

PENENTUAN PERSAMAAN CELAH NUMERIK SERAT OPTIK
PADA UJUNG BERBENTUK KERUCUT



Skripsi
Untuk Melengkapi Tugas-Tugas
Dan Memenuhi Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Fisika



PERPUSTAKAAN PUSAT UNIV. HASANUDDIN	
Tgl. terima	16-02-93
Asal dari	-
Jumlahnya	1 (satu) eksemplar
Harga	Gratis
No. Inventaris	93 20 08 0894
No. Klas	

Oleh

Muhammad Syahrir ✓

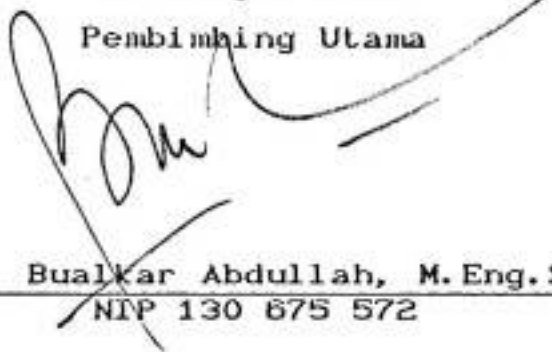
85 03 121

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN

1991

Penentuan Persamaan Celah Numerik Serat Optik
Pada Ujung Berbentuk Kerucut

Disetujui Oleh
Pembimbing Utama



(Drs. Bualkar Abdullah, M. Eng. Sc)
NIP 130 675 572

Ujung Pandang, 5 Desember 1991

Kata Pengantar

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan Rahmat-Nyalah sehingga tugas akhir ini selesai disusun.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dalam kesempatan ini izinkanlah penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada

1. Bapak Dekan Fakultas Mipa Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Pembantu Dekan Fakultas Mipa Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Drs. Bualkar Abdullah, M. Eng. Sc selaku pembimbing penulis yang telah memberikan bimbingan kepada penulis
4. Ibu Ketua dan Staf Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam tulisan ini tak lepas dari segala kekurangan dan kesalahan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran-saran dari semua pihak yang tentunya akan bermanfaat bagi penulis dimasa yang akan datang. Harapan penulis semoga tulisan ini beremanfaat adanya.

Penulis

M S

Sari Bacaan

Persamaan Celah Numerik serat optik pada ujung berbentuk kerucut telah diturunkan. Analisis persamaan ini didasari oleh hukum Snellius, geometri dan trigonometri. Hasil yang didapatkan sangat berguna dalam pengkooplingan serat optik.

Abstract

The Numerical Aperature of cone-shape End-face of optical fiber have been derived. Ananalysis of this equation based on Snell's Law, geometry and trigonometry. The result is very useful in coupling of optical fiber.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Sari bacaan	iv
Abstract	v
Daftar Isi	vi
Daftar Lampiran	vii
BAB I Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup	1
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Sistematika Penulisan	2
BAB II Tinjauan pustaka	4
II.1 Hukum Snellius	4
II.2 Serat Optik	5
II.2.1 Moda Tunggal dengan Indeks Bias Bertingkat	5
II.2.2 Moda Jamak dengan Indeks Bias Bertingkat	7
II.2.3 Moda Jamak dengan Indeks Bias Terdistribusi	9
II.3 Celah Numerik (N A)	11
II.4 Proses Pembentukan Kerucut pada Ujung Serat Optik	13
BAB III Metodologi	16
BAB IV Hasil dan Pembahasan	17

BAB . V.Simpulan dan Saran	22
V.1 Simpulan	22
V.2 Saran	22
Daftar Pustaka	24
Lampiran	

Daftar Lampiran

Lampiran A Perolehan Persamaan Celah Numerik

Lampiran B Pengkoplingan Dengan Menggunakan Serat Optik Yang Ujungnya Berbentuk Kerucut.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komunikasi optik adalah suatu sistem komunikasi yang menggunakan gelombang cahaya sebagai medium untuk memindahkan informasi melalui serat optik sebagai komponen utama yang berfungsi sebagai pemandu gelombang cahaya dari elemen sumber yang mengeluarkan gelombang cahaya atau laser sebagai sumber gelombang cahaya.

Saat ini komunikasi optik sudah banyak dipakai secara efisien dikarenakan telah ditemukannya serat optik dengan kehilangan yang rendah.⁽⁹⁾

Penemuan yang sangat menyolok itu memungkinkan untuk memenuhi persyaratan-persyaratan yang diperlukan untuk membuat sistem komunikasi optik yang tentunya akan segera memegang peranan penting dalam sistem komunikasi masa depan, karena komunikasi optik menunjukkan beberapa keistimewaan yang tak mungkin dicapai dengan sistem komunikasi konvensional, antara lain laju " bit " yang sangat besar dan tak dipengaruhi oleh gangguan elektromagnetik.

Celah numerik dari suatu serat optik adalah bagian yang sangat penting dalam sistem transmisi optik.

1.2 Ruang Lingkup

Pokok pembahasan dalam penelitian ini adalah

melukiskan lintasan gelombang cahaya pada serat optik yang ujungnya berbentuk kerucut dengan indeks bias bertingkat. Lintasan gelombang cahaya selanjutnya dianalisis dengan menggunakan hukum Snellius, geometri dan trigonometri untuk menurunkan persamaan celah numerik serat optik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah penentuan persamaan celah numerik serat optik pada ujung berbentuk kerucut.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan ini adalah Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi Latar Belakang, Ruang Lingkup, Tujuan Penelitian dan Sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi Hukum Snellius, Serat Optik Moda Tunggal dengan Indeks Bias Bertingkat, Moda Jamak dengan Indeks Bias Bertingkat dan Moda Jamak dengan Indeks Bias Terdistribusi, Celah Numerik dan Proses Pembentukan Kerucut Pada Ujung Serat Optik.

- Bab III Metodologi

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab V Simpulan dan Saran

Bab ini berisi Simpulan dan Saran

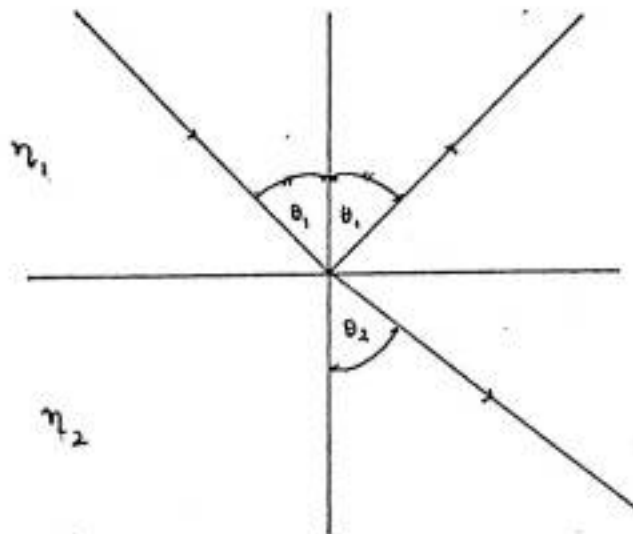
Daftar Pustaka

Lampiran

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Hukum Snellius

Seberkas gelombang cahaya semula menjalar dalam medium dengan indeks bias n_1 , kemudian beralih ke dalam medium lain dengan indeks bias n_2 . Misalkan n_1 lebih besar dari n_2 maka akan teramati bahwa sebagian akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan ke dalam medium dengan indeks bias n_2 dan mengalami pembiasan menjauhi garis normal, hal ini ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1

Pembiasan dan pemantulan gelombang cahaya

Pada Gambar diatas, hubungan antara θ_1 dan θ_2 dapat dituliskan

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

dimana

θ_1 = sudut datang

θ_2 = sudut bias

Pernyataan diatas dikenal sebagai hukum Snellius.

II. 2 Serat Optik

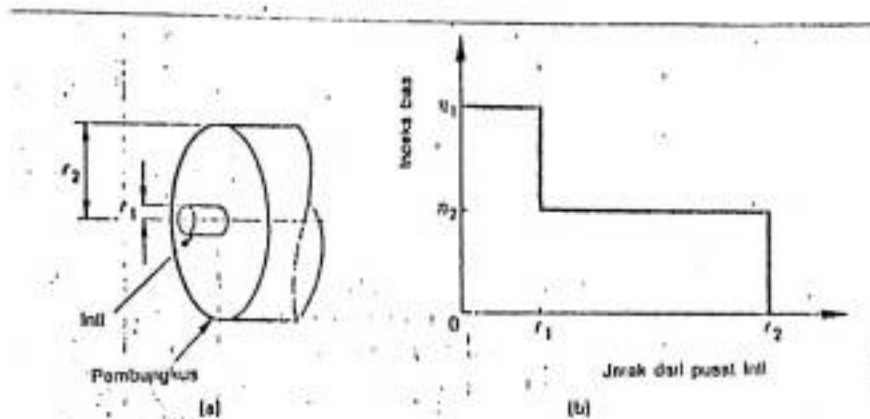
Serat optik adalah pemandu gelombang dielektrik yang bekerja berdasarkan hukum Snellius dengan memanfaatkan pemantulan internal total, terdiri dari inti gelas dan dikelilingi oleh pembungkus yang terbuat dari gelas pula dengan indeks bias yang lebih rendah. Fungsi inti adalah untuk mentransmisikan gelombang cahaya sementara pembungkus mengarahkan gelombang cahaya tersebut. Sifat transmisi dalam inti sangat dipengaruhi oleh ketebalan dan struktur dalam inti. Berdasarkan sifat inilah maka serat optik dibedakan atas tiga jenis yaitu ;⁽⁷⁾

- Moda tunggal dengan indeks bias bertingkat
- Moda jamak dengan indeks bias bertingkat
- Moda jamak dengan indeks bias terdistribusi

II. 2. 1 Moda Tunggal dengan Indeks Bias Bertingkat

Konstruksi dasar serat optik moda tunggal dengan indeks bias bertingkat terdiri dari inti dengan indeks bias n_1 dikelilingi oleh pembungkus dengan indeks bias n_2 , seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. a, sedang kurva indeks biasnya ditunjukkan dalam Gambar 2. b. Disini jelas terlihat

bahwa perubahan indeks biasnya terjadi secara tiba-tiba pada batas antara inti dan pembungkus, diameter inti sangat kecil kira-kira sama dengan panjang gelombang cahaya yang dirambatkan, yaitu dalam daerah 1 - 10 μm . Diameter pembungkus baku mempunyai ukuran 125 μm .



Gambar 2

- a. Serat optik moda tunggal
- b. Kurva indeks bias

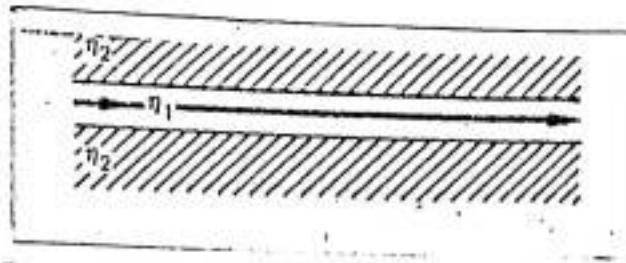
Pada Gambar 2.b, indeks bias n_1 dihubungkan dengan indeks bias n_2 melalui persamaan ^(5,6)

$$n_2 = n_1 (1 - \Delta) \quad (2)$$

dalam hal ini

Δ = Perbedaan indeks bias relatif serat optik

Serat optik moda tunggal dengan indeks bias bertingkat hanya menghasilkan moda transmisi tunggal seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



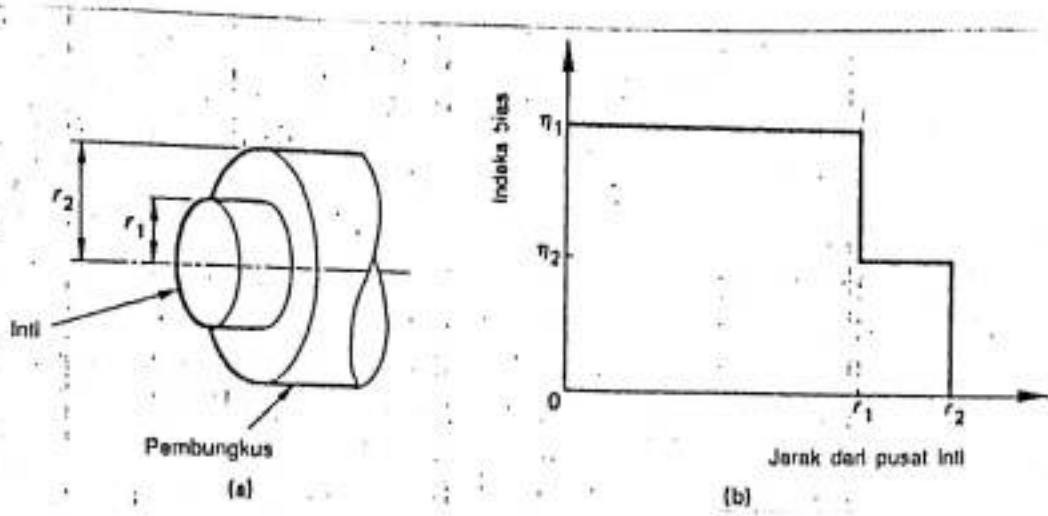
Gambar 3

Perambatan moda tunggal pada serat optik dengan indeks bias bertingkat

Dengan diameter inti yang kecil untuk serat optik moda tunggal maka dapat memberikan kecepatan moda yang besar, namun pada saat ini penggunaannya masih sangat terbatas dikarenakan masih sulit untuk dibuat maupun dalam hal pengkoplingan.

II. 2. 2 Moda Jamak dengan Indeks Bias Bertingkat

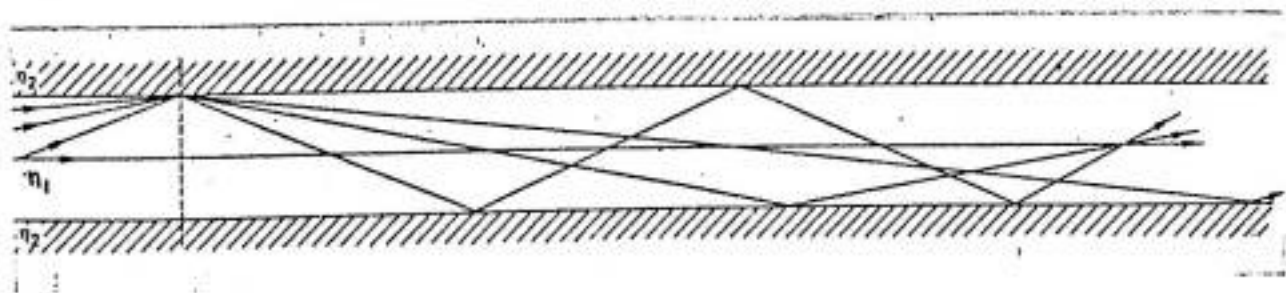
Gambar 4.a, menunjukkan konstruksi dasar serat optik moda jamak dengan indeks bias bertingkat dan Gambar 4.b, melukiskan kurva indeks biasnya. Sama seperti halnya serat optik moda tunggal dengan indeks bias bertingkat, indeks biasnya juga akan berubah secara tiba-tiba pada batas inti-pembungkus, namun kini diameter inti lebih besar, yaitu mempunyai ukuran 50 - 60 μm . Diameter pembungkus juga mempunyai ukuran 125 μm .



Gambar 4

- a. Serat optik moda jamak dengan indeks bias bertingkat
- b. Kurva indeks bias

Berbeda dengan serat optik moda tunggal dengan indeks bias bertingkat, pada serat ini memungkinkan terjadinya moda transmisi jamak seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



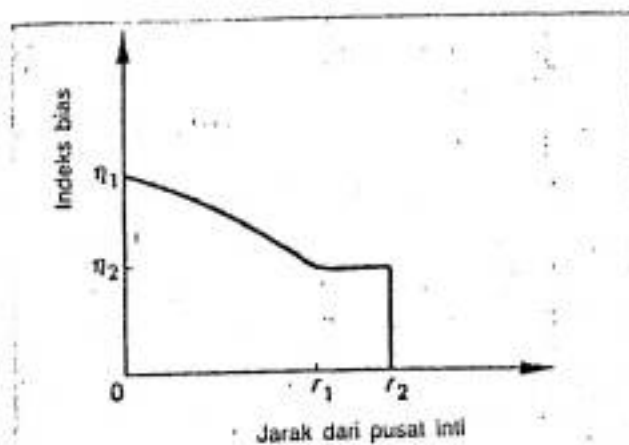
Gambar 5

Perambatan moda jamak pada serat optik dengan indeks bias bertingkat

Pada Gambar 5, memperlihatkan bahwa serat optik moda jamak dengan indeks bias bertingkat menghasilkan waktu transit yang besar sehingga pemakaiannya dibatasi untuk data dengan kecepatan rendah.

II. 2. 3 Moda jamak dengan Indeks Bias Terdistribusi

Konstruksi serat optik moda jamak dengan indeks bias terdistribusi sama dengan serat optik moda jamak dengan indeks bias bertingkat (lihat Gambar 4. a). Namun, indeks bias intinya terdistribusi, indeks bias paling dalam inti mempunyai harga tertinggi dan kemudian kearah tepi menurun secara parabolik sampai pada batas inti-pembungkus seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6

Kurva indeks bias serat optik moda jamak dengan indeks bias terdistribusi

Pada Gambar 6, perubahan indeks biasnya mengikuti hubungan^(5,6)

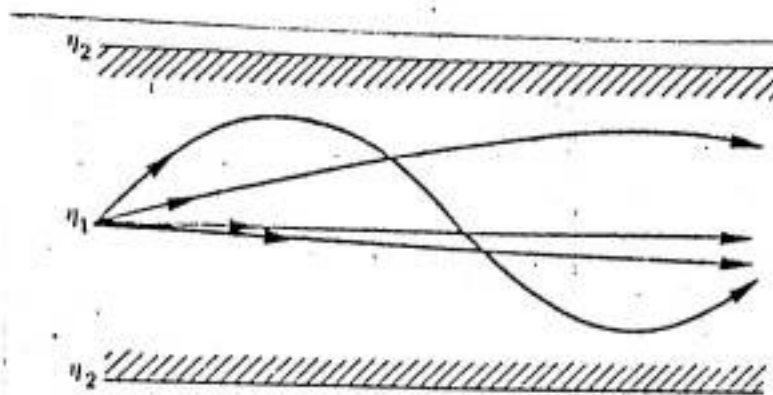
$$n(r)^2 = \begin{cases} n_1^2 [1 - (gr)^2] & \text{untuk } r \leq r_1 \\ n_2^2 & \text{untuk } r > r_1 \end{cases} \quad (3)$$

dalam hal ini

$$g = (2\Delta)^{1/2} / r_1$$

$$r_1 = \text{jari-jari inti}$$

Yang memberikan pengertian bahwa sebelum terjadi pemantulan internal total pada bidang batas inti-pembungkus, gelombang cahaya lebih dahulu dibiaskan. Hal ini mengakibatkan gelombang cahaya akan merambat lurus pada pusat inti dan akan berzig-zag pada bagian yang memiliki indeks bias yang lebih kecil dari pusat inti, sehingga meskipun gelombang cahaya menempuh jarak yang lebih panjang tetapi kecepatannya lebih besar. Akibatnya selisih waktu dari berbagai moda perambatan yang terjadi akan berkurang. Idealnya, semua moda akan tiba pada ujung serat secara bersamaan (lihat Gambar 7).



Gambar 7

Perambatan moda jamak pada serat optik dengan indeks bias terdistribusi

Dengan mengingat bahwa gelas adalah suatu komponen yang mudah cacat karena gesekan maka pada ketiga jenis serat optik yang disebutkan diatas diberikan lapisan pelindung yang disebut jaket. Lapisan jaket ini terbuat dari plastik yang berkualitas tinggi yang berfungsi melindungi serat dari gesekan dan menambah kekuatan serat optik.

II. 3 Celah Numerik

Karakteristik serat optik adalah berdasarkan pemantulan internal total, tidak semua gelombang cahaya dari sumber yang disuntikkan pada pangkal serat optik dapat dipandu dengan baik. Gelombang cahaya yang dapat dipandu dengan baik hanyalah yang memenuhi persamaan

$$e_c \leq e$$

(4)

dalam hal ini

θ_c = sudut kritis

θ = sudut datang pada bidang batas inti-pembungkus

Pada Gambar 8, ^(5,6) gelombang cahaya datang dari medium eksternal dengan indeks bias n_0 melewati pusat inti serat optik membentuk sudut α terhadap garis normal (sumbu serat optik), memasuki inti yang berindeks bias n_1 yang serba sama dan membentuk sudut θ terhadap normal pada bidang batas inti-pembungkus. Dengan menerapkan hukum Snellius diperoleh

$$\sin \alpha_{\text{maks}} = \frac{n_1}{n_2} \sin (90 - \theta) \quad (5)$$

Dengan memaksimumkan α , yaitu α_{maks} akan mengakibatkan pemantulan internal total pada inti-pembungkus sedemikian sehingga θ menuju sudut kritis θ_c , dengan demikian persamaan (5) dapat dituliskan dalam bentuk

$$\sin \alpha_{\text{maks}} = \frac{n_1}{n_2} \cos \theta_c \quad (6)$$

Dari persamaan $\cos^2 \theta_c + \sin^2 \theta_c = 1$ dan $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$,

persamaan (6) memberikan

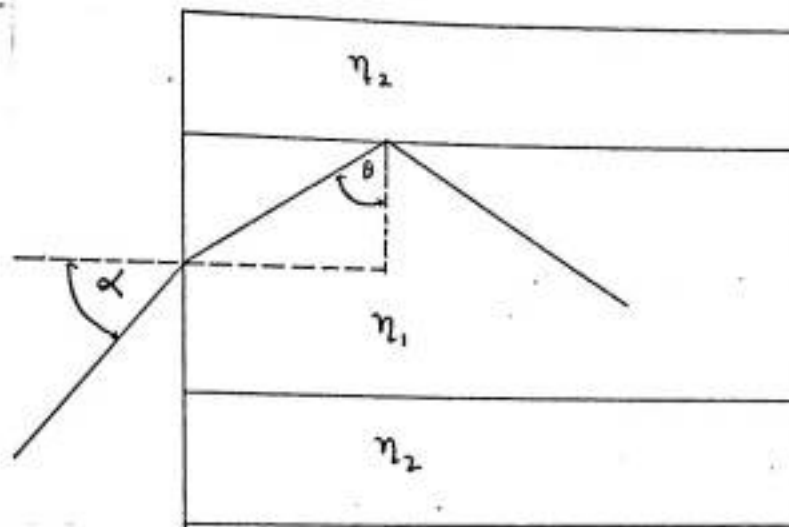
$$\begin{aligned} n_0 \sin \alpha_{\text{maks}} &= (1 - \sin^2 \theta_c) \\ &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (7)$$

dalam hal ini

α_{maks} = sudut penerimaan maksimum serat optik

Karena $n_o \sin \alpha_{\text{maks}} = \text{Celah Numerik (N A)}$ dari serat optik maka persamaan (7) dapat dituliskan sebagai

$$N A = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (8)$$



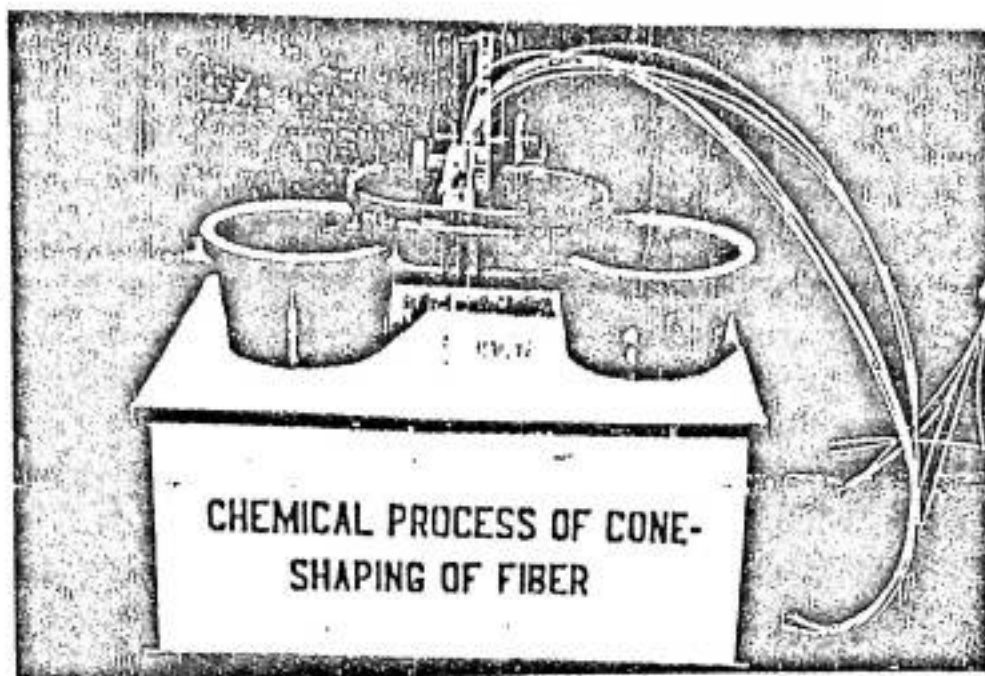
Gambar 8

Perambatan gelombang cahaya dalam serat optik dengan indeks bias bertingkat

II. 4 Proses pembentukan kerucut pada ujung serat optik

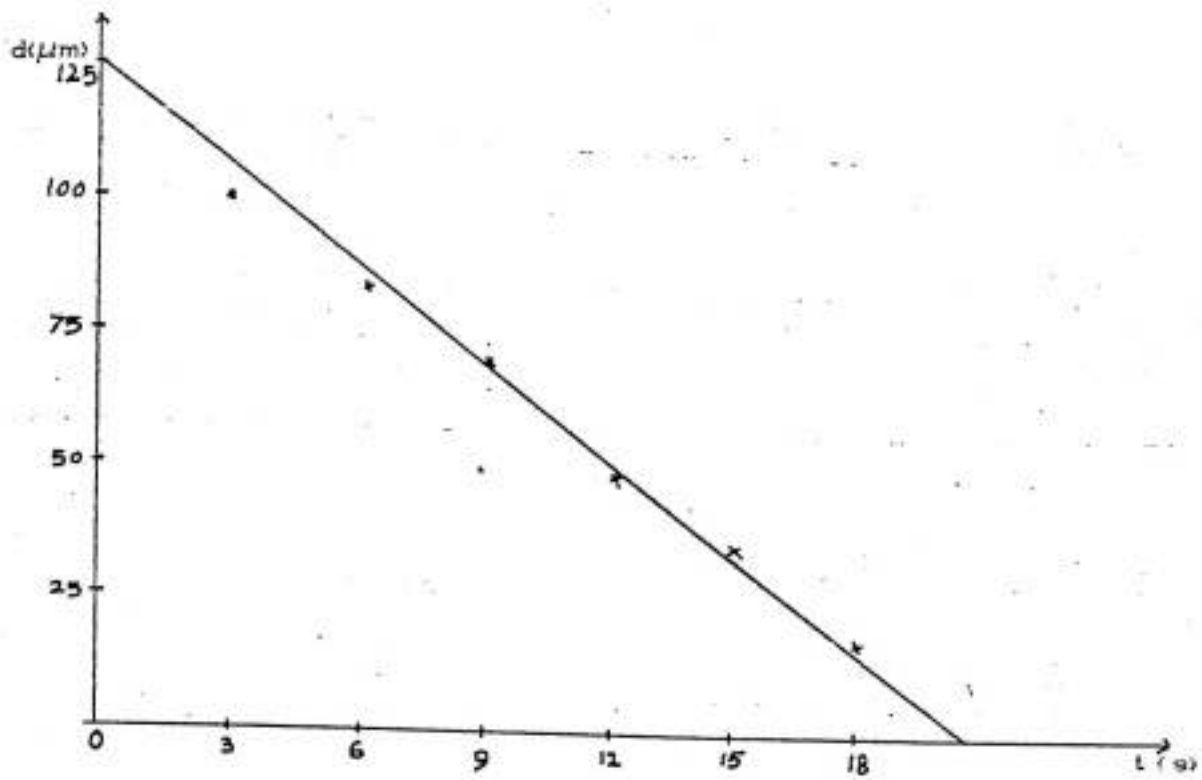
Metode pembentukan kerucut pada ujung serat optik dapat dilakukan dengan proses kimia. Serat optik yang terbuat dari gelas akan mudah larut dalam larutan HF. Proses pembentukan kerucut pada ujung serat optik dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut : Salah satu ujung serat optik dikupas jaketnya kemudian dibersihkan dengan aseton, ujung yang telah terkelupas dicelupkan dalam wadah yang berisi larutan Asam Florida (HF), dalam wadah terjadi reaksi antara serat optik dengan larutan HF yang menyebabkan terjadinya

pengikisan pada ujung yang tercelup. Panjang serat optik yang tercelup dapat dikurangi dengan menurunkan permukaan larutan dalam wadah, ini dapat dilakukan dengan membuat lubang kecil pada dasar wadah. Proses ini ditunjukkan dalam Gambar 9. Sedangkan proses pengikisan serat optik sebagai fungsi dari waktu ditunjukkan dalam Gambar 10⁽²⁾



Gambar 9

Proses pembentukan kerucut pada
ujung serat optik



Gambar 10
Pengikisan serat optik sebagai
fungsi waktu

BAB III

METODOLOGI

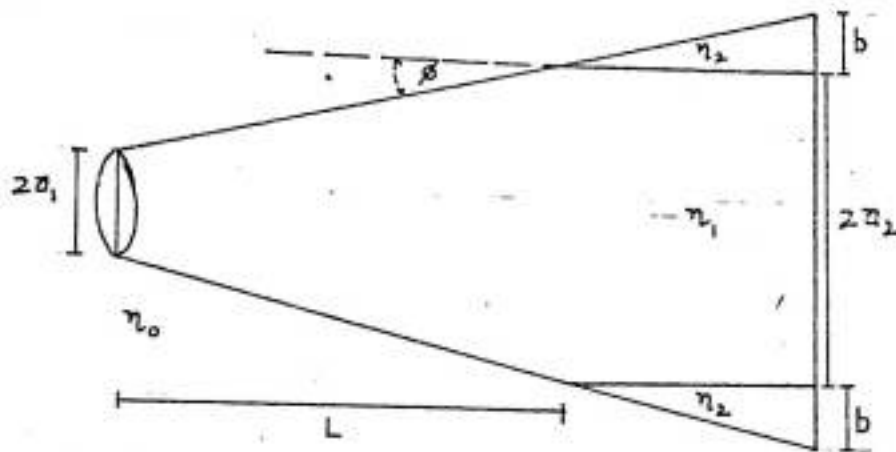
Secara terinci langkah-langkah penurunan persamaan Celah Numerik adalah sebagai berikut

1. Studi kepustakaan dalam rangka pengumpulan bahan dan informasi yang berkenaan dengan ujung serat optik yang berbentuk kerucut.
2. Mendisain ujung serat optik yang berbentuk kerucut.
3. Menganalisis lintasan cahaya yang masuk ke dalam serat optik melalui ujung yang berbentuk kerucut.
4. Menurunkan persamaan celah numerik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara geometri, serat optik yang ujungnya berbentuk kerucut ditunjukkan dalam Gambar 11⁽²⁾



Gambar 11

Serat optik yang ujungnya berbentuk kerucut dalam hal ini

L = Panjang bagian inti serat yang berbentuk kerucut

n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias pembungkus

n_0 = indeks bias media sekeliling

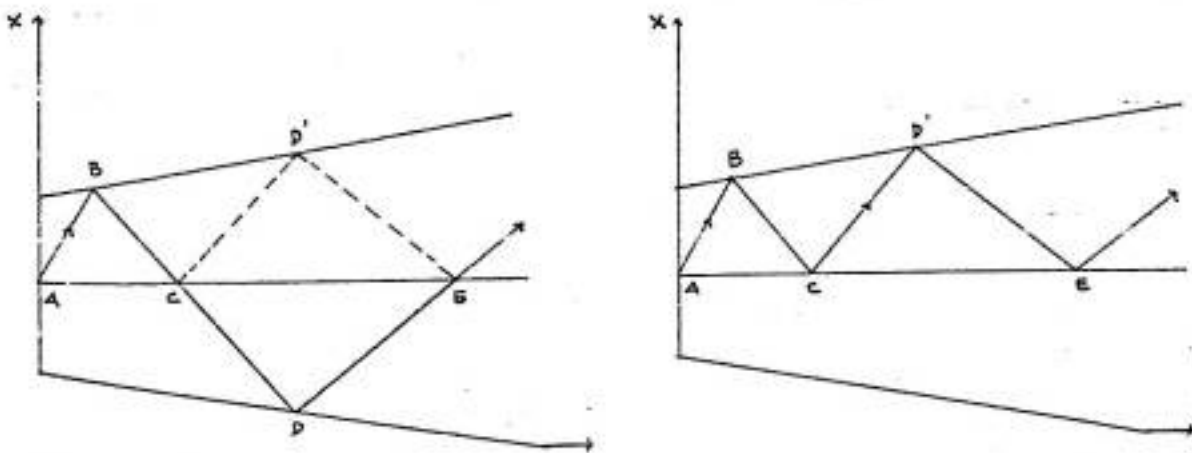
$2a_1$ = diameter inti serat yang berbentuk kerucut

$2a_2$ = diameter inti

b = tebal pembungkus

Seperti halnya dalam serat optik yang berbentuk silinder, lintasan gelombang cahaya dalam serat optik yang ujungnya berbentuk kerucut dapat dilukiskan dengan lintasan

zig-zag seperti ditunjukkan dalam Gambar 12.a^[1,2]. Dalam pembahasan ini, lintasan gelombang zig-zag dapat dipandang setengahnya dengan menggunakan sifat cermin dari serat optik tersebut seperti ditunjukkan dalam Gambar 12.b. Gelombang zig-zag menjalar dalam arah sumbu z dengan amplitudo dan periodanya mengalami perbesaran. Oleh karena itu, sudut lintasan gelombang cahaya bervariasi sesuai dengan perbandingan antara a_1 dan a_2 dan merupakan fungsi dari bilangan pemantulan pada bidang batas inti-pembungkus. Gelombang zig-zag melukiskan lintasan gelombang cahaya dalam serat optik yang ujungnya berbentuk keucut.



Gambar 12

- a. gelombang zig-zag penuh
- b. penggunaan pola cermin

Perhatikan lintasan gelombang zig-zag ABC yang telah

direduksi dalam Gambar 13

dimana

a_1 = setengah diameter inti pada titik A

a_2 = setengah diameter inti pada titik C

a_M = setengah diameter inti pada titik B

θ_o = sudut datang pada titik B

ϕ = sudut kerucingan bagian kerucut

Secara geometri dan trigonometri dapat ditunjukkan bahwa

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{1 - \operatorname{tg} \phi \cot \theta_{z1}}{1 + \operatorname{tg} \phi \cot \theta_{z2}} \quad (.9.)$$

dimana $\theta_{z2} = \theta_{z1} - 2\phi$, menandakan bahwa sudut lintasan berkurang dua kali sudut kerucingan untuk satu kali pemantulan pada bidang batas inti-pembungkus.

Jarak yang ditempuh gelombang cahaya dalam arah z diberikan oleh

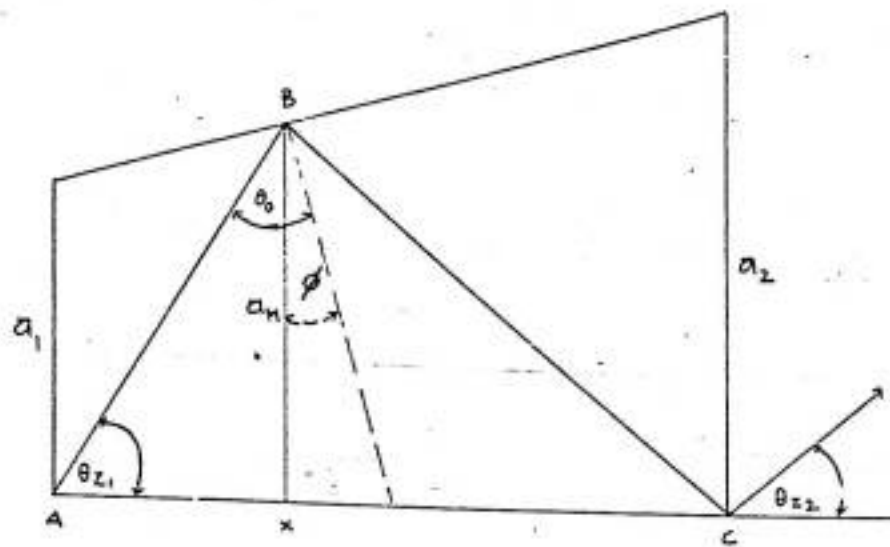
$$\Delta z_{AC} = (a_2 - a_1) \cot \phi \quad (10)$$

Dan sudut kerucingan ϕ dapat dihitung dari

$$\phi = \operatorname{tg}^{-1}[(a_2 - a_1)/L] \quad (11.)$$

Sudut θ_o pada bidang batas inti pembungkus dihubungkan dengan θ_{z1} oleh

$$\theta_o = \frac{\pi}{2} - \theta_{z1} + \phi \quad (12)$$



Gambar 13

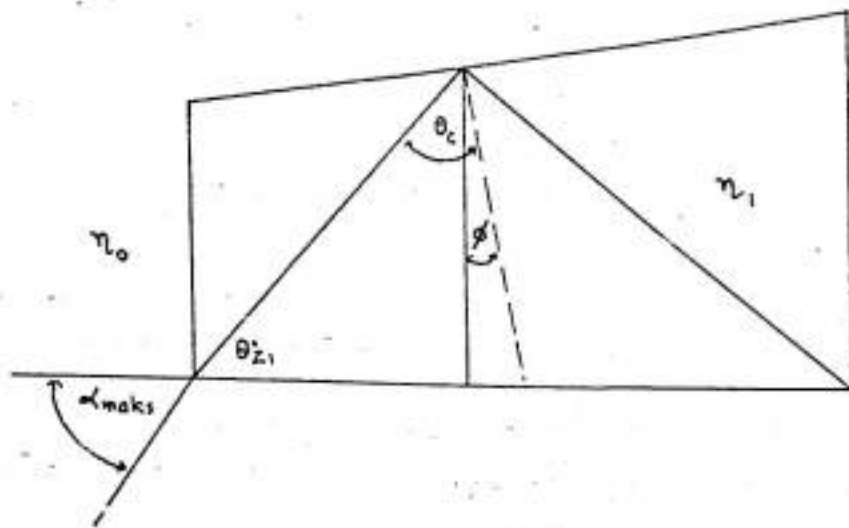
Lintasan gelombang zig-zag ABC

Sudut lintasan θ_{z1} diberikan oleh

$$\theta_{z1} = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{n_0}{n_1} \right)^2 \right]^{1/2} + \phi \quad (13)$$

Dengan memperhatikan Gambar 14 dan selanjutnya digunakan persamaan (13) kemudian menerapkan hukum Snellius diperoleh

$$n_0 \sin \alpha_{maks} = (n_1^2 - n_0^2)^{1/2} \cos \phi + \sin \phi \quad (14)$$



Gambar 14

Pembiasan cahaya pada ujung serat optik

Karena $n_0 \sin \alpha_{maks} = N A$ maka persamaan (14) dapat dituliskan dalam bentuk

$$N A = (n_1^2 - n_0^2)^{1/2} \cos \phi + \sin \phi \quad (15)$$

dalam hal ini

$N A =$ celah numerik serat optik pada ujung berbentuk kerucut

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

V.1 Simpulan

Dari analisis lintasan gelombang cahaya dan celah numerik serat optik pada ujung berbentuk kerucut maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Sudut lintasan gelombang cahaya untuk satu kali pemantulan pada bidang batas inti-pembungkus berkurang dua kali sudut keruncingan bagian kerucut.
2. Celah numerik (NA) pada ujung serat optik yang ujungnya berbentuk kerucut dipengaruhi sudut keruncingan bagian kerucut.
3. Celah Numerik pada ujung berbentuk kerucut lebih besar dari pada ujung serat optik yang berbentuk selinder sehingga memungkinkan pengkoplingan serat optik dari satu serat optik sebagai masukan ke beberapa serat optik sebagai keluaran.
4. Persamaan celah numerik serat optik pada ujung berbentuk kerucut yang diperoleh adalah

$$N A = (n_1^2 - n_0^2)^{1/2} \cos \phi + \sin \phi$$

V.2 Saran - Saran

Mengingat karena penelitian ini adalah merupakan tahap awal dalam meneliti serat optik moda jamak dengan indeks bias bertingkat yang ujungnya berbentuk kerucut maka penelitian lanjutan dari serat ini sangat diharapkan terutama dalam

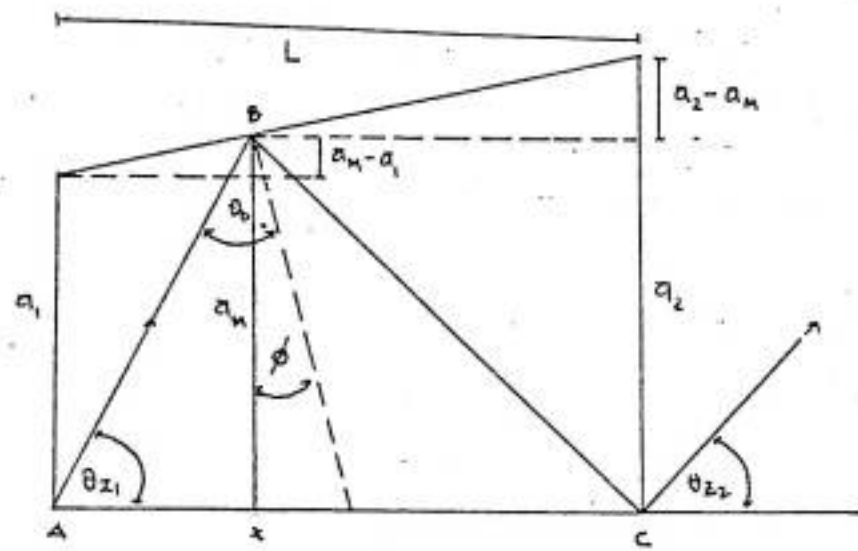
meneliti efisiensi pengkoplingannya. Dengan mengetahui efisiensi pengkoplingannya maka akan membuka peluang untuk digunakan dalam sistem komunikasi serat optik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdullah, B., Construction of Optical Fiber Star-Coupler using Cone-Shaped End-Face of Multimode Fiber, Universitas Indonesia, 1990.
2. Gardise, B. K., Lim, T. K. and Marton, J. P., Ray Trajectories in Optical Fiber Tapered Section, Applied Optics / Vol 17 No. 25 / 15 Nop. 1978
3. Gerd Keiser, Optical Fiber Communication, Mc Graw Hill, Tokyo, 1983.
4. Langley, G., Prinsip Dasar Telekomunikasi, PT. Multimedia, Jakarta, 1985.
5. Pabeta, A. T., Wiharja, E., Batubara, J. E., Prospek Perkembangan Tehnologi Serat Optik dalam Telekomunikasi di Indonesia, PAPITEK - LIPI, Jakarta, 1987.
6. Suematsu, Y, Iga, K. I., Introduction to optical Fiber Communication, John Wiley and Son, Inc, 1982
7. Wilson, J., Haokes, J. F. B., Optoelectronics an Introduction, Prentice Hall International Inc, 1939.



LAMPIRAN A
 PEROLEHAN PERSAMAAN CELAH NUMERIK



Pada Gambar diatas

$$\theta_{z1} = \frac{\pi}{2} - \theta_o + \phi \quad (A.1)$$

$$\theta_{z2} = \frac{\pi}{2} - \theta_o - \phi \quad (A.2)$$

dari (A.1) dan (A.2.) diperoleh

$$\theta_{z2} = \theta_{z1} - 2\phi \quad (A.3.)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= a_M (a_M - a_1) \\ &= a_M - AX \operatorname{tg} \phi && : a_M \\ &= 1 - \frac{AX}{a_M} \operatorname{tg} \phi \\ &= 1 - \cot \theta_{z1} \operatorname{tg} \phi \end{aligned} \quad (A.4)$$

$$\begin{aligned} a_2 &= a_M + (a_2 - a_M) \\ &= a_M + XC \operatorname{tg} \phi \end{aligned}$$

$$= 1 + \frac{XC}{a_M} \operatorname{tg} \phi$$

: a_M

$$= 1 + \cot \theta_{z2} \operatorname{tg} \phi$$

(A.5.)

Persamaan (4) dibagi dengan persamaan (5)

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{1 - \cot \theta_{z1} \operatorname{tg} \phi}{1 + \cot \theta_{z2} \operatorname{tg} \phi}$$

(A.6)

Jarak yang ditempuh gelombang cahaya dari A - C adalah

$$\Delta z_{AC} = AX = XC$$

$$= \frac{a_M - a_1}{\operatorname{tg} \phi} + \frac{a_2 - a_M}{\operatorname{tg} \phi}$$

(A.7)

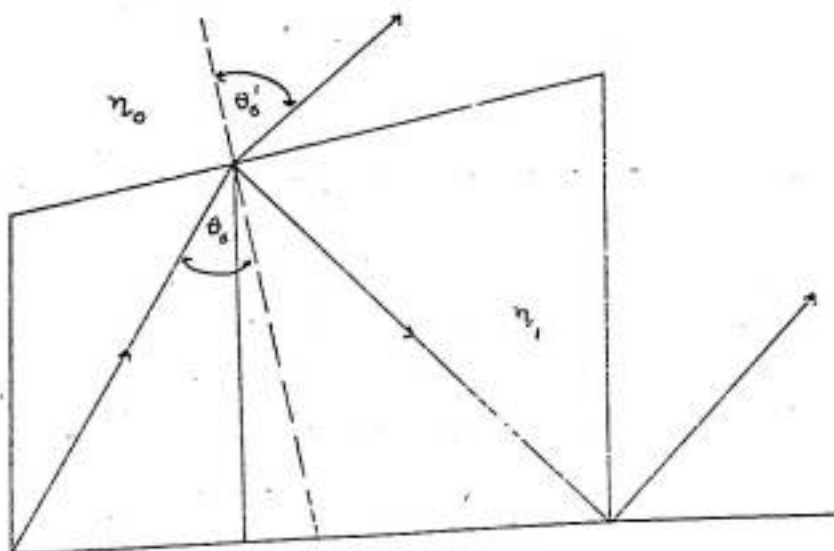
$$= (a_1 - a_2) \operatorname{Cot} \phi$$

Besarnya sudut keruncingan ϕ didapatkan

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{a_2 - a_1}{L}$$

$$= \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{a_2 - a_1}{L} \right)$$

(A.8.)



Perhatikan Gambar disebelah.

Menurut hukum Snellius

$$n_1 \sin \theta_o = n_o \sin \theta_o'$$

Untuk pemantulan total, $\theta_o' = 90^\circ$ dan $\theta_o \rightarrow \theta_c$ maka $\sin \theta_c = \frac{n_o}{n_1}$, dari persamaan (A.1) diperoleh

$$\begin{aligned} \sin (\theta_{z1} - \phi) &= \sin (\frac{\pi}{2} - \theta_c) \\ &= \cos \theta_c \end{aligned}$$

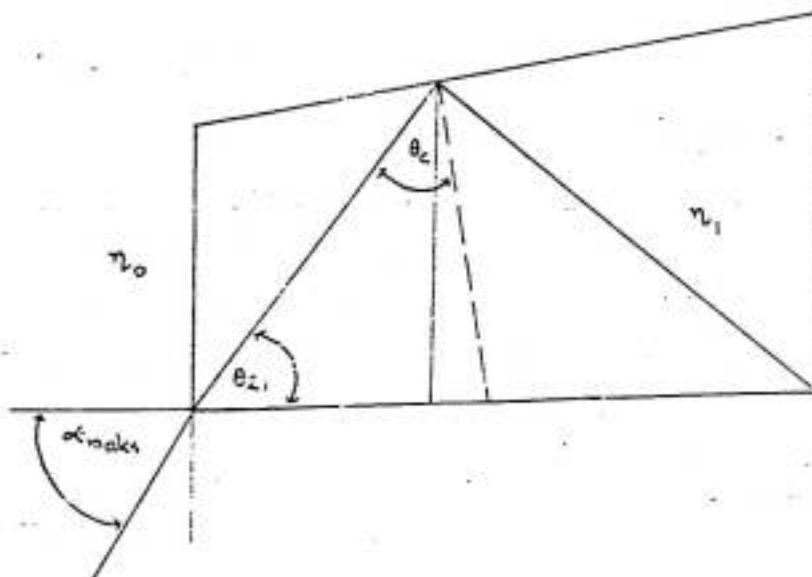
$$\theta_{z1} - \phi = \sin^{-1} (\cos \theta_c)$$

$$\theta_{z1} = \sin^{-1} (\cos \theta_c) \quad (A.10)$$

dari dalil $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$, diperoleh

$$\theta_{z1} = \sin^{-1} (1 - \sin^2 \theta_c)^{1/2} + \phi \quad (A.11)$$

Dengan memperhatikan Gambar berikut dan menerapkan hukum Snellius, diperoleh





$$\begin{aligned}n_o \sin \alpha_{maks} &= n_1 \sin \theta_{z1} \\ &= n_1 \sin \left[\sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} + \phi \right] \quad (\text{A.12.})\end{aligned}$$

$$\text{misalkan } \sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} = A$$

$$\phi = B$$

selanjutnya gunakan hukum

$$\sin (A + B) = \sin A \cos B + \sin B \cos A$$

maka diperoleh

$$\begin{aligned}n_o \sin \alpha_{maks} &= n_1 \left\langle \sin \left[\sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right] \cos \phi \right. \\ &\quad \left. + \sin \phi \cos \left[\sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right] \right\rangle \\ &= n_1 \left\langle \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \cos \phi + \sin \phi \right. \\ &\quad \left. \cos \left[\sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right] \right\rangle \\ &= n_1 \left\langle \left\{ \frac{n_1^2 - n_o^2}{n_1^2} \right\}^{1/2} \cos \phi + \sin \phi \right. \\ &\quad \left. \cos \left[\sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right] \right\rangle \\ &= \left(n_1^2 - n_o^2 \right)^{1/2} \cos \phi + \sin \phi \quad (\text{A.13})\end{aligned}$$

$$\text{dimana } n_1 \cos \left[\sin^{-1} \left\{ 1 - \left(\frac{n_o}{n_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right] \approx 1$$

Karena $n_o \sin \alpha_{maks} = N A$ maka persamaan (A.13) dapat dituliskan sebagai

$$N A = \left(n_1^2 - n_o^2 \right)^{1/2} \cos \phi + \sin \phi \quad (\text{A.14})$$

LAMPIRAN B
PENGKOPLINGAN DENGAN MENGGUNAKAN SERAT
OPTIK YANG UJUNGNYA BERBENTUK KERUCUT

