

PENENTUAN PANJANG GELOMBANG BERBAGAI FILTER WARNA PADA LAMPU TL DAN WOLFRAM DENGAN SPEKTROMETER KISI DIFRAKSI UNTUK MENUNJANG EKSPERIMEN EFEKFOTOLISTRIK

Herwinarso, Tjondro Indrasutanto, G. Budijanto Untung⁴

Abstrak.

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan nilai panjang gelombang berbagai filter warna dengan menggunakan percobaan kisi difraksi. Dipilih percobaan kisi difraksi karena variabel kesalahannya relatif lebih sedikit dibandingkan dengan eksperimen lainnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu siswa sekolah menengah/mahasiswa dalam melakukan eksperimen efekfotolistrik, sehingga dapat menghasilkan nilai konstanta Planck yang cukup baik (paling tidak mempunyai orde yang sama yaitu 10^{-34}) dengan menggunakan panjang gelombang filter warna.

Hasil penelitian adalah nilai panjang gelombang dari 3 filter warna (merah jingga dan hijau) dari sumber cahaya lampu TL dan wolfram, karena filter warna lainnya seperti biru dan ungu tidak tampak hasil difraksinya pada teleskop spectrometer meski telah menggunakan lampu dengan daya 100 watt. Nilai panjang gelombang filter merah untuk lampu TL 6.4024×10^{-7} m dan lampu wolfram 6.4968×10^{-7} m, filter jingga untuk lampu TL 6.2065×10^{-7} m dan lampu wolfram 6.2936×10^{-7} m, filter hijau untuk lampu TL 5.3280×10^{-7} m dan lampu wolfram 5.0738×10^{-7} m. Dan setelah diujicobakan pada eksperimen efekfotolistrik, untuk lampu TL diperoleh nilai konstanta Planck $5,1797 \times 10^{-34}$ Js dan untuk lampu wolfram $4,5443 \times 10^{-34}$ Js. Dengan demikian panjang gelombang filter warna merah, jingga dan hijau yang diperoleh masih belum tepat sesuai harapan, hal ini disebabkan karena ada beberapa nilai panjang gelombang yang tidak terdeteksi pada teleskop spectrometer. Namun demikian nilai panjang gelombang tersebut masih dapat digunakan untuk digunakan dalam eksperimen efekfotolistrik karena nilai konstanta Planck yang diperoleh masih dalam orde 10^{-34} .

Pendahuluan

Pada kegiatan eksperimen efekfotolistrik diperlukan beberapa sumber cahaya monokromatis yang panjang gelombangnya telah diketahui, dan biasanya sumber cahaya tersebut diperoleh dengan memberikan filter warna (mika transparan berwarna) pada sumber cahaya karena mudah diperoleh dan biayanya relatif murah. Namun kendala yang

⁴ Herwinarso, Tjondro Indrasutanto, G. Budijanto Untung adalah Dosen Pendidikan Fisika di FKIP Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

dijumpai adalah dalam menentukan nilai rata-rata panjang gelombang yang dominan untuk masing-masing filter warna, misalkan filter warna merah memiliki panjang gelombang berkisar antara $6470\text{\AA} - 8100\text{\AA}$ dan dalam eksperimen efek fotolistrik diperlukan satu nilai panjang gelombang pada warna merah, demikian pula untuk beberapa warna lainnya.

Berdasarkan pengamatan peneliti, laboratorium Fisika yang ada di SMA maupun di perguruan tinggi banyak yang menggunakan lampu TL dan ada juga yang menggunakan lampu wolfram sebagai penerang ruangan. Sehingga dalam melakukan eksperimen efek fotolistrik diperlukan nilai panjang gelombang yang cukup akurat sehingga diperoleh hasil yang akurat pula.

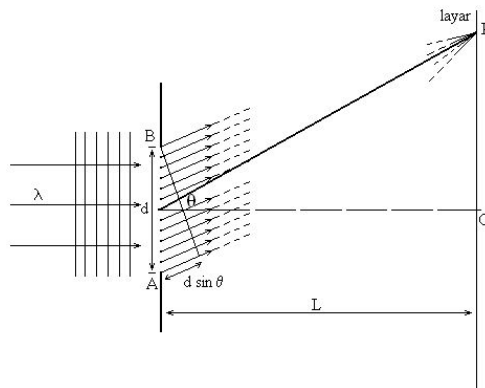
Berdasarkan uraian di atas akan dilakukan penelitian untuk memperoleh nilai rata-rata panjang gelombang berbagai warna filter yang dominan dari sumber cahaya lampu TL dan lampu Wolfram, dengan menggunakan spektrometer kisi difraksi. Dipilih alat spektrometer dalam penelitian ini karena memiliki tingkat kesalahan yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium fisika WM. Dan keakuratan hasil panjang gelombang yang diperoleh akan diuji dengan menggunakan eksperimen efek fotolistrik.

Teori

1. Spektrometer Kisi Difraksi

Kisi difraksi adalah alat yang terdiri atas sejumlah celah sejajar yang terpisah pada jarak yang sama. Dan jarak antara dua celah berturut-turut disebut **konstanta kisi (d)**.

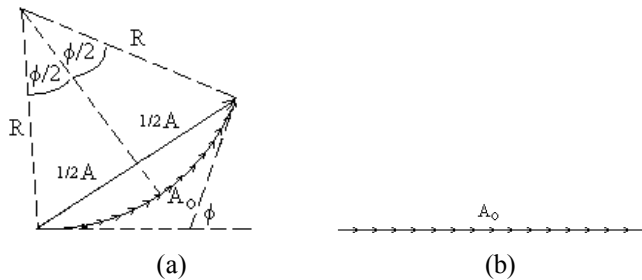
Berdasarkan teori Huygens, apabila berkas cahaya melewati suatu celah sempit maka semua titik-titik yang berada pada celah tersebut merupakan sumber gelombang cahaya baru (gelombang sekunder). Difraksi merupakan interferensi dari sederet sumber titik yang memenuhi lebar celah.



Gambar 1 Cahaya dilewatkan pada celah sempit

Ada dua macam difraksi, yaitu difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel. Jika jarak celah ke layar cukup jauh maka berkas-berkas cahaya yang keluar dari celah ke layar dapat dianggap sejajar (lihat Gambar 1), dinamakan difraksi Fraunhofer.

Diagram fasor superposisi gelombang sekunder di P dari titik-titik sepanjang lebar celah dapat dilihat pada Gambar 2a, sedangkan di titik O dapat dilihat pada Gambar 2b.



Gambar 2 Duagram fasor superposisi gelombang

Beda fasa pada titik P antara gelombang yang berasal dari titik A dan titik B adalah:

$$\phi = k \Delta r \quad \text{atau} \quad \phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

..... (1)

Berdasarkan Gambar 2 diperoleh amplitudo superposisi gelombang pada titik P adalah $A = 2R \sin \frac{\phi}{2}$. Jika amplitudo pada titik O adalah A_0 , maka diperoleh:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{2R \sin \frac{\phi}{2}}{R \phi} = \frac{\sin \frac{\phi}{2}}{\frac{\phi}{2}}$$

..... (2)

Dan perbandingan antara intensitas di titik P dan di titik O adalah:

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{\sin \frac{\phi}{2}}{\frac{\phi}{2}} \right)^2$$

..... (3)

Agar intensitas pada layar sama dengan nol (Syarat agar terjadi minimum):

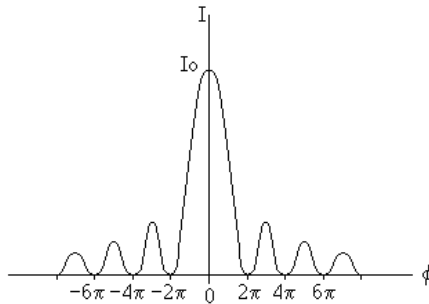
$$\sin^2 \frac{\phi}{2} = 0 \quad \text{atau} \quad \phi = 2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots \quad (4)$$

Berdasarkan Persamaan (1) dan (4) diperoleh persamaan:

$$\boxed{d \sin \theta = n \lambda}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

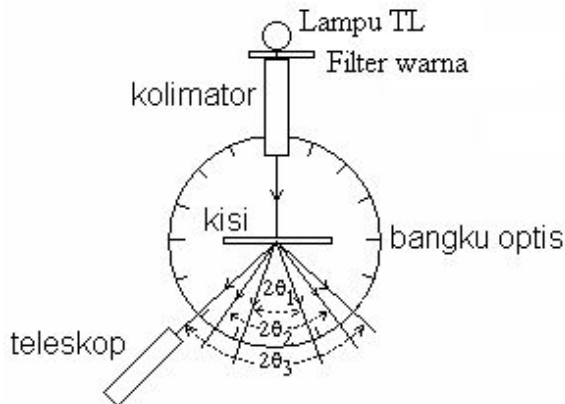
n adalah orde pola difraksi ($= 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)

Adapun Grafik hubungan antara intensitas terhadap ϕ dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pola intensitas pada difraksi

Persamaan (5) dapat digunakan untuk menentukan panjang gelombang cahaya dengan menggunakan spektrometer kisi difraksi, yaitu dengan mengukur θ , dan konstanta kisi d yang telah diketahui.



Gambar 4 sketsa eksperimen spektrometer kisi difraksi

2. Efekfotolistrik

Sifat dualisme cahaya adalah sifat cahaya yang dapat dipandang sebagai gelombang dan sebagai partikel. Pada peristiwa efek fotolistrik hanya dapat dijelaskan dengan memandang cahaya sebagai partikel, di mana berkas cahaya yang mengenai lempeng logam (katoda) dianggap sebagai aliran foton yang mempunyai energi :

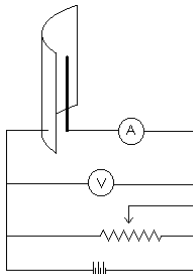
$$E = h f \quad \dots \dots \dots (6)$$

Jika seberkas cahaya dijatuhkan pada lempeng logam akan terjadi peristiwa tumbukan antara foton dengan elektron yang berada di dekat permukaan lempeng logam, dalam peristiwa tumbukan tersebut terjadi perpindahan momentum maupun energi. Sebagian energi (E) yang diberikan oleh foton digunakan untuk melepaskan elektron ikatnya (E_0) dalam struktur atom sisanya digunakan sebagai energi kinetik (E_k).

$$E = E_0 + E_k \quad \dots \dots \dots (7)$$

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa elektron hanya dapat keluar dari lempeng logam apabila foton yang datang mempunyai energi yang lebih besar dari energi ikat elektron dalam struktur atomnya. Meskipun intensitas cahaya diperbesar, elektron tidak akan keluar jika $E < E_0$.

Apabila $E = E_0$, maka energi foton tepat akan mengeluarkan elektron dari logam dengan energi kinetik sama dengan nol, atau dengan kata lain energi foton tepat sama dengan fungsi kerja fotolistrik (energi ikat elektron dalam logam) dengan frekuensi batas f_0 .



Pada Gambar 5, elektron meninggalkan katoda dengan energi kinetik sebesar $\frac{1}{2} m v^2$. Jika beda potensial antara anoda dan katoda dibalik (katoda lebih positif dari anoda), maka gerakan elektron oleh gaya medan listrik. Sehingga dengan tegangan tertentu elektron tepat dapat dihentikan oleh gaya medan tersebut.

Gambar 5 Rangkain eksperimen efekfotolistrik.

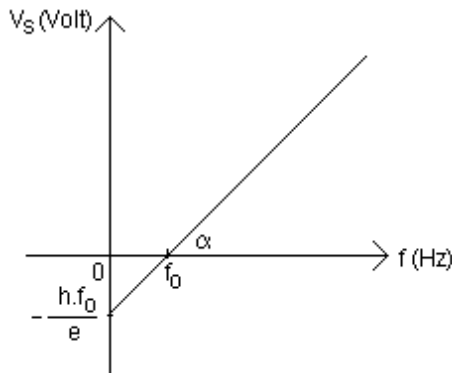
Tegangan yang dapat menghentikan elektron dinamakan potensial pemberhenti (V_s).

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V_s \quad \dots \dots \dots (8)$$

Dari Persamaan (7) dan (8) diperoleh:

$$f = f_0 + \frac{e}{h} V_s \quad (9)$$

Berdasarkan Gambar 6 (grafik di samping)



$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{h}{e} \quad \text{atau} \\ h &= e \operatorname{tg} \alpha \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

- h : Tetapan Planck.
- e : Muatan elektron ($1,6 \cdot 10^{-10}$ C)
- V_s : Potensial pemberhenti.
- f : Frekuensi foton.
- f_0 : Frekuensi batas.

Gambar 6 Grafik hubungan f dan V_s .

Hasil dan Pembahasan

Percobaan Spektrometer Kisi Difraksi

Tujuan percobaan adalah untuk menentukan nilai panjang gelombang dari berbagai warna dengan sumber cahaya lampu TL dan lampu wolfram. Karena kepekaan alat spectrometer sangat terbatas maka setelah dilakukan eksperimen hanya diperoleh 3 panjang gelombang merah, jingga dan hijau, masing-masing untuk sumber cahaya lampu TL dan lampu wolfram.

Tabel 1. Hasil pengamatan panjang gelombang dengan eksperimen spektrometer kisi difraksi dengan lampu TL

Tetapan kisi: $d = 10^{-5}$ m

Jumlah Filter warna	Warna yang dihasilkan	n	kiri			kanan			Θ (rata-rata)
			derajat	menit	Θ	derajat	menit	Θ	
2 merah	Merah	1	133	34	3.45	126	13.5	3.89	3.67
1 merah dan 2 kuning	Jingga	1	133	22	3.25	126	15	3.87	3.56
1 hijau	Hijau	1	133	9	3.03	127	2.5	3.075	3.054

Berdasarkan tabel 1 dan Persamaan 1 diperoleh nilai panjang gelombang dan frekuensi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai panjang gelombang dan frekuensi.

Warna	λ (m)	$f = c / \lambda$ (hertz)
Merah	6.4024×10^{-7}	4.6857×10^{14}
Jingga	6.2065×10^{-7}	4.8336×10^{14}
Hijau	5.3280×10^{-7}	5.6306×10^{14}

c merupakan cepat rambat cahaya di udara ($=3 \times 10^8$ m/s)

Tabel 3. Hasil pengamatan panjang gelombang dengan eksperimen spektrometer kisi difraksi dengan lampu wolfram

Tetapan kisi: $d = 10^{-5}$ m

Jumlah Filter warna	Warna yang dihasilkan	n	kiri			kanan			Θ (rata-rata)
			derajat	menit	Θ	derajat	menit	Θ	
3 merah	Merah	1	134	23	3.74	126	25	3.71	3.73
2 merah dan 4 kuning	Jingga	1	134	25	3.68	126	30	3.63	3.61
1 hijau	Hijau	1	133	12	2.82	127	1	3	2.91

Sebagai acuan :

Terang pusat	
derajat	menit
130	1
130	7.5
130	4

Berdasarkan tabel 3 dan Persamaan 1 diperoleh nilai panjang gelombang dan frekuensi seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai panjang gelombang dan frekuensi.

Warna	λ (m)	$f = c / \lambda$ (hertz)
Merah	6.4968×10^{-7}	4.6177×10^{14}
Jingga	6.2936×10^{-7}	4.7667×10^{14}
Hijau	5.0738×10^{-7}	5.9127×10^{14}

c merupakan cepat rambat cahaya di udara ($=3 \times 10^8$ m/s)

Panjang gelombang yang diperoleh dari hasil eksperimen spektrometer kisi difraksi seperti pada tabel 4.2 dan tabel 4.4, sesuai dengan yang ada pada buku acuan yaitu:

- Panjang gelombang merah 630-700 nm.
- Panjang gelombang jingga 590-630 nm.
- Panjang gelombang hijau 480-560 nm

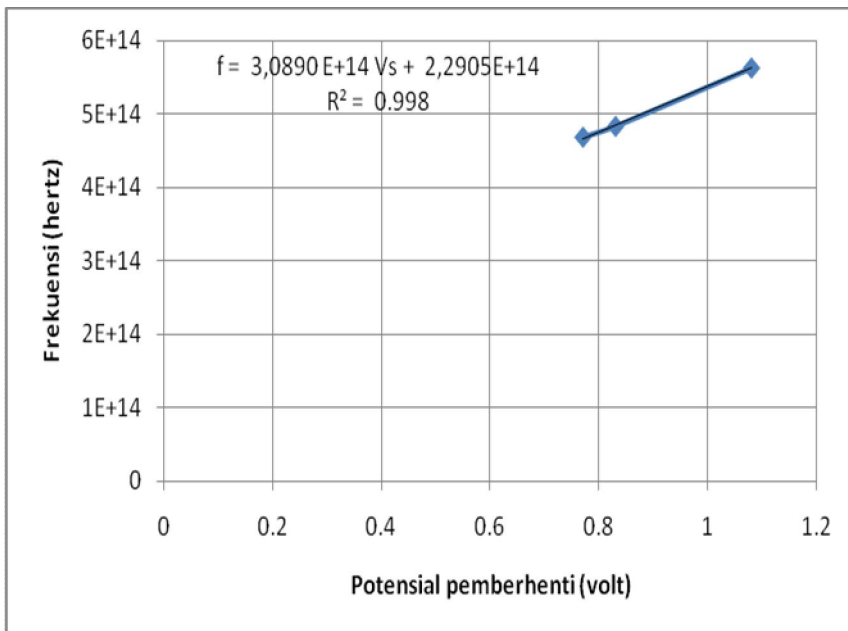
Percobaan Efektolistrik

Tujuan percobaan adalah untuk menentukan nilai konstanta Planck melalui grafik hubungan antara frekuensi cahaya (f) dan potensial pemberhenti (V_s). Pada percobaan ini akan digunakan panjang gelombang warna merah, jingga dan hijau hasil eksperimen spectrometer kisi difraksi.

Tabel 5 Hasil pengamatan eksperimen efekfotolistrik dengan menggunakan lampu TL sebagai sumber cahaya.

Warna	λ (m)	$f = c / \lambda$ (hertz)	V_s (volt)
Merah	6.4024×10^{-7}	4.6857×10^{14}	0.77
Jingga	6.2065×10^{-7}	4.8336×10^{14}	0.83
Hijau	5.3280×10^{-7}	5.6306×10^{14}	1.08

Berdasarkan tabel 5 diperoleh grafik hubungan antara frekuensi (f) dan potensial pemberhenti (V_s).



Gambar 7. Grafik hubungan antara frekuensi dan potensial pemberhenti (lampu TL)

Berdasarkan persamaan pada Gambar 7, $f = 3,0890 \times 10^{14} V_s + 2,2905 \times 10^{14}$ dan Persamaan 2.5

$$f = f_0 + \frac{e}{h} V_s \text{ diperoleh:}$$

Frekuensi batas logam alat efekfotolistrik = $2,2905 \times 10^{14}$ Hz.

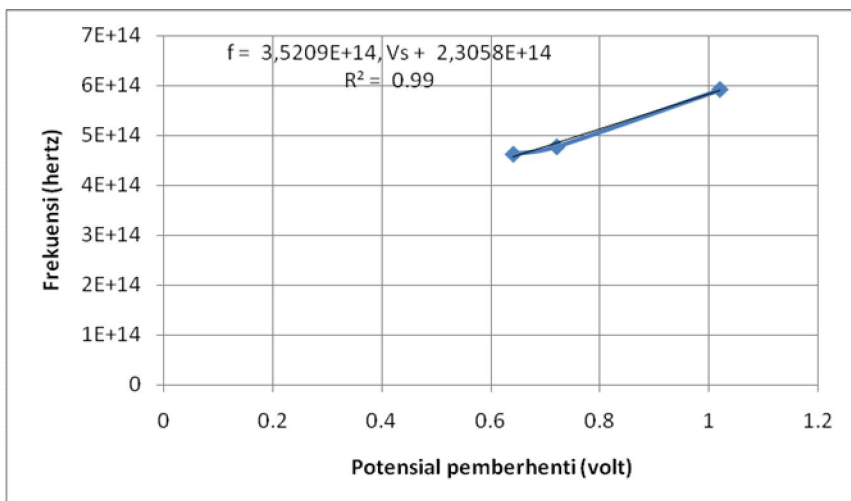
Konstanta Planck: $\frac{e}{h} = 3,0890 \times 10^{14}$, dengan $e = 1,6 \times 10^{-19}$ coulomb.

$$h = 5,1797 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Tabel 6 Hasil pengamatan eksperimen efekfotolistrik dengan menggunakan lampu wolfram sebagai sumber cahaya.

Warna	λ (m)	$f = c / \lambda$ (hertz)	V_s (volt)
Merah	6.4968×10^{-7}	4.6177×10^{14}	0.64
Jingga	6.2936×10^{-7}	4.7667×10^{14}	0.72
Hijau	5.0738×10^{-7}	5.9127×10^{14}	1.02

Berdasarkan tabel 4.6 diperoleh grafik hubungan antara frekuensi (f) dan potensial pemberhenti (Vs).



Gambar 8. Grafik hubungan antara frekuensi dan potensial pemberhenti (lampu wolfram)

Berdasarkan persamaan pada Gambar 8, $f = 3,5209 \times 10^{14} V_S + 2,3058 \times 10^{14}$ dan Persamaan 2.5

$$f = f_0 + \frac{e}{h} V_S \text{ diperoleh:}$$

Frekuensi batas logam alat efekfotolistrik = $2,3058 \times 10^{14}$ Hz.

Konstanta Planck: $\frac{e}{h} = 3,0890 \times 10^{14}$, dengan $e = 1,6 \times 10^{-19}$ coulomb.

$$h = 4,5443 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Nilai konstanta Planck yang diperoleh dari hasil eksperimen efekfotolistrik tidak sama persis dengan nilai konstanta Planck yaitu $6,63 \times 10^{-34}$ Js, hal ini disebabkan karena adanya nilai panjang gelombang cahaya datang belum tepat sekali dan adanya ketidakpastian dalam pengukuran.

Penutup

Telah dilakukan penelitian pengukuran panjang gelombang cahaya dengan menggunakan eksperimen spectrometer kisi difraksi dan pemanfaatannya dalam eksperimen efekfotolistrik. Pada eksperimen spectrometer kisi difraksi diperoleh nilai panjang gelombang cahaya merah, jingga dan hijau dari filter warna dengan lampu TL dan lampu wolfram. Untuk lampu TL, panjang gelombang cahaya warna merah 6.4024×10^{-7} m, warna jingga 6.2065×10^{-7} m, dan warna hijau 5.3280×10^{-7} m. Sedangkan untuk lampu TL, panjang gelombang cahaya warna merah 6.4968×10^{-7} m, warna jingga 6.2936×10^{-7} m, dan warna hijau 5.0738×10^{-7} m. Panjang gelombang yang dihasilkan terletak dalam range panjang gelombang acuan, yaitu: ada pada buku acuan yaitu: panjang gelombang merah 630-700 nm, panjang gelombang jingga 590-630 nm, dan panjang gelombang hijau 480-560 nm.

Panjang gelombang yang dihasilkan dari eksperimen kisi difraksi telah diimplementasikan dalam eksperimen efekfotolistrik, dan diperoleh nilai konstanta Planck $h = 5,1797 \times 10^{-34}$ Js untuk sumber cahaya lampu TL dan $h = 4,5443 \times 10^{-34}$ Js untuk sumber cahaya lampu wolfram. Kedua nilai konstanta Planck tersebut belum sama persis dengan nilai konstanta Planck $6,63 \times 10^{-34}$ Js, namun sudah cukup baik mengingat adanya beberapa keterbatasan ketelitian alat dan ketidakpastian dalam pengukurannya. Dengan demikian nilai panjang gelombang yang dihasilkan dari eksperimen spectrometer kisi difraksi dapat dimanfaatkan untuk eksperimen efekfotolistrik.

PUSTAKA

Beiser, Arthur. (2002). *Concept of Physics Modern*. Publisher: McGraw-Hill.

Laboratorium Fisika (2008). Modul Praktikum Fisika Lanjut. UKWMS. Surabaya.

Tyler, Frank. (1977). *A Laboratory Manual of Physics*. London: Edward Arnold.