

Karakterisasi Divais *Multimode Interference* (MMI) Berbahan Polimer untuk Pembagi Daya 1×3

Yasin A. Sahodo,* Wina I. Lavina, Yuni N. Hidayati, Mefina Y.
Rofianingrum, Banatul Muflihati, Yono H. Pramono, dan Gatut Yudoyono†
*Jurusan Fisika, FMIPA-Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111*

Divais pembagi daya 1×3 telah difabrikasi menggunakan bahan polimer dan dikarakterisasi dengan metode simulasi *Finite Difference Beam Propagation Method* (FD-BPM). Simulasi dilakukan dengan menerapkan fenomena *Multimode Inteferece* (MMI). Pandu gelombang planar dengan bahan polimer difabrikasi dengan parameter substrat dan kover akrilik berindeks bias 1,49 dan film *Methyl Methacrylate* (MMA) berindeks bias 1,4905. Nilai konstanta propagasi yang digunakan dalam simulasi yaitu 1,4903412 dengan panjang gelombang 0,6328 μm . Tebal film pandu gelombang sebesar 50 μm dan panjang pandu gelombang 5000 μm . Hasil simulasi menunjukkan perbandingan daya output terhadap input pada masing-masing kanal output sebesar 11%, 37%, dan 11% secara berurutan, sedangkan hasil fabrikasi sebesar 13%, 16%, dan 12%. Dari kedua hasil simulasi dan fabrikasi menunjukkan bahwa divais ini dapat diaplikasikan dalam komunikasi optik untuk pembagi daya.

ABSTRACT

A 1×3 power splitter devices have been fabricated by using polymer materials and this are characterized by the simulation methods Finite Difference Beam Propagation Method (FD-BPM). Simulations carried out by applying the phenomena Multimode inteferece (MMI). Channel waveguides were fabricated by polymer material, substrate chosen to be acrylic ($n = 1.49$), core material is Methyl methacrylate (MMA) ($n = 1.4905$), and cladding layer is acrylic ($n = 1.00$). Propagation constant used in the simulation is 1.4903412 with 0.6328 μm wavelength. Waveguide channel width and length are 50 μm and 5000 μm . The simulation results show that the ratio of power output to the input on each channel output by 11%, 37%, and 11% respectively, while the measurement result of the fabrication of 13%, 16%, and 12%. Result of the simulation and fabrication show that this device can be applied in optical communications for power splitter or divider.

KATA KUNCI: power splitter, FD-BPM, MMI, polymer MMA, optical waveguide

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi optik banyak di manfaatkan dalam bidang telekomunikasi, sensor, sistem kontrol yang difokuskan pada akurasi dan kecepatan respon. Pengaplikasian divais optik diantaranya *Y-Junction*, *X-crossing*, *micro ring resonator*, *Directional Coupler* dengan berbagai fungsi sesuai kebutuhan. Divais optik saat ini dibutuhkan untuk membentuk kinerja teknologi mikro yang memiliki kemampuan kerja yang sangat baik, sehingga dikembangkan piranti optika terpadu, salah satunya divais optika terpadu memanfaatkan fenomena MMI [1].

Fenomena MMI terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam pandu gelombang. Pemantulan yang berulang dalam inti/film ini menyebabkan terjadinya inteferensi internal sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang keluar dari inti secara periodik. MMI dapat terjadi dalam pandu gelombang dengan dimensi inti yang memungkinkan untuk dilewati oleh

beberapa moda cahaya terpandu [2, 3].

Analisis divais MMI dapat menggunakan pendekatan analisis perambatan tiap-tiap moda yang telah dilakukan oleh Soldano [1]. Metode lain yang dikembangkan untuk menganalisis MMI adalah pendekatan simulasi menggunakan FD-BPM. FD-BPM adalah metode untuk menganalisis perambatan cahaya di dalam pandu gelombang. FD-BPM banyak digunakan untuk menganalisis pandu gelombang dan menghasilkan analisis yang cukup baik pada struktur material linear maupun non linear. FD-BPM menghasilkan nilai permodelan secara numerik yang lebih efisien dan stabil dibandingkan dengan FFT-BPM dan perumusan yang lebih sederhana dibandingkan analitik [4, 5].

Pembagi daya berbasis MMI dapat difabrikasi secara sederhana dengan menggunakan pandu gelombang jenis planar yang memiliki ketebalan inti tertentu. Pandu gelombang planar dapat difabrikasi salah satunya dengan menggunakan metode *spin coating*. Lapisan tipis berbahan MMA sebagai inti berada antara substrat berbahan akrilik yang berfungsi sebagai kover dan substrat atau bebatnya (*cladding*).

*E-MAIL: yasin@physics.its.ac.id

†E-MAIL: gyudoyono@physics.its.ac.id

FD-BPM untuk Moda TE

Persamaan gelombang moda TE untuk satu lapisan pemandu dinyatakan sebagai

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + k_o^2 \epsilon_r E_y = 0 \quad (1)$$

Medan elektromagnetik E_y yang merambat ke arah sumbu z diasumsikan menggunakan pendekatan

$$E_y(x, y, z) = \phi(x, y, z)e^{(-j\beta z)} \quad (2)$$

dengan $\phi(x,y,z)$ adalah fungsi gelombang dan $e^{(-j\beta z)}$ adalah faktor fase. Substitusi Pers.1 ke Pers.2 menghasilkan

$$2j\beta \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_o^2 (\epsilon_r - n_{eff}^2) \phi \quad (3)$$

dan dengan mengabaikan $\frac{\partial \phi}{\partial z} \gg \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \approx 0$, maka Pers.3 menjadi

$$2j\beta \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_o^2 (\epsilon_r - n_{eff}^2) \phi \quad (4)$$

yang merupakan persamaan FD-BPM dengan pendekatan sinar paraksial atau pendekatan Fresnel [6]. Penyelesaian Pers.4 dilakukan secara numerik dengan proses mendiskritisasi persamaan diferensial untuk koordinat arah perambatan ke sumbu z dan ke sumbu x dengan menggunakan parameter

sebagai berikut

$$\begin{aligned} x &= p\Delta x \\ z &= \ell\Delta z \end{aligned} \quad (5)$$

sehingga

$$\phi \rightarrow \phi_p^\ell \text{ dengan } \phi_p^\ell = \phi(x_p, z_\ell) \quad (6)$$

$$\epsilon_r \rightarrow \epsilon_r^\ell(p) \text{ dengan } \epsilon_r^\ell(p) = \epsilon_r(p) \quad (7)$$

p dan q yang merupakan bilangan bulat untuk masing-masing langkah penyelesaian secara numerik. Penyelesaian Pers.4 secara numerik dilakukan melalui persamaan

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} &= \frac{1}{\Delta x} \left(\frac{\phi_{p+1} + \phi_p}{\Delta x} - \frac{\phi_p - \phi_{p-1}}{\Delta x} \right) \\ &= \frac{\phi_{p+1} - 2\phi_p + \phi_{p-1}}{(\Delta x)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

$$k_o^2 (\epsilon_r n_{eff}^2) \phi = k_o^2 (\epsilon_r(p) - n_{eff}^2) \phi_p \quad (9)$$

Substitusi Pers.8 dan Pers.9 kedalam Pers.4 menghasilkan

$$2j\beta \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\phi_{p+1} - 2\phi_p + \phi_{p-1}}{(\Delta x)^2} + k_o^2 (\epsilon_r(p) - n_{eff}^2) \phi_p \quad (10)$$

dengan menggunakan definisi $\alpha_w = \frac{1}{(\Delta x)^2}$, $\alpha_e = \frac{1}{(\Delta x)^2}$, $\alpha_x = -\frac{2}{(\Delta x)^2}$ maka Pers.10 menjadi

$$2j\beta \frac{\phi(x_{p-1}, z_\ell) - \phi(x_p, z_\ell)}{\Delta z} = \alpha_e \phi_{p+1} + \alpha_w \phi_{p-1} + \{ \alpha_x + k_o^2 (\epsilon_r(p) - n_{eff}^2) \} \phi_p \quad (11)$$

Pers.11 adalah solusi numerik untuk satu langkah iterasi, selanjutnya dengan menggunakan metode *central difference* didapatkan solusi hingga iterasi ke N dengan $\phi(x_{p+1}, z_{\ell+1}) \rightarrow \phi_p^{\ell+1}$, $(x_p, z_\ell) \rightarrow \phi_p^\ell$ dan dengan memisahkan iterasi ke $\ell + 1$ dan ke 1 maka penyusunan ulang persamaan tersebut menjadi

$$\begin{aligned} -\alpha_w^{\ell+1} \phi_{p-1}^{\ell+1} + \left\{ -\alpha_x^{\ell+1} + \frac{4j\beta}{\Delta z} - k_o^2 (\epsilon_r^{\ell+1}(p) - n_{eff}^2) \right\} \phi_p^{\ell+1} - \alpha_e^{\ell+1} \phi_{p+1}^{\ell+1} \\ = \alpha_w^\ell \phi_{p-1}^\ell + \left\{ \alpha_x^{\ell+1} + \frac{4j\beta}{\Delta z} + k_o^2 (\epsilon_r^{\ell+1}(p) - n_{eff}^2) \right\} \phi_p^\ell + \alpha_e^\ell \phi_{p+1}^\ell \end{aligned} \quad (12)$$

Perhitungan Daya

Daya optik bergantung pada jumlah nilai medan listrik yang terpandu dalam struktur divais MMI [4]. Daya input dapat dievaluasi menggunakan persamaan

$$P_{in} = \frac{\beta}{k_o} \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}} \int_{x_{min}}^{x_{max}} |E(x)|^2 dx \quad (13)$$

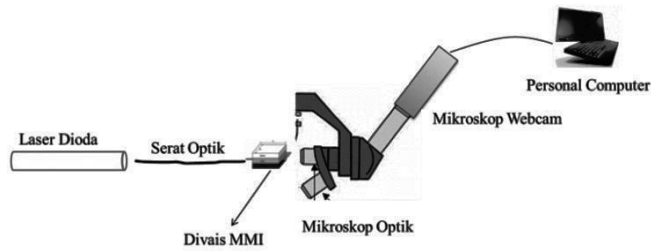
Daya masukan dihitung untuk semua daerah lebar divais MMI, pada FD-BPM nilai lebar $|x| < x_{max}$. Daya output

pada divais MMI dihitung seperti daya masukan dengan persamaan

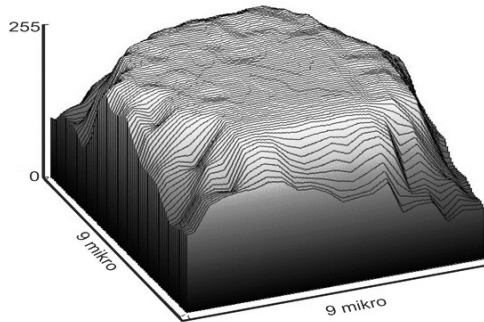
$$P_{out(i)} = \frac{\beta}{k_o} \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}} \int_{x_{i-1}}^{x_i} |E(x)|^2 dx, i = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

II. METODOLOGI

Divais MMI yang dibuat mempunyai struktur planar simetri dengan bagian inti/film berupa lapisan tipis MMA dengan



Gambar 1: Set up karakterisasi divais MMI.



Gambar 2: Intensitas menggunakan nilai tingkat keabuan (grey value) 8 bit.

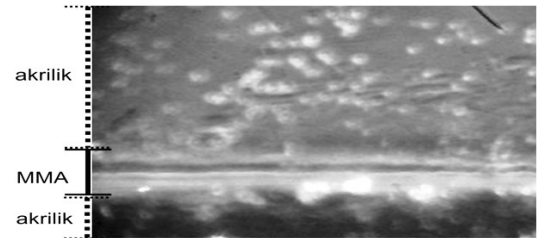
kover dan substrat berupa akrilik (indeks bias 1,49 [8]). Lapisan tipis MMA dilapiskan di atas substrat akrilik dengan menggunakan metode *spin-coating*. Larutan MMA diteteskan sebanyak 0,05-0,06 ml di atas akrilik, dan kemudian di-*spin-coating* dengan kecepatan putar 1000 RPM selama 60 detik. Akrilik yang sudah terlapis MMA di *annealing* pada temperatur 70°C, sehingga memiliki nilai indeks bias 1,4905 [7]. Pengamatan ketebalan hasil fabrikasi dan karakterisasi kinerja MMI untuk pembagi daya dilakukan dengan susunan peralatan seperti ditunjukkan Gambar 1. Perbesaran yang ditunjukkan mikroskop memiliki ketelitian hingga 1,67 μm/pixel.

III. HASIL DAN DISKUSI

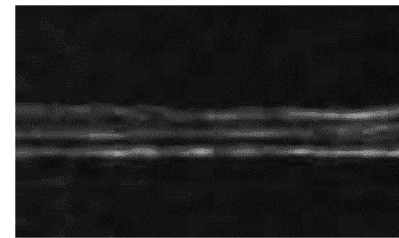
Karakterisasi divais MMI sebagai pembagi daya dilakukan menggunakan sumber cahaya LASER He-Ne dengan λ = 0,6328 μm. Pada proses karakterisasi, LASER dihubungkan dengan serat optik *singlemode* diameter inti 9 μm.

Gambar 2 menunjukkan pola intensitas (skala keabuan) permukaan ujung serat optik sebagai sumber cahaya yang akan masuk ke divais MMI. Divais MMI memiliki ketebalan film 50 μm yang diamati menggunakan mikroskop dengan bentuk penampang melintang film ditunjukkan oleh Gambar 3.

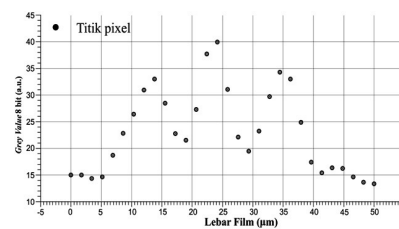
Pengukuran ketebalan film menggunakan kalibrasi manual, dengan cara menaruh objek di meja mikroskop, kemudian meja mikroskop digeser sejauh 50 μm dan terjadi perbedaan perubahan letak film. Perubahan letak objek akan memberikan perubahan koordinat pixel yang ditunjukkan oleh



Gambar 3: Hasil fabrikasi divais MMI.



(a)



(b)

Gambar 4: Pengolahan citra MMI (a) Respon MMI sebagai Power Spliiter (b) Hasil nilai intensitas dalam grey value 8 bit.

Gambar 3. Selanjutnya didapatkan nilai kalibrasi ketebalan dengan menggunakan persamaan berikut

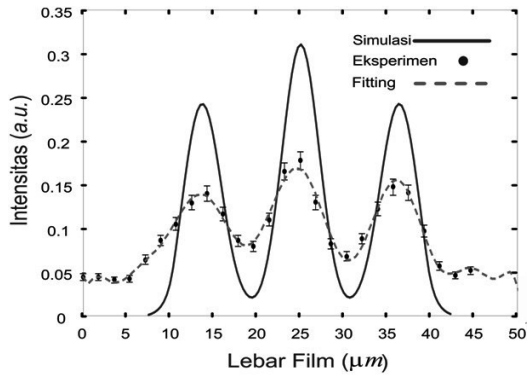
$$\text{kalibrasi} = \left| \frac{50}{\text{pixel}_2 - \text{pixel}_1} \right| (\mu\text{m}/\text{pixel}) \quad (15)$$

Nilai ketebalan dapat di cari menggunakan persamaan

$$h = \text{kalibrasi} \times \text{range}_{\text{pixel film}} \quad (16)$$

Pers.15 dan Pers.16 dapat digunakan untuk menentukan jarak terpandu dan daerah terpandu pada divais MMI yang dikenai sumber LASER He-Ne. Pola medan dekat yang teramati dari keluaran divais MMI yang di beri sumber LASER He-Ne di tunjukkan oleh Gambar 4.

Gambar 4(a) menunjukkan hasil fabrikasi divais MMI dan terlihat cahaya yang keluar terbagi menjadi tiga buah. Gambar 4(a) merupakan respon pemanduan divais MMI secara kualitatif yang difoto. Pengolahan data dilakukan menggunakan pengolahan citra berbasis software *Image J* dan di ambil citra intensitas nilai keabuan (*gray value*) seperti proses yang dilakukan pada Gambar 2 [9]. Hasil *gray value* ditunjukkan oleh Gambar 4(b). Gambar 4(b) menunjukkan nilai titik-titik data sesuai jumlah pixel yang menunjukkan respon kerja MMI dengan nilai *gray value* yang bervariasi. Gambar tersebut di *fitting* dan dihasilkan hubungan grafik yang kontinu dari hasil



Gambar 5: Perbandingan Intensitas Simulasi FD-BPM dan fabrikasi pada divais MMI.

TABEL I: Hasil perhitungan daya divais MMI.

Port	$\frac{P_{out}}{P_{in}}$	$\frac{P_{out}}{P_{in}}$	Efisiensi
Output	(a.u)	(dB)	(%)
Simulasi Port 1	0,108	-9,67	11
FD-BPM Port 2	0,367	-4,36	37
Port 3	0,108	-9,67	11
Hasil Fabrikasi Port 1	0,128	-8,91	13
Port 2	0,157	-8,05	16
Port 3	0,124	-9,05	12

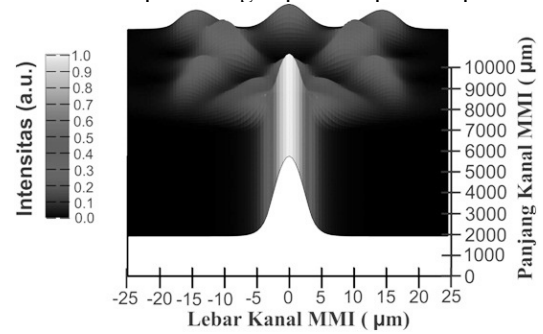
fitting yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Hasil eksperimen disimulasi untuk menentukan kevalidan data eksperimen dan simulasi FD-BPM. Hubungan simulasi FD-BPM dan eksperimen MMI di tunjukkan oleh Gambar 5 dan selanjutnya dilakukan perhitungan nilai daya pada masing-masing keluran cahaya yang terbagi oleh divais MMI.

Perhitungan data berupa daya dilakukan secara simulasi FD-BPM dan eksperimen sesuai dengan Pers.13 dan Pers.14 . Hasil perhitungan daya ditunjukkan oleh Tabel I.

Terlihat bahwa pada port 2 hasil simulasi menunjukkan nilai daya yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen. Pada port 1 dan port 2 nilai daya hasil eksperimen justru

lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi dengan perbedaan masing-masing 1% dan 2%. Nilai eksperimen menjadi lebih besar karena perhitungan daya yang digunakan mengacu pada lebar pulsa eksperimen lebih besar dibandingkan dengan lebar pulsa hasil simulasi.

Hasil eksperimen hanya dapat menunjukkan fenomena MMI pada bagian port output dan tidak dapat menunjukkan fenomena MMI terbentuk sepanjang kanal berukuran 5000 μm . Fenomena pembentukan efek MMI dapat dipelajari menggunakan simulasi FD-BPM [4]. Hasil pola medan ditunjukkan oleh Gambar 6. Hasil Simulasi FD-BPM bermanfaat untuk menentukan dimensi lebar kanal dan panjang kanal dalam melakukan perancangan piranti optika terpadu.



Gambar 6: Hasil Simulasi FD-BPM untuk divais MMI dengan core MMA, cladding akrilik, dan sumber cahaya LASER He-Ne.

IV. SIMPULAN

Hasil karakterisasi divais MMI dengan tebal inti/film 50 μm menggunakan material Methyl Methacrylate dan substrat/kover akrilik menghasilkan pembagi daya 1×3 dengan menggunakan sumber cahaya LASER He-Ne. Hasil eksperimen menunjukkan nilai efisiensi pada masing-masing port 13%, 16%, dan 12% dan hasil simulasi 11%, 37%, dan 11%. Perbedaan yang terjadi antara simulasi dan eksperimen dipengaruhi oleh faktor lebar pulsa yang terbentuk.

[1] L.B. Soldano, and E.C.M. Pennings, *J. Lightwave Technology*, **13**(4), 615-627 (1995) (doi: 10.1109/50.372474).
 [2] Rinawati, *Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Struktur Slab Berbasis Polimer Polystyrene Dan Polymethyl Methacrylate (PMMA)*, Thesis Magister Fisika-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2009.
 [3] Sudarsono, *Fabrikasi dan Karakterisasi Devais MMI Sebagai Pembagi Daya Modus TE dan Modus TM*, Thesis Magister Fisika-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2009.
 [4] Y.H. Pramono, *Studies on All-Optical Switching in Crossing Waveguide Consisting of Nonlinear Material*, Dissertation, Osaka Prefecture University, Osaka, 2000.
 [5] A.M. Rashed, and D.R. Selviah, *Modeling of a Polymer 1 x 3 MMI Power Splitter for Optical Backplane*, Conference on the

Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices (8-10 Dec. 2004), 2004 .
 [6] K. Kawano, and T. Kitoh, *Introduction to Optical Waveguide Analysis: Solving Maxwell's Equation and the Schrdinger Equation*, (John Wiley & Sons, 2004).
 [7] N. Tanio, and T. Nakanishi, *Polym. J.*, **38**(8), 814-818 (2006).
 [8] M.J. Weber, *Handbook of Optical Materials* (Taylor & Francis, 2010).
 [9] C. Grove, and D.A. Jerram, *Computers & Geosciences*, **37**(11), 1850-185 (2011) (doi: http://dx.doi.org/ 10.1016/ j.cageo.2011.03.002).
 [10] S. Obayya, *Computational Photonics* (John Wiley & Sons, 2011).