

**SUMBER BELAJAR PENUNJANG PLPG 2016**

**MATA PELAJARAN/PAKET KEAHLIAN**

**FISIKA**

**BAB XIV**

**ARUS BOLAK BALIK**



**Prof. Dr. Susilo, M.S**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN DIREKTORAT**

**JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN**

**2016**

## BAB XIV

### ARUS BOLAK BALIK

#### 1.14 Materi Pokok: Efek Foto Listrik dan Sinar-X

##### a. Kompetensi Inti.

Menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.

##### b. Kompetensi Dasar (KD)/Kelompok Kompetensi Dasar (KKD).

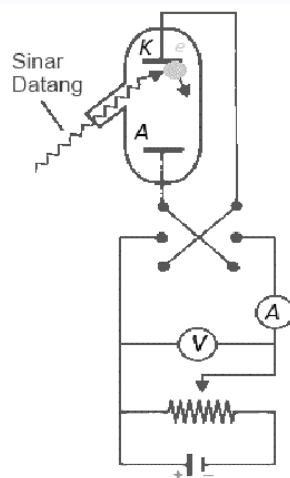
Memahami fenomena efek fotolistrik dan sinar X dalam kehidupan sehari-hari

##### c. Uraian Materi Pembelajaran (dilengkapi dengan contoh *problem solving*).

Menjelaskan beda potensial yang diperlukan untuk menghentikan partikel yang dipancarkan oleh permukaan logam tertentu

#### c.1 Efek Fotolistrik

Pada tahun 1905, Albert Einstein menggunakan gagasan Planck tentang kuantisasi energi untuk menjelaskan efek fotolistrik. Efek fotolistrik ditemukan oleh Hertz pada 1887 dan telah dikaji oleh Lenard pada tahun 1900.



Gambar 1. Percobaan efek fotolistrik

Efek fotolistrik adalah gejala lepasnya dari permukaan logam karena disinari oleh gelombang elektromagnetik tertentu.

Syarat terjadinya efek fotolistrik adalah:

- panjang gelombang sinar datang  $>$  panjang gelombang ambang bahan
- frekuensi sinar ( $f$ )  $<$  frekuensi ambang bahan ( $f_0$ )
- energi foton sinar ( $E_f$ )  $>$  energi ambang bahan ( $W_0$ )

Menurut Albert Einstein efek fotolistrik dapat dijelaskan bahwa cahaya merambat dalam bentuk paket-paket energi yang disebut foton. Foton berperilaku seperti partikel dan tiap foton mengandung energi sebesar:  $E = hf$ .

Energi kinetik maksimum elektron:

$$E_{k\text{maks}} = hf - W_0 = eV$$

$hf$  = energi foton yang digunakan

$W_0 = hf_0$  = energi foton minimal diperlukan untuk melepaskan elektron atau energi ambang

$E_{k\text{maks}}$  = energi kinetik maksimum fotoelektron.

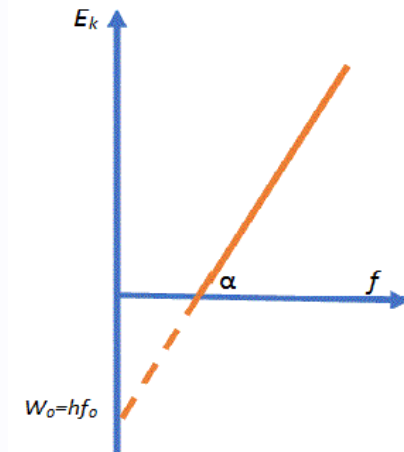
energi kinetik elektron hanya dipengaruhi oleh frekuensi ( $f$ ) dan panjang gelombang:

$$\frac{1}{2}mv^2 = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) - eV$$
$$E_k \sim f \sim \frac{1}{\lambda}$$

Hal yang perlu diperhatikan pada efek fotolistrik, antara lain:

- sebuah elektron hanya mampu menangkap sebuah foton
- intensitas penyinaran hanya mempengaruhi banyak elektron yang lepas atau jumlah foton yang keluar atau akan memperbesar kuat arus  $I$
- Intensitas penyinaran tidak mempengaruhi energi kinetik elektron

Hubungan antara Energi kinetik ( $E_k$ ) dengan frekuensi sinar dapat diilustrasikan seperti berikut:

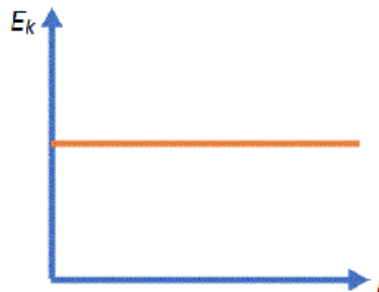


Gambar 2. Hubungan antara  $E_k$  vs  $f$

dari grafik dapat ditentukan besar konstanta Planck:

$$\tan \alpha = h = \frac{E_k}{f - f_0}$$

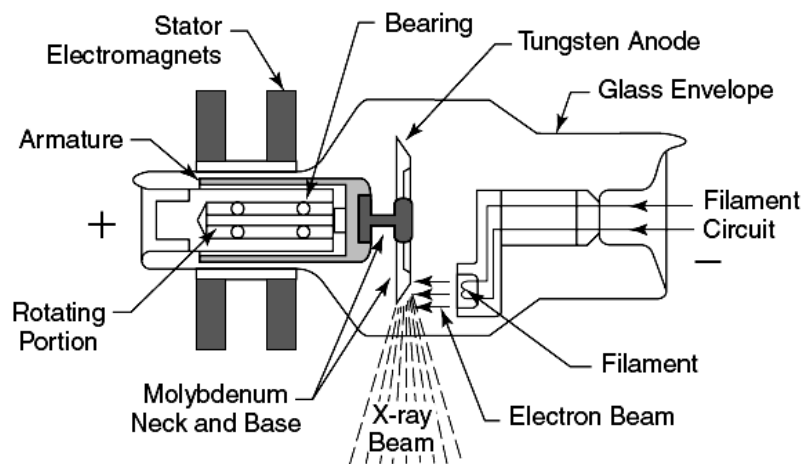
Hubungan antara  $E_k$  dengan  $I$  dapat digambarkan berikut:



Gambar 3. Hubungan  $E_k$  vs  $I$

### c.2 Sinar-X

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dan memiliki panjang gelombang antara 0,01-10 nm. Karena panjang gelombangnya yang pendek, maka sinar-X memiliki daya tembus yang besar. Disamping itu dengan energi yang dimilikinya sinar-X mampu mengionisasi materi yang dilaluinya karena itu sinar-X digolongkan sebagai sinar pengion.



Gambar 4. Skema Tabung Sinar-X (Hendee WR & Ritenour ER, 2002)

Sinar-X diproduksi dalam tabung hampa yang didalamnya terdapat filamen sebagai katoda dan material target sebagai anoda. Skema tabung sinar-X dapat ditunjukkan pada Gambar 1.14.1. Filamen dipanaskan dengan arus tertentu sehingga terbentuk awan-awan elektron, karena terjadi beda potensial antara anoda dan katoda yang cukup tinggi (dalam orde kilovolt) menyebabkan elektron bergerak dengan kecepatan tinggi menuju anoda. Interaksi elektron berkecepatan tinggi dengan material target inilah yang menyebabkan terbentuknya sinar-X. Terbentuknya radiasi sinar-X sangat kecil yaitu sekitar 1% dari jumlah energi yang hilang dan selebihnya akan terbentuk panas pada plat anoda (Bushong, 1998).

Urutan proses terjadinya sinar-X adalah sebagai berikut :

- a. Katoda (filamen) dipanaskan (lebih dari  $2000^{\circ}\text{C}$ ) sampai menyala dengan mengalirkan listrik yang berasal dari transformator.
- b. Karena panas, elektron-elektron dari katoda (filamen) terlepas.
- c. Sewaktu dihubungkan dengan transformator tegangan tinggi, elektron-elektron akan dipercepat gerakannya menuju anoda dan dipusatkan oleh alat pemusat (*focusing cup*).
- d. Filamen dibuat relatif negatif terhadap sasaran (target) dengan memilih potensial tinggi.
- e. Awan-awan elektron mendadak dihentikan pada anoda target, sehingga terbentuk panas ( $>99\%$ ) dan sinar-X ( $<1\%$ ).

- f. Pelindung timbal (Pb) akan digunakan untuk mencegah keluarnya sinar-X dari tabung, sehingga sinar-X yang terbentuk hanya dapat keluar melalui jendela.
- g. Panas yang tinggi pada target akibat benturan elektron didinginkan oleh radiator pendingin.

## 2. Jenis sinar-X

Pada tahun 1895 Wilhelm Roentgen menemukan bahwa suatu radiasi berdaya tembus besar yang tidak diketahui dihasilkan jika elektron cepat menumbuk suatu sasaran, Radiasi disebut sinar-X.

Elektron-elektron yang dipercepat menuju anoda karena adanya beda potensial  $V$  yang cukup tinggi yang dipasang antara katoda dan anoda (kutub positif). Tepat pada saat sampai di anoda, elektron telah memperoleh energi kinetik yang berasal dari perubahan energi potensial (potensial listrik)  $K = eV$ .

Kecepatan elektron dari katoda berupa energi kinetik (eV) menumbuk anoda menghasilkan energi sinar X ( $h\nu$ ) dan energi panas ( $Q$ ), dinyatakan dalam persamaan sbb.:

$$K = E_{\text{sinar}} + \text{panas}$$

$$eV = h\nu + Q$$

$$eV = h(c/\lambda) + Q$$

Persamaan ini dapat ditulis sebagai:

$$\lambda = \frac{hc}{eV - Q}$$

Dengan  $\lambda$  = panjang gelombang

$e$  = muatan elektron

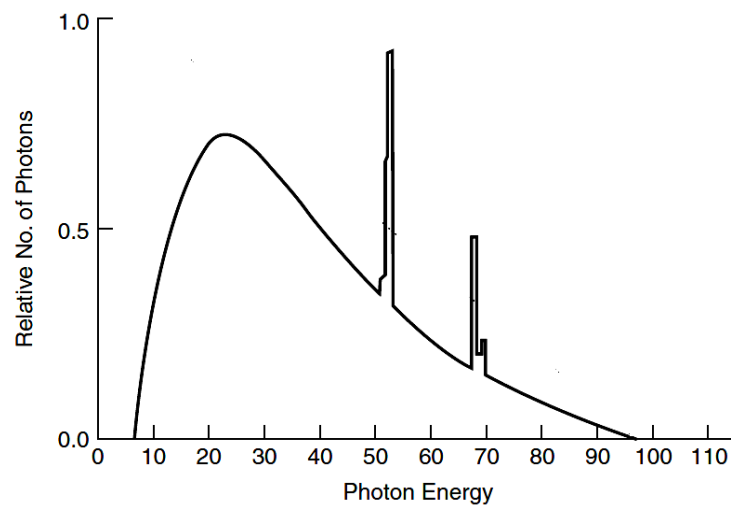
$h$  = tetapan Planck

$c$  = laju cahaya

$Q$  = energi panas

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{eV}$$

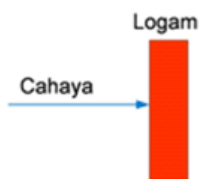
Berdasarkan prosesnya, sinar-X dibedakan menjadi dua jenis, yaitu Bremsstrahlung dan karakteristik. Spektrum sinar-X ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Spekfum sinar-X. Tampak sinar-X terdiri dari dua komponen yaitu sinar-X Bremsstrahlung dan sinar-X karakteristik (Hendee WR & Ritenour ER, 2002).

### Contoh Soal No. 1

Cermati gambar percobaan penyinaran suatu lempeng logam dengan cahaya berikut. Jika fungsi kerja logam adalah 2,2 eV dan cahaya yang disinarkan memiliki panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensi  $f$ , tentukan:



- energi cahaya minimal yang diperlukan agar elektron lepas dari logam
- frekuensi cahaya minimal yang diperlukan agar elektron lepas dari logam
- panjang gelombang maksimum yang diperbolehkan agar elektron lepas dari logam

Gunakan data berikut :

Cepat rambat cahaya  $c = 3 \times 10^8$  m/s

Tetapan Planck  $h = 6,6 \times 10^{-34}$  Js

1 eV =  $1,6 \times 10^{-19}$  joule

### Pembahasan

- energi cahaya minimal yang diperlukan agar elektron lepas dari logam

energi cahaya minimal tidak lain adalah energi ambang atau fungsi kerja logam. Sehingga

$$W_0 = 2,2 \text{ eV}$$

$$W_0 = 2,2 \times (1,6 \times 10^{-19}) \text{ joule} = 3,52 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

b) frekuensi cahaya minimal yang diperlukan agar elektron lepas dari logam

Ingat energi foton atau cahaya adalah  $E = hf$ ,  $E$  disini dilambangkan sebagai  $W_0$  sehingga

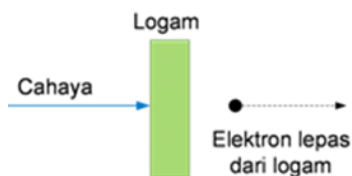
$$W_0 = h f_0$$

$$3,52 \times 10^{-19} = 6,6 \times 10^{-34} \times f_0$$

$$f_0 = 0,53 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

### Contoh Soal No. 2

Cermati gambar percobaan penyinaran suatu lempeng logam dengan cahaya berikut:



Jika fungsi kerja logam adalah 2,1 eV dan cahaya yang disinarkan memiliki panjang gelombang 2500 Å dengan konstanta Planck  $6,6 \times 10^{-34}$  Js dan  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$  joule, tentukan

- energi ambang logam dalam satuan joule
- frekuensi ambang
- panjang gelombang maksimum yang diperlukan untuk melepas elektron dari logam
- panjang gelombang dari cahaya yang disinarkan dalam meter
- frekuensi dari cahaya yang disinarkan dalam Hz
- energi foton cahaya yang disinarkan
- energi kinetik dari elektron yang lepas dari logam

### Pembahasan

Skemanya seperti ini





Logam yang di dalamnya terdapat elektron-elektron disinari oleh cahaya yang memiliki energi  $E$ . Jika energi cahaya ini cukup besar, maka energi ini akan dapat melepaskan elektron dari logam, dengan syarat, energi cahayanya lebih besar dari energi ambang bahan. Elektron yang lepas dari logam atau istilahnya fotoelektron akan bergerak dan memiliki energi kinetik sebesar  $E_k$

Hubungan energi cahaya yang disinarkan  $E$ , energi ambang bahan  $W_0$  dan energi kinetik fotoelektron  $E_k$  adalah

$$E = W_0 + E_k$$

atau

$$hf = hf_0 + E_k$$

a) energi ambang logam dalam satuan joule

$$W_0 = 2,1 \times (1,6 \times 10^{-19}) \text{ joule} = 3,36 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

b) frekuensi ambang

$$W_0 = h f_0$$

$$3,36 \times 10^{-19} = 6,6 \times 10^{-34} \times f_0$$

$$f_0 = 0,51 \times 10^{15}$$

c) panjang gelombang maksimum yang diperlukan untuk melepas elektron dari logam

$$\lambda_{\max} = c/f_0$$

$$\lambda_{\max} = 3 \times 10^8 / 0,51 \times 10^{15}$$

$$\lambda_{\max} = 5,88 \times 10^{-7} \text{ m}$$

d) panjang gelombang dari cahaya yang disinarkan dalam meter

$$\lambda = 2500 \text{ \AA} = 2500 \times 10^{-10} \text{ m} = 2,5 \times 10^{-7} \text{ m}$$

e) frekuensi dari cahaya yang disinarkan dalam Hz

$$f = c/\lambda$$

$$f = 3 \times 10^8 / 2,5 \times 10^{-7}$$

$$f = 1,2 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

f) energi cahaya yang disinarkan

$$E = hf$$

$$E = (6,6 \times 10^{-34}) \times 1,2 \times 10^{15} = 7,92 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

g) energi kinetik dari elektron yang lepas dari logam

$$E = W_0 + E_k$$

$$7,92 \times 10^{-19} = 3,36 \times 10^{-19} + E_k$$

$$E_k = 7,92 \times 10^{-19} - 3,36 \times 10^{-19} = 4,56 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

**d. Referensi (penulisan mengacu APA).**

Beiser, Arthur. 1983. Konsep Fisika Modern. Jakarta. Erlangga

Fosbinder, R.A, Kesley C.A. 2002. Essentials of Radiologic Science. McGraw-Hill Companies, Inc.

Giancoli, Douglas C. 2001. Fisika Jilid 2 edisi kelima (Terjemahan). Jakarta. Erlangga.

Halliday dan Resnik. 1991. Fisika Jilid 2 (Terjemahan). Jakarta Erlangga

Hendee V.R. & Ritenuor 8.R., "Medical Imaging Physics", Wiley Liss, USA (2002)