

## **BAB II**

### **TINJAUAN UMUM HUKUM-HUKUM OPTIK**

#### Tujuan Instruksional Umum

Bab II menjelaskan konsep-konsep dasar optika yang diterapkan pada komunikasi serat optik.

#### Tujuan Instruksional Khusus

Pokok-pokok bahasan pada bab ini menjelaskan tentang teori sinar dan cara memfokuskan, mensejajarkan, dan memantulkan sinar, serta lensa-lensa yang mempunyai sifat untuk mengumpulkan sinar (cahaya). Pemahaman tentang hal ini akan diterapkan pada pengkopelan sinar (cahaya) dari sumber ke serat dan pengkopelan cahaya dari serat yang satu dengan yang lain. Mahasiswa diharapkan :

1. Mengingat kembali teori optika geometris.
2. Memahami hukum-hukum optika geometris dan dapat menerapkannya untuk memfokuskan cahaya ke serat optik dengan menggunakan lensa.
3. Dapat menentukan besar tingkap numeris serat.

#### **Pendahuluan**

Pada bab ini akan dibahas konsep-konsep dasar optik yang berguna bagi sistem komunikasi optis. Materi yang berkaitan adalah dasar-dasar perambatan sinar,

gelombang, dan lensa. Dasar-dasar ini akan sangat berguna untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan perambatan cahaya dalam serat optik dan pengkopelan cahaya dari sumber cahaya ke serat optik dan dari serat optik ke serat optik lainnya.

## 2.1 Teori Sinar

Pada pembahasan berikut ini, digunakan pendekatan optika geometris yang meliputi hukum-hukum sebagai berikut.

1. Didalam ruang hampa, sinar merambat dengan kecepatan  $c = 3 \times 10^8$  m/s. Dalam medium lain, sinar merambat dengan kecepatan yang lebih rendah, yaitu :

$$v = \frac{c}{n} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan  $v$  adalah cepat rambat sinar pada suatu medium (m/s) dan  $n$  adalah indeks bias medium. Indeks bias udara sama dengan 1 ( $n = 1$ ), untuk air  $n = 1,33$ , dan indeks bias untuk bahan gelas berkisar pada nilai 1,5.

2. Sinar merambat menurut lintasan garis lurus, kecuali jika dibelokkan oleh karena memasuki medium yang berbeda.
3. Pada garis batas antara dua medium yang berbeda, sinar dipantulkan dengan sudut pantul yang sama besar dengan sudut datangnya, atau

$$\theta_r = \theta_i \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan  $\theta_i$  adalah sudut datang dan  $\theta_r$  adalah sudut pantul (dihitung dari garis normal).

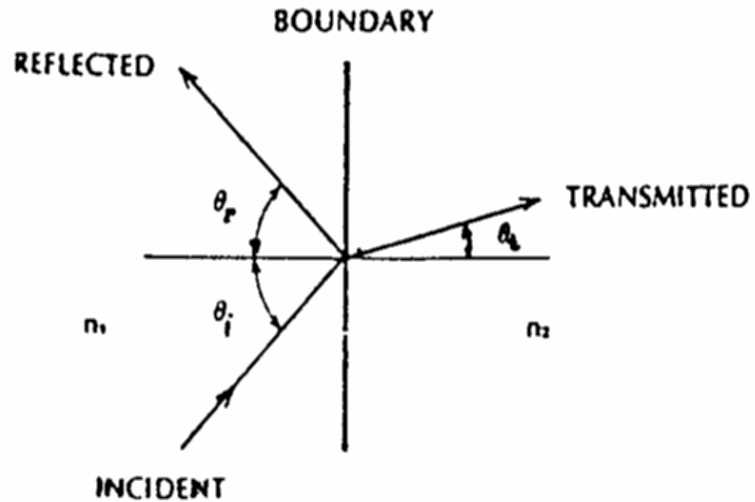
4. Daya sinar yang ditransmisikan saat sinar melalui garis batas dua medium yang berbeda, dirumuskan dengan hukum Snellius :

$$\frac{\sin \theta_t}{\sin \theta_i} = \frac{n_1}{n_2} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

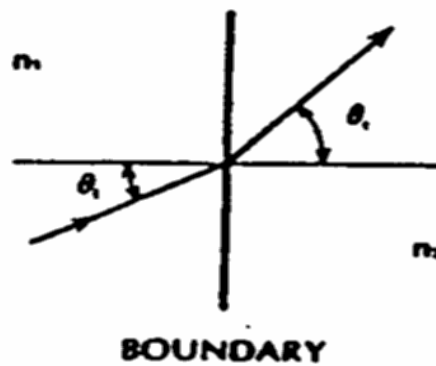
dengan  $\theta_t$  adalah sudut bias yang diteruskan ke medium kedua.

5. Jika sinar merambat dari medium berindeks bias lebih tinggi ke medium berindeks bias lebih rendah, maka sinar dibiaskan menjauhi garis normal.
6. Jika sinar merambat dari medium berindeks bias lebih rendah ke medium berindeks bias lebih tinggi, maka sinar dibiaskan mendekati garis normal.

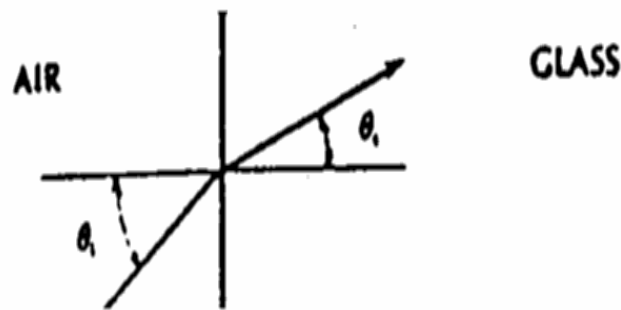
Hukum-hukum ke 3, 4, 5, dan 6 dapat diilustrasikan pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar 2.1 Sudut datang, sudut pantul, dan sudut bias pada daerah batas antara dua medium yang berbeda



Gambar 2.2 Sinar dibiaskan menjauhi garis normal, jika  $n_1 > n_2$



Gambar 2.3 Sinar dibiaskan mendekati garis normal, jika  $n_1 < n_2$

## 2.2 Lensa

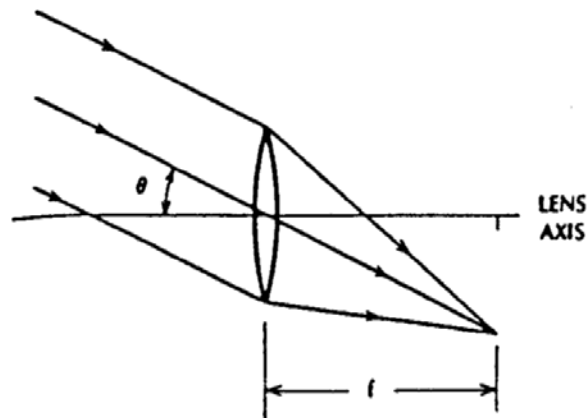
Serat dapat dites dengan mengirim berkas cahaya melalui serat tersebut. Tes seperti ini digunakan untuk mengetahui kontinuitas (atau keretakan pada serat). Jika berkas cahaya yang dikirimkan dapat mencapai ujung serat (dengan daya optik yang sesuai), maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada retak atau patah pada jalur serat tersebut. Berkas cahaya yang dihasilkan oleh laser gas dapat digunakan untuk keperluan ini, karena ukuran berkasnya kecil yaitu dalam orde milimeter (ukuran serat optik lebih kecil lagi). Untuk memfokuskan berkas cahaya dapat digunakan lensa tipis yang diletakkan di depan ujung serat. Cara ini dapat dilihat pada gambar 2.4.

Sifat-sifat perambatan cahaya melalui sebuah lensa tipis adalah sebagai berikut :

1. Cahaya yang melalui pusat lensa tidak dibelokkan (berkas cahaya nomor 1).

2. Cahaya yang datang sejajar dengan sumbu lensa, dibelokkan menuju titik fokus lensa (berkas cahaya nomor 2).
3. Cahaya datang sejajar dengan cahaya yang melalui pusat lensa, dibelokkan menjadi berkas cahaya yang memotong cahaya tersebut pada bidang fokus (berkas cahaya nomor 3).
4. Cahaya datang melalui titik fokus, dibelokkan menjadi berkas cahaya yang sejajar dengan sumbu lensa (berkas cahaya nomor 4).

Sifat-sifat tersebut di atas dapat dijelaskan dengan gambar 2.5.

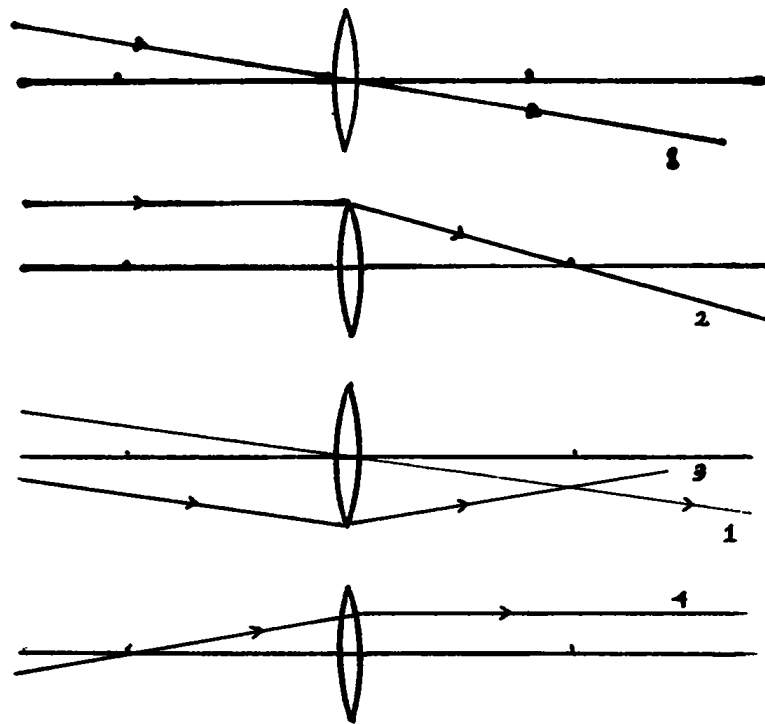


Gambar 2.4 Memfokuskan berkas cahaya ke serat

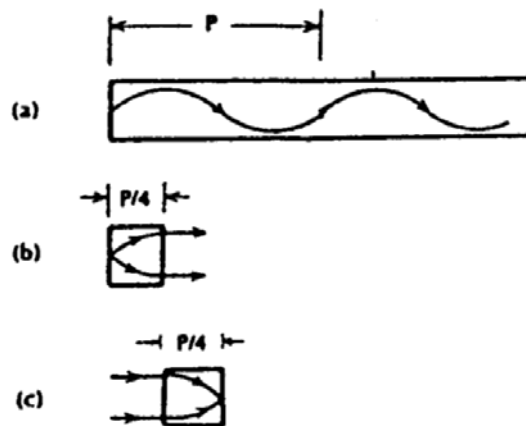
Lensa batang GRIN merupakan satu penerapan modern pada sistem komunikasi serat optis. Batang GRIN

mempunyai indeks bias yang makin kecil untuk jarak yang makin jauh dari sumbu batang. Hal ini membuat berkas cahaya merambat melalui lintasan berbentuk sinusoidal.

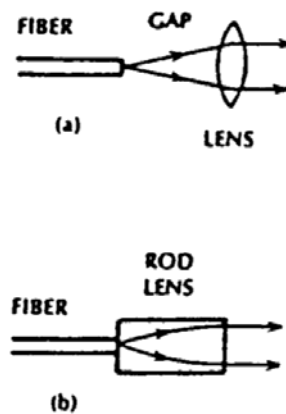
Cahaya yang keluar dari serat dapat disejajarkan menggunakan lensa konvensional. Dengan menggunakan lensa spheris, maka akan terdapat ruang kosong (gap) di antara ujung serat dan lensa, sedangkan jika menggunakan lensa batang GRIN tidak terdapat gap (lihat gambar 2.7).



Gambar 2.5 Lintasan sinar setelah melalui lensa tipis



Gambar 2.6 Batang GRIN (a) Lintasan cahaya pada batang GRIN. (b) Lensa batang GRIN *quarter-pitch* mensejajarkan cahaya yang datang dari sebuah sumber titik. (c) Lensa batang GRIN *quarter-pitch* memfokuskan cahaya yang datang sejajar sumbu lensa.



Gambar 2.7 Mensejajarkan berkas cahaya yang keluar dari serat menggunakan (a) lensa spheris (b) menggunakan lensa batang GRIN (GRIN rod lens)

### 2.3 Tingkap Numeris

Sifat penting yang harus dimiliki sistem optis adalah kemampuan untuk memfokuskan cahaya yang datang dari sudut yang cukup luas jangkauannya. Gambar berikut menunjukkan penerima optis yang terdiri atas lensa dan detektor cahaya. Lensa yang digunakan berukuran jauh lebih besar daripada luas permukaan detektor, sehingga dapat menangkap lebih banyak cahaya (dibandingkan jika tidak menggunakan lensa). Dengan menggunakan hukum-hukum yang ada, dapat diperkirakan posisi cahaya harus datang supaya dapat difokuskan pada detektor. Cahaya datang dengan sudut yang terlalu besar tidak akan menimpa detektor, dan akibatnya sinyal yang datang tidak akan terdeteksi.

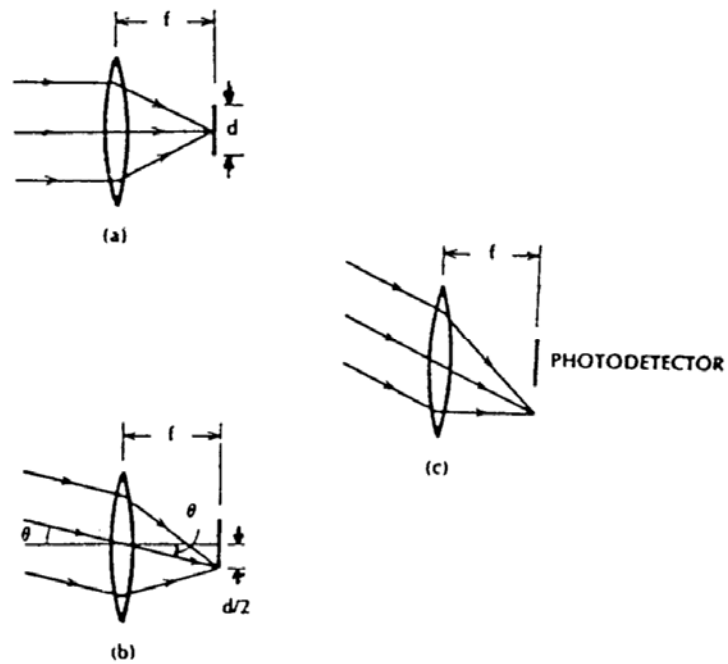
Dengan memperhatikan gambar 2.8, sudut penerimaan maksimum dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\tan \theta = \frac{d}{2f} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana  $d$  adalah diameter detektor dan  $f$  adalah panjang fokus lensa. Tingkap numeris ( $NA$  : *Numerical Aperture*) didefinisikan sebagai kerucut yang mempunyai setengah-sudut sebesar  $\theta$ , dan ditentukan oleh rumusan sebagai berikut :

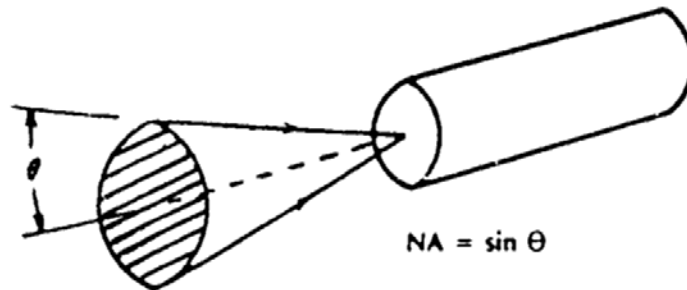
$$NA = n_0 \sin \theta \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan  $n_0$  adalah indeks bias bahan yang berada di antara lensa dan detektor dan  $\theta$  adalah sudut penerimaan maksimum.



Gambar 2.8 Penerima optis dengan detektor cahaya yang diletakkan pada bidang fokus lensa :

- (a) Cahaya datang sejajar dengan sumbu lensa
- (b) Cahaya datang dibiaskan di ujung permukaan detektor
- (c) Cahaya datang dibiaskan di luar permukaan detektor



Gambar 2.9 Tingkat numeris dan sudut penerimaan

## 2.4 Ringkasan

Pembahasan Bab II dapat diringkas sebagai berikut :

1. Cahaya merambat dalam suatu medium dengan kecepatan yang besarnya ditentukan oleh besarnya indeks bias medium tersebut.
2. Saat melintasi bidang batas antara dua medium, cahaya dibelokkan menurut hukum-hukum Snellius.
3. Lensa dapat memfokuskan dan mensejajarkan berkas cahaya.
4. Lensa batang GRIN mempunyai fungsi yang sama dengan lensa spheris biasa, namun juga mempunyai kelebihan lain yaitu strukturnya kompak dan panjang fokusnya pendek. Hal ini menyebabkan lensa batang

GRIN lebih menarik untuk digunakan dalam sistem komunikasi optis.

5. Sistem optik, termasuk serat optik, dapat menerima cahaya dalam jangkauan sudut datang yang terbatas. Ukuran untuk karakteristik ini adalah tingkap numeris.

## 2.5 Contoh Soal dan Penyelesaiannya

1. Sebuah sinar masuk dari medium udara ke medium gelas. Tentukan berapa besarnya sudut bias jika sudut datangnya  $15^\circ$ ,  $n_1 = 1$  dan  $n_2 = 1,5$ .

### Penyelesaian

$$\frac{\sin \theta_t}{\sin 15^\circ} = \frac{1}{1,5}$$

$$\sin \theta_t = \frac{\sin 15^\circ}{1,5}$$

$$= 0,17$$

$$\theta_t = 9,94^\circ$$

2. Sebuah penerima mempunyai panjang fokus 10 cm, diameter detektor 1 cm, dan terdapat udara di antara lensa dan detektor dengan indeks bias 1. Hitunglah tingkap numerisnya !

### Penyelesaian

Karena  $d / 2f$  kecil, maka dapat digunakan pendekatan  $\sin \theta \approx \tan \theta$  dan tingkap numeris dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{NA} &= n_0 \sin \theta \\ &= 1 \times \tan \theta \\ &= \frac{d}{2f} = \frac{1}{2 \times 10} = 0,05 \end{aligned}$$

## 2.6 Soal-soal Latihan

1. Sebuah sinar masuk dari medium udara ke medium gelas. Tentukan berapa besarnya sudut bias jika sudut datangnya  $30^\circ$  ,  $n_1 = 1,5$  dan  $n_2 = 1,55$ .
2. Sebuah penerima mempunyai panjang fokus 15 cm, diameter detektor 1,5 cm, dan terdapat udara diantara lensa dan detektor dengan indeks bias 1. Hitunglah tingkap numerisnya!
3. Jelaskan bagaimana seberkas cahaya dapat digunakan untuk menguji ada tidaknya keretakan pada serat optik?
4. Jelaskan kegunaan lensa pada sistem komunikasi serat optik?
5. Lensa batang GRIN memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan lensa spheris. Jelaskan dan mengapa bisa demikian ?