

# SISTEM KOMUNIKASI OPTIK

## BAB 6

# Sumber Cahaya Optik

Tri Nopiani Damayanti

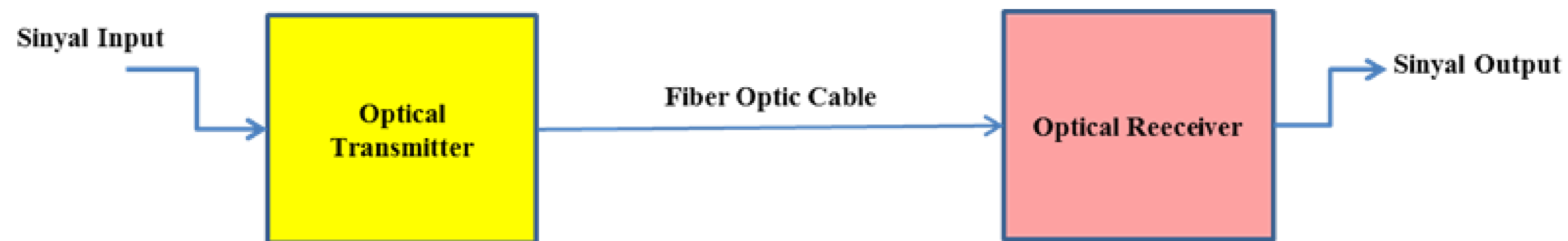
D3 Teknik Telekomunikasi – Fakultas Ilmu Terapan



# SISTEM TRANSMITTER KOMUNIKASI KABEL OPTIK

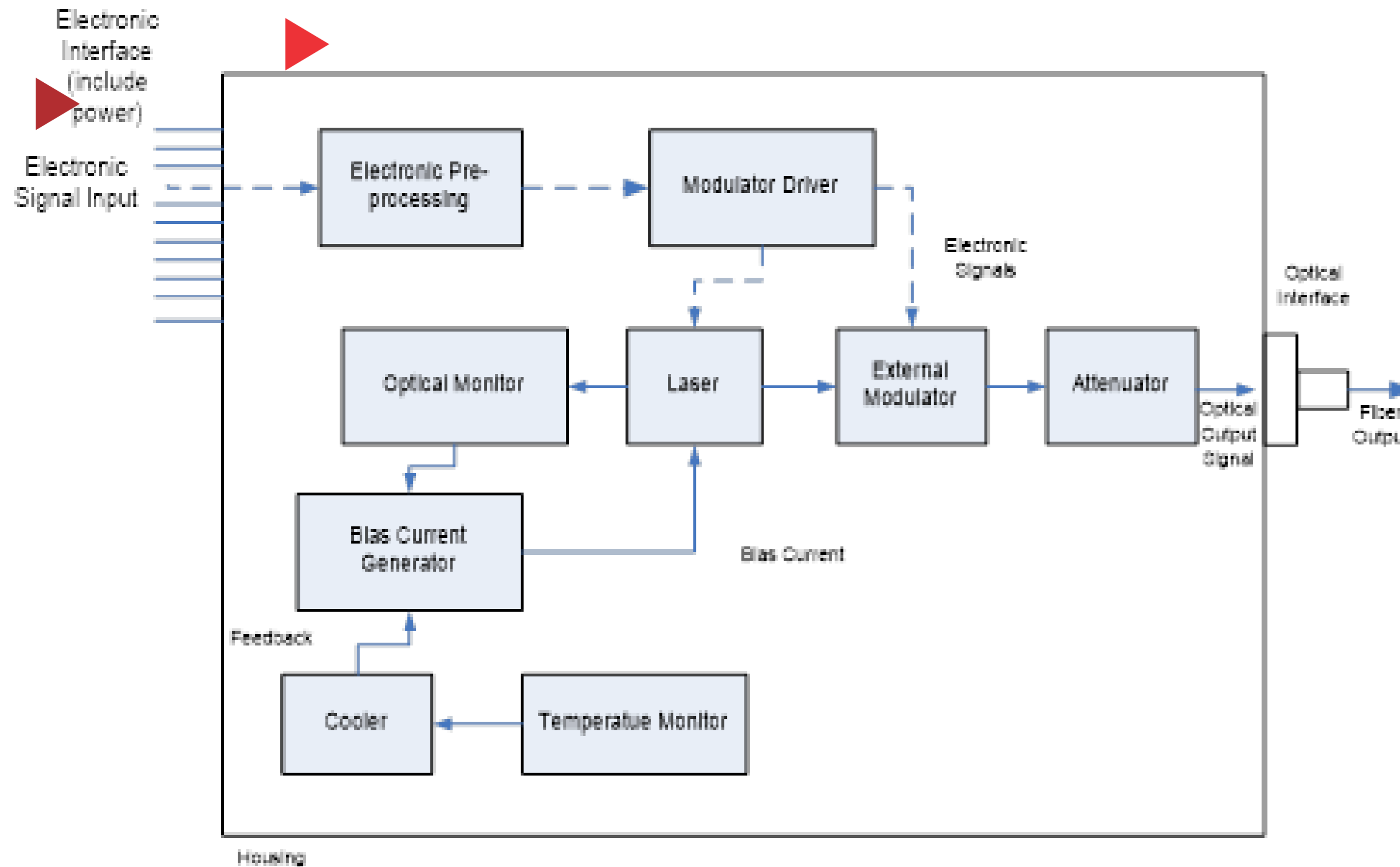
► Sistem Komunikasi optik terdiri atas tiga bagian utama yaitu :

1. **Transmitter** yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal listrik analog atau digital menjadi sinyal optik
2. **Kabel serat optik** sebagai media transmisi untuk memandu cahaya
3. **Sistem receiver** yang berfungsi mengubah sinyal cahaya yang diterima menjadi sinyal listrik



Gambar. Skema Sistem Komunikasi Serat Optik

## SISTEM TRANSMITTER KOMUNIKASI KABEL OPTIK : Lanjutan (2)



Bagian transmitter terdiri dari *electronic interface, electronic signal input, electronic pre-processing, modulator driver, optical monitor, Sumber Cahaya (laser/LED), external modulator, attenuator, bias current generator, cooler, temperature monitor, optical output signal, dan optical interface.*

**Gambar .** Blok Diagram Transmitter pada Sistem Komunikasi Serat Optik

## SISTEM TRANSMITTER KOMUNIKASI KABEL OPTIK : Lanjutan (3)

### **A. Electronic Interface**

Kabel serat optik tidak membawa sinyal elektrik seperti kabel lainnya misalnya kabel tembaga. Sebagai gantinya, sinyal yang mewakili *bit* tersebut diubah ke bentuk cahaya.

### **B. Electronic Signal Input**

Sinyal masukan bisa berupa suara, data, gambar, sehingga diperlukan transduser (sensor) yang merubah sinyal masukan dari bentuk non-listrik ke bentuk listrik. Contoh yang umum adalah *microphone* merubah gelombang suara menjadi arus listrik dan contoh lainnya yaitu video cameras (CCD) merubah gambar menjadi arus listrik.

### **C. Electronic Pre-Processing**

*Electric pre-processing* berfungsi untuk mengkonversi sinyal digital menjadi sinyal analog. Selanjutnya data tersebut ditumpangkan kedalam sinyal gelombang optik yang telah termodulasi. *Electric pre-processing* terdiri dari penguatan dan *filtering* sinyal. *Filtering* bertujuan untuk memaksimalkan *ratio* dari daya sinyal terhadap *power* sinyal yang tidak diinginkan.

### **D. Modulator Driver**

Berfungsi untuk merubah info elektrik ke dalam bentuk yang sesuai dan menumpangkan sinyal ini pada gelombang yang dibangkitkan oleh *carrier source*

### **E. Optical Monitor**

Berfungsi untuk memonitor sinyal masukan yang masuk kedalam Pemancar setelah dilakukan penumpangkan pada modulator.

### **F. External Modulator**

Rangkaian *bias* mengarahkan sumber cahaya sehingga memancarkan daya *output* yang stabil dan cukup tinggi sebagai kompensasi *loss* yang ada pada transmisi sepanjang serat optik. Rangkaian *drive* yang terpisah mengirimkan sinyal ke *external modulator*, menyebabkan sinyal tersebut menjadi berubah dari tak tembus cahaya (tak transparan) menjadi tembus cahaya (transparan) dan menyebabkan cahaya padam dan menyala..

### **G. Attenuator**

Attenuator merupakan perangkat yang berfungsi untuk meredam sinyal yang dilalukan pada sistem transmisi.

### **H. Bias Current Generator**

Berfungsi untuk melindungi sumber optik dan mengoptimalisasi respon optik.

### **I. Temperature Monitor**

Berfungsi untuk memastikan arus pada drive tidak melebihi kapasitas arus dari sumber optik, terutama pada LASER.

### **J. Optical Output Signal**

LED (Light Emitting Diode) menghasilkan cahaya keluaran inkoheren dengan spektrum lebar dan emisi tidak terarah. Sedangkan LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) menghasilkan cahaya keluaran yang bersifat diantaranya : monokromatik, Koheren (panjang gelombang berada dalam 1 fasa), sangat terarah (diagram arahnya sangat konvergen)

### **K. Optical Interface**

Berfungsi mengkonversi signal listrik menjadi gelombang cahaya. Pemancar yang banyak digunakan adalah LED atau LASER. Oleh karena itu serat dapat menahan gangguan elektromagnetik.

### L. SUMBER OPTIK

- ❑ Sumber cahaya yang digunakan untuk komunikasi fiber optik adalah struktur *heterojunction* semikonduktor (*Laser Diodes* dan *LEDs*)
- ❑ *Heterojunction* tersusun dari gabungan antara dua material semikonduktor yang terpisah oleh *band gap energy*
- ❑ Sumber cahaya yang digunakan pada sistem komunikasi serat optik memiliki karakteristik antara lain :
  - 1) Memiliki kehandalan yang tinggi
  - 2) Keluaran cahayanya bersifat monokromatis yaitu berfrekuensi tunggal
  - 3) Kemudahan dalam memodulasi sinyal
  - 4) Memiliki efisiensi kuantum yang tinggi
  - 5) Berukuran kecil dan konfigurasi yang kompatibel dengan cahaya yang dimasukkan ke dalam serat
  - 6) Memiliki akurasi yang tinggi dalam mengkonversi sinyal listrik sehingga dapat mengurangi distorsi intermodulasi dan derau
  - 7) Cukup stabil dengan pengaruh luar
  - 8) Biaya murah.

# L. SUMBER OPTIK : Perbedaan LED & Laser

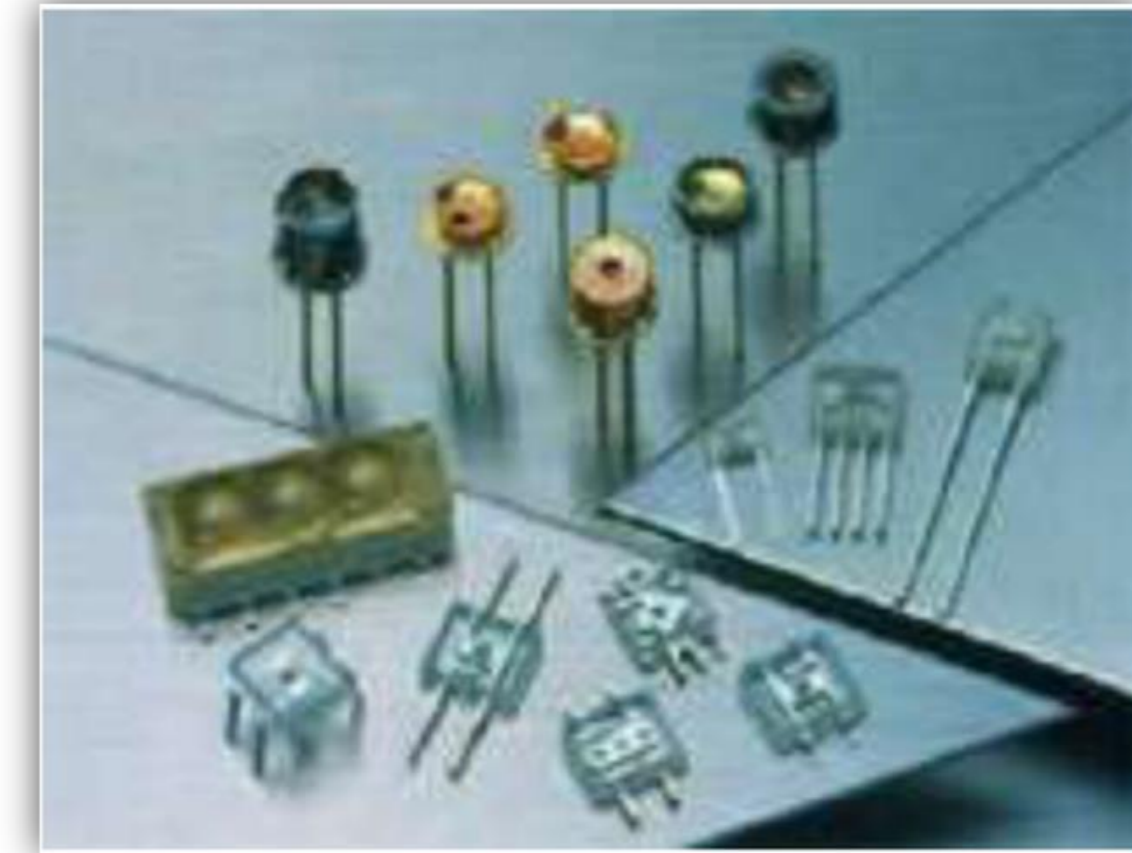
## □ LED (*Light Emitting Diode*) :

1. Keluaran cahaya optik nya incoherent sehingga spektral daya optik yang dipancarkan lebar (broad spectral width/ not directional)
2. Digunakan untuk komunikasi multimode fiber
3. Digunakan untuk komunikasi jarak pendek (local area application)

## □ Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*):

1. Keluaran cahaya optik coherent artinya energi optik yang dikeluarkan memiliki fasa dan periode yang sama sehingga cahaya optiknya bersifat sangat monokromatik dan daya optik yang dipancarkan sangat terarah (ouput beam is very directional)
2. Digunakan untuk komunikasi singlemode atau multimode fiber
3. Digunakan untuk komunikasi jarak jauh (long haul application)

“LED”



“LASER”



## L. SUMBER OPTIK : SEMIKONDUKTOR

- ❑ Material semikonduktor memiliki sifat konduksi terletak diantara logam dan isolator
- ▶ ❑ Contoh material semikonduktor adalah silikon (Si) terletak di grup IV (memiliki 4 elektron terluar) yang bisa berikatan kovalen dengan atom lainnya sehingga membentuk kristal
- ❑ Sifat konduksi dapat diinterpretasikan dengan bantuan diagram **pita energi**
- ❑ Untuk kristal murni pada suhu rendah, di pita konduksi tidak ada elektron sama sekali dan di pita valensi sangat penuh elektron
- ❑ Kedua pita tersebut dipisahkan oleh celah energi (*energy gap/ band gap*) yang tidak terdapat level energi didalamnya
- ❑ Jika suhu dinaikan (atau energi ditambah), beberapa elektron berpindah/ melintasi celah energi dari pita valensi menuju ke pita konduksi
- ❑ Perpindahan itu menyebabkan bertambahnya konsentrasi ( $n$ ) elektron pada pita konduksi dan meninggalkan konsentrasi ( $p$ ) hole yang nilainya sama pada pita valensi



# PITA ENERGI

- Pita energi digunakan untuk **menentukan sifat elektrik bahan.**
- Pita energy dibagi 2 (dua) daerah yaitu daerah **pita valensi (*valence band*)** dan **pita konduksi (*conduction band*).**
- Atom atom pada daerah pita valensi terikat sangat erat dengan inti atom,
- Atom-atom pada daerah pita konduksi mudah sekali terlepas dari inti atom.
- Setiap material memiliki jarak tertentu antara pita valensi dengan pita konduksi, dikenal dengan istilah **energy gap.**
- Sifat material dibedakan berdasarkan *energy gap*.



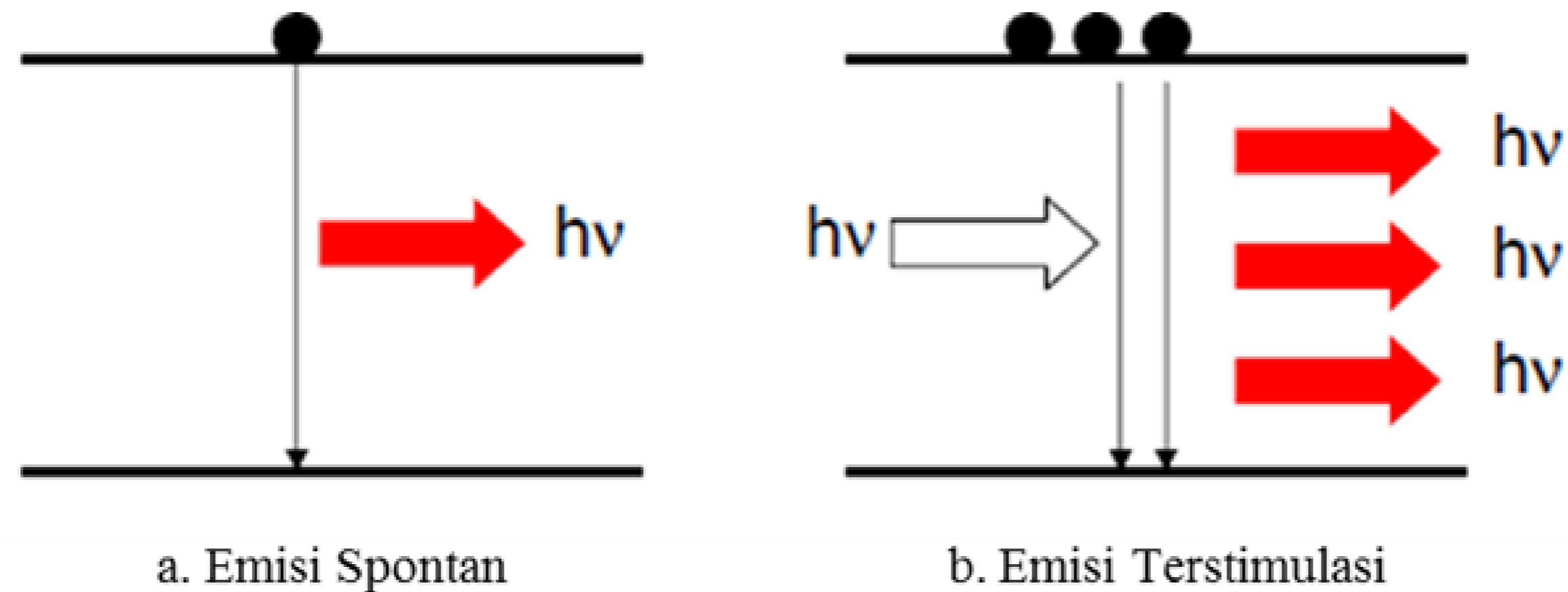
Gambar. Pita-pita energi suatu atom

Selisih antara pita konduksi dan pita valensi adalah **energi gap** :

$$E_{gap} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{1,24}{\lambda} eV \quad (\lambda \text{ dalam } \mu m)$$

# EMISI

- **Emisi** adalah cara bagaimana suatu elektron dapat turun dari pita konduksi ke pita valensi
- ▶ □ **Emisi spontan** adalah suatu proses dimana elektron dalam keadaan tereksitasi di energi konduksi kembali ke energi dasar dengan melepas foton.
- **Emisi terstimulasi** adalah proses saat keadaan *inversi* populasi elektron tereksitasi yang mendapat rangsangan akan serentak melepaskan foton dalam jumlah banyak



Gambar. Teknik emisi pada elektron

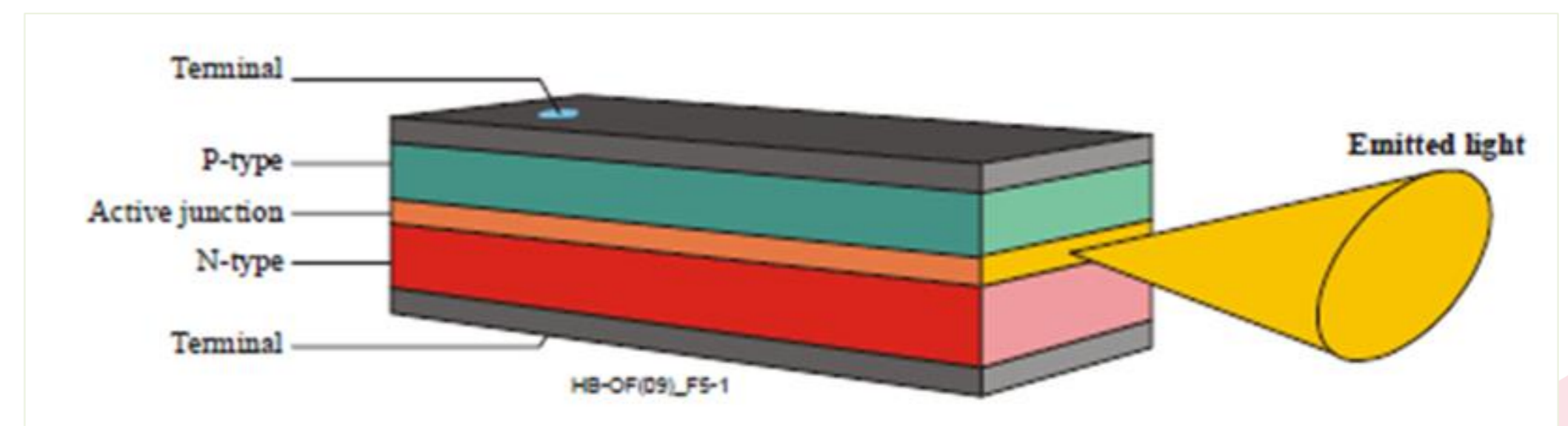
# SUMBER OPTIK : LED (Light Emitting Diode )

## Karakteristik dari LED antara lain :

- LED memancarkan cahaya dalam kerucut yang lebih luas. Daya yang masuk ke serat tergantung pada beberapa parameter antara lain *numerical aperture* dan jarak antara serat dan LED.
- LED memancarkan cahaya yang terbatas (hanya beberapa mW)
- Lebar pita modulasi LED antara 50-140 MHz
- LED memiliki lebar spektral relatif luas antara 50-70 nm sehingga mengakibatkan *bit rate – distance product* (BL) terbatas
- LED lebih murah dibandingkan dengan dioda laser

Tabel . Energi Gap dari Berbagai Bahan LED

Bahan Semikonduktor	Bandgap Energy (eV)	Panjang gelombang (nm)
GaAsP	1.88	660
GaAlAs	1.55 – 1.38	800 - 900
GaAs	1.33	930
GaAsP	0.95 – 0.80	1300 - 1500



## ***PRINSIP KERJA LED (Light Emitting Diode )***

LED terdiri dari sebuah chip semikonduktor yang di doping sehingga menciptakan junction P dan N. Proses doping dalam semikonduktor adalah proses untuk menambahkan ketidakmurnian (impurity) pada semikonduktor yang murni sehingga menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Ketika LED dialiri tegangan maju atau bias forward yaitu dari Anoda (P) menuju ke Katoda (K), Kelebihan Elektron pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan Hole (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (P-Type material). Saat Elektron berjumpa dengan Hole akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna).

# JENIS LED (*Light Emitting Diode* )

Terdapat 2 jenis LED yaitu:

## 1. Surface Emitting LED (SLED)

SLED jenis ini banyak digunakan untuk serat optik multimode. Karakteristik dari Surface Emitting LED yaitu : Memerlukan bias maju , Emisi cahaya melalui permukaan, Daerah aktif berbentuk lingkaran dengan diameter 50  $\mu\text{m}$ , Tipe high radiance, radiasi keluaran dengan sudut pancar  $180^\circ$ . Kemasan pigtail dengan serat optik langsung pada daerah aktif sepanjang 30 cm.

## 2. Edge Emitting LED (ELED)

ELED jenis ini banyak digunakan untuk serat optik singlemode. Karakteristik dari *Edge Emitting LED* yaitu radiasi keluaran lebih terarah, spektrum pancaran berbentuk ellips, emisi cahaya ke arah samping atau ujung, memerlukan bias maju, lebar spektrum keluaran sudut paralel :  $120^\circ$  dan sudut yang tegak lurus =  $25^\circ - 35^\circ$ . Panjang gelombang emisi puncak ditentukan oleh bahan yang digunakan dengan dopan yang ditambahkan. Dengan mengatur komposisi bahan dapat merubah harga  $E_g$ .

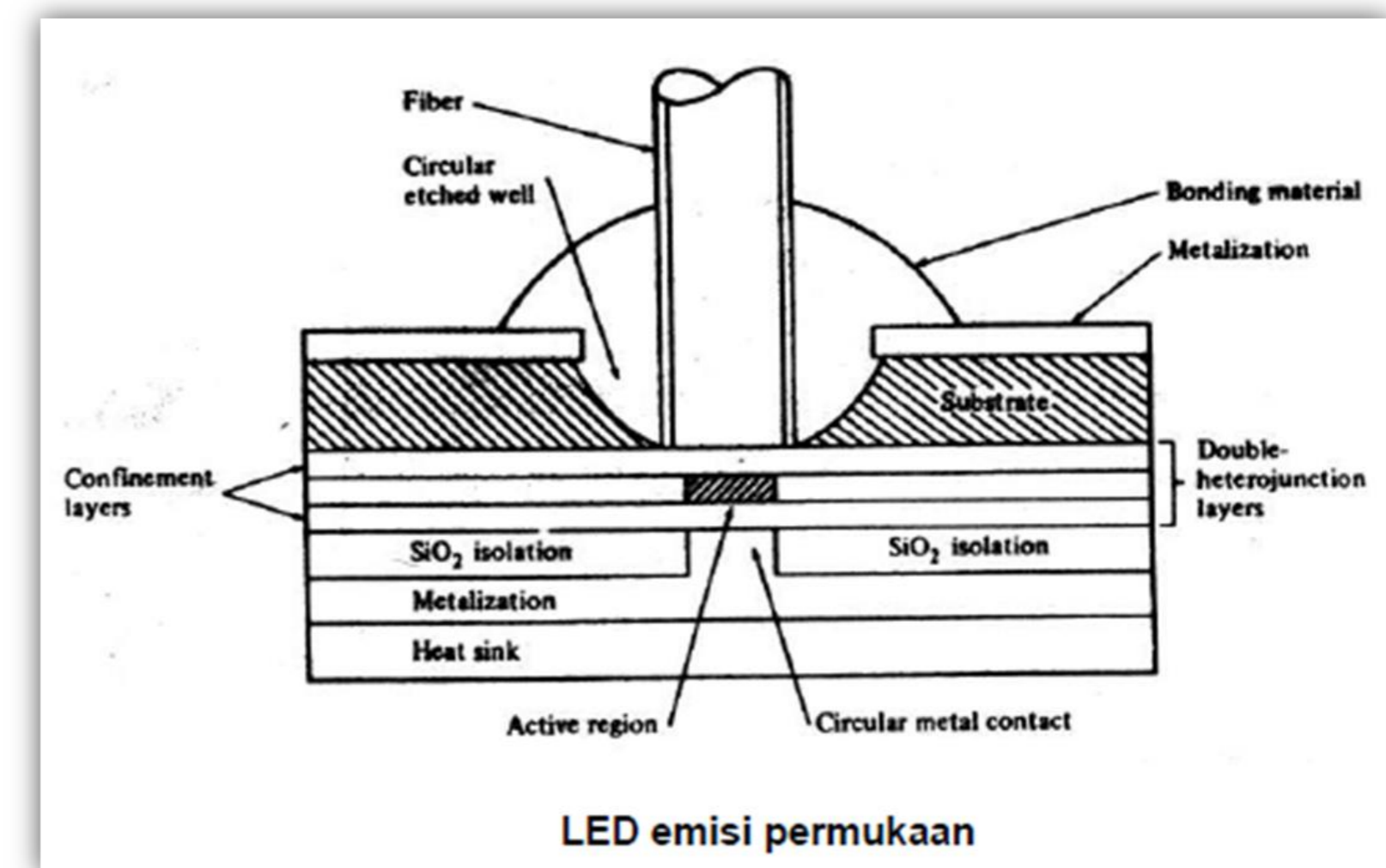
# KONFIGURASI - LED (*Light Emitting Diode*)

## □ Dua konfigurasi dasar :

1. Emisi permukaan/depan atau Burrus
2. Emisi ujung

## □ Emisi permukaan :

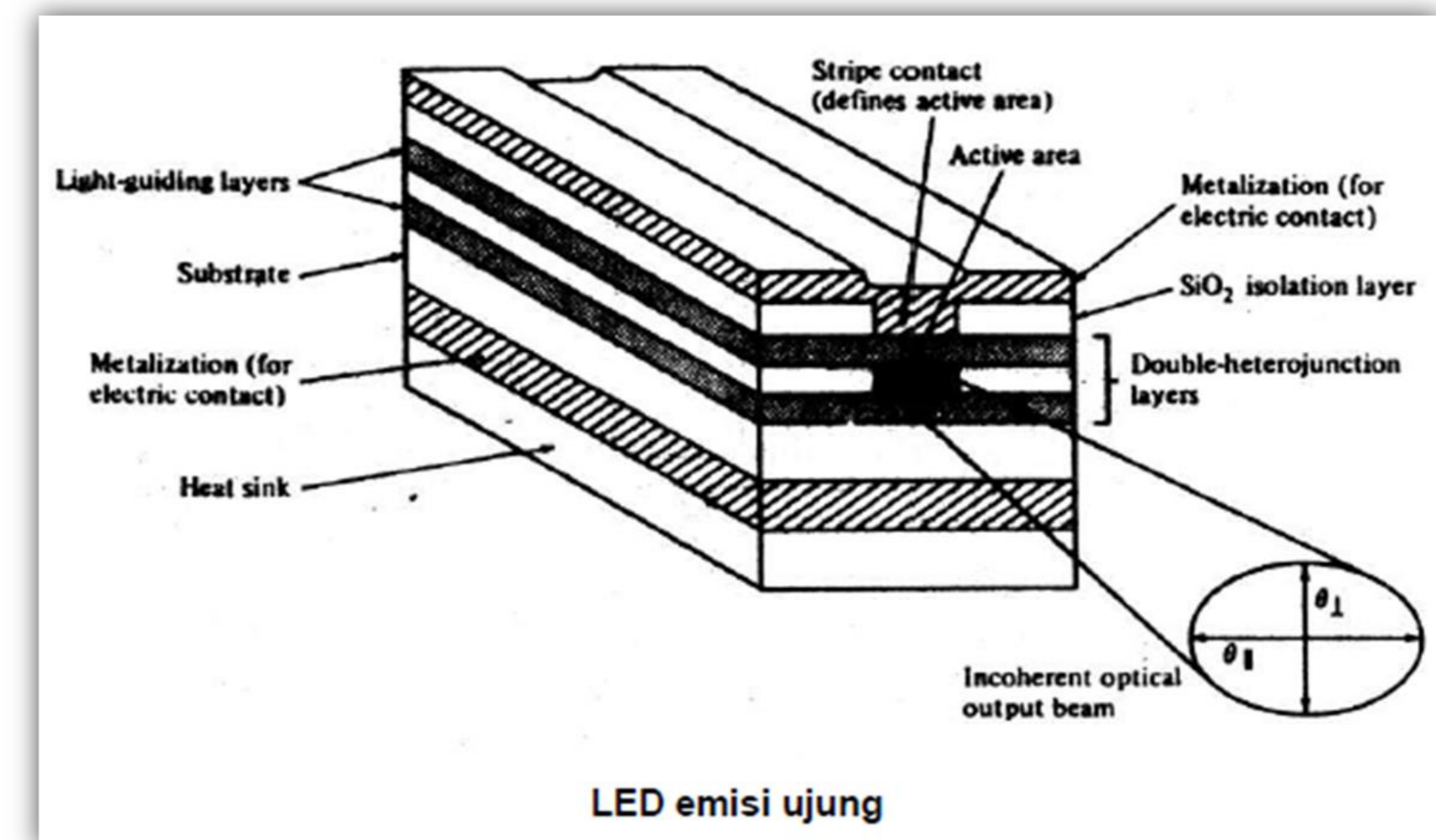
- Bidang daerah aktif pengemisi cahaya diorientasikan tegak lurus sumbu fiber
- Suatu sumur di-etsa/etched pd bahan substrat device, dimana fiber ditanam utk menerima cahaya
- Daerah lingkaran aktif berdiameter  $50\ \mu\text{m}$  dan tebal s/d  $2,5\ \mu\text{m}$
- Pola emisi isotropik secara esensial (lambertian) dng pola daya  $\cos\theta$  shg HPBW  $120^\circ$



## KONFIGURASI - LED (*Light Emitting Diode*) (2)

### □ Emisi Ujung :

- Terdiri dari daerah junction aktif merupakan sumber inkoheren dan dua lapisan pemandu
- Lapisan pemandu memiliki indeks bias lebih rendah dari daerah aktif tetapi lebih besar dari bahan sekitarnya
- Struktur tersebut membentuk pandu gelombang yang mengarahkan radiasi optik ke inti fiber
- Pita penyambung lebar 50 s/d 70  $\mu\text{m}$  agar sesuai dengan ukuran fiber 50 s/d 100  $\mu\text{m}$
- Pola emisi lebih terarah dibanding emisi permukaan
- Pada bidang sejajar dengan junction pola emisi lambertian, pada arah tegak lurus junction memiliki HPBW 25 s/d 35o cocok dengan ketebalan pandu gelombang



## Panjang Gelombang dan Material - LED (*Light Emitting Diode*) (3)

- Hubungan antara panjang gelombang (wavelength) dengan bandgap energy dari suatu material
- Panjang gelombang dan bandgap energy juga merupakan fungsi dari suhu, akan bertambah 0.6 nm setiap perubahan suhu 1°C ~ 0.6 nm/C
- Tipe panjang gelombang berdasarkan material :
  - ❖ GaP --> LED
    - 665 nm
    - Jarak pendek, sistem murah
  - ❖ Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As --> LED dan laser
    - 800 → 930 nm
    - Sistem fiber awal
  - ❖ Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub> --> LEDs and lasers
    - 1300 nm (akhir '80an, awal '90an, FDDI data links)
    - 1550 nm (pertengahan '90an - sekarang)

$$\lambda = h.c/E_g$$

$$\lambda (\mu\text{m}) = 1,24/E_g (\text{eV})$$



# HUBUNGAN FUNDAMENTAL QUANTUM-MECHANICAL

## ▶ Hubungan fundamental quantum-mechanical:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$\lambda (\mu m) = \frac{1.24}{E_g(eV)}$$

### □ Untuk campuran tiga bahan AlGaAs, besarnya $E_g$ (eV):

$$E_g = 1,424 + 1,266 x + 0,266 x^2$$

### □ Untuk campuran empat bahan $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ , besarnya $E_g$ (eV):

$$E_g = 1,35 - 0,72 y + 0,12 y^2$$

$$\text{dengan } y \approx 2,2 x$$

# HUBUNGAN FUNDAMENTAL QUANTUM-MECHANICAL

## SOAL :

1. Bahan Sumber  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  dengan  $x = 0,07$ , Berapa  $E_g$  dan  $\lambda$  ?
2. Bahan Sumber  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ , dengan  $x = 0,26$  Berapa  $E_g$  dan  $\lambda$  ?

# Efisiensi Kuantum Internal

- ❑ Ekses elektron di bahan p-type dan hole di bahan n-type (*minority carrier*) terjadi di sumber cahaya semikonduktor (LED) karena injeksi pembawa di permukaan kontak perangkat tersebut (LED)
- ❑ Kepadatan ekses elektron  $\Delta n$  sama dengan ekses hole  $\Delta p$ , karena pembawa diinjeksikan terbentuk (dimasukan kedalam LED) dan berekombinasi dalam pasangan elektron hole untuk keperluan netralitas muatan kristal
- ❑ Jika injeksi pembawa (carrier) berhenti  $\rightarrow$  kepadatan pembawa kembali ke nilai keseimbangan

- ❑ Keypadatan ekses pembawa (*minority carrier*):

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\Delta n_0$  : kepadatan ekses elektron yang diinjeksikan diawal

$\tau$  : carrier lifetime bergantung kepada komposisi material

$t$  : waktu/ lamanya injeksi

## Efisiensi Kuantum Internal (2)

- Ekses pembawa dapat berekombinasi secara radiatif maupun non radiatif
- ▶ □ Pada rekombinasi radiatif akan menghasilkan emisi photon
- Jika elektron-hole berekombinasi nonradiatif → melepaskan energi dalam bentuk panas (*vibrasi lattice*)
- Efisiensi kuantum internal yang terjadi di *active region* (*depletion region*) adalah bagian pasangan elektron-hole yang berekombinasi secara radiatif

Efisiensi kuantum internal ( $\eta_{int}$ ):

$$\eta_{int} = \frac{R_r}{R_r + R_{nr}}$$

$R_r$  : laju rekombinasi radiatif per satuan volume (jumlah photon yang dihasilkan secara radiatif setiap detiknya/ jumlah photon per detik)

$R_{nr}$  : laju rekombinasi nonradiatif

## Efisiensi Kuantum Internal (3)

- ▶ Untuk penurunan eksponensial eksese pembawa, lifetime rekombinasi radiatif :

$$\tau_r = \frac{\Delta n}{R_r}$$

- Lifetime rekombinasi non radiatif :  $\tau_{nr} = \frac{\Delta n}{R_{nr}}$

- Efisiensi kuantum internal :  $\eta_{int} = \frac{1}{1 + \tau_r / \tau_{nr}} = \frac{\tau}{\tau_r}$

- Lifetime rekombinasi bulk :  $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}}$

## Efisiensi Kuantum Internal (4)

Jika besar arus yang diinjeksikan ke LED adalah sebesar  $I$ , maka jumlah rekombinasi yang terjadi setiap sekon nya adalah:

$$R_r + R_{nr} = \frac{I}{q}$$

dimana,  $q$  adalah muatan photon ( $1.602 \times 10^{-19}$  C)

□ Dengan melakukan substitusi dari persamaan sebelumnya, sehingga didapatkan:

$$R_r = \frac{\eta_{int} I}{q}$$

□  $R_r$  adalah jumlah photon yang dihasilkan setiap sekon nya dimana setiap photon memiliki energi sebesar  $h\nu$ , sehingga daya optik internal ( $P_{int}$ ) yang dihasilkan didalam LED adalah sebesar:

$$P_{int} = \eta_{int} \frac{hcI}{q\lambda}$$

$h$  : konstanta planck ( $6.6256 \times 10^{-34}$  J.s)

$C$  : kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda$  : panjang gelombang (m)

$I$  : besarnya arus yang diinjeksikan ke LED (A)

## CONTOH SOAL

Sumber optik LED yang terbuat dari bahan semikonduktor InGaAs mampu menghasilkan emisi cahaya dengan panjang gelombang puncak 1310 nm yang memiliki waktu rekombinasi radiatif dan nonradiatif sebesar 30 dan 100 ns. Arus pacu (*drive current*) yang digunakan adalah 40 mA. Berapakah lifetime rekombinasi bulk ( $\tau$ ), efisiensi kuantum internal ( $\eta_{int}$ ), daya power internal ( $P_{int}$ )

**Jawaban:**

$$\tau = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{100} = 23.1(ns)$$

$$\eta_{int} = \frac{\tau}{\tau_r} = \frac{23.1}{30} = 0.77$$

$$P_{int} = \eta_{int} \frac{hcI}{q\lambda} = 0.77 \frac{(6.6256 \times 10^{-34} J.s)(3 \times 10^8 m/s)(0.04 A)}{(1.602 \times 10^{-19} C)(1.31 \times 10^{-6} m)} = 29.2 mW$$

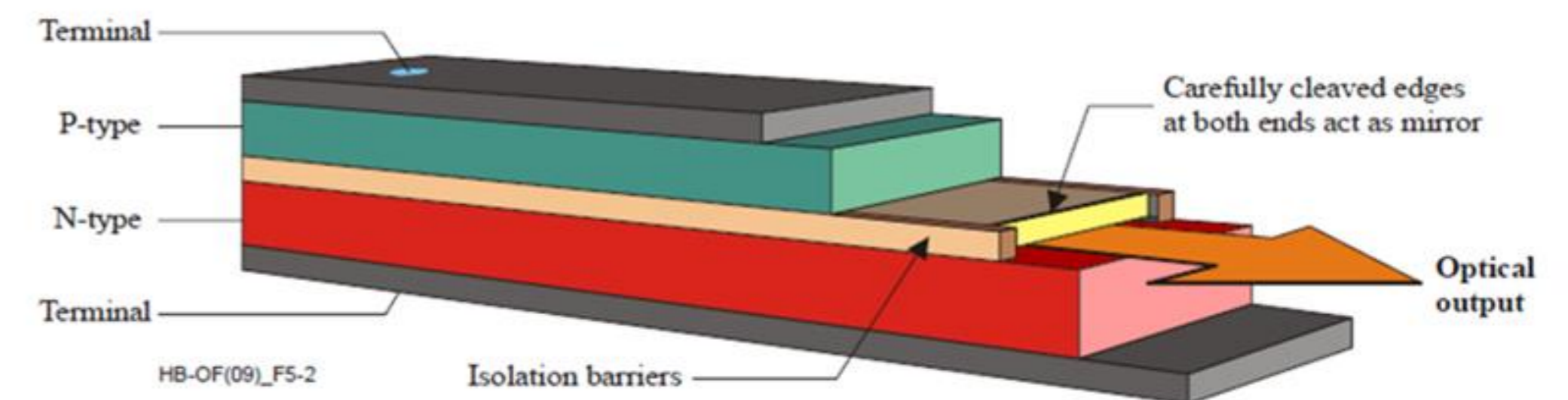
# SUMBER OPTIK : LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

## Karakteristik dari LASER antara lain :

- Daya optik keluarannya besar (untuk laser transmitter sekitar 100 mW)
- Dapat dimodulasi langsung pada frekuensi tinggi (lebih dari 25 GHz)
- Memiliki rongga resonan optik (Fabry Perrot Resonator).
- Laser merupakan diode semikonduktor p-n junction yang memancarkan cahaya karena mekanisme pancaran/emisi terstimulasi (*stimulated emission*).
- Cahaya yang dipancarkan bersifat koheren.
- Laser memiliki lebar spektral 1 nm pada panjang gelombang 850 nm serta 3 nm pada panjang gelombang 1300 nm dan 1550 nm.
- Penggunaan laser sebagai sumber cahaya optik, diterapkan untuk transmisi data dengan bit rate tinggi

Tabel . Perbedaan karakteristik LED dan Laser

Karakteristik	LED	LASER DIODE
Spektrum keluaran	Tidak koheren	Koheren
Daya Optik keluaran	Lebih rendah (0,4-4,0 mW)	Lebih tinggi (1,5-8,0 mW)
Kestabilan operasi terhadap temperatur	Lebih stabil	Kurang stabil
Penguatan cahaya	Tidak ada	Ada
Arah pancaran cahaya	Kurang terarah	Sangat terarah
Arus pacu	Kecil	Besar
Rongga resonansi opti	Tidak ada	Ada
Disipasi panas	Kecil	Besar
Harga	Lebih murah	Lebih mahal
Kemudahan penggunaan	Lebih mudah	Lebih sulit
NA	Lebih tinggi	Lebih rendah
Kecepatan (rise time)	Lebih lambat (2 – 10 ns)	Lebih cepat (0,3 – 0,7 ns)
Lifetime	Lebih lama	Cukup lama
Kompatibilitas dengan SMF	Tidak	Ya
Panjang gelombang	800-850, 1300 nm	800-850, 1300, 1500 nm



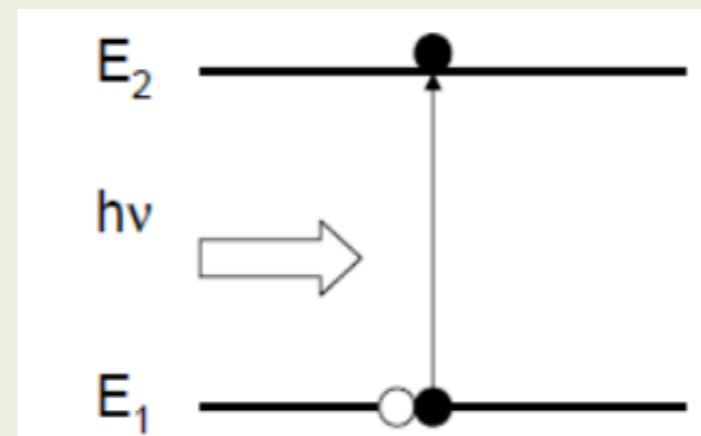
Gambar . Struktur laser semikonduktor



# PROSES EMISI LASER

## 1. Absorpsi foton

Merupakan suatu proses perpindahan elektron dari energi valensi ke energi konduksi

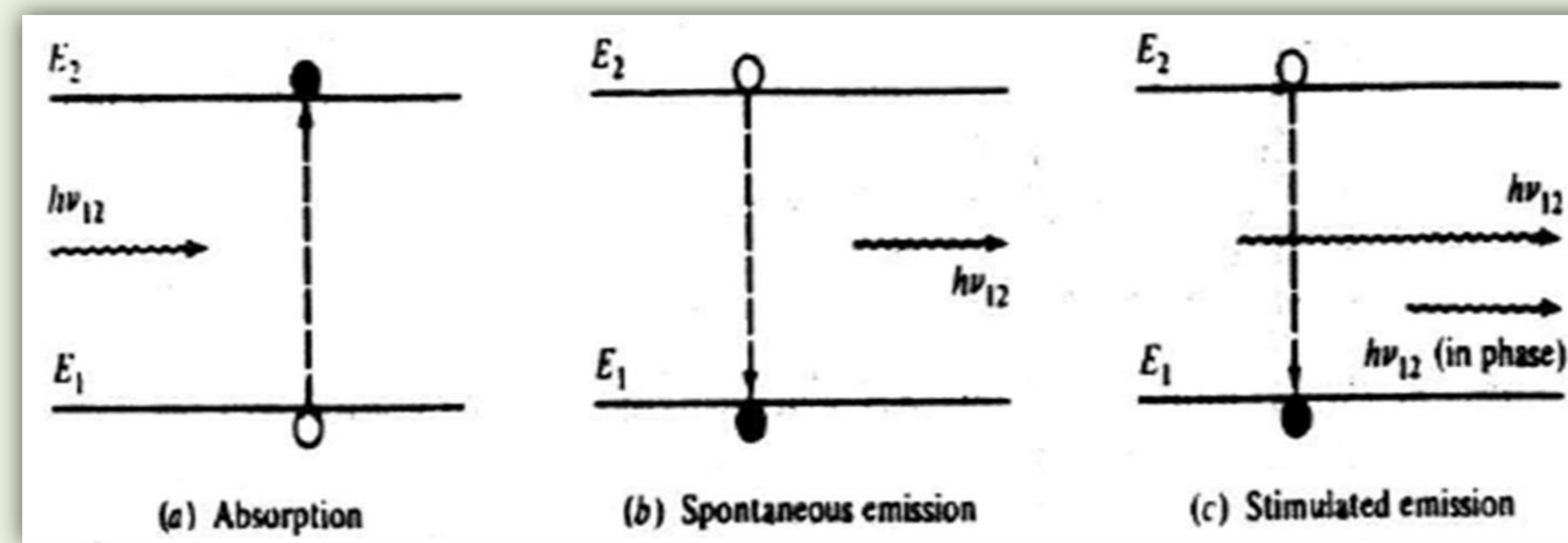


## 2. Emisi Spontan

Emisi spontan adalah suatu proses pelepasan foton secara otomatis pada saat elektron turun ke tingkat energi rendah.

## 3. Emisi Terstimulasi

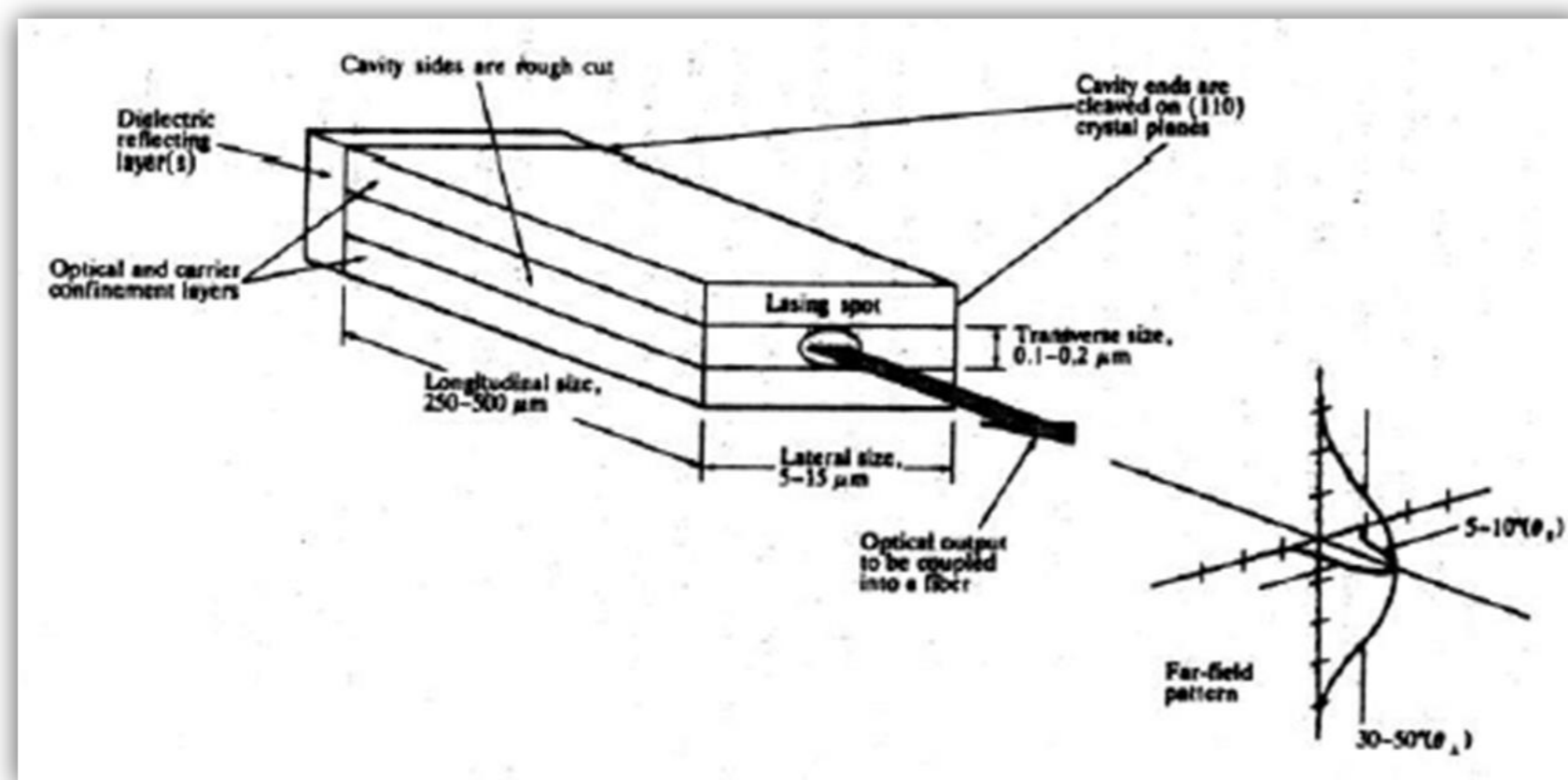
Emisi terstimulasi adalah proses turunnya elektron karena dirangsang oleh sebuah



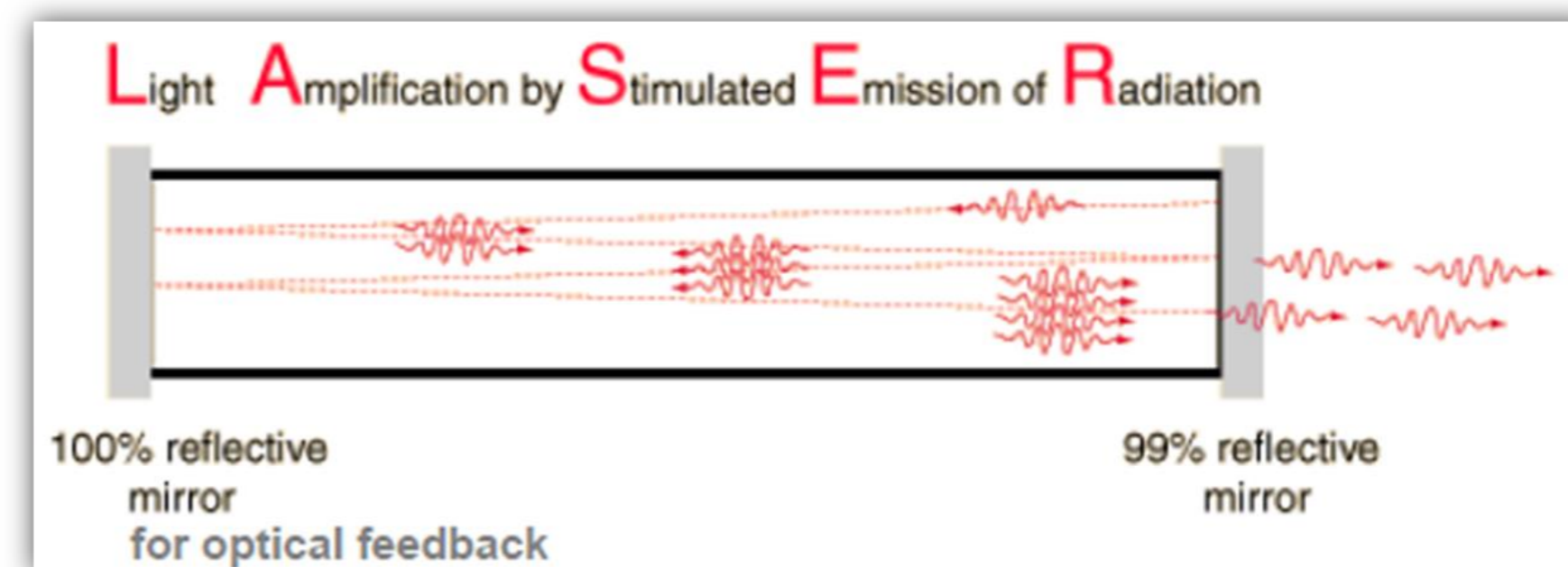
“Tiga proses utama pada Emisi Laser”

## MODE DIODA LASER DAN KONDISI BATAS

- ❑ Radiasi pada dioda laser terjadi dalam ruang resonator Fabry-Perot  
Ukuran ruang panjang (longitudinal) 250 s/d 500  $\mu\text{m}$ , lebar (lateral) 5 s/d 15  $\mu\text{m}$  tebal (transverse) 0,1 s/d 0,2  $\mu\text{m}$
- ❑ Dioda laser jenis lain adalah *Distributed FeedBack* (DFB), tidak perlu permukaan terpisah untuk optical feedback, tetapi menggunakan *Bragg reflector (grating)* atau variasi indeks bias (*distributed-feedback corrugation*) pada struktur multilayer sepanjang dioda
- ❑ Reflektor dielektrik disisi belakang laser digunakan untuk mengurangi loss di ruangan, mengurangi kepadatan arus threshold dan meningkatkan efisiensi kuantum eksternal



“Ruang resonator Fabry-Perot”



“Ruang Resonator/ cavity side”

## MODE DIODA LASER DAN KONDISI BATAS

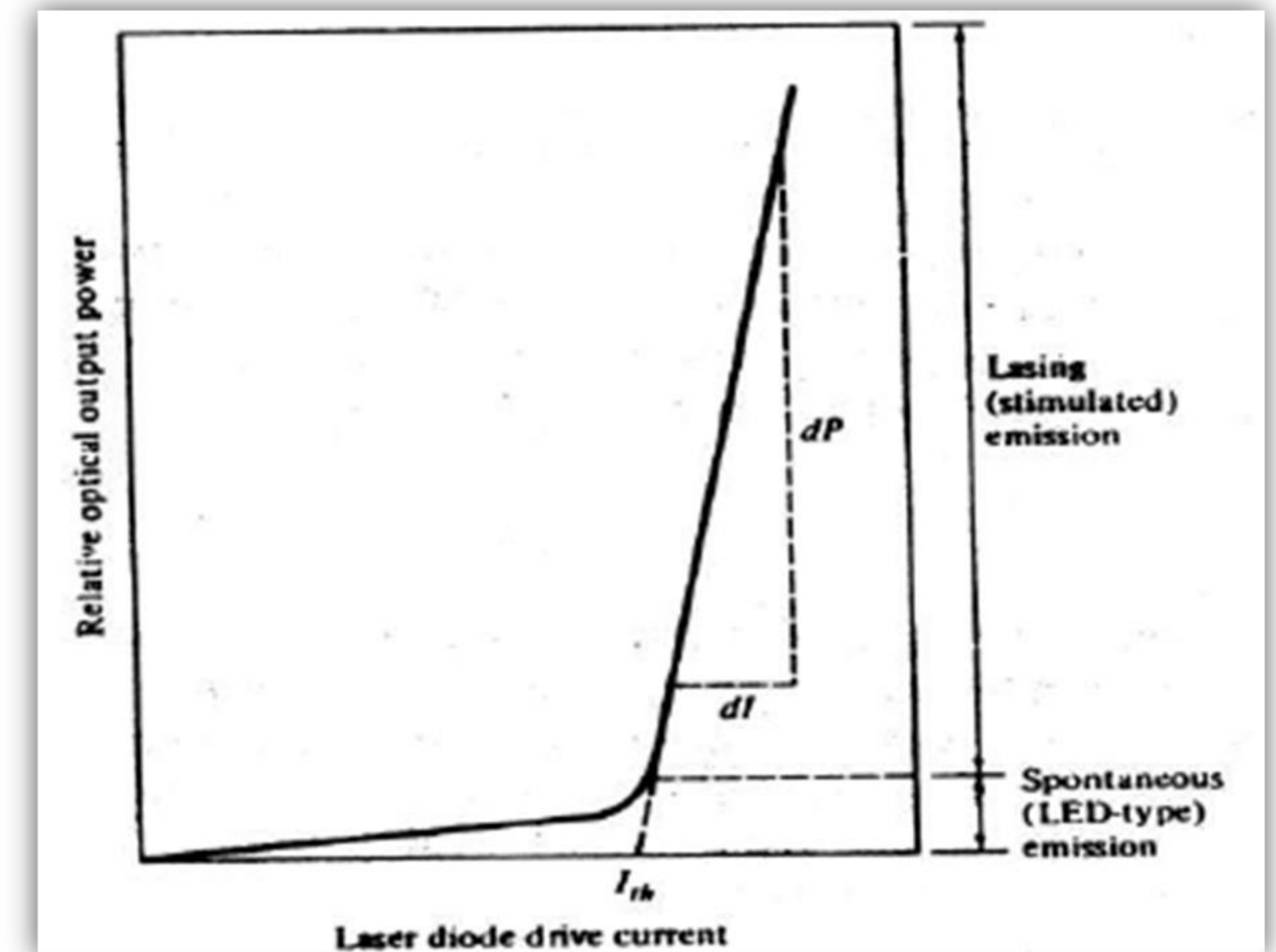
- ❑ Radiasi optis dalam ruang resonansi menentukan pola garis medan listrik dan magnet disebut mode dari cavity (*modes of the cavity*)
- ❑ Mode longitudinal:
  - ❖ Berkaitan dng panjang ruangan L
  - ❖ Menentukan spektrum frekuensi radiasi optis yg diemisikan
  - ❖ Jika  $L > \lambda$  maka  $> 1$  modus longitudinal
- ❑ Mode lateral:
  - ❖ Terletak pada bidang *pn junction*
  - ❖ Tergantung dinding sisi samping dan lebar ruang resonator (*cavity*)
  - ❖ Menentukan bentuk profil lateral berkas laser (*laser beam*)
- ❑ Mode transverse:
  - ❖ Berkaitan dengan medan elektromagnet dan profil berkas laser yang arahnya tegak lurus bidang pn junction
- ❑ Moda tersebut menentukan karakteristik laser seperti pola radiasi dan kepadatan arus threshold

## MODE DIODA LASER DAN KONDISI BATAS

- ❑ Lasing: kondisi dimana memungkinkan terjadinya penguatan cahaya di dalam laser diode
- ❑ Syarat terjadi lasing: ada inversi populasi (*population inversion*)
- ❑ Inversi populasi bisa terjadi kalau memiliki gain  $g > g_{th}$

$$\Gamma g_{th} = \alpha_t = \bar{\alpha} + \frac{1}{2L} \ln \left( \frac{1}{R_1 R_2} \right)$$

- $g_{th}$  : penguatan optis lasing (threshold)  
 $\alpha_t$  : loss total  
 $\bar{\alpha}$  : koefisien absorpsi efektif bahan pada lintasan optis  
 $R_1, R_2$  : Reflektifitas ujung laser 1 dan 2  
 $L$  : panjang ruang resonansi  
 $\Gamma$  : faktor optical confinement (bagian daya optis di active layer)



“Hubungan antara daya keluaran optik dengan arus pacu dioda laser”

Arus threshold  $I_{th}$ : ekstrapolasi daerah lasing dari kurva daya terhadap arus

## EFISIENSI KUANTUM DIFERENSIAL EKSTERNAL

- Efisiensi kuantum diferensial eksternal  $\eta_{ext}$  adalah jumlah photon yg diemisikan setiap rekombinasi pasangan elektron-hole radiatif diatas threshold

$$\eta_{ext} = \frac{\eta_i (g_{th} - \bar{\alpha})}{g_{th}}$$

$\eta_i$  : efisiensi kuantum internal, hasil pengukuran pada suhu ruang bernilai antara 0,6 s/d 0,7

Dari percobaan:

$$\eta_{ext} = \frac{q}{E_g} \frac{dP}{dI} = 0.8065 \lambda (\mu m) \frac{dP(mW)}{dI(mA)}$$

## FREKUENSI RESONANSI

- Kondisi steady state jika:
  - Amplitudo:  $I(2L) = I(0)$
  - Phasa:  $e^{-j2\beta L} = 1 \rightarrow 2\beta L = 2\pi m$

Jika:  $\beta = 2\pi n/\lambda$

Maka:

$$m = \frac{L}{\lambda/2n} = \frac{2Ln}{c} f$$

Keterangan

$L$  : panjang ruang resonansi

$\beta$  : konstanta yang nilainya bergantung pada spesifikasi konstruksi dari Laser

$n$  : indeks bias

$f$  : frekuensi

$\lambda$  : panjang gelombang

$m$  : integer

$c$  : kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

Setiap frekuensi berkaitan dengan modus osilasi.

Tergantung pada struktur laser akan terdapat beberapa frekuensi  $\rightarrow$  laser *singlemode* dan *multimode*

## FREKUENSI RESONANSI

- Relasi antara penguatan dan panjang gelombang dapat diasumsikan berbentuk Gaussian

$$g(\lambda) = g(0) \cdot e^{-\left[ \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2} \right]}$$

keterangan:

$\lambda_0$  : panjang gelombang di pusat spektrum  
 $\sigma$  : lebar spektral penguatan  
 $g(0)$  : penguatan maksimum yang sebanding dengan inversi populasi

- Jarak antara 2 frekuensi yang berdekatan:  $\Delta f = \frac{c}{2Ln}$

- Jarak antara 2 panjang gelombang yang berdekatan:  $\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$

## CONTOH SOAL

- Laser GaAs yang dioperasikan pada 850 nm memiliki resonator dengan panjang 500  $\mu\text{m}$  dan indeks bias  $n = 3.7$
- Berapa jarak frekuensi ( $\Delta f$ ) dan panjang gelombang ( $\Delta \lambda$ ) terdekatnya ?
  - Jika pada titik setengah daya,  $\lambda - \lambda_0 = 2 \text{ nm}$ , berapa lebar spektral ( $\sigma$ ) dari penguatan tersebut?

Jawaban:

$$\Delta f = \frac{c}{2Ln} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 500 \times 10^{-6} \times 3.7} = 81 (\text{GHz})$$

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln} = \frac{(850 \times 10^{-9})^2}{2 \times 500 \times 10^{-6} \times 3.7} = 0.2 (\text{nm})$$

$$g(\lambda) = g(0) \cdot e^{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}}$$

$$g(\lambda) = 0.5g(0)$$

$$e^{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}} = 0.5$$

$$e^{-\frac{(2 \times 10^{-9})^2}{2\sigma^2}} = 0.5$$

$$\sigma = 1.7 (\text{nm})$$





**TERIMA KASIH**

---