK PENENTUAN UKURAN PARTIKEL KOLOID

Suparno

Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta

Abstrak

Penentuan ukuran partikel koloid dalam bentuk serbuk di udara bukan merupakan pekerjaan yang sulit. Ada mikroskop optis yang bisa dimanfaatkan untuk menentukan ukuran partikel sampai beberapa mikrometer. Ada pula mikroskop elektron yang bisa dimanfaatkan untuk menentukan ukuran partikel yang lebih kecil lagi. Akan tetapi jika partikel itu berada dalam bentuk larutan koloid, maka penentuan ukurannya menjadi pekerjaan yang sangat sulit. Untuk partikel yang berada di dalam larutan ukurannya dapat ditentukan dengan menggunakan teknik hamburan cahaya (*light scattering technique*).

Artikel ini menyajikan sebuah **review** tentang dua teknik hamburan cahaya yang berbeda dalam menentukan ukuran partikel di dalam larutan koloid. Yakni *Static Light Scattering (SLS)* dan *Dynamic Light Scattering (DLS)*. Teknik SLS mengasumsikan partikel berada dalam keadaan statis (tidak bergerak), sedang DLS lebih realistis dengan melakukan partikel sebagai obyek yang bergerak dengan gerak Brown. Pada prinsipnya cahaya laser diarahkan ke dalam larutan koloid yang berisi partikel-partikel kecil yang akan ditentukan ukurannya, kemudian cahaya yang dihamburkan oleh partikel-partikel tersebut dianalisis untuk mendapatkan ukuran partikelnya.

Kata kunci: penentuan ukuran partikel, static light scattering, dynamic light scattering

Partikel koloid dalam industri

Seiring dengan perkembangan berbagai industri di era modern ini, partikel koloid memiliki peran yang sangat penting sebagai bahan dasar berbagai produk. Dalam dunia makanan instant seperti bubur, yogurt, agar-agar, pasta dan sejenisnya semua bahan diproses dalam fase koloid. Banyak di antara bahan-bahan yang digunakan berasal dari partikel koloid. Apalagi industri minuman seperti sari buah, minuman bergula, minuman bervitamin, air mineral dan sebagainya memerlukan bahan-bahan dalam bentuk partikel koloid. Industri farmasi yang disajikan dalam bentuk serbuk dan sirup juga memerlukan bahan-bahan dalam bentuk koloid. Industri pengecatan (*painting*), cat tembok, cat kayu, cat mobil maupun cat tembok terbang bahan dasarnya berbentuk koloid. Pewarna, baik pewarna makanan, pewarna tekstil, maupun pewarna tekstil semuanya tersaji dalam bentuk koloid. Industri pelapisan (*coating*), bahan dasarnya juga berbentuk koloid. Industri percetakan (*printing*) memerlukan tinta dan tinta yang dituangkan bahan dasar berbentuk koloid yang sangat penting.

Industri makanan dan minuman ukuran partikel koloidnya sangat berpengaruh terhadap sensasi rasa halus dan kasarnya di lidah. Dalam kaitannya dengan stabilitas larutan dari pengendapan ukuran partikel sama dengan muatan partikel menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan. Partikel bahan minuman yang besar memerlukan muatan yang besar pula untuk stabil, dalam arti tidak segera mengalami proses sedimentasi dan sedimentasi.² Minuman yang bahan dasarnya mudah mengalami agregasi dan sedimentasi segera kehilangan homogenitasnya. Bagian atasnya bagian bawah kental. Tentu minuman dengan muatan seperti ini tidak disukai pembelinya.

Industri pengecatan, pelapisan, pewarnaan, dan percetakan ukuran partikel koloid yang menjadi bahan dasarnya memiliki peran sangat vital dalam

kehalusan dan kecerahan produk. Ukuran yang relatif kecil akan menghasilkan produk yang lebih halus dibandingkan yang besar. Dalam hal ini tingkat homogenitas ukuran juga ikut berperan dalam menentukan kualitas produk.

Untuk mengontrol ukuran koloid sebagai bahan dasar berbagai industri diperlukan teknik penentuan ukuran partikel koloid. Bila dalam bentuk serbuk, ukuran partikel koloid dapat ditentukan dengan menggunakan mikroskop, baik mikroskop optis maupun mikroskop elektron.^{3,4} Namun alat tersebut tidak dapat dipergunakan untuk menentukan ukuran partikel secara riil dalam bentuk larutan koloid. Padahal untuk pengujian sebuah produk diperlukan sampel dalam bentuk asli seperti apa adanya di lapangan. Untuk menentukan ukuran partikel koloid yang berada dalam bentuk larutan diperlukan teknik hamburan cahaya, baik hamburan cahaya statis maupun hamburan cahaya dimanis.⁵⁻⁹

2. Hamburan Cahaya Statis

Hamburan cahaya statis disebut juga sebagai hamburan cahaya konvensional. Teknik hamburan cahaya statis mengasumsikan bahwa partikel koloid di dalam larutan tidak bergerak. Ketika larutan disinari dengan seberkas cahaya laser, maka partikel-partikel koloid tersebut berperan sebagai partikel penghambur cahaya. Ukuran partikel penghambur dapat ditentukan melalui analisis terhadap intensitas cahaya terhambur sebagai fungsi sudut hamburan.

Teknik hamburan cahaya statis untuk menentukan ukuran partikel ada 3 macam yakni hamburan Rayleigh, hamburan Rayleigh-gans Debye, dan hamburan Mie.^{6,10-12} Karena terbatasnya ruang dalam artikel ini hanya disajikan pembahasan teknik penentuan ukuran partikel dengan menggunakan hamburan Rayleigh.

Partikel-partikel yang sangat kecil bila disinari dengan seberkas cahaya yang paralel yang terpolarisasi secara

linier dapat dipertukarkan seperti sebuah dielektrik yang berbentuk bola yang berada di bawah pengaruh medan elektromagnet. Karena ukuran partikelnya yang sangat kecil dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya, maka medan listrik sesaat yang mempengaruhi partikel tersebut dapat dianggap sebagai medan yang *uniform*. Sehingga persoalannya dapat disederhanakan menjadi seperti sebuah bola dielektrik yang bersifat isotropis dan homogen yang berada di dalam sebuah medan listrik yang *uniform*. Penjelasan tentang hamburan Rayleigh dalam sub bab ini mengikuti apa yang telah diritakan oleh Everett,¹⁰ DH.

Bola dielektrik yang berada di bawah pengaruh medan listrik eksternal akan mengalami polarisasi searah dengan arah medan listrik eksternalnya, sehingga muncul momen dipole terinduksi. Ketika gelombang elektromagnetik melewati dielektrik dalam arti begitu cahaya menyinari dipole listrik, maka besarnya medan listrik eksternal dan besarnya dipole terinduksi akan bertukar. Bila cahaya tersebut terpolarisasi pada bidang yang mencakup arah rambatan cahaya dan arah vektor medan listrik, dipole terinduksi akan berada pada bidang yang sama. Sebagian energi gelombang cahaya akan dipergunakan oleh dipole untuk berosilasi. Osilasi dipole tersebut diwakili oleh gerak elektron naik turun dalam bidang yang sama yang menghasilkan medan listrik sendiri dan memancarkan cahaya yang sama frekuensinya dengan frekuensi cahaya datang.

Secara umum intensitas gelombang terhambur pada jarak d dari dipole sebanding dengan kuadrat polarisabilitas partikel dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Menurut teori elektromagnet ratio intensitas cahaya terhambur dengan intensitas cahaya datang pada bidang yang tegak lurus arah polarisasi diberikan oleh persamaan¹⁰

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)^T = \frac{16\pi^4}{9\pi^4} \frac{d^2}{r^6} \cdot \frac{\lambda^4}{n^2 - 1} \left(\frac{n^2 + 2}{n^2 + 1}\right)^2 \cos^2 \theta$$

$$\alpha = 3\epsilon_0 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right) v$$

I adalah intensitas cahaya terhambur, I_0 intensitas cahaya datang d jarak pengamatan, λ panjang gelombang, ϵ_0 permitivitas hampa, dan α polarisabilitas partikel. Sedang besar polarisabilitas partikel dengan volume v , indeks bias partikel n_1 dan indeks bias bahan pelarut n_2 adalah

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)^T = \frac{16\pi^4}{9\pi^4} \frac{d^2}{r^6} \frac{\lambda^4}{\alpha} \left(\frac{4\pi\epsilon_0}{\alpha}\right)^2$$

Artinya rasio antara intensitas cahaya terhambur dengan intensitas cahaya datang dengan polarisasi tegak lurus bidang hamburan tidak tergantung pada sudut hamburan. Bila partikelnya berbentuk dengan radius r , maka volumenya

$$v = \frac{4\pi r^3}{3}$$

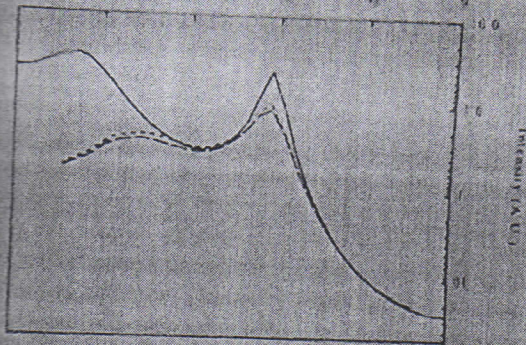
Sehingga rasio intensitas cahaya terhambur dengan intensitas cahaya datang menjadi

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)^T = \frac{16\pi^4}{9\pi^4} \frac{d^2}{r^6} \cdot \frac{\lambda^4}{n^2 - 1} \left(\frac{n^2 + 2}{n^2 + 1}\right)^2 \cos^2 \theta$$

Sementara itu bila cahaya terpolarisasi sejajar dengan bidang hamburan, maka rasio antara intensitas cahaya terhambur dengan intensitas cahaya datang diberikan oleh persamaan

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)^S = \frac{16\pi^4}{9\pi^4} \frac{d^2}{r^6} \cdot \frac{\lambda^4}{n^2 - 1} \left(\frac{n^2 + 2}{n^2 + 1}\right)^2 \cos^2 \theta$$

Dari persamaan di atas untuk cahaya yang terpolarisasi sejajar dengan bidang hamburan, rasio intensitas cahaya terhambur dengan intensitas cahaya datang tergantung pada sudut hamburan dengan faktor $\cos^2 \theta$. Ruas kanan persamaan tersebut berisi beberapa besaran seperti d, n, λ, θ , dan r semua nilainya diketahui kecuali radius partikel, r . Sehingga dengan mengukur I dan secara teknis bila polarisasi laser diatur sejajar dengan permukaan meja pengamatan (bidang hamburan) ukuran partikel bisa ditentukan dengan persamaan tersebut.



Gambar 1. Intensitas cahaya sebagai fungsi sudut hamburan dengan partikel penghambur bola berukuran 502nm: *dotted* dan *dashed* line adalah penelitian, *full line* adalah teori. (diambil dari Suparno)⁶

Secara praktis yang kita lakukan dalam penelitian tidak serumit yang kita bayangkan, karena persamaan yang rumit di atas telah dikodekan dalam sebuah program komputer (*software*). Dalam hal ini

yang dilakukan para peneliti pada prinsipnya adalah mencatat intensitas cahaya dari banyak sudut hamburan, lalu menggambarkan grafik hubungan antara intensitas cahaya terhambur sebagai fungsi sudut hamburan. Grafik ini kemudian dibandingkan dengan grafik standar intensitas sebagai fungsi sudut hamburan yang sudah diketahui ukuran partikel penghamburnya. Bila grafik yang digambar berdasarkan data penelitian sama dengan grafik standar yang berasal dari *software*, maka kedua grafik itu berasal dari partikel penghambur yang memiliki ukuran sama. Gambar 1. adalah contoh grafik intensitas cahaya sebagai fungsi sudut hamburan dari partikel penghambur lateks yang berbentuk bola dengan ukuran 502nm. Dalam Gambar 2.5. grafik yang terbuat dari titik-titik berasal dari data yang dikumpulkan dengan ukuran pinhole berdiameter 3mm, garis-garis patah berasal dari pibole berdiameter 0,1mm dan garis penuh berasal dari perhitungan teori (*software*).⁶

Sebagai informasi populer tambahan¹⁰, dari persamaan di atas bisa dilihat adanya ketergantungan I/I_0 pada faktor $1/\lambda^4$. Hal ini menyebabkan semakin kecil panjang gelombang cahaya yang dipakai semakin besar intensitasnya yang dihamburkan dibanding dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang lebih besar. Hal inilah yang menjadi penjelasan mengapa hamburan cahaya lebih kuat terjadi pada daerah panjang gelombang biru dibanding dengan merah. Karena nilai $(\lambda_{\text{merah}}/\lambda_{\text{biru}})^4 \approx 7$, maka intensitas cahaya biru akan jauh lebih banyak dihamburkan, yakni sekitar 7 kali lipat, dibanding dengan intensitas cahaya merah. Maka wajar bila siang hari langit berwarna biru, karena intensitas cahaya matahari yang dihamburkan lebih banyak berasal dari daerah panjang gelombang biru. Sebaliknya karena intensitas cahaya merah paling sedikit dihamburkan, maka intensitas cahaya merah tersebutlah yang paling banyak ditransmisikan. Sehingga di pagi dan sore hari langit berwarna merah, karena intensitas cahaya merahlah yang mendominasi transmisi cahaya matahari di daerah tersebut.

Sebagai informasi aktual tambahan lain,¹⁰ dari persamaan yang sama dapat dilihat bahwa rasio intensitas cahaya terhambur dengan intensitas cahaya datang (I/I_0) juga tergantung pada $n = n_1/n_2$. Bila $n_1 = n_2$ intensitas cahaya terhamburnya akan sama dengan nol. Artinya di dalam medium yang homogen, yakni medium yang memiliki indeks bias sama di semua penjuru cahaya yang merambat di dalamnya tidak mengalami hamburan. Dengan kata lain hamburan cahaya hanya terjadi di dalam medium yang tidak homogeny

3. Hamburan cahaya dinamik

Hamburan Cahaya Dinamis (*Dynamic Light Scattering*) juga dikenal dengan beberapa nama lain

seperti Spektroskopi Korelasi Foton (*Photon Correlation Spectroscopy*), Spektroskopi Fluktuasi Intensitas (*Intensity Fluctuation Spectroscopy*), dan Hamburan Cahaya Kuasi-elas (Quasi-elastic Light Scattering).⁹ Masing-masing penamaan itu bisa dibenarkan karena masing-masing memiliki penekanan yang berbeda. *Dynamic Light Scattering (DLS)* misalnya mengacu pada keadaan partikel yang memang selalu bergerak secara dinamis. *Photon Correlation Spectroscopy (PCS)* mengacu pada teknik analisis data yang mempergunakan fungsi corelasi diri (*Auto-correlation function*) untuk menganalisis sinyal yang berasal dari foton yang datang secara random. *Intensity Fluctuation Spectroscopy (IFS)* mengacu pada fluktuasi intensitas cahaya terhambur karena dinamika partikel penghambur di dalam larutan. *Quasi-elastic Light Scattering (QELS)* merujuk pada kenyataan bahwa hamburan yang terjadi dalam larutan koloid tidaklah murni hamburan elastis, tetapi terjadi perubahan frekuensi cahaya terhambur meskipun sangat kecil ($\sim 10^3$ Hz) dibanding dengan frekuensi cahaya datang ($\sim 10^{14}$ Hz).

Hamburan cahaya dinamik memperlakukan partikel penghambur di dalam larutan koloid secara lebih realistis. Partikel yang setiap saat mengalami proses difusi diperlakukan sebagai partikel yang bergerak secara dinamis dengan gerak Brown. Konsentrasi partikel pada elemen volume tertentu akan senantiasa berfluktuasi dan fluktuasi konsentrasi partikel tersebut berhubungan dengan gerak difusi partikel. Hubungan antara fluktuasi konsentrasi dengan difusi partikel diberikan oleh **Hukum Fick 2**.¹³

$$\frac{\delta C(x,t)}{\delta t} = D \frac{\delta^2 C(x,t)}{\delta x^2}$$

$C(x, t)$ adalah konsentrasi partikel pada posisi x dari titik acuan pada waktu t dan D adalah koefisien difusi translasi.

Difusi menyebabkan posisi dan orientasi partikel penghambur selalu berubah terhadap waktu. Hal itu menyebabkan fase dan polarisasi cahaya terhambur oleh masing-masing partikel berubah terhadap waktu. Sehingga intensitas cahaya terhambur dengan polarisasi tertentu juga akan mengalami fluktuasi terhadap waktu. Fungsi korelasi diri medan listrik orde pertama dari fluktuasi intensitas cahaya terhambur diberikan oleh persamaan^{6,9,12}

$$g^{(1)}(q, \tau) = \exp(-\Gamma \tau)$$

dengan Γ sebagai konstanta peluruhan dan τ adalah waktu tunda. Konstanta peluruhan Γ diperoleh dengan mencocokkan data dengan kurva *least square*.

Penentuan ukuran partikel koloid yang berada di dalam larutan yang sebelumnya serasa tidak mungkin dilakukan, ternyata secara teoritis bisa dilakukan dengan

4. Kesimpulan

Penentuan ukuran partikel koloid yang berada di dalam larutan yang sebelumnya serasa tidak mungkin dilakukan, ternyata secara teoritis bisa dilakukan dengan dilakukan oleh software komputer. tidak dilakukan secara manual, semuanya sudah untuk mendapatkan konstanta peluruhan T . Proses itu pembuatan grafik berdasarkan data yang dikumpulkan diperoleh radius partikel, r . Gambar 2. menunjukkan dimasukkannya persamaan di atas, maka akan T dari hasil pencocokan data dengan grafik lalu diketahui besarnya. Sehingga setelah mengetahui nilai hanya tinggal r atau radius partikel saja yang belum yang menentukan, maka ruas kanan persamaan di atas karena merupakan konstanta atau karena kita sendiri Besar-besaran $k_B, \eta, T, n_2, \lambda$ dan θ nilainya tertentu

$$I = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \cdot \left(\frac{4\pi n_2^2 \sin^2(\frac{\theta}{2})}{\lambda_0} \right)^2$$

Sehingga konstanta peluruhannya menjadi:

r : radius partikel

η : viskositas bahan pelarut

T : suhu mutlak

dengan k_B : konstanta Boltzmann

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

Besar nilai koefisien difusi transiasi adalah:

$$q = \frac{\lambda_0}{4\pi n_2^2 \sin^2(\frac{\theta}{2})}$$

dengan n_2 indeks bias bahan pelarut, θ sudut hamburan, dan λ_0 panjang gelombang cahaya.

Yang diberikan oleh:

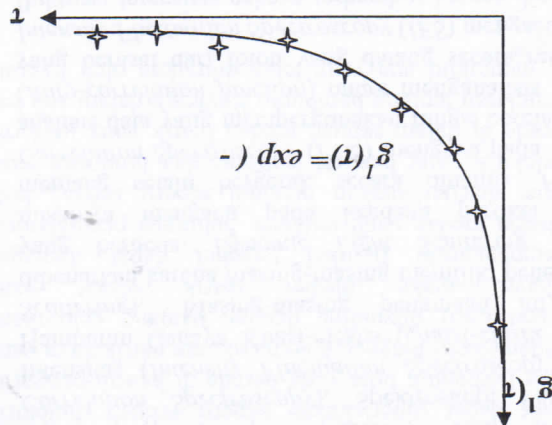
Dalam persamaan di atas q adalah vektor hamburan

$$I = Dq^2$$

Sedangkan secara matematis hubungan antara T dengan koefisien difusi transiasi D diberikan oleh:

sebagai fungsi waktu tunda, τ .

Gambar 2. Grafik fungsi korelasi diri intensitas-waktu digambarkan



menggunakan teknik hamburan cahaya. Hamburan statis meskipun koloid di dalam larutan keadaan diam, namun ternyata secara materi dipertanggung jawabkan. Secara praktis perlu dilakukan dengan mengatur agar polarisasi laser sejajar dengan bidang hamburan. Hamburan cahaya dinamis meskipun memperlakukan partikel-partikel bergerak gerak Brown dalam partikel-partikel bergerak difusi, namun masih harus tetap mengasumsikan hanya mengalami difusi transiasi partikel tersebut persoalan yang rumit terka asumsi tersebut partikel dapat disederhanakan gerak rotasi partikel dapat disederhanakan dipergunakan untuk menentukan radius da ukuran partikel.

5. Daftar Pustaka

1. Keir, RI, Suparno, John C Thomas, behavior in the Silica/Aerosol OT/Decane Langmuir, 18, 1463-1465 (2002)

2. Myers, D, Surfaces, Interfaces, and Colloids VCH, New York (1999)

3. Heimens, PC dan Rajagopalan, R, Private Colloid and Surface Chemistry, 3rd ed., Marcel New York (1997)

4. Evans, DF dan Wemmerstrom, H, The Domain where Physics, Chemistry, Biology Technology meet, Wiley-VCH, New York (1997)

5. Chu, B, Laser Light Scattering, Basic Principles and Applications, Academic Press, New York (1997)

6. Suparno, A Fiber Optic Light Scattering, MappSSC thesis, University of South Adelaide (1994)

7. Suparno, Deurloo, K., Stamateopolous, P., Srivastva, R., & Thomas, JC, Light scattering single mode fiber collimators, Appl. Optics, 33, 7200-7205 (1994).

8. Takashi Ito, Li Sun, Micheal A Bevan, dan M Crooks, Comparison of Nanoparticle Electrophoretic Mobility Measurements Carbon-Nanotube-Based Coulter Counter, Light Scattering, Transmision Electron Microscopy, Academic Press, Lang (1994)

9. Thomas, JC, Photon Correlation Spectroscopy and Instrumentation in Correlation Spectroscopy: Multicomponent Schmitz, KS, Proc. SPIE 1430, 2-18 (1991)

10. Everett, DH, Basic Principles of Colloid Royal Society of Chemistry, Cambridge (1997)

11. Kerker, M, Scattering of Light and Electromagnetic Radiation, Academic Press, (1969)

12. Bohren, CF dan Huffman, DR, Absorption Scattering of Light by Small Particles, John Sons, New York (1983)

13. Suparno, Charging Behaviour in a Colloidal System, PhD Dissertation, University of South Australia, Adelaide (2000)