

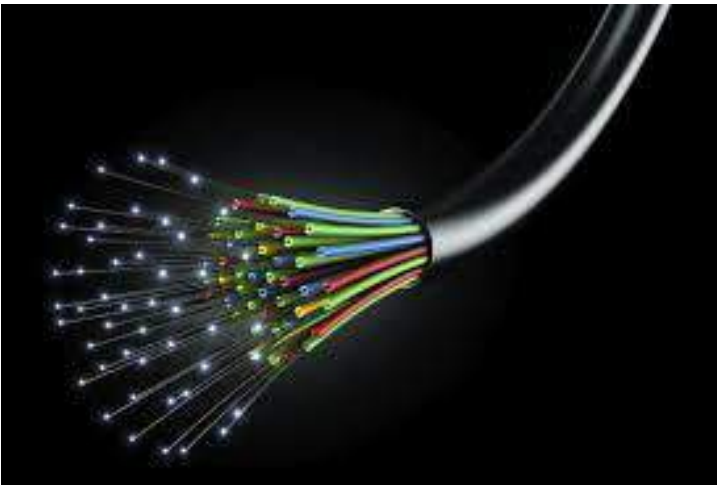
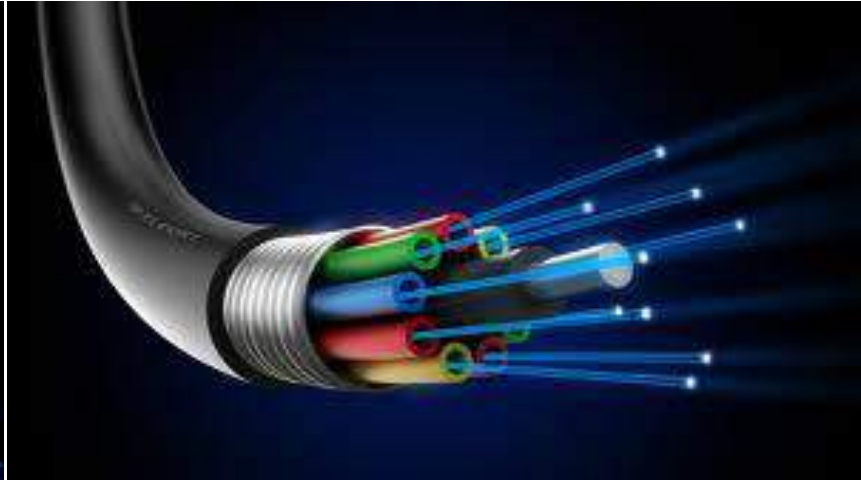
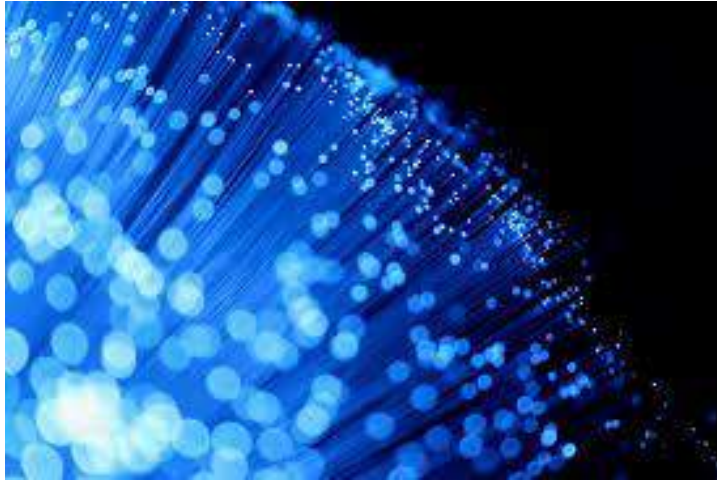


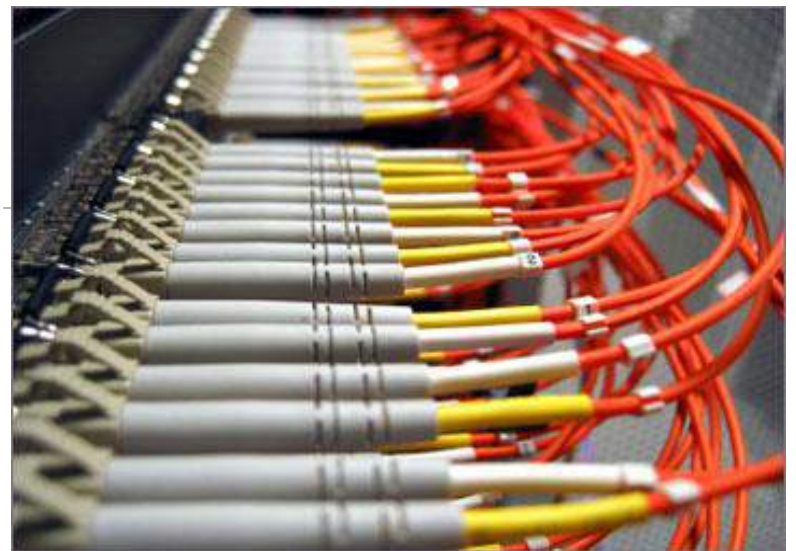
Karakteristik Serat Optik



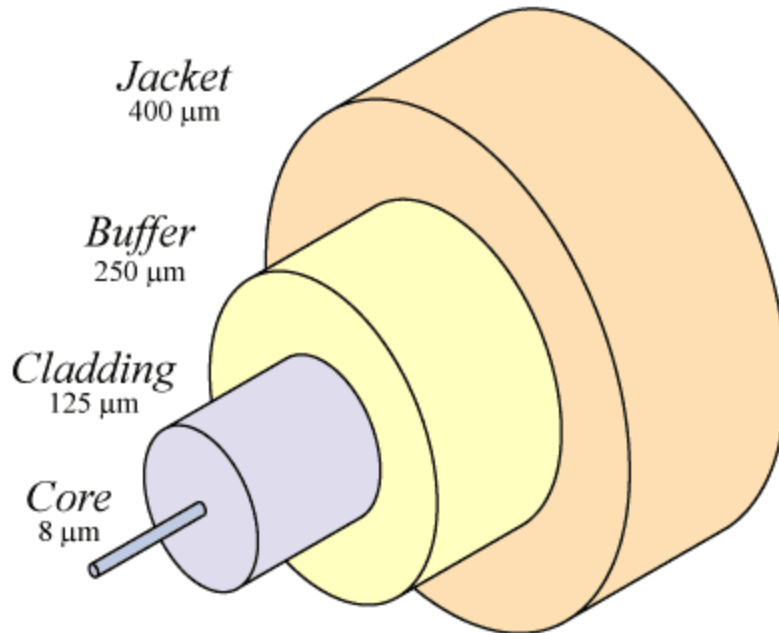
Kecilnya.....?

Serat optik adalah *dielectric waveguide* yang dioperasikan pada frekuensi optik 10^{14} - 10^{15} Hz





Struktur serat optik



Indeks bias $core > cladding$
 $n_1 > n_2$

Fungsi *cladding*: [1] mengurangi *scattering loss* yang disebabkan oleh *discontinuities dielectric* pada permukaan *core*-nya, [2] menambah kekuatan (*mechanical strength*) dari *fibernya*, [3] melindungi *core* dari absorpsi yang terjadi karena kontaminasi di permukaan

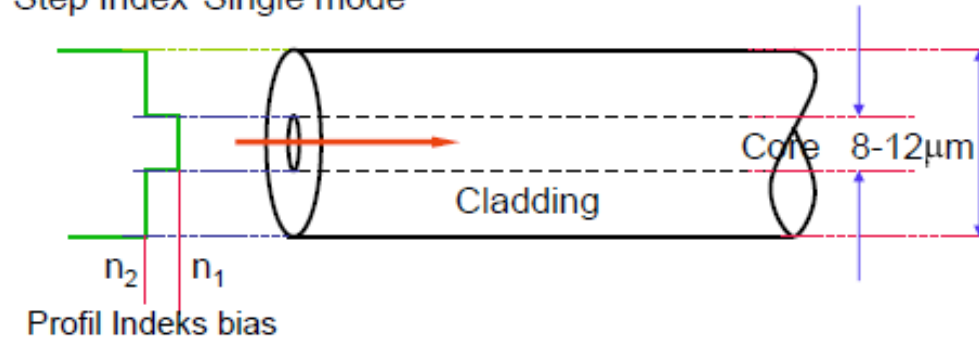
Perambatan cahaya pada waveguide (serat optik) bisa didiskripsikan sebagai sebuah kumpulan (set) gelombang elektromagnetik terbimbing (*guided electromagnetic waves*) yang disebut sebagai **mode** dari waveguide. Masing-masing mode yang terbimbing tersebut adalah pola distribusi dari medan listrik dan magnet yang berulang sepanjang fiber dengan interval yang sama.

Jenis Serat Optik

- ▶ Berdasarkan variasi dari komposisi material (bahan) penyusun *core*-nya, fiber optik dibagi menjadi dua
 - ▶ Step-index fiber: nilai indeks biasanya sama (*uniform*) dari *center* (*core*) sampai *core boundary* dan kemudian berubah (step) di bagian *cladding*
 - ▶ Graded-index fiber: indeks bias bervariasi secara radial dari center sampai ke cladding
- ▶ Step dan graded index fiber dibagi menjadi dua
 - ▶ Single mode: hanya terdiri dari satu mode selama propagasinya
 - ▶ Multimode: terdiri dari banyak (ratusan) modes selama propagasinya

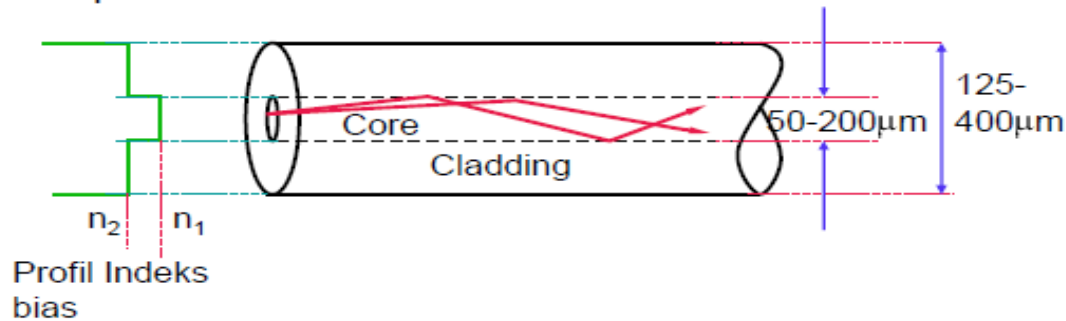
1

Step Index Single mode



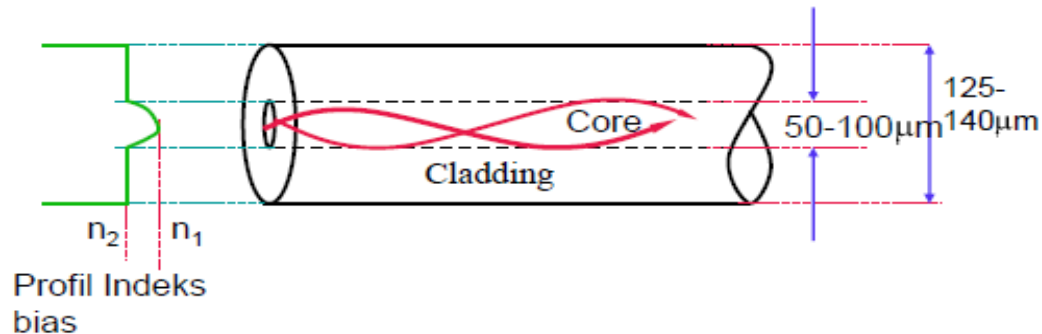
2

Step Index Multimode



3

Graded Index Multimode



Perbandingan Multimode dan Singlemode

- ▶ Keuntungan *multimode* dibandingkan *singlemode fiber*:
 - ▶ Radius core (jari-jari inti) yang lebih lebar mempermudah pada saat *launching* daya optik ke fiber (kopling) dan mempermudah pada saat penyambungan (*connecting*) dengan fiber yang sama
 - ▶ Sumber optik yang bisa digunakan pada multimode fiber adalah LED source, sedangkan single mode harus menggunakan LASER diode, dimana dengan menggunakan LED mempunyai daya optik yang lebih rendah, lebih mudah fabrikasi, lebih murah, masa berlaku operasinya lebih lama

-
- ▶ Kekurangan *multimode* adalah menimbulkan *dispersi intermodal*
 - ▶ Dispersi intermodal bisa didiskripsikan sebagai berikut: ketika pulsa optik di *launch* kedalam fiber, daya optik didistribusikan pada semua mode yang digunakan. Masing-masing mode bisa berpropagasi dengan kecepatan yang berbeda sehingga mode-mode yang membawa pulsa optik tadi datang/ sampai di *fiber end* dengan sedikit perbedaan waktu (*delay*) hal ini menyebabkan terjadi pelebaran pulsa karena penjararannya selama melalui media fiber tersebut. Efek dispersi intermodal tersebut bisa dikurangi dengan menggunakan *graded index* fiber
 - ▶ Keuntungan *singlemode fiber* adalah memiliki *bandwidth* yang lebih lebar dan tidak ada efek dispersi intermodal
-

Karakteristik Serat Optik

1

INDEX BIAS

untuk step-index fiber nilai indeks bias *core*-nya konstan (sama) dari bagian pusat *core* (*center of fiber*) sampai ke batas antara *core* dengan *cladding* (*core-cladding boundary*)

untuk graded-index fiber nilai indeks bias *core*-nya menurun secara kontinyu sesuai dengan kenaikan radial distance (r) dari *center of fiber* sampai ke *core-cladding boundary*, kemudian pada bagian *cladding* nilai indeks biasnya akan konstan

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left[\frac{r}{a} \right]^\alpha}, & \dots\dots\dots 0 \leq r < a \\ n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \cong n_1(1 - \Delta) = n_2, & \dots\dots\dots r \geq a \end{cases}$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

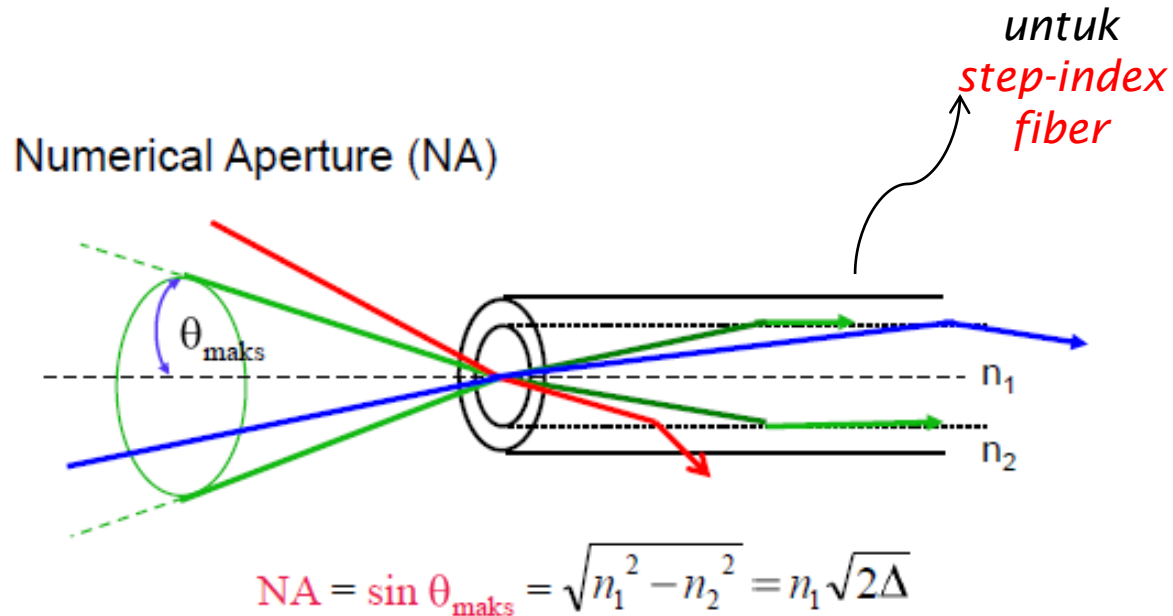
Keterangan:

r : radial distance

a : jari-jari *core* (inti)

Δ : beda indeks bias relatif

α : index profile (1, ..., ∞)



Δ : beda indeks bias relatif

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Ketika cahaya datang masuk dengan sudut θ_0 yang kurang dari θ_{maks} maka akan terjadi *totally internally reflected* pada bidang batas *core-cladding*

untuk *graded index fiber*,
 nilai NA tergantung dari posisi/ lokasi dari center core-nya (r)

$$NA(r) = \begin{cases} NA(0) \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha}, & \dots\dots\dots r \leq a \\ 0, & \dots\dots\dots r > a \end{cases}$$

dimana $NA(0) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta}$

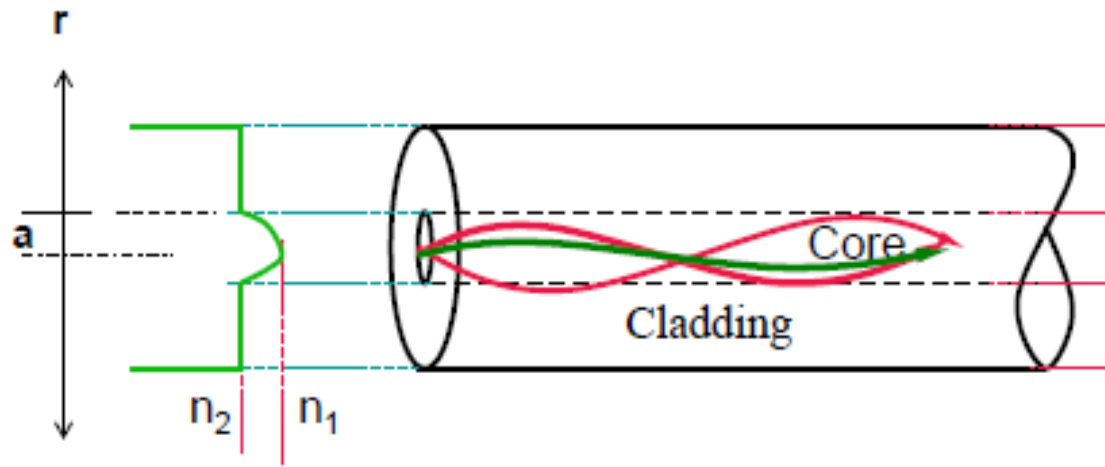
Keterangan:

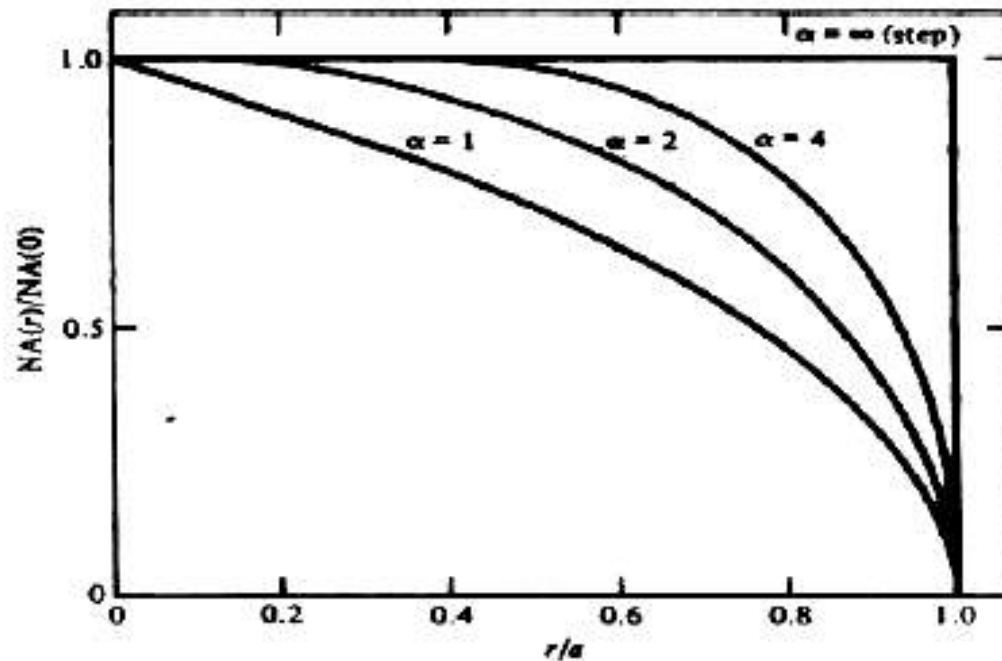
$NA(0)$: numerikal aperture pada pusat core-nya

a : radius core (jari-jari core)

r : radial distance from the center core

α : shape of the index profile





Perbandingan *numerical aperture* (NA) dari *graded index* fiber yang memiliki nilai α (*index profile*) yang berbeda

3

JUMLAH MODE

Untuk *step-index fiber*:

V-parameter menentukan jumlah modus yang menjalar dalam serat optik

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} NA$$

Jumlah mode yang masuk kedalam fiber (serat optik):

$$M = \frac{2A}{\lambda^2} \Omega = \frac{2\pi^2 a^2}{\lambda^2} \cdot (n_1^2 - n_2^2) = \frac{V^2}{2}$$

Untuk *graded-index fiber*, jumlah mode (M) adalah:

$$M = \frac{\alpha}{\alpha + 2} a^2 k^2 n_1^2 \Delta = \frac{\alpha}{\alpha + 2} \left(\frac{2\pi a n_1}{\lambda} \right)^2 \Delta$$

Keterangan:

α = *shape of the index profile*

k = konstanta propagasi ($2\pi/\lambda$)

n_1 = index bias pada bagian pusat core-nya

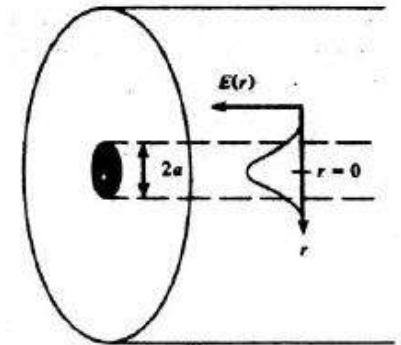
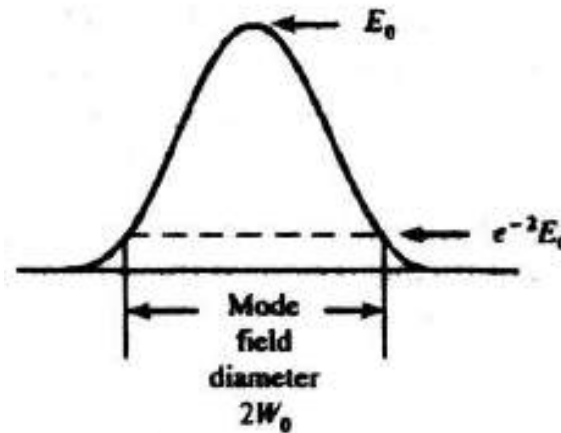
Δ = beda index bias relatif

4

Daya mengalir pd SI

$$\frac{P_{clad}}{P} = 1 - \frac{P_{core}}{P}$$
$$\left(\frac{P_{clad}}{P} \right)_{total} = \frac{4}{3} M^{-\frac{1}{2}}$$

MFD adalah parameter penting yang bisa menunjukkan performansi dari fiber/ serat optik single mode, selain dari parameter geometrik seperti *core diameter* dan *numerical aperture*. Parameter MFD bisa ditentukan dari modus saat propagasi dengan arah polarisasi linier



Distribusi cahaya pada Single Mode fiber diatas panjang gelombang cut off-nya. Untuk distribusi Gaussian MFD sebesar lebar $1/e^2$ dari daya optis.

Pada SM fiber tidak semua cahaya yg merambat pd fiber melalui inti.

$$E(r) = E_o e^{-\left(\frac{r^2}{W_o^2}\right)}$$

r : jari-jari

E_o : amplitudo medan listrik pd $r=0$

W_o : lebar distribusi medan listrik

$$W_o = a(0.65 + 1.619V^{-3/2} + 2.879V^{-6})$$

6

PANJANG GELOMBANG CUT OFF (λ_c)

Panjang gelombang gelombang cutoff adalah parameter yang penting untuk single-mode fiber karena mampu membedakan antara daerah single-mode dan multimode.

Panjang gelombang cut off :

$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{V_c} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a n_1}{V_c} \sqrt{2\Delta}$$

untuk single-mode fiber

$$V \leq 2.405$$

atau

$$V_c = V_{cut-off} = 2.405$$

Panjang gelombang **diatas λ_c** adalah *single-mode region*,
dibawah λ_c adalah *multimode region*

Contoh :

Fiber a = 25 μm , $n_1 = 1,48$; $\Delta = 0,01$; $\lambda = 0,84 \mu\text{m}$;

Hitung V; M; P_{clad}/P ; λ_c ;

Jika $\Delta = 0,003$, hitung M dan P_{clad}/P ;

Soal

1. Step index fiber at frequency 820 nm having a 25 μm core radius, $n_1 = 1,48$, and $n_2 = 1,46$
 - ▶ How many modes propagate in this fiber at 820 nm
 - ▶ How many modes propagate in this fiber at 1320nm
 - ▶ How many modes propagate in this fiber at 1550 nm
 - ▶ What percent of the optical power flows in the cladding in each case
2. Step-index fiber memiliki frekuensi normalisasi (V) = 26,6 pada panjang gelombang 1300 nm. Jika jari-jari core-nya (a) adalah 25 μm , berapakah nilai numerical aperture-nya (NA)?
3. Hitung jari-jari core (a) yang mungkin untuk *step index single mode fiber* ($V=V_c=2,405$) yang dioperasikan pada panjang gelombang 1320 nm dengan $n_1 = 1,48$ dan $n_2=1,478$. Berapakah nilai numerical aperture (NA) dan sudut terima maksimum (θ_{maks})?



-
4. Pada proses fabrikasi akan dibuat core yang berasal dari bahan silica, step index fiber dengan $V=75$ dan numerical aperture $(NA)=0,30$ agar bisa beroperasi pada panjang gelombang 820 nm . Jika $n_1=1,458$, berapakah ukuran jari-jari core (a) dan indeks bias cladding (n_2) yang seharusnya dibuat?
 5. Hitung berapa jumlah mode pada panjang gelombang 820 nm dan $1,3\text{ }\mu\text{m}$ untuk *graded index* fiber yang memiliki parabolic index profile ($\alpha=2$), radius core-nya $25\text{-}\mu\text{m}$, $n_1=1,48$ dan $n_2=1,46$. Bagaimana kalau dibandingkan dengan *step-index* fiber?
 6. Plot the refractive-index profile dari n_1 to n_2 as a function of radial distance $r \leq a$ for graded-index fibers that have α values of 1, 2, 4, 8, and ∞ (step index). Assume the fibers have a $25\text{-}\mu\text{m}$ core radius, $n_1=1,48$ and $\Delta=0,01$