

Optimasi Ketebalan Lapisan Ganda Anti-Reflection Coating untuk Devais Opto-Elektronika

Samy J. Litiloly dan Syamsul El Yumin*

Mahasiswa jurusan Opto-Elektroteknika dan Aplikasi Laser, PPSBIT, FT-UI, Jakarta

* Pengajar Jurusan Teknik Elektro, FTI, Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN), Jakarta

Jl. Salemba Raya No.4, Jakarta 10340

E-Mail : spsopto@bit.net.id

Abstrak

Dalam penelitian ini, telah dilakukan optimasi tebal dua lapisan anti-reflection coating (ARC) indeks bias n_{or} yang diberikan pada ujung pandu gelombang semikonduktor pemanduan lemah (compound III-V), untuk modus Transverse Electro-Magnetic (TEM) tunggal: agar reflektansi kurang dari 0,0001. Jalur transmisi dipakai sebagai analogi eksak terhadap refleksi di bidang batas, sehingga hubungan kontinuitas dapat diperoleh memakai operator dyadik admitansi $\overline{\overline{Y}}$ dan impedansi $\overline{\overline{Z}}$ di bidang transversal, serta dengan mengganti pandu gelombang sebagai medium homogen indeks bias ekuivalen n_{eq} yang besarnya setara dengan indeks bias core-nya saja, yaitu $n_{eq} \simeq n_{core}$ dimana lebar pandu gelombang dapat diambil sebagai lebar lapisan aktifnya saja, yaitu w . Melalui bentuk diferensial operator, medan elektrik backward dapat disusun melalui elemen-elemen matriks refleksi R_{xx} di permukaan batas, sehingga reflektansi pada bidang $z=0$ dapat diperoleh. Frekuensi respons lapisan ganda untuk pengoperasian dengan panjang gelombang $\lambda = 1,55 \mu m$, menghasilkan ketebalan $\lambda/4$ pada $n_{or} = 1,46$ (SiO_2) atau 2,5870 (Si_3N_4 , ZnSe). Bila indeks bias diambil berbeda ($n_{or,1} \neq n_{or,2}$), akan dihasilkan reflektansi minimum $0,58 \cdot 10^{-10}$ (praktisnya adalah nol) pada ketebalan optimal $\lambda/8 = 0,1938 \mu m$.

Abstract

In this research, thickness of two layers anti-reflection coating (ARC) with refractive index n_{or} of the end facet of weakly-guiding semiconductor (compound III-V), has been optimised to single Transverse Electro-Magnetic (TEM) mode: in order that reflectance had less than 0,0001. Reflection at the boundary is exactly analogous to transmission-line models, with the result that continuity relation using dyadic admittance $\overline{\overline{Y}}$ and impedance $\overline{\overline{Z}}$ operators at transverse plane, also by replacing the waveguide with homogeneous medium of equivalent refractive index n_{eq} is equal to core refractive index, $n_{eq} \simeq n_{core}$ where wide of the wave guide can be represented of active layer wideness w . Through the differential operator, backward electric field can be form by matrix elements R_{xx} of reflection of interface, in such a way that reflectance at the plane $z=0$ is obtained. Double layers response frequencies at wavelength $\lambda = 1,55 \mu m$ operating, produced: the thickness $\lambda/4$ with $n_{or}=1,46$ (SiO_2) or 2,5870 (Si_3N_4 , ZnSe). Difference of both refractive indexes ($n_{or,1} \neq n_{or,2}$), minimum reflectance is $0,58 \cdot 10^{-10}$ (practically is zero) with optimum thickness $\lambda/8 = 0,1938 \mu m$

1. Pendahuluan

Penelitian opto-elektronika akhir-akhir ini, telah berhasil menyediakan suatu sistim komunikasi serat optik komersial yang memiliki produk $BL > 10^{15}$ (bit.det⁻¹.km) sebagaimana diramalkan pada awal dekade

90-an [1]. Ini terlihat dari kapasitas bandwidth-nya yaitu B sudah mencapai 400 G bit.det⁻¹ dengan jarak repeater L lebih dari 1000 km. Meskipun mampu menyokong era informasi sekarang, angka ini terus saja ditingkatkan melalui berbagai.

penelitian intensif, gunaantisipasi kedepan Makalah ini menyajikan hasil penelitian aspek transmisi, menyangkut medium dielektrik linier.

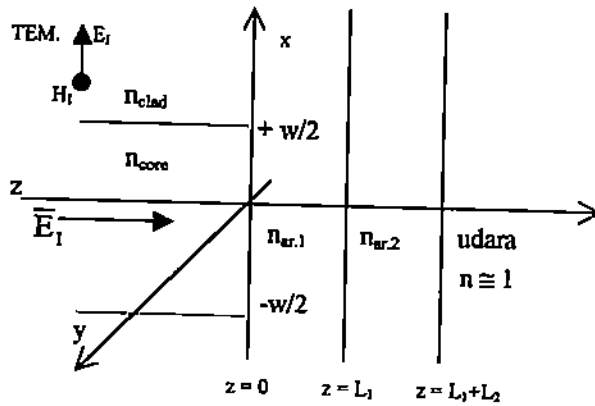
Fokusnya adalah mengurangi refleksi yang terjadi pada bidang batas dari berbagai devais fotonik, dengan menambahkan lapisan ganda *anti-reflection coating* (ARC) di ujung atau pada permukaan devais tersebut. Terutama yang diperhatikan adalah sistim pandu gelombang pemanduan lemah semikonduktor *compound III-V* yang biasanya dipakai pada sistim komunikasi serat optik jarak jauh.

Saat ini, angka reflektansi yang telah dicapai yaitu kuadrat koefisien Fresnel terukur, mencapai harga yang lebih kecil dari 0,0001 untuk TE, maupun TM. Angka ini di-peroleh terutama karena pemakaian teknik ARC, sedangkan teknik *angled facet* dan *window* hanya sebagai tambahan yang mempertajam angka refleksi 1% saja [2]. Lapisan ganda ARC diusulkan sebagai pengganti lapisan tunggal yang sudah mencapai batas optimum 0,0001 tersebut, agar angka reflektansi dapat mencapai orde jauh di bawah 10^{-4} atau bahkan mendekati nol. Disini, sebagai langkah awal hanya diterapkan pada modus tunggal TEM saja, untuk kemudian dibandingkan dengan hasil Ramo dan Vassallo [3,4].

Metoda yang digunakan tentunya adalah optimasi teoretis, dikarenakan hanya cara inilah yang dapat ditempuh untuk menganalisis lapisan antara, sebelum devais dipabrikasi. Tujuan yang hendak dicapai adalah: Optimasi ketebalan lapisan ganda ARC dielektrik untuk aplikasi devais fotonik, melalui penentuan harga reflektansi di bawah angka 10^{-4} .

2. Teori Dasar

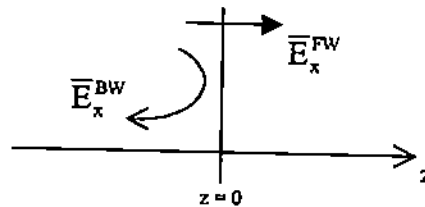
Secara keseluruhan, sistim yang dite-liti, diilustrasikan dalam Gbr.1 berikut ini :



Gambar.1 Ilustrasi sistim yang diteliti

Pada $z < 0$, dipakai keadaan pemanduan lemah, dengan mengambil harga numerik $n_{clad} = n_{core}$ dimana pandu gelombang mempunyai lebar lapisan aktif $=w$, sedangkan medan elektrik yang datang $\vec{E}_x = \bar{e}_1 e^{-i\omega t}$ berbentuk gelombang bidang polarisasi linier-x, amplitudo $e_1 \equiv 1$. Untuk meninjau sistim ini, dilakukan tiga tahap pendekatan; yaitu secara umum, pendekatan indeks bias tunggal ($n_{ar,1} = n_{ar,2}$) dan akhirnya indeks bias ganda ($n_{ar,1} \neq n_{ar,2}$).

Pendekatan umum digambarkan dalam Gbr.2 yang berikut ini:



Gambar 2. Pendekatan umum

Medan elektrik backward \vec{E}_x^{BW} dan forward-nya \vec{E}_x^{FW} : dapat disusun menjadi:

$$R_{xx} + 1 = 1/T_0 \quad (1)$$

dimana R_{xx} adalah elemen matriks refleksi di $z = 0$, menyangkut baris ke-1 dan kolom ke-1, seperti yang dikemukakan oleh Vassallo [5]. Untuk TEM, arah datang adalah normal, maka koefisien Fresnell T_0 untuk transmisi adalah $T_0 = 1 + R_0$ dimana R_0 adalah koefisien refleksinya. Jadi, $|R_0|^2$ sebagai fungsi R_{xx} diperoleh sebagai;

$$|R_0|^2 = \left(1 + \frac{1}{R_{xx}} \right)^{-2} \quad (2)$$

Bentuk eksplisit $|R_0|^2$ untuk pendekatan umum ini, diperoleh dengan meninjau sistim seperti yang terlihat dalam Gbr.3. Dalam hal ini, Z merupakan impedansi karakteristik medium, yang untuk $z < 0$ sebagai medium 1, adalah:

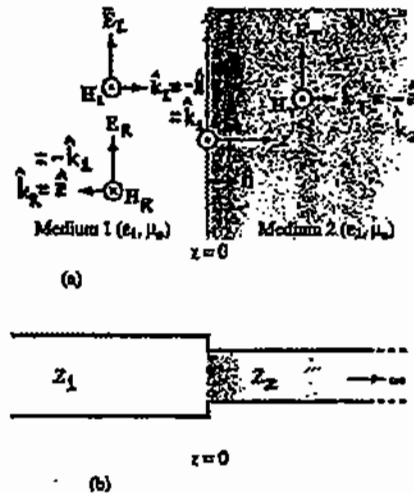
$$Z_1 = \frac{|\vec{E}_1|}{|\vec{H}_1|} = 377 \epsilon_1^{-1/2} \text{ (ohm)} \quad (3)$$

sedangkan $Y_1 = 1/Z_1 = 377^{-1} \epsilon_1^{1/2}$ (ohm⁻¹) adalah resiprokalnya, yaitu admitansi karakteristik medium 1 tersebut. Adapun Z dan Y dioperasikan dalam bentuk operator diadik \bar{Z} dan \bar{Y} yang bekerjanya menurut : $\bar{H}_1 = \pm \bar{Y}_1 \cdot \bar{E}_1$ dan $\bar{E}_1 = \pm \bar{Z}_1 \cdot \bar{H}_1$ dimana disini bentuk eksplisit dari:

$\bar{Y}_1 = Y_1(\hat{y}\hat{x} - \hat{x}\hat{y})$, dan juga bentuk eksplisit $\bar{Z}_1 = Z_1(\hat{x}\hat{y} - \hat{y}\hat{x})$ yang memberi solusi di bidang $z=0$ sebagai:

$$(\bar{I} + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Y}_2) \cdot \bar{e}_T = 2\bar{e}_1 \quad (4)$$

dimana $\bar{I} = \hat{x}\hat{x} + \hat{y}\hat{y}$, dan \bar{e}_1 menunjukkan medan transversal datang (tanpa faktor propagasi $e^{-i\omega t}$) sedangkan \bar{e}_T untuk yang ditransmisikan

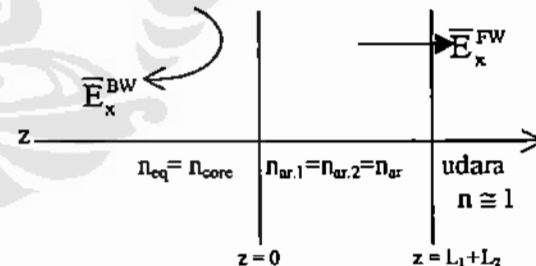


Gambar 3. Dua media dielektrik dipisahkan oleh bidang x-y (a), dan representasinya melalui analogi jalur transmisi (b). [3]

Hasil eksplisitnya :

$$|R_0|^2 = \left| \frac{1 - (n_{ar}/n_{cq})^{1/2}}{1 + (n_{ar}/n_{cq})^{1/2}} \right|^2 \quad (5)$$

Pendekatan umum ini, selanjutnya dikembangkan untuk indeks bias tunggal ($n_{ar,1} = n_{ar,2}$) yang berikut ini;



Gambar 4. Indeks bias tunggal

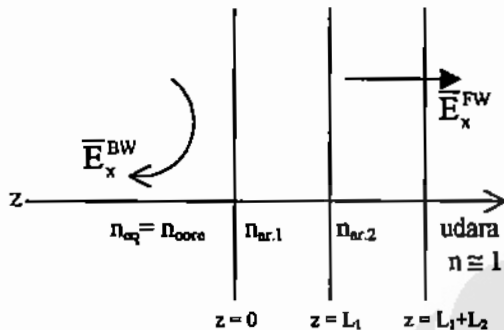
Bentuk eksplisit R_{xx} diperoleh melalui penyusunan kembali matriks berikut [5]:

$$\begin{bmatrix} E_x^{BW}(z=0) \\ E_y^{BW}(z=0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x^{FW}(z=0) \\ E_y^{FW}(z=0) \end{bmatrix} \quad (6)$$

dimana $R_{xy} = R_{yx} = R_{yy} = 0$. Maka diperoleh:

$$R_{xx} = \frac{1}{4} \left(1 + \left[\frac{n_{ar}}{n_{eq}} \right]^{3/2} \right) e^{\frac{i2\pi}{\lambda}(L_1+L_2)} \quad (7)$$

Akhirnya untuk $n_{ar,1} \neq n_{ar,2}$ atau indeks bias ganda; dijelaskan dalam Gbr.5 berikut ini:



Gambar 5. Indeks bias ganda ($n_{ar,1} \neq n_{ar,2}$)

Dari sini, maka bentuk eksplisit R_{xx} diperoleh sebagai berikut [6]:

$$R_{xx} = 0,25 \times \left[1 + \left[\frac{n_{ar,1}}{n_{eq}} \right]^{3/2} \right] \frac{1}{\left[\frac{n_{ar,2}}{n_{eq}} \right]^2} \left[\frac{n_{ar,2}}{n_{ar,1}} \right]^{3/2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (L_1 + L_2) \quad \dots (8)$$

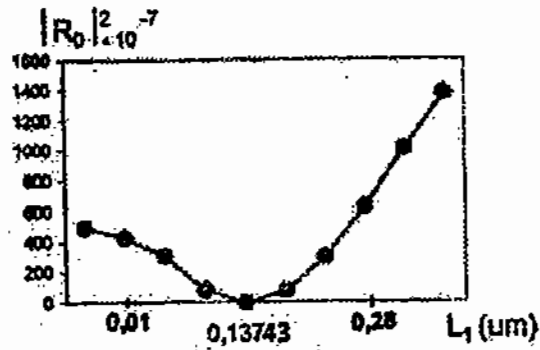
3. Hasil Simulasi

Dengan menggunakan persamaan (2), maka persamaan (7) dan (8) dapat memberikan suatu optimasi terhadap ketebalan L_1 dan L_2 untuk reflektansi tertentu yang diharapkan, dalam hal ini adalah di bawah angka 0,0001. Adapun disini, diambil $n_{ar,1} = 2,5870$ ($Si_3N_4/ZnSe$) dan $n_{ar,2} = 1,46$ (SiO_2) yang pernah dicoba oleh Vassallo menggunakan modus TE dan

TM [15], pada $\lambda = 1,55 \mu m$, $n_{co} = n_{core} = 3,512$ untuk L_1 yang divariasi dan L_2 tetap; juga untuk L_2 yang divariasi dan L_1 tetap. Hasil yang diperoleh, disajikan dalam Gbr.6. Terlihat dari Gbr.6a; bahwa reflektansi akan minimum pada $L_1 = 0,13743 \mu m$ (pada $L_2 = 0,25723 \mu m$ tetap) yaitu: $0,0015 \cdot 10^{-4}$. Untuk Gbr.6b, minimum pada $L_2 = 0,25723 \mu m$ (pada $L_1 = 0,13743 \mu m$ tetap) yaitu $0,0016 \cdot 10^{-4}$. Jadi, dengan demikian telah melampaui orde 10^{-6} .

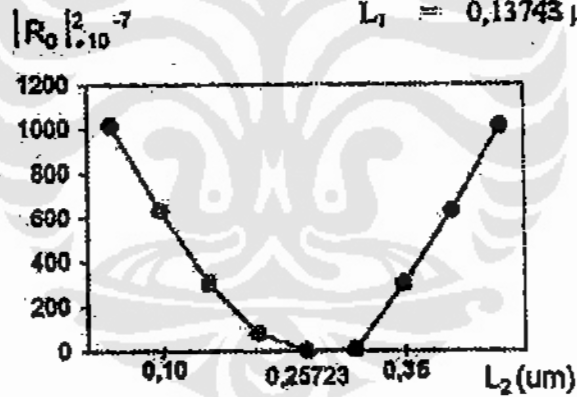
Apabila sekarang, dipilih $L_1 = L_2 = L$ sebagai variabel, maka telah dicoba untuk empat buah variasi $n_{ar,1}$ dan $n_{ar,2}$ yang memberikan hasil sebagaimana tertera dalam Gbr.7. Terlihat dari Gbr.7 tersebut bahwa, semuanya akan minimum pada $L = 0,1938 \mu m$, yaitu $\lambda/8$ atau $L_1 + L_2 = \lambda/4$, dengan reflektansi minimumnya adalah: $0,58 \cdot 10^{-9}$. Sehingga, dapat dicapai orde di bawah 10^{-9} [6]. Dengan data-data di atas, dapatlah diusulkan suatu spesifikasi desain untuk dipabrikasi seperti tercantum dalam Tabel 1.

$$\begin{aligned} n_{\text{ar},1} &= 2,5870 \\ n_{\text{ar},2} &= 1,46 \\ L_2 &= 0,25723 \mu\text{m} \end{aligned}$$



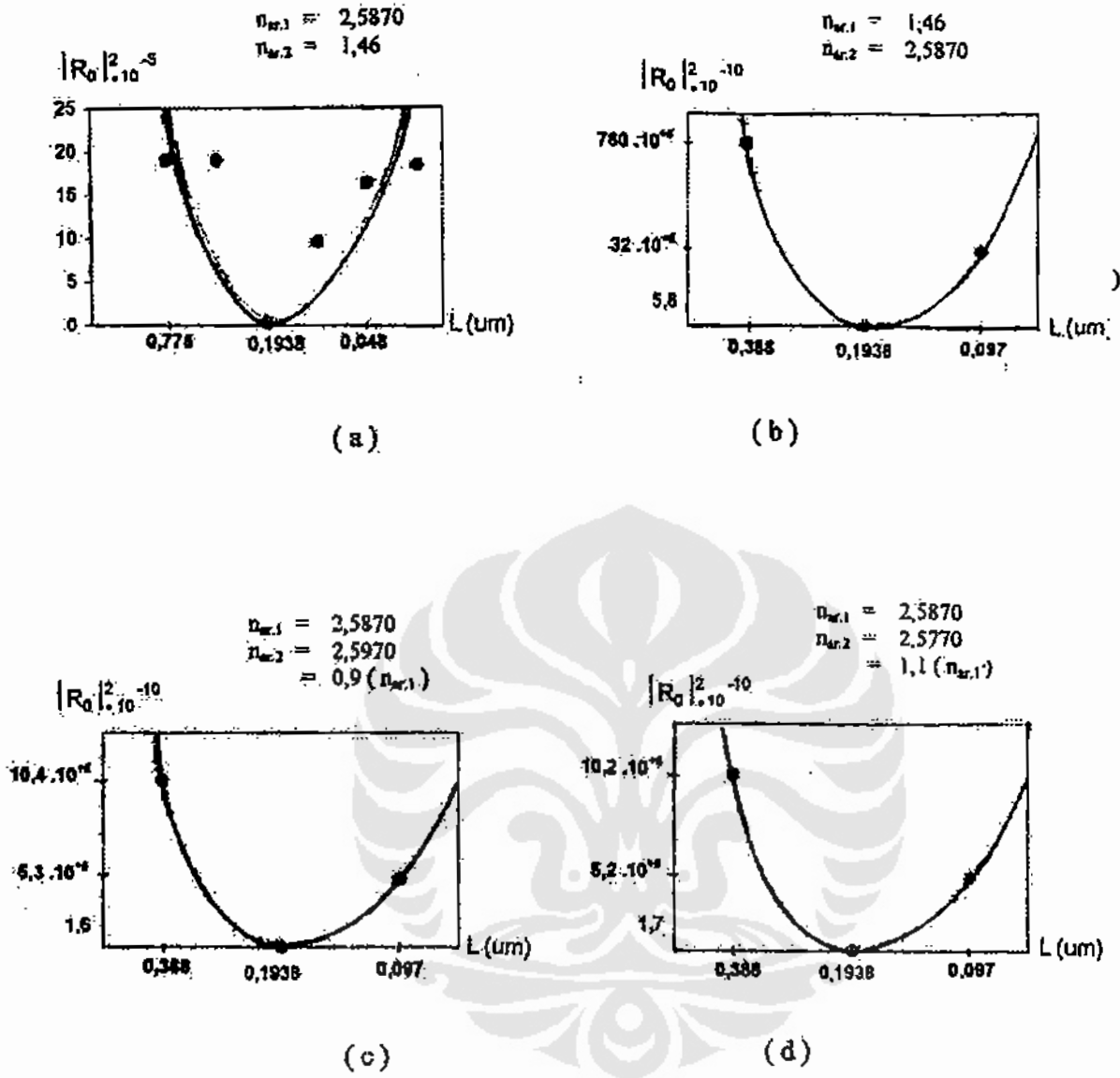
(a)

$$\begin{aligned} n_{\text{ar},1} &= 2,5870 \\ n_{\text{ar},2} &= 1,46 \\ L_1 &= 0,13743 \mu\text{m} \end{aligned}$$



(b)

Gambar 6. Reflektansi sebagai fungsi L_1 pada $L_2=0,25723$ μm tetap (a), dan sebagai fungsi L_2 pada $L_1=0,13743$ μm tetap (b). Harga $n_{\text{ar},1}$ dan $n_{\text{ar},2}$ diambil tetap, yaitu 2,5870 dan 1,46.



Gambar 7. Variasi $n_{ar,1}$ dan $n_{ar,2}$ semuanya menghasilkan reflektansi minimum pada $L_1=L_2=L=0,1938 \mu m$.
 (a). Berorde 10^{-5} bila $n_{ar,2}=1,46$ dan $n_{ar,1}=2,5870$ tidak dipilih.
 (b). Berorde 10^{-10} bila $n_{ar,2}=2,5870$ dan $n_{ar,1}=1,46$ dipilih.
 (c). Berorde 10^{-10} bila $n_{ar,2}=0,9(n_{ar,1})$ dan $n_{ar,1}=2,5870$ bersifat matematis.
 (d). Berorde 10^{-10} bila $n_{ar,2}=1,1(n_{ar,1})$ dan $n_{ar,1}=2,5870$ bersifat matematis.

Berikut, diberikan Tabel 1 berisi usulan terhadap konfigurasi desain berdasarkan hasil penelitian ini :

Tabel 1: Spesifikasi desain modus tunggal TEM untuk $\lambda=1,55 \mu\text{m}$.
 $|R_0|^2 \ll 10^{-4}$: kasus $n_{ar,1} \neq n_{ar,2}$

No.	Parameter	Harga Optimal
1.	Ketebalan ARC	$\lambda/8 = 0,1938 \mu\text{m}$
2.	Indeks Bias ARC - $n_{ar,1}$ - $n_{ar,2}$	1,46 2,5870
3.	Reflektansi Terbaik	$0,58 \cdot 10^{-9}$

4. Kesimpulan

Untuk indeks bias tertentu, maka lapisan ganda ARC dapat mengurangi reflektansi sampai mencapai faktor di bawah angka 10^{-9} , atau 10^{-5} kali lebih kecil dari 10^{-4} yang dihasilkan oleh indeks bias tunggal [5]. Hasil eksplisitnya dipilih menurut Gbr.7b, adalah $0,58 \cdot 10^{-9}$ (praktis nol) modus tunggal TEM. Pada $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ dengan $n_{ar,1}=1,46$ (SiO_2) dan $n_{ar,2}=2,5870$ (Si_3N_4 , ZnSe), asalkan $L_1=L_2=L=\lambda/8$ atau $L_1+L_2=\lambda/4$ untuk tebal keseluruhan lapisan.

Daftar Pustaka

- [1]. Agrawal, G.P., "Fiber-Optic Communication Systems", John Willey & Sons, New York, p.3, 1992.
- [2]. Shimada, S., Ishio, H., "Optical Amplifiers and Their Applications, John Willey & Sons, New York, pp.74-75, 1994.
- [3]. Ramo, S., et.al., "Fields and Waves in Communication Electronics", John Willey & Sons, New York, 1994.
- [4]. Vassallo, C., "Reflectivity of Multidielectric Coatings Deposited on the End Facet of a Weakly Guiding Slab Waveguide", J.Opt.Soc.Am.JOSA-AS, pp.1918 - 1928, 1988.
- [5]. Vassallo, C., "Theory and Practical Calculation of Anti-Reflection Coatings on Semiconductor Laser Diode Optical Amplifier", IEE.Proc., Vol.137 pt.J, No.4, pp. 193-202, 1990 August.
- [6]. Litololy, S.J., "Studi Perancangan Lapisan Ganda Anti-Reflection Coating untuk Aplikasi Devais Fotonik", Tesis Magister : Program Pascasarjana Opto-Elektroteknika dan Aplikasi Laser, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 2000 Desember.
- [7]. Vassallo, C., "Polarisation-Independent Anti-Reflection Coatings for Semiconductor Optical Amplifiers", Electronics Letters, Vol.24, No.1, pp.51-52, 1988 January 7th.