

ANALISIS PANDU GELOMBANG MENGGUNAKAN BRAGG RELECTOR SEBAGAI CLADDING

Donny Royke Wenas
Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Manado
donny_wenas@unima.ac.id

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji moda yang dapat melalui pandu gelombang dan menghitung faktor isian serta efisiensi Reflektor Bragg.

Untuk tujuan itu dalam penelitian ini telah dibuat program menggunakan Matlab untuk menganalisis data penjalaran gelombang dalam bahan, pandu gelombang silindris, dan Reflektor Bragg.

Dari hasil penelitian ini telah diperoleh bahwa pandu gelombang berlubang silinder dengan Reflektor Bragg sebagai cladding, merupakan salah satu cara untuk mengatasi dispersi kromik dari bahan serat optik. Hal ini disebabkan oleh karena gelombang elektromagnetik yang menjalar melalui udara ($n=1$) tidak mengalami dispersi. Penggantian bahan core dengan udara, memerlukan selubung yang bersifat sebagai pemantul pada panjang gelombang tertentu, selubung ini dikenal sebagai Reflektor Bragg. Perhitungan struktur pita dari Reflektor Bragg menunjukkan kehadiran band gap dalam koordinat k . Pasangan ini dalam daerah band gap mengalami refleksi yang dibutuhkan untuk pandu gelombang. Dari syarat kontinuitas, dalam daerah forbidden band gap menunjukkan moda yang dapat menjalar dalam serat optik, dihitung efisiensinya dan diplot grafik profil amplitudo serta dayanya. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, diperoleh bahwa setiap moda memiliki efisiensi lebih dari 60% dan bertambah besar untuk core yang lebih lebar, baik untuk single mode maupun multi mode.

Kata Kunci: Pandu gelombang, efisiensi, Reflektor Bragg.

ABSTRACT. This study aims to examine the mode that can pass through the waveguide and calculate the filling factor and efficiency of the Bragg Reflector.

For that purpose in this research a program using Matlab has been created to analyze the propagation data of the waves in the material, cylindrical waveguides, and Bragg reflectors.

From the results of this study it has been found that a cylindrical perforated waveguide with a Bragg Reflector as a cladding, is one way to overcome the chromic dispersion of optical fiber materials. This is because the electromagnetic waves traveling through the air ($n=1$) do not experience dispersion. The replacement of the core material with air requires a sheath that acts as a reflector at a certain wave length, this sheath is known as a Bragg Reflector. The calculation of the band structure of the Bragg Reflector shows the presence of a band gap in the coordinates. This pair in the band gap area experiences the reflection required for waveguide. From the continuity requirement, the forbidden band gap shows the mode that can propagate in the optical fiber, the efficiency is calculated and the amplitude and power profile graphs are plotted. From the results of the calculations performed, it is found that each mode has an efficiency of more than 60% and increases for wider cores, both for single mode and multi mode.

Keywords: wave guide, efficiency, Bragg reflector.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi serat optik yang telah didemonstrasikan sejak tahun 1970, telah digunakan lebih dari sepuluh juta kilometer oleh berbagai instansi di dunia sebagai jalur komunikasi. Serat optik tersebut memiliki kecepatan transmisi data yang tinggi (mencapai beberapa gigabits perdetik) yang berguna bagi internet dan juga dalam LAN (Local Area Network). Serat optik yang terdiri dari inti (core) dan selubung inti (cladding), dalam suatu komunikasi optik dari suatu transmitter ke suatu penerima (receiver) selain mengalami atenuasi, juga dibatasi oleh dispersi kromik dari bahan serat optik. Dispersi kromik adalah ketergantungan kecepatan grup dari cahaya dalam bahan terhadap panjang gelombang, sifat fisis dari bahan ini akan melebarkan pulsa-pulsa yang dikirim dan akibatnya merusak kinerja sistem komunikasi, khususnya komunikasi jarak jauh. Komunikasi jarak jauh ini akan memerlukan repeater setiap jarak 60 km untuk mengembalikan pulsa ke bentuk aslinya semula, artinya akan meningkatkan biaya komunikasi. Untuk mengatasi efek dispersi kromik dari bahan adalah dengan mengganti dengan bahan non dispersi (udara).

Untuk mengatasi dispersi kromik, maka dibuat suatu rancangan divais dengan menggantikan bahan core (pandu gelombang konvensional) dengan pandu gelombang berlubang (berisi udara). Dengan menggunakan pandu gelombang berlubang, repeater tidak dibutuhkan dalam komunikasi optik dan untuk transmisi data, dapat digunakan panjang gelombang yang bervariasi sehingga moda yang dapat menjalar dalam pandu gelombang lebih banyak. Masalah yang timbul kemudian adalah penjalaran gelombang dengan total internal reflection (TIR) tidak berlaku untuk pandu gelombang dengan udara karena tidak mungkin menyediakan cladding yang memiliki indeks bias lebih kecil dari udara ($n=1$). Oleh sebab itu, untuk memperoleh pemantulan maka Reflektor Bragg digunakan sebagai cladding.

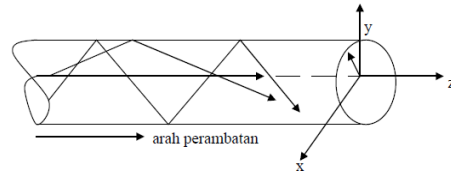
Reflektor Bragg adalah bahan berlapis periodik dengan indeks bias yang berselang-seling (tinggi dan rendah). Bragg Reflector ini digunakan sebagai cladding dalam merancang divais sehingga memiliki kemampuan untuk memantulkan berbagai panjang gelombang yang bervariasi, dengan demikian dapat digunakan untuk single mode ataupun multi mode.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji lebar pita yang dapat digunakan dalam Reflektor Bragg, moda yang dapat melalui pandu gelombang dan menghitung faktor isian dan efisiensi Reflektor Bragg.

2. LANDASAN TEORI DAN METODE

2.1 Persamaan Gelombang pada Koordinat Silinder

Gelombang elektromagnetik (EM) menjalar sepanjang serat silindris (r, ϕ, z), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penjalaran Gelombang EM pada koordinat silindris

Untuk serat ini, digunakan koordinat silindris dengan sumbu z terletak pada poros pandu gelombang. Jika gelombang elektromagnetik menjalar dalam sumbu z , maka gelombang tersebut memiliki fungsi yang bergantung pada waktu t dan koordinat z , dengan persamaan:

$$\vec{E} = \vec{E}_0(r, \phi) e^{j(\alpha z - \beta z)} \quad (1)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0(r, \phi) e^{j(\alpha z - \beta z)} \quad (2)$$

Parameter β adalah komponen z dari vektor penjalaran dan diperoleh dengan menggunakan syarat batas pada bidang batas antara core dan cladding.

Persamaan gelombang dalam koordinat silindris adalah:

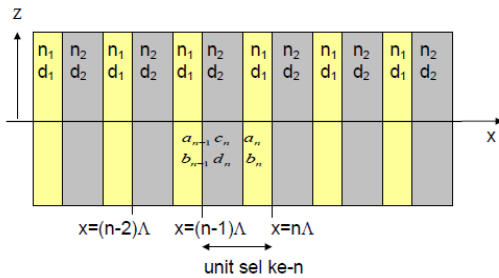
$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} + q^2 E_z = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial \phi^2} + q^2 H_z = 0 \quad (4)$$

Dari persamaan (3) dan (4), terlihat bahwa masing-masing persamaan hanya memiliki komponen E_z saja atau H_z saja. Hal ini berarti komponen membujur dari $\vec{E}$ dan $\vec{H}$ tidak saling berikatan dan dapat dipilih salah satu komponennya. Secara umum rangkaian E_z dan H_z diperlukan untuk syarat batas dari komponen medan elektromagnetik. Jika syarat batas tidak menunjukkan rangkaian antara komponen medan, solusi moda dapat diperoleh dalam kondisi $E_z = 0$ atau $H_z = 0$ saja. Saat $E_z = 0$, maka modanya disebut *transverse electric* atau moda TE, dan jika $H_z = 0$, maka modanya disebut *transverse magnetic* atau moda TM. Moda *hybrid* terjadi ketika baik komponen E_z dan H_z tidak bernilai nol. Moda ini ditunjukkan sebagai moda HE atau moda EH, tergantung nilai komponen medan mana yang memberikan kontribusi terbesar pada bidang melintang. Kehadiran moda hybrid dalam pandu gelombang optik membuat analisis yang lebih kompleks dibandingkan pada kasus sederhana dari pandu gelombang dimana hanya terdapat moda TE atau TM saja.

2.2. Reflektor Bragg

Profil indeks bias dari media berlapis periodik (1 dimensi), ditunjukkan seperti pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Profil Indeks Bias dari Media Berlapis Periodik

dengan

$$n(x) = n(x + \Lambda); \quad \Lambda = d_1 + d_2 = \text{periode}$$

2.3. Gelombang Bloch dan Bragg Reflector

Persamaan gelombang Bloch dalam lapisan n di unit sel ke n adalah:

$$\begin{aligned} E_K(x)e^{-iKx} &= a_n e^{-ik_{1x}(x-n\Lambda)} + b_n e^{ik_{1x}(x-n\Lambda)} \\ &= (a_n e^{-ik_{1x}(x-n\Lambda)} + b_n e^{ik_{1x}(x-n\Lambda)}) e^{-inK\Lambda} \quad (5) \\ &= [(a_n e^{-ik_{1x}(x-n\Lambda)} + b_n e^{ik_{1x}(x-n\Lambda)}) e^{iK(x-n\Lambda)}] e^{-iKx} \end{aligned}$$

2.4. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian studi literatur, analisis matematis dan pembuatan program dalam mengkaji penjalaran gelombang dalam bahan, pandu gelombang silindris, efek dispersi kromik dan Reflektor Bragg.

Profil indeks bias secara umum dari sebuah serat berbentuk silinder adalah:

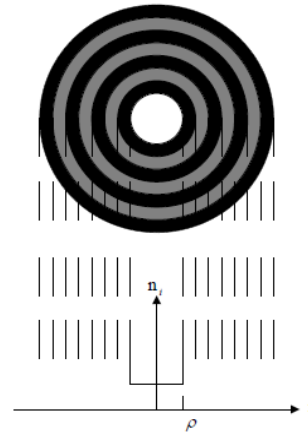
$$n(r) = \begin{cases} n_g & 0 < r < r_1 \\ n_v & r_1 < r < r_{v+1} \end{cases} \quad (6)$$

dengan $v = 1, 2, 3, \dots, \infty$.

Untuk mengatasi dispersi bahan, maka core dari serat tersebut digantikan dengan udara, tetapi karena sistem TIR (*Total Internal Reflection*) tidak berlaku lagi (karena tidak ada bahan dengan indeks bias kurang dari satu), maka digunakan Reflektor Bragg sebagai cladding dengan indeks bias berselang-seling secara periodik tinggi dan rendah untuk mengganti sistem pemantulan TIR. Struktur geometrinnya digambarkan seperti pada Gambar 3. Profil indeks diberikan sebagai berikut:

$$n(r) = \begin{cases} n_g & 0 < r < r_1 \\ n_2 & r_1 < r < r_2 \\ n_1 & r_2 < r < r_3 \\ n_2 & r_3 < r < r_4 \\ n_1 & r_4 < r < r_5 \\ \vdots & \vdots \end{cases} \quad (7)$$

dengan core adalah udara dengan indeks bias $n_g = 1$ dan pada cladding digunakan Bragg Reflector, dengan indeks bias $n_2 = 4,6$ dan $n_1 = 1,6$, diambil sumbu z sebagai arah perambatan.



Gambar 3. Serat Bragg

Untuk mencari moda medan listrik untuk pandu gelombang berlubang dengan jenis bahan yang sama ($n_g = 1, n_2 = 4,6, n_1 = 1,6$), maka digunakan syarat batas antara *core* dan *cladding* pada $r = \rho$, sehingga diperoleh:

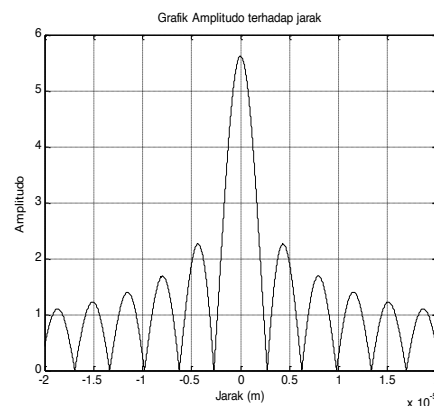
$$\frac{J'_v(u\rho)}{J_v(u\rho)} = \frac{-ik_{1\rho}(a_0 - b_0)}{u(a_0 + b_0)} \quad (8)$$

Dari persamaan (8) di atas, dapat diperoleh nilai moda-moda untuk medan listrik dengan v tertentu, juga untuk medan magnet. Untuk momentum sudut $v = 0$, diperoleh keadaan moda terpolarisasi TE saja atau TM saja.

Dalam penelitian ini dibuat program menggunakan Matlab untuk menganalisis data penjalaran gelombang dalam bahan, pandu gelombang silindris, dan Reflektor Bragg.

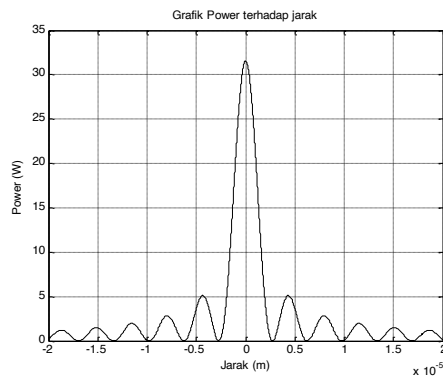
3. HASIL PENELITIAN

Pada moda TE, dengan menggunakan $v = 0$, diperoleh profil gelombangnya.



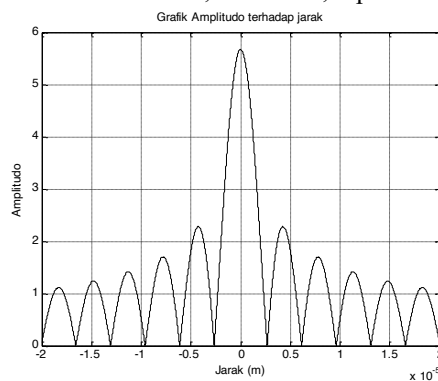
Gambar 4. Grafik amplitudo terhadap jarak untuk moda TE

Dari Gambar 4, untuk jari-jari core $2 \mu\text{m}$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, diperoleh efisiensi $\Gamma = 62,9 \%$. Grafik dayanya adalah:



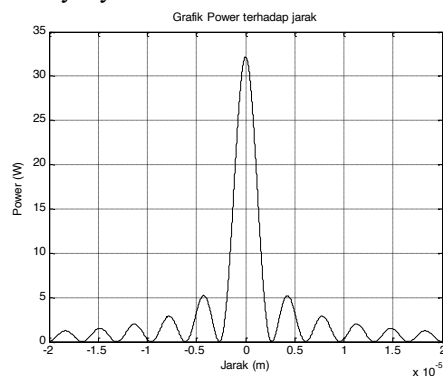
Gambar 5. Grafik daya terhadap jarak untuk moda TE

Untuk moda TM, pada titik: $\omega = 0,1433(2\pi/\Lambda)$, $\beta = 0,0017(2\pi/\Lambda)$, dan $\nu = 0$, diperoleh:



Gambar 6. Grafik amplitudo terhadap jarak untuk moda TM

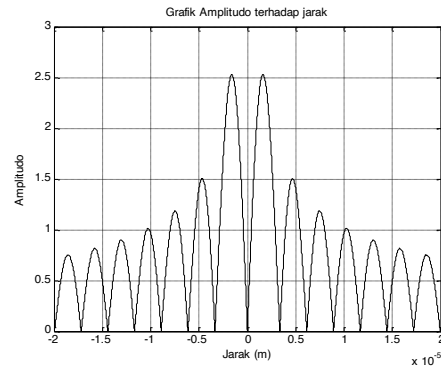
Dari Gambar 6, untuk jari-jari core $2 \mu\text{m}$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, diperoleh efisiensi $\Gamma = 63 \%$. Grafik dayanya adalah:



Gambar 7. Grafik daya terhadap jarak untuk moda TM

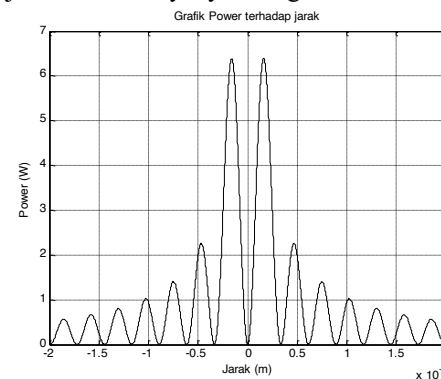
Untuk perubahan momentum sudut ν dari 0 menjadi 1, pada titik $\omega = 0,1817(2\pi/\Lambda)$,

$\beta = 0,0067(2\pi/\Lambda)$, diperoleh grafik untuk moda fundamental HE_{11} pada moda TE dan moda TM adalah:



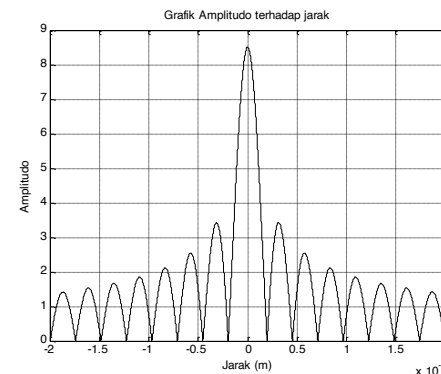
Gambar 8. Amplitudo terhadap jarak menggunakan moda H_{11} untuk moda TE dan TM

Untuk jari-jari core $2 \mu\text{m}$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, diperoleh efisiensi $\Gamma = 61,8 \%$. Dari Grafik 8, terlihat untuk moda fundamental terdapat dua puncak amplitudo yang menjalar dalam core ($< 2 \mu\text{m}$), kedua puncak ini diartikan sebagai medan listrik dan medan magnet secara bersama-sama menjalar. Grafik dayanya sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik daya terhadap jarak untuk HE_{11} dengan moda TE dan TM

Untuk jari-jari core $6 \mu\text{m}$ dengan momentum sudut $\nu = 0$, pada titik $\omega = 0,1950(2\pi/\Lambda)$, $\beta = 0,0200(2\pi/\Lambda)$ dengan moda TE, diperoleh grafik:



Gambar 10. Amplitudo terhadap jarak untuk moda TE

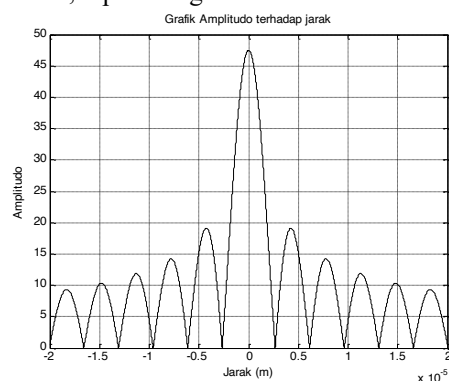
Grafik daya dari Grafik amplitudonya adalah:



Gambar 11. Daya terhadap jarak untuk moda TE

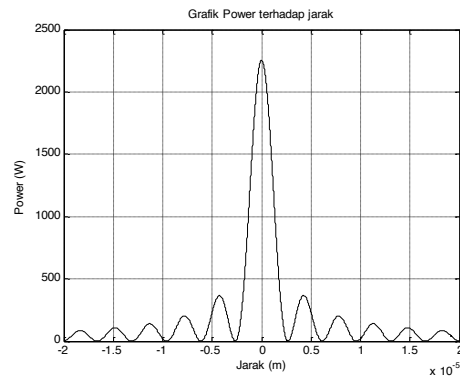
Untuk jari-jari core $6 \mu\text{m}$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, diperoleh efisiensi $\Gamma = 79,9 \%$. Dari Gambar 11, terlihat bahwa ada lima puncak gelombang yang dapat menjalar dalam core ($< 6 \mu\text{m}$). Puncak-puncak tersebut merupakan moda terpandu dalam serat optik tersebut. Dapat dianalisis bahwa semakin besar jari-jari core, maka semakin banyak moda yang dapat menjalar. Grafik di atas juga menunjukkan bahwa dengan satu panjang gelombang yang sama dapat digunakan untuk beberapa moda.

Untuk jari-jari core $6 \mu\text{m}$ dengan momentum sudut $\nu = 0$, pada titik $\omega = 0,1433(2\pi/\Lambda)$, $\beta = 0,0017(2\pi/\Lambda)$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, dengan moda TM, diperoleh grafik:



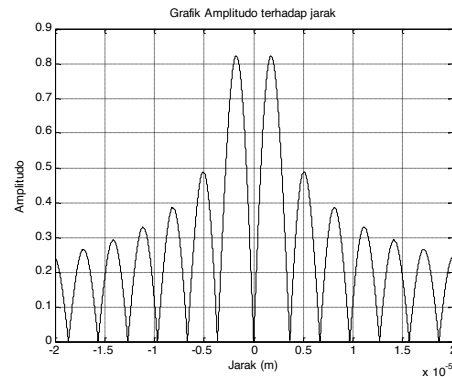
Gambar 12. Amplitudo terhadap jarak untuk moda TM

Efisiensinya diperoleh $= 78,8 \%$. Grafik daya dari Grafik amplitudonya adalah:



Gambar 13. Daya terhadap jarak untuk moda TM

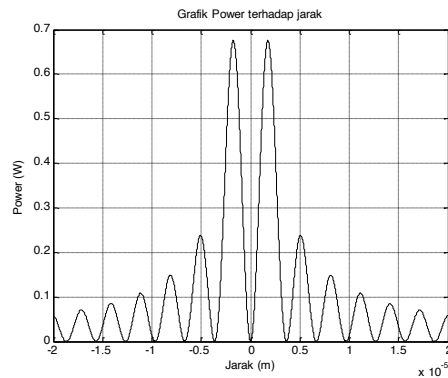
Untuk jari-jari core $6 \mu\text{m}$ dengan momentum sudut $\nu = 1$, pada titik $\omega = 0,1700(2\pi/\Lambda)$, $\beta = 0,0300(2\pi/\Lambda)$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, dengan HE_{11} untuk moda TE dan TM, diperoleh grafik:



Gambar 14. Amplitudo terhadap jarak untuk HE_{11} dengan moda TE dan TM

Untuk jari-jari core $6 \mu\text{m}$ dengan momentum sudut $\nu = 1$, pada titik $\omega = 0,1700(2\pi/\Lambda)$, $\beta = 0,0300(2\pi/\Lambda)$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, dengan HE_{11} untuk moda TE dan TM, diperoleh efisiensi $\Gamma = 77,4 \%$. Untuk moda fundamental ini, moda yang menjalar baik pada grafik moda TE maupun moda TM, memiliki profil yang sama, yaitu medan listrik dan medan magnet secara bersama-sama menjalar. Dari Grafik 11, terlihat ada 4 puncak amplitudo yang menjalar dalam core (dibawah $6 \mu\text{m}$), dimana dari keempat salah satu atau lebih merupakan amplitudo dari medan listrik atau medan magnet.

Grafik daya dari Grafik amplitudo, untuk jari-jari core $6 \mu\text{m}$ dengan momentum sudut $\nu = 1$, pada titik $\omega = 0,1700(2\pi/\Lambda)$, $\beta = 0,0300(2\pi/\Lambda)$ dan cladding $20 \mu\text{m}$, dengan HE_{11} untuk moda TE dan TM adalah:



Gambar 15. Daya terhadap jarak HE_{11} dengan moda TE dan TM

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi, secara keseluruhan menghasilkan efisiensi diatas 60 % untuk jari-jari core $2 \mu m$, diatas 75 % untuk jari-jari core $6 \mu m$ dan diatas 80 % untuk jari-jari core $8 \mu m$. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *core* udara dan *cladding* lebih efisien pada jari-jari yang lebih lebar, ini disebabkan lebih banyak moda yang dapat menjalar dalam core yang lebih besar. Semua gambar profil dan perhitungan efisiensi dari moda, diperoleh dengan menggunakan Matlab 7.

4. KESIMPULAN

Telah dikaji suatu pandu gelombang berlubang silinder dengan Reflektor Bragg sebagai *cladding*, penelitian ini merupakan salah satu cara untuk mengatasi dispersi kromik dari bahan serat optik. Hal ini disebabkan oleh karena gelombang elektromagnetik yang menjalar melalui udara ($n = 1$) tidak mengalami dispersi. Penggantian bahan core dengan udara, memerlukan selubung yang bersifat sebagai pemantul pada panjang gelombang tertentu, selubung ini dikenal sebagai Reflektor Bragg. Perhitungan struktur pita dari Reflektor Bragg menunjukkan kehadiran band gap dalam koordinat. Pasangan ini dalam daerah band gap mengalami refleksi yang dibutuhkan untuk pandu gelombang. Dari syarat kontinuitas, dalam daerah forbidden bandgap menunjukkan moda yang dapat menjalar dalam serat optik, dihitung efisiensinya dan diplot grafik profil amplitudo serta dayanya. Diperoleh bahwa setiap moda memiliki efisiensi lebih dari 60 % dan bertambah besar untuk core yang lebih lebar, baik untuk single mode maupun multi mode.

DAFTAR PUSTAKA

Johnson, S. G. Ibanescu, M. Skorobogatiy, M. Weisberg, O. Engeness, T. Soljagic, D.M. Jacobs, S. A. Joannopoulos, J. D. Fink, Y. 2001. Lowloss Asymptotically Single-Mode Propagation in Large-Core Omniguide Fibers. Opt.Express 9, 748-779.

- Keiser, G. 1991. Optical Fiber Communications. Second Edition. McGraw-Hill, Inc. USA.
- Siregar, R.E., 2001. Pandu Gelombang Kristal Fotonik Satu Dimensi. Jurnal HFI.
- Siregar, R.E. 2006. Materi Perkuliahan Optik Modern. Jurusan Fisika, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Yeh, P. 1988. Optical Waves in Layered Media. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Spiegel, M.R., 1984. Analisis Vektor. Seri Buku Schaum, Erlangga, Jakarta.
- Wenas, D.R., 2015. Divais Pandu Gelombang Berlubang Dengan Selubung Reflektor Bragg, Unima, Tondano.