

KRISTAL SEMIKONDUKTOR

Rita Prasetyowati
Fisika FMIPA UNY
2011

Secara Matematis :

$$E = \hbar\omega = E_g$$

Dimana ω merupakan frekuensi anguler dari foton (gelombang elektromagnetik).

Koefisien absorpsi pada semikonduktor dengan celah pita energi langsung sebagai fungsi energi dinyatakan :

$$\alpha hf = A(hf - E_g)^{\frac{1}{2}}$$

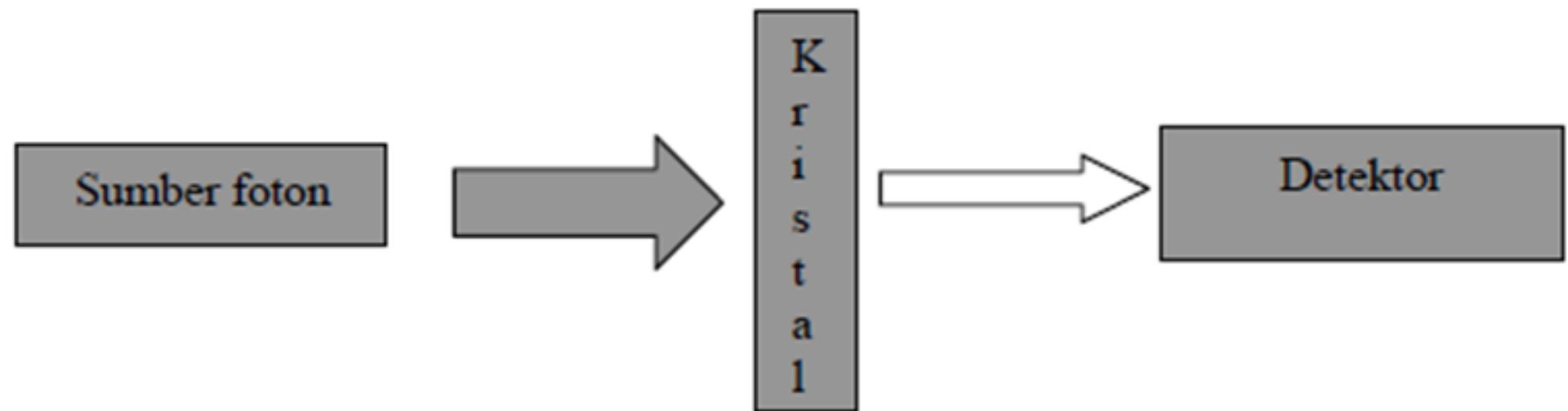
Dimana :

A = konstanta

α = koefisien absorpsi (cm^{-1})

hf = energi (eV)

E_g = energi celah pita pada material (eV)



Gambar 3. Bagan teknik penyerapan langsung.

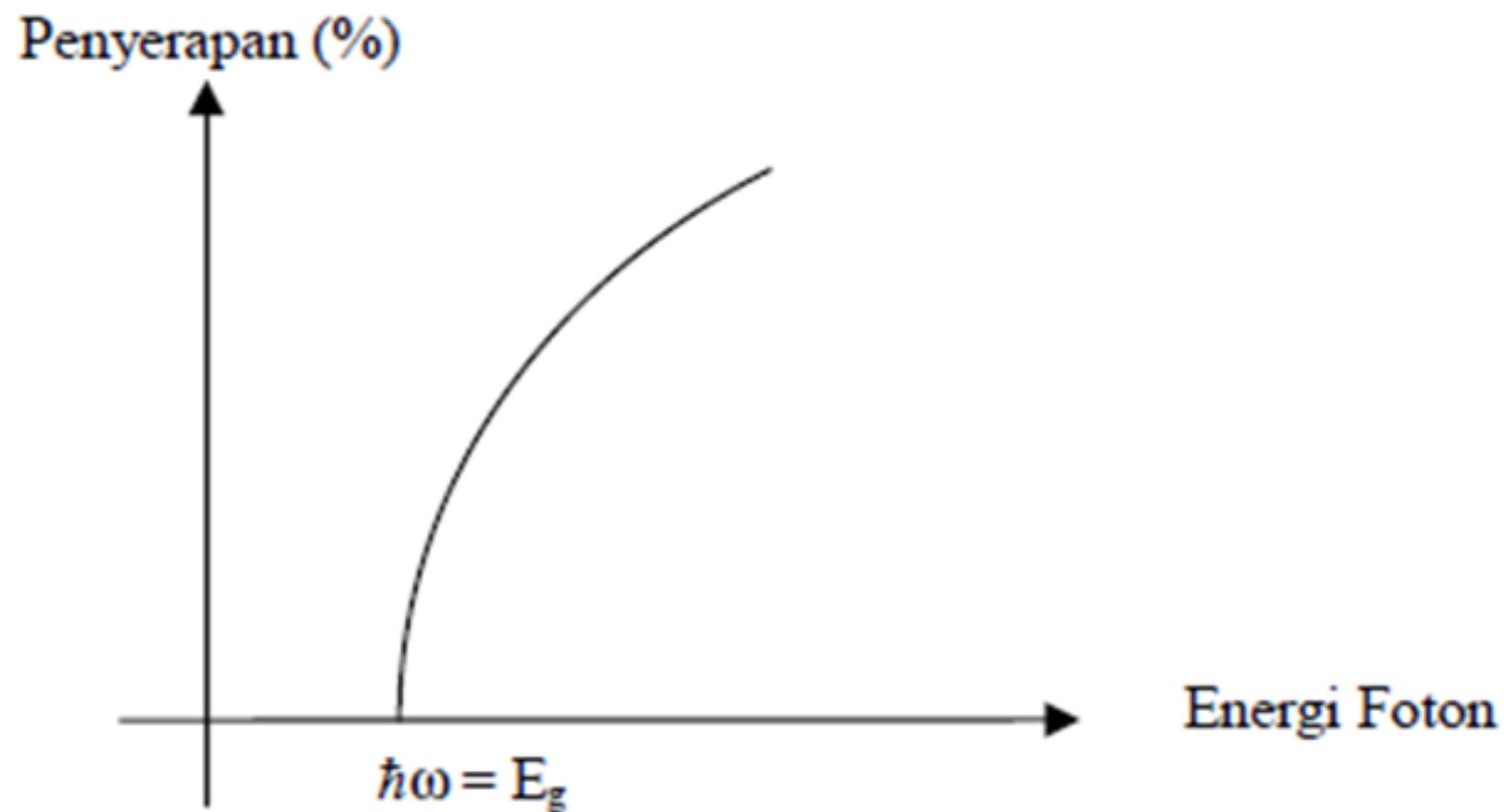
kristal semikonduktor yang akan diukur celah energinya dijatuhkan foton monokromatik dengan energi mulai dari yang kecil sampai yang besar sedemikian rupa sehingga terjadi penyerapan foton oleh kristal

Apabila foton monokromatik yang datang pada kristal semikonduktor masih diteruskan oleh kristal (dideteksi oleh detektor), maka berarti penyerapan foton oleh kristal belum terjadi.

Jika energi foton itu kita perbesar sedikit demi sedikit sehingga mulai ada foton yang tidak ditangkap oleh detektor, maka berarti pada saat ini penyerapan foton oleh kristal mulai terjadi.

Jika energi foton itu terus kita perbesar, maka penyerapan akan terus berlangsung

Pada teknik penyerapan langsung, nilai energi foton yang menyebabkan mulai terjadinya penyerapan foton oleh kristal adalah sama dengan nilai energi celah dari kristal semikonduktor itu



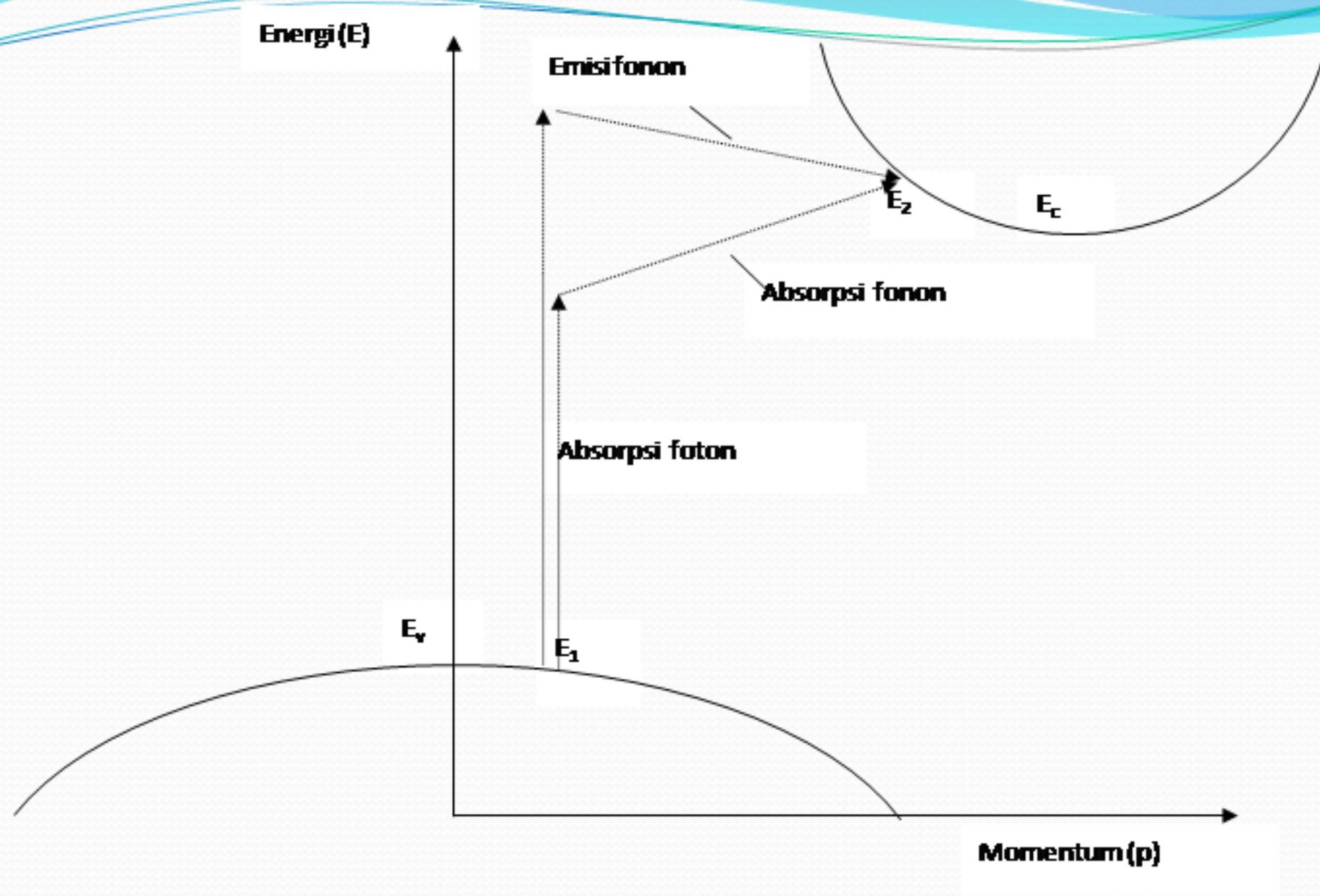
Kurva penyerapan sebagai fungsi energi pada teknik penyerapan langsung.

Pada saat *mulai* terjadi penyerapan foton oleh kristal berarti elektron-elektron pada pita valensi mulai memperoleh energi yang cukup untuk meloncati celah energi (E_g), sehingga pada saat ini timbul hole (lubang) di pita valensi dan elektron konduksi di pita konduksi.

→ tepat pada saat mulai terjadi penyerapan, energi foton yang diserap kristal (elektron) adalah tepat sama dengan nilai celah energi dari kristal semikonduktor tersebut

Penyerapan tidak langsung

- Pada semikonduktor dengan celah pita energi tidak langsung, level terendah pita konduksi tidak berada pada momentum yang sama dengan level teratas pita valensi
- Elektron mengabsorpsi foton sekaligus fonon.
- Proses ini memenuhi hukum kekekalan energi. Selain energi foton (partikel dalam gelombang elektromagnetik) terdapat juga fonon (partikel dalam gelombang elastik) yang dipancarkan maupun diserap



Gambar . Proses transisi optik pada semikonduktor dengan celah pita energi tidak langsung.

Proses transisi yang terjadi tidak hanya melibatkan foton, tetapi juga terdapat fonon.

Fonon mempunyai momentum yang sangat tinggi, meskipun energinya rendah jika dibandingkan dengan foton.

Fonon muncul karena adanya interaksi antar kisi dalam kristal.

Apabila energi foton yang diberikan lebih kecil dari energi celah pita material, maka akan terjadi absorpsi fonon.

Tetapi jika energi foton yang diberikan lebih besar dari energi celah pita material, maka akan terjadi emisi fonon

Secara Matematis

$$E_g \pm \hbar\Omega = \hbar\omega$$

Koefisien absorpsi pada semikonduktor dengan celah pita energi tidak langsung sebagai fungsi energi dinyatakan :

$$\alpha hf = A(hf - E_g)^2$$

Dengan:

A = konstanta

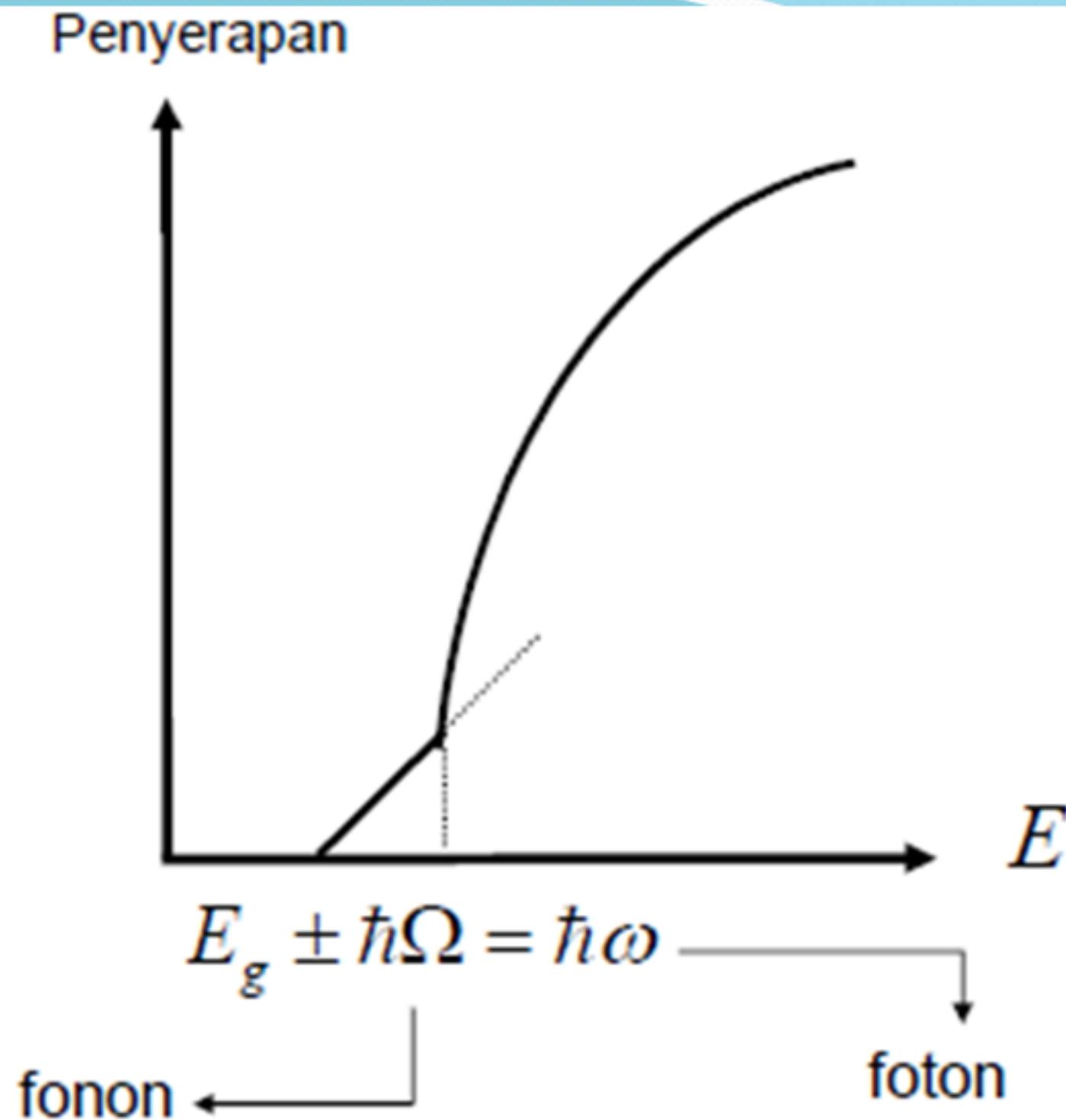
α = koefisien absorpsi (cm^{-1})

hf = energi (eV)

E_g = energi celah pita pada material (eV)

Ditinjau dari konduktivitas listrik, zat padat dapat dikelompokkan menjadi :

- ✓ Isolator
- ✓ Semikonduktor
- ✓ Konduktor
- ✓ superkonduktor



Kurva penyerapan sebagai fungsi energi pada teknik penyerapan tidak langsung.

Awal penyerapan terjadi pada saat energi foton monokromatik :

$$\hbar\omega = E_g + \hbar\Omega.$$

Pada proses ini berarti fonon muncul di dalam kristal semikonduktor bersamaan dengan munculnya hole di pita valensi dan elektron di pita konduksi.

Jika nilai $\hbar\omega = E_g - \hbar\Omega$ maka berarti bahwa fonon bersama foton diserap oleh kristal semikonduktor.

Persamaan gerak elektron dalam sebuah pita energi

Kecepatan kelompok untuk beberapa fungsi gelombang dengan vektor gelombang k adalah :

$$V_g = \frac{d\omega}{dk}$$

$$\omega = \frac{\epsilon}{\hbar}$$

$\epsilon(k)$: energi dari fungsi gelombang

$$V_g = \frac{1}{\hbar} \nabla E(k) \text{ atau}$$

$$V_g = \frac{d}{dk}(\omega) = \frac{d}{dk} \left(\frac{\epsilon}{\hbar} \right) = \frac{1}{\hbar} \frac{d}{dk}(\epsilon)$$

Pengaruh kristal di dalam gerak elektron diberikan dalam hubungan dispersi : $\epsilon(k)$

Usaha yang dilakukan oleh medan listrik pada elektron adalah :

$$\delta \epsilon = F \cdot x = -e E v_g \delta t$$

$$\frac{\delta \epsilon}{\delta k} = \frac{d \epsilon}{d k} \text{ atau}$$

$$\delta \epsilon = \frac{d \epsilon}{d k} \delta k$$

Sehingga diperoleh :

$$\frac{d \epsilon}{d k} = V_g \hbar$$

$$\delta \epsilon = \hbar V_g \delta k$$

$$\frac{\delta \epsilon}{\delta \epsilon} = \frac{-e \vec{E} V_g \delta t}{\hbar V_g \delta k}$$

Maka :

$$\hbar \frac{\delta k}{\delta t} = \hbar \frac{dk}{dt} = -eE \quad \text{atau}$$

$$\delta k = -\frac{eE}{\hbar} \delta t$$

→ merupakan persamaan untuk gaya listrik yang dialami oleh elektron karena berada dalam medan listrik E

Akhirnya diperoleh :

$$\vec{F} = \hbar \frac{d\vec{k}}{dt}$$

→ Persamaan gerak elektron dalam pita energi

Massa Efektif

- Massa efektif elektron merupakan massa elektron dalam pita energi ketika mengalami gaya atau percepatan.
- Besarnya massa efektif elektron ditentukan dari persamaan gerakanya

Langkah-langkah menentukan massa efektif

Dari persamaan sebelumnya kita tahu bahwa perumusan untuk kecepatan elektron adalah :

$$V_g = \frac{d}{dk}(\omega) = \frac{d}{dk}\left(\frac{\epsilon}{\hbar}\right) = \frac{1}{\hbar} \frac{d}{dk}(\epsilon)$$

Jika diturunkan terhadap waktu :

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{d^2 \epsilon}{dk dt}$$

atau

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} \frac{dk}{dt}$$

Dari persamaan gerak diketahui :

$$\frac{d\vec{k}}{dt} = \frac{\vec{F}}{\hbar}$$

Substitusi ke persamaan sebelumnya :

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} \frac{F}{\hbar}$$

atau

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{d^2 \epsilon}{dk^2} F$$

↓
gaya

↓ ↓
Percepatan sesuatu

Ingat :

$$F = ma \text{ atau } a = \frac{F}{m}$$

Semikonduktor?

Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor.

Semikonduktor, umumnya diklasifikasikan berdasarkan harga resistivitas listriknya pada suhu kamar, yakni dalam rentang $10^{-2}-10^9 \Omega\text{cm}$, celah energinya lebih kecil dari 6 eV.

Sebuah semikonduktor akan bersifat sebagai **isolator** pada **temperatur yang sangat rendah**, namun pada **temperatur ruang** akan bersifat sebagai **konduktor**.

Sehingga :

$$m^* = \hbar^2 \frac{1}{\frac{d^2 \epsilon}{dk^2}}$$

→ Persamaan yang menunjukkan massa efektif

Soal latihan

1. Pada pengukuran celah energi dengan teknik penyerapan tak langsung melibatkan tiga partikel. Apakah ketiga partikel tersebut ?
2. Turunkan persamaan yang menyatakan massa efektif sebuah elektron
3. Jika sebuah elektron memiliki energi sebesar $E(k) = \hbar^2 k^2 / 2m$, berapa massa efektif elektron tersebut ?

Semikonduktor dapat berupa bahan murni atau bahan paduan.

Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktivitasnya dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut doping).

Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor dan IC (*integrated circuit*).

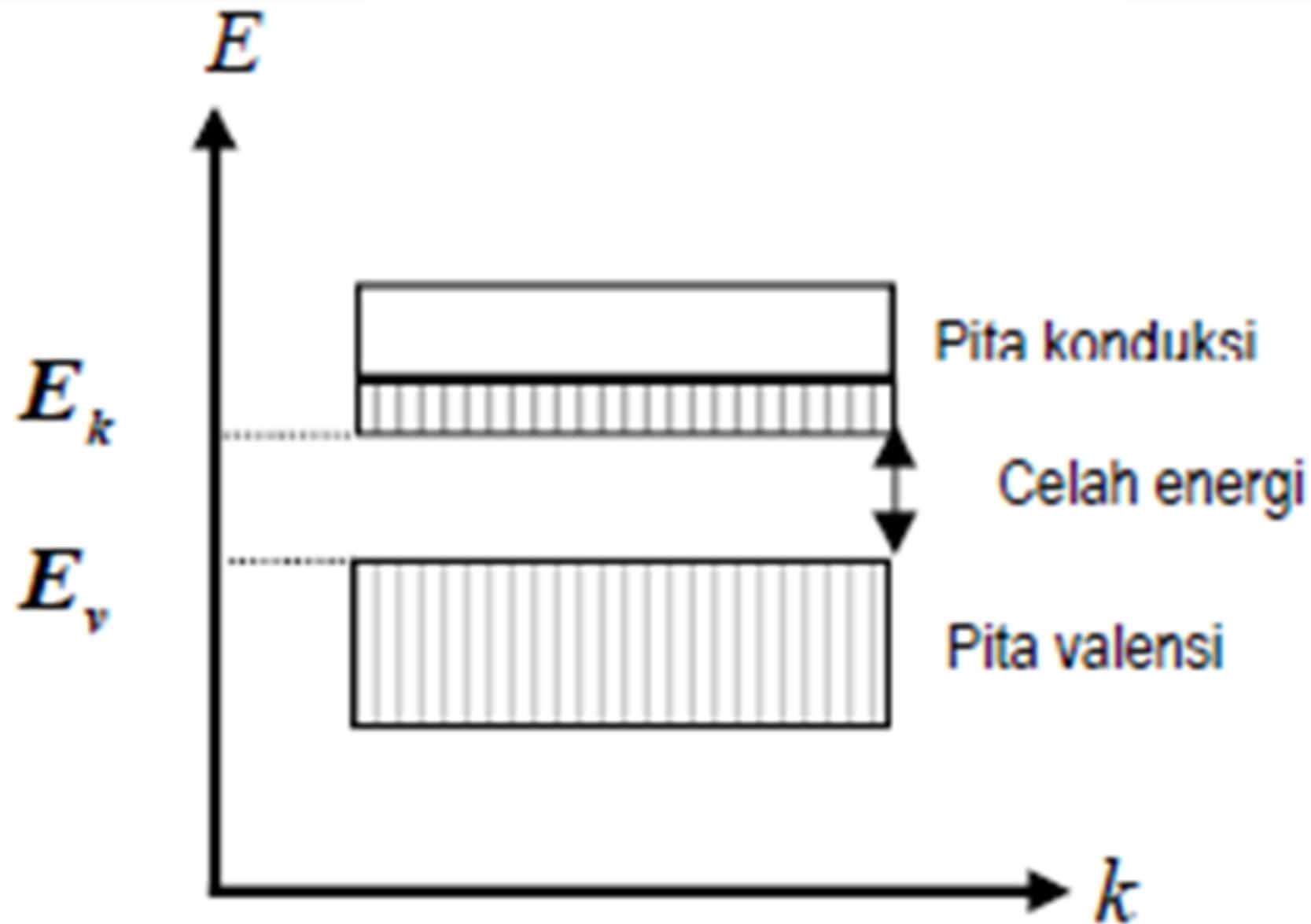
Semikonduktor sangat luas pemakaiannya, terutama sejak ditemukannya transistor pada akhir tahun 1940-an.

Celah energi

- Sifat konduktivitas dan konsentrasi ditentukan oleh faktor $\frac{E_g}{K_B T}$ → perbandingan celah energi dengan temperatur.
- Ketika perbandingan ini besar, konsentrasi sifat instrinsik akan rendah dan konduktivitasnya juga akan rendah.
- Nilai terbaik dari celah energi diperoleh dari penyerapan optik.
- Celah energi (E_g) merupakan selisih antara energi terendah pada pita konduksi (E_k) dengan energi tertinggi pada pita valensi (E_v).

Secara matematis :

$$E_g = E_k - E_v$$



Gambar 8
Pita Energi pada Semikonduktor

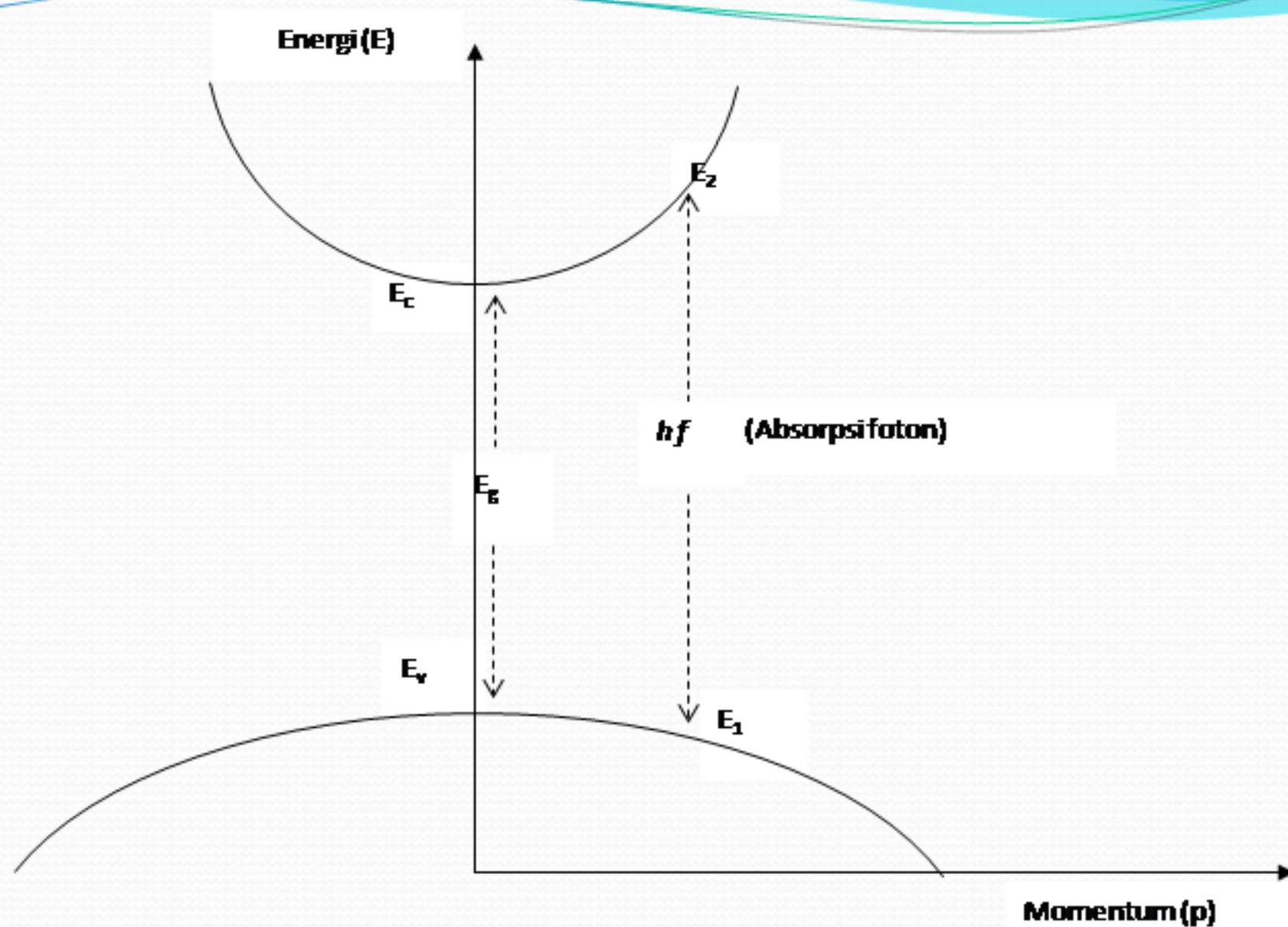
Mengukur besarnya celah energi?

Ada dua cara :

1. Penyerapan langsung
(direct band gap)
2. Penyerapan tidak langsung
(indirect band gap)

Penyerapan langsung

- Pada semikonduktor dengan celah pita energi langsung, level terendah pita konduksi berada pada momentum yang sama dengan level teratas pita valensi
- Pada penyerapan langsung ini, elektron mengabsorpsi foton dan langsung meloncat ke dalam pita konduksi.
- Besarnya celah energi (E_g) sama dengan besarnya energi foton (gelombang elektromagnetik).



Gambar . Proses transisi optik pada semikonduktor dengan celah pita energi langsung.