

KONSTANTA PLANCK DAN KURVA SPEKTRAL LED

1. TUJUAN PERCOBAAN

- 1.1. Menentukan tegangan nyala untuk setiap lampu LED.
- 1.2. Menghitung energi yang dibutuhkan untuk memancarkan cahaya pada LED.
- 1.3. Menentukan panjang gelombang tiap warna pancaran LED melalui analisis kurva spektral.
- 1.4. Menentukan nilai *Full-Width at Half Maximum* (FWHM) dari kurva spektral LED.
- 1.5. Menghitung nilai konstanta Planck dan galatnya.

2. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN



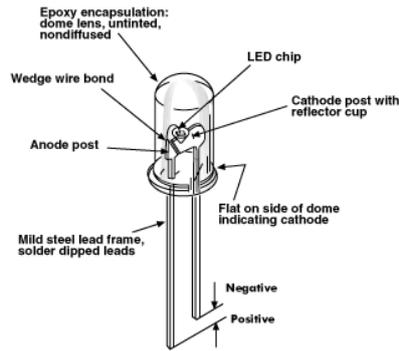
Gambar 14.1. Alat-alat yang digunakan

1. Perangkat antarmuka LabQuest2,
2. PC berisi aplikasi Logger Pro ,
3. Spektrometer,
4. Kabel serat optik,
5. Penguat daya,
6. Kabel penguat daya,
7. Resistor,
8. LED berbagai warna,
9. *Probe* arus,
10. *Probe* tegangan,
11. Kabel *mini stereo*,
12. Kabel penghubung

3. KONSEP DASAR YANG TERKAIT

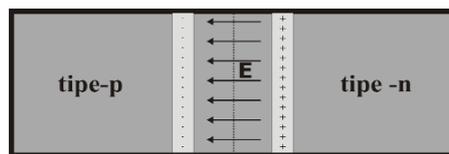
3.1. *Light Emitting Diode (LED)*

LED merupakan dioda yang memancarkan cahaya jika diberi tegangan tertentu. LED terbuat dari bahan semikonduktor tipe-p (pembawa muatan bebas mayoritas adalah *hole* / lubang) dan tipe-n (pembawa muatan bebas mayoritas adalah elektron).



Gambar 14.2. LED

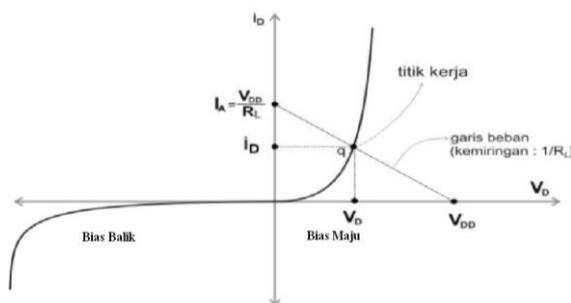
Jika bahan tipe-p disambungkan dengan bahan tipe-n maka akan terbentuk daerah pengosongan pada daerah sambungan (zona deplesi). Hal ini disebabkan oleh adanya elektron bebas pada bahan tipe-n yang berdifusi dan masuk ke bahan tipe-p dan menyebabkan proses rekombinasi dengan lubang yang ada pada bahan tipe-p. Hal yang sama juga terjadi pada daerah tipe-p, lubang pada bahan tipe-p akan berdifusi dan masuk ke bahan tipe-n dan berekombinasi dengan elektron dan saling meniadakan muatan.



Gambar 14.3. Skema Gabungan Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n

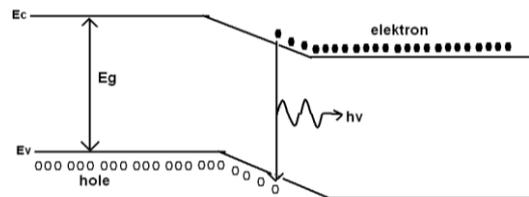
Pada daerah pengosongan, muatan positif yang terpisah dari muatan negatif akan menyebabkan terjadinya medan listrik.

Karakteristik LED adalah hubungan antara arus LED dan beda tegangan antara kedua ujung LED. Untuk LED sambungan p-n, lengkung karakteristiknya diperlihatkan pada Gambar 14.3. $I_D=0$ jika $V_D=0$. Jika diberi panjar maju, $V_D>0$, arus I_D mula-mula mempunyai nilai $I_D=0$, sehingga $V_D=V_{potong}$. Setelah itu arus diode naik cepat terhadap perubahan tegangan LED, V_D . Pada tegangan panjar mundur, arus yang mengalir amat kecil, dan sampai batas tertentu tidak bergantung pada tegangan diode. Arus ini terdiri dari arus pembawa muatan minoritas, mengalir dari anoda ke katoda dan arus jenuh diode. Pada tegangan panjar mundur tertentu lengkung ciri turun dengan curam. Keadaan ini disebut keadaan dadal (*breakdown*). Tegangan mundur pada keadaan ini disebut tegangan dadal atau tegangan balik puncak (*peak inverse voltage, PIV*).



Gambar 14.4. Kurva Karakteristik LED

Jika tegangan panjar maju diberikan ke LED, elektron-elektron pada pita konduksi di daerah n akan mempunyai energi yang cukup untuk melewati sambungan. Begitu juga dengan lubang pada pita valensi di daerah p , akan bergerak melewati sambungan yang ditunjukkan pada Gambar 14.5.



Gambar 14.5. Skema Rekombinasi pada LED

Pada daerah sambungan, elektron dan lubang akan berkombinasi dan melepaskan foton dengan energi

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (14.1)$$

dengan E energi foton (J), h konstanta planck ($6,63 \times 10^{-34}$ Js), f frekuensi radiasi, c cepat rambat cahaya ($2,9979 \times 10^8$ m/s), dan λ panjang gelombang cahaya yang diemisikan LED. Energi foton ini setidaknya harus bernilai sama dengan beda energi antara pita valensi dan konduksi (*band gap*) yang besarnya

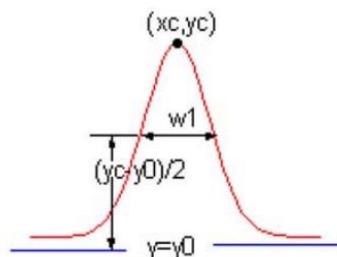
$$E = E_g = eV \quad (14.2)$$

dengan e muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C) dan V tegangan potong/nyala LED.

3.2. Kurva Spektral

Kurva spektral merepresentasikan intensitas relatif yang muncul sebagai fungsi panjang gelombang cahaya yang diserap atau direfleksikan oleh sebuah medium/sumber cahaya. Untuk divais LED, kurva spektral yang ideal memiliki bentuk Delta-Dirac karena kurva Delta-Dirac memberikan informasi bahwa LED hanya mengemisikan cahaya dengan satu nilai panjang gelombang. Meskipun demikian, kurva Delta-Dirac tidak mungkin didapatkan karena keterbatasan alat ukur dan divergensi dari fungsi Delta-Dirac. Oleh karena itu, analisis kurva spektral seringkali dilakukan dengan pendekatan bentuk kurva lain seperti Gaussian, Lorentzian, dan Voigt.

Pada praktikum ini, analisis spektral akan dilakukan dengan pendekatan kurva Gaussian. Kurva Gaussian memiliki bentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.6.



Gambar 14.6. Kurva Gaussian

Fungsi Gaussian memiliki bentuk umum

$$y = \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{2(x-x_c)^2}{w^2}} + y_0 \quad (14.3)$$

dengan y_0 merupakan nilai *offset*, A merupakan luasan kurva Gaussian, x_c merupakan posisi puncak dalam sumbu-x, dan w merepresentasikan lebar kurva Gaussian.

Dalam melakukan analisis spektral, fungsi Gaussian tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk regresi umum intensitas relatif sebagai fungsi panjang gelombang $I(\lambda)$

$$I(\lambda) = Ae^{-\frac{(\lambda-B)^2}{2C^2}} + D \quad (14.4)$$

dengan A amplitude intensitas, B panjang gelombang dengan intensitas maksimum, C mewakili ketidakpastian, dan D mewakili *offset*. Jika diasumsikan $D \ll A$ dan digunakan domain $\lambda \in (-\infty, \infty)$, maka dari persamaan (14.4) dapat ditentukan lebar FWHM (*Full-Width at Half Maximum*), yaitu jarak antara dua titik pada kurva Gaussian dengan intensitas $I' = \frac{1}{2}(I_{maks} + I_{mini})$, yaitu

$$FWHM = |2,355C| \quad (14.5)$$

Nilai FWHM pada persamaan (14.5) dapat dianggap sebagai nilai FWHM teoretik karena nilai d seharusnya bernilai nol. Jika asumsi $D \ll A$ tidak digunakan dan domain $\lambda \in [\lambda_{kiri}, \lambda_{kanan}]$ (λ_{kiri} merupakan batas bawah pengukuran dan λ_{kanan} merupakan batas atasnya), maka didapatkan panjang gelombang FWHM kurva Gaussian yang terbentuk

$$FWHM = 2|C| \sqrt{2 \ln \left(\frac{A}{I'-D} \right)} \quad (14.6)$$

Nilai FWHM pada persamaan (14.6) dapat dianggap sebagai nilai FWHM eksperimen.

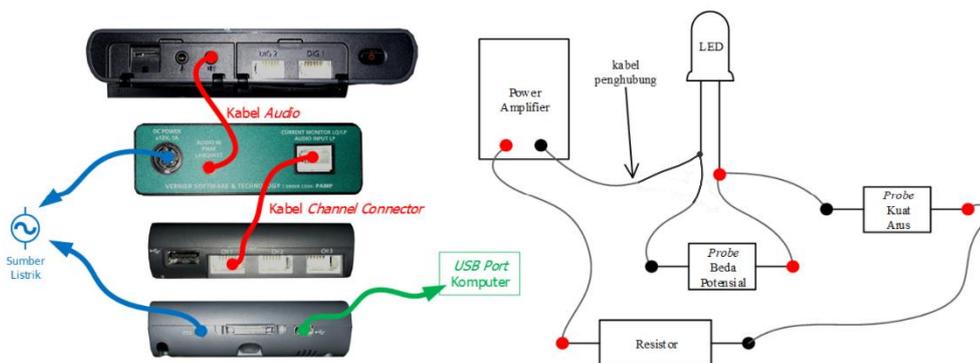
4. LANGKAH EKSPERIMEN

Perhatian!

1. Praktikan dilarang menyalakan listrik jika belum mendapat persetujuan asisten.
2. Praktikan dilarang untuk mengubah susunan peralatan tanpa izin dan sepengetahuan asisten

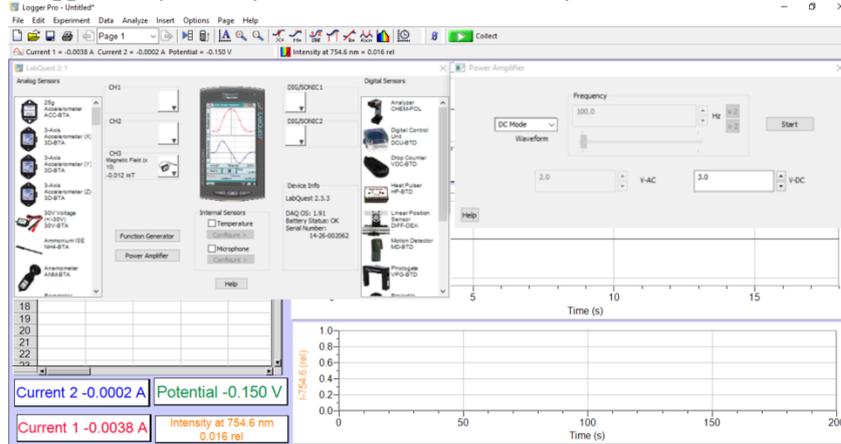
4.1. Menentukan Tegangan Nyala LED Menggunakan Grafik

1. Pilih salah satu lampu LED.
2. Rangkai alat seperti pada Gambar 14.7.



Gambar 14.7. Susunan alat pada Percobaan 1

3. Pada aplikasi Logger Pro pilih “Experiment Menu” → “Set Up Sensors” → “Show All Interfaces”.



Gambar 14.8. Pengaturan untuk Penguat Daya

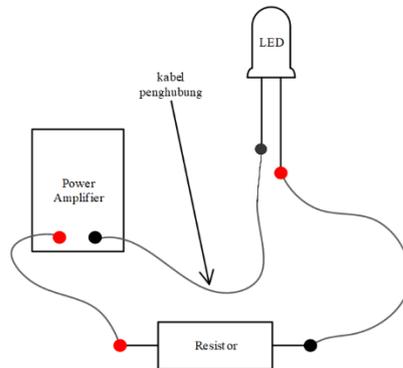
4. Setelah muncul jendela dialog “Sensor Setup”, pilih “Power Amplifier”. Atur opsi “Waveform” hingga terpilih “Ramp Up”.
5. Atur frekuensi pada 100 Hz dan tegangan 3 V untuk setiap lampu LED.
6. Pilih ikon , atur “Data Collection Rate” sebesar 10.000 Hz dan “Duration” sebesar 0,01 detik. Pilih “Triggering” menjadi “Enable” dan atur agar perekaman data dimulai ketika tegangan meningkat di 0,2 V.
7. Setup probe arus dan probe tegangan dengan memilih ikon .
8. Nyalakan arus dengan menekan “Start”.
9. Klik kiri keterangan sumbu-x dari salah satu kurva dan ubah agar sumbu-x merepresentasikan tegangan. Lakukan hal yang sama untuk mengubah keterangan sumbu-y agar sumbu-y merepresentasikan arus yang mengalir pada LED (silakan dicoba antara “Current 1” atau “Current 2” dan lihat arus mana yang menghasilkan profil kurva I-V paling mendekati kurva karakteristik LED).
10. Catat tegangan yang terukur ketika probe arus listrik mulai mendeteksi adanya kuat arus listrik (ditunjukkan dengan grafik kuat arus listrik yang meningkat).
11. Ulangi percobaan untuk seluruh lampu LED.
12. Catat hasil pengambilan data pada Tabel 14.1.

Tabel 14.1. Data Percobaan 1

Lampu	Tegangan Nyala (V)
Merah A	
Merah B	
Kuning/Oranye A	
Kuning/Oranye B	
Hijau A	
Hijau B	

4.2. Analisis Kurva Spektral

- 1) Pilih salah satu lampu LED.
- 2) Rangkai alat seperti pada Gambar 14.7 tanpa menyertakan *probe* arus dan tegangan, seperti pada Gambar 14.9.



Gambar 14.9. Susunan alat pada Percobaan 2

- 3) Pada LabQuest 2 pilih menu "Power Amplifier".
- 4) Pilih "DC Mode" dan atur tegangan 3 V untuk setiap lampu LED. Pilih "Start".
- 5) Kembali ke *interface* pengambilan data pada LabQuest 2 dan mulai lakukan pengambilan data dengan menekan "Collect".
- 6) Sorot LED yang menyala dengan ujung bebas dari kabel serat *optic*. Jika puncak dari grafik datar atau terlalu lebar, jauhkan ujung kabel serat *optic* dari LED. Sebaliknya, jika puncaknya terlalu kecil atau tidak muncul, dekatkan ujung kabel serat *optic* pada LED.
- 7) Tekan "Stop" jika telah mendapatkan kurva yang mendekati Gaussian.
- 8) Catat hasil pengambilan data pada Tabel 14.2.

Tabel 14.2. Data Intensitas untuk Tegangan Masukan 3 V

Lampu	I_{min}	I_{maks}	I_{FWHM}
Merah A			
Merah B			
Kuning/Oranye A			
Kuning/Oranye B			
Hijau A			
Hijau B			

- 9) Kemudian, lakukan *plotting* kurva Gaussian untuk kurva spektral yang telah diperoleh dengan memilih "Analyze" → "Curve Fitting" → "Intensity". Pilih bentuk kurva Gaussian. Jika didapat nilai RMSE (*Root-Mean-Square Error*) lebih dari 2%, ulangi pengambilan data.
- 10) Catat hasil *plotting* pada Tabel 14.3.

Tabel 14.3. Data *Plotting* Kurva Gaussian Tegangan Masukan 3 V

Lampu	A	B	C	D	FWHM teoretik	FWHM eksperimen
Merah A						
Merah B						
Kuning/Oranye A						
Kuning/Oranye B						
Hijau A						
Hijau B						

- 11) Ulangi langkah-langkah di atas untuk seluruh lampu LED.
- 12) Ulangi langkah-langkah nomor 4 – 11 dengan variasi tegangan DC 4 V.
- 13) Lengkapi Tabel 14.4 untuk melakukan perhitungan konstanta Planck.

Tabel 14.4. Data Perhitungan Konstanta Planck

Lampu	B_{3V} (nm)	B_{4V} (nm)	$\lambda = \bar{B}$ (nm)	$1/\lambda$ (nm ⁻¹)	Tegangan nyala V (V)
Merah A					
Merah B					
Kuning/Oranye A					
Kuning/Oranye B					
Hijau A					
Hijau B					

- 14) Lakukan regresi linear dengan data-data yang didapat pada Tabel 14.4 dengan V sebagai sumbu-y dan $1/\lambda$ sebagai sumbu-x untuk menentukan konstanta Planck. Hitung pula galatnya terhadap nilai referensi.

5. TUGAS ANALISIS

1. Bandingkan nilai konstanta planck yang didapat dengan nilai referensi ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js)! Jika ada perbedaan jelaskan alasan terjadi perbedaan tersebut.
2. Jelaskan nilai FWHM (Full Width at Half Maximum) yang diperoleh pada percobaan 02 dan jelaskan makna dari masing-masing nilai FWHM yang diperoleh tersebut!
3. Apakah terdapat perbedaan antara FWHM teoretik dan eksperimen? Jelaskan!
4. Apakah terdapat perbedaan dari LED ketika diberikan tegangan 3 V dan 4 V? Jelaskan!
5. Apakah besar dari intensitas cahaya yang ditangkap oleh serat optik mempengaruhi perhitungan konstanta Planck pada percobaan ini? Jelaskan!
6. Bandingkan panjang gelombang yang didapat pada hasil pengukuran dengan rentang spektrum warna cahaya tampak! (merah : 620 – 750 nm, hijau : 495 – 570 nm, kuning : 570 – 590 nm)
7. Apakah terdapat perbedaan nilai panjang gelombang dengan intensitas maksimum ketika LED diberikan tegangan 3 V dan 4 V? Jelaskan!

6. PUSTAKA

- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2011). *Fundamentals of physics*. 10th ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- Liu, A., Khanna, A., Dutta, P. and Shur, M. (2015). Red-blue-green solid state light sources using a narrow line-width green phosphor. *Optics Express*, 23(7), p.A309.
- Vollbrecht, J., Blazy, S., Dierks, P., Peurifoy, S., Bock, H. and Kitzerow, H. (2017). Electroluminescent and Optoelectronic Properties of OLEDs with Bay-Extended, Distorted Perylene Esters as Emitter Materials. *ChemPhysChem*, 18(15), pp.2024-2032.
- Vollbrecht, J., Wiebeler, C., Neuba, A., Bock, H., Schumacher, S. and Kitzerow, H. (2016). Bay-Extended, Distorted Perylene Esters Showing Visible Luminescence after Ultraviolet Excitation: Photophysical and Electrochemical Analysis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120(14), pp.7839-7848.