

ANALISA SUDUT PERSIMPANGAN DAN INDEKS BIAS PADA MACH ZEHNDER INTERFEROMETER OPTIK DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM ELEKTROMAGNETIK CST

Nurul Huda¹, Dadin Mahmudin², Lilik Hasanah¹, Yusuf Nur Wijayanto²

¹Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia,
Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Bandung, 40154

²Bidang Elektronika PPET Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,
Jl. Cisit/Sangkuriang, Bandung, 40135

Email: nurulhuda190193@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan desain dari komponen sensor lingkungan berbasis pemandu gelombang interferometer Mach Zehnder (MZI). Material yang digunakan adalah bahan polimer jenis *polymide loss free*, yang divariasikan dengan SiO₂. Desain dilakukan dengan cara mensketsa dan mensimulasikan struktur MZI di program Computer Simulation Technology (CST) dengan memvariasikan analit pada pemandu gelombang sehingga akan terjadi perubahan indeks bias yang menyebabkan pergeseran panjang gelombang di *output* interferometer Mach Zehnder dengan memvariasikan sudut 8° dan 10° sehingga akan terdeteksi perubahan indeks bias sebesar 1,01 ; 1,1 dan 1,2 dengan panjang *sensing arm* dibuat tetap 4 µm.

Kata Kunci : CST, Mach Zehnder interferometer, refractive index, waveguide.

Abstract

In the research has been done the design of a component environment sensor based waveguide Mach Zehnder Interferometer (MZI). The material used is a polymer type polymide loss free, which varied with SiO₂. The design is done by sketching and simulate the structure of MZI in the program Computer Simulation Technology (CST) by varying the analyte in the waveguide so that there will be changes in the refractive index which causes a wavelength shift at Mach Zehnder interferometer output by varying the angle 8° and 10° so as to be detectable change in the refractive index of 1.01; 1.1 and 1.2 with a fixed length sensing arm 4 µm

Keywords : CST, Mach Zehnder interferometer, refractive index, waveguide.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir ini telah terjadi peningkatan polusi yang signifikan sehingga mengakibatkan banyaknya lingkungan yang tercemar. Untuk mendeteksi polusi yang terjadi pada lingkungan perlu dilakukan pengembangan sensor yang memiliki sensitivitas tinggi. Salah satu pengembangan yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan Interferometer Mach Zehnder/*Mach Zehnder Interferometer* (MZI) berbasis pemandu gelombang^[1]. MZI ini menggunakan material polimer yang dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanan suatu perangkat^[3].

Mach Zehnder Interferometer (MZI) berbasis pemandu gelombang berfungsi sebagai pembagi daya (*splitter*) dan penggabung (*recombiner*), yang saling terhubung dan sejajar satu sama lainnya dalam satu keluaran. Proses yang terjadi pada MZI diawali dengan masuknya cahaya koheren sebagai daya masukan, kemudian terbagi menjadi dua pemandu gelombang dalam jalur perasa (*sensing*) dan jalur

acuan (*reference*). Jalur *sensing* merupakan daerah penginderaan yang digunakan untuk variasi eksternal seperti suhu, indeks bias dan lain-lain sedangkan jalur *reference* dilapisi dengan lapisan pelindung yang terisolasi. Setelah cahaya melewati kedua jalur tersebut, cahaya menyatu kembali (*recombining*). Penyatuan (*recombining*) ini dapat menyebabkan interferensi cahaya karena adanya pergerakan molekul (analit) yang terdeteksi pada jalur *sensing* karena nilai indeks bias yang berbeda terhadap acuan, akibat dari perlakuan modifikasi jalur *sensing* optik.

Untuk menghasilkan sensitivitas yang tinggi, MZI berbasis pemandu gelombang harus menggunakan struktur *single mode*, yang dalam simulasinya digunakan program *Elektromagnetik Computer Simulation Technology* (CST) yang bekerja berdasarkan *cover* medium termodifikasi sehingga akan berubah sifat optiknya ketika berinteraksi dengan analit berdasarkan indeks bias yang dideteksi maka intensitas cahaya yang terpandu akan berubah sehingga mempengaruhi sifat transmisi optik^[9].

Program CST mampu mensimulasikan adanya variasi indeks bias pada *cladding* sehingga dapat

diketahui *Free Spectral Range* (FSR) yang menunjukkan sensitivitas suatu sensor. Simulasi ini dilakukan untuk menentukan parameter *cross section* pemandu gelombang sehingga akan menghasilkan MZI berstruktur *single mode* yang bekerja berdasarkan konsep pemantulan internal total (TIR).

2. Metode Penelitian

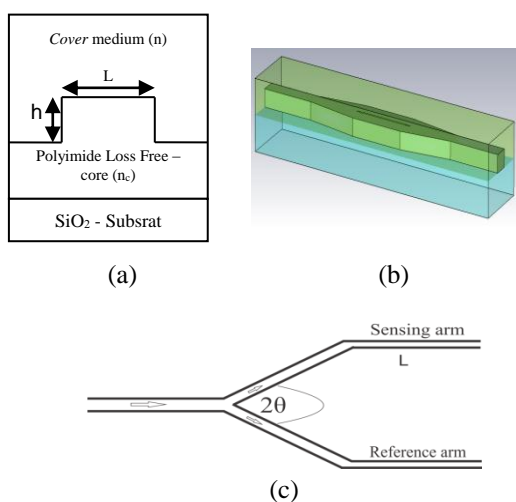
Pemandu gelombang MZI yang digunakan pada simulasi ini dibuat dengan material *core Polymide Loss Free* ($n=1.87$) diatas lapisan SiO_2 ($n=1.53$). Panjang jalur *sensing* pemandu gelombang (L) dapat dibuat *single mode* untuk $4\mu\text{m}^{[1]}$ dengan ketebalan ($h=1\mu\text{m}$). Struktur pemandu gelombang MZI ditunjukkan pada Gambar 1 dengan mengasumsikan lapisan disekitar udara (*cover medium* divariasikan dengan $n=1.01$; 1.1 dan 1.2 serta variasi sudut 8° dan 10° . Frekuensi yang digunakan $180\text{-}193$ THz jika dikonversikan terhadap panjang gelombang yaitu sebesar $1666\text{-}1554$ nm. Adapun daya keluaran MZI akibat dari variasi indeks bias pada *cover medium*, secara teori merupakan fungsi dari perbedaan fase berdasarkan persamaan 1.

$$P = \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad (1)$$

Dengan $\Delta\phi$ adalah perbedaan fase:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \times L \times \Delta n_{eff} \quad (2)$$

Dimana L adalah panjang jalur *sensing*, pada penelitian ini nilai untuk panjang kedua jalur pemandung gelombang ini sama dan Δn_{eff} merupakan perbedaan indeks bias efektif antara dua pemandu gelombang yaitu jalur *sensing* dan *reference*^[4].



Gambar 1. (a) *cross section* struktur pemandu gelombang MZI. (b) *View 3-D* MZI. (c) *skema* MZI^[4]

Metode yang digunakan yaitu metode index efektif (EIM) dimana metode ini telah banyak mendapatkan hasil terbaik. Untuk menyelesaikan *field distribution* pemandu gelombang yaitu berdasarkan *mode Transverse Electric* (TE) atau *Transverse*

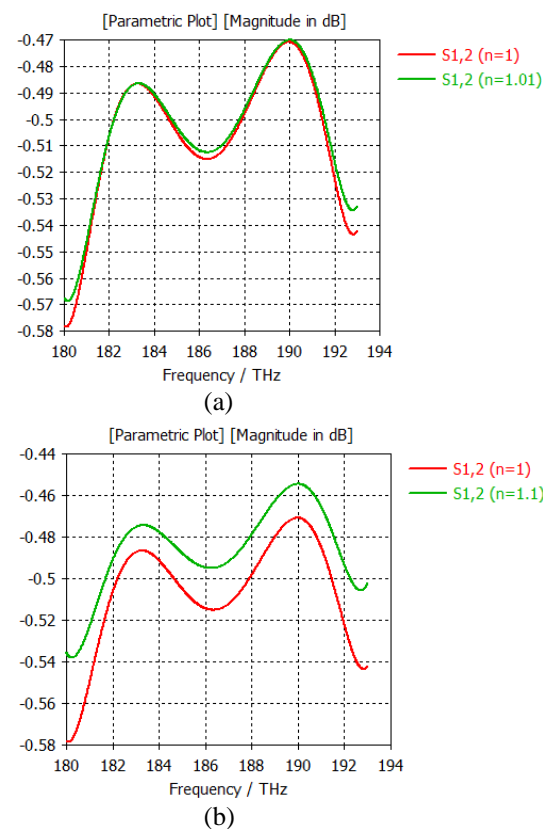
Magnetik (TM) yang mampu menganalisis pemandu gelombang 2-D, karena tidak mungkin menyelesaikan secara langsung dengan menggunakan mode-mode tersebut maka digunakan EIM^[2].

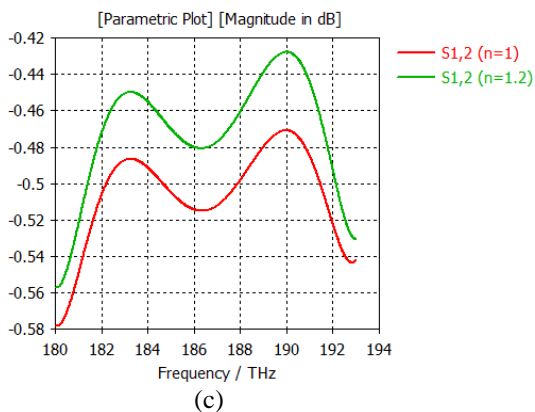
Penelitian kali ini metode deteksi yang dilakukan yaitu ketika terjadinya perubahan indeks bias karena adanya perubahan konsentrasi analit yang memiliki indeks bias yang berbeda karena akibat adanya kehadiran molekul tersebut akan tersensor sehingga akan mengalami pergeseran spektrum.

Perubahan indeks bias di sekitar perangkat optik akan mengubah indeks bias efektif yang ditandai dengan adanya pergeseran spektrum keluaran ketika indeks bias efektif meningkat sehingga besarnya pergeseran ini merupakan fungsi dari sensitivitas suatu sensor yang dapat dinyatakan dengan *Free Spectral Range* (FSR). FSR didefinisikan sebagai perbedaan frekuensi maksimum yang saling berdekatan^[8].

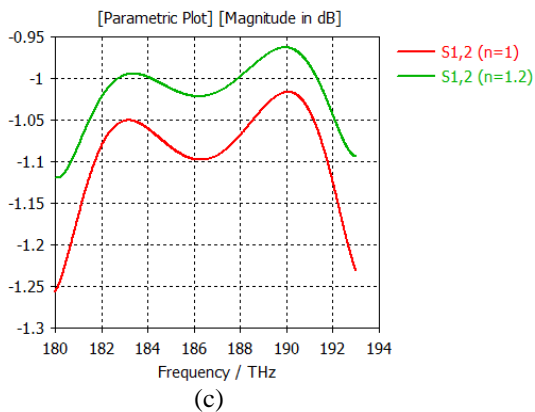
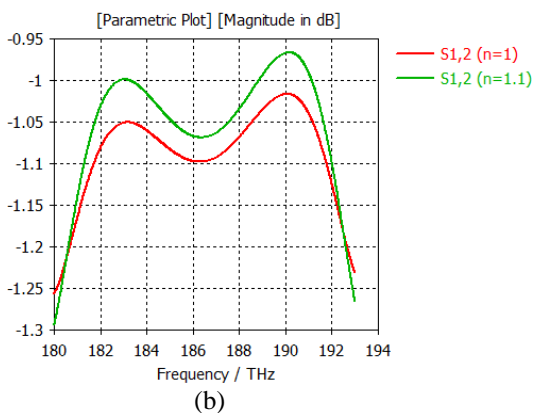
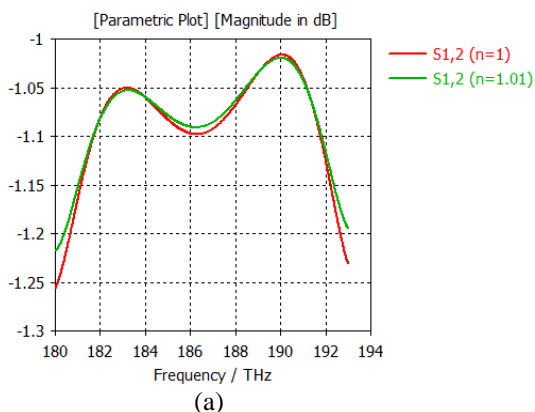
3. Hasil dan Pembahasan

Program Elektromagnetik CST ini dapat membuat struktur pemandu gelombang *single mode* MZI sebagai aplikasi sensor bio-kimia dan hasil yang diperoleh dapat mengetahui analit sudah terdeteksi atau belum, yang ditandai dengan adanya pergeseran spektrum serta sensitivitas yang dapat dihitung dari nilai FSR. Hal ini terjadi akibat dari variasi sudut dengan berbagai parameter indeks bias uji.





Gambar 2. $L = 4 \mu\text{m}$; sudut 8° variasi indeks bias
 (a) 1.01; (b)1.1; (c)1.2



Gambar 2. $L = 4 \mu\text{m}$; sudut 10° variasi indeks bias
 (a) 1.01; (b)1.1; (c)1.2

Hasil simulasi yang dibuat dengan memvariasikan sudut dengan indeks bias yang berbeda menghasilkan daya keluaran yang berbeda pula. Redaman semakin besar dengan membesarnya sudut yang dibentuk dari kedua jalur optik tersebut. Pada Gambar 1 dan 2 merupakan grafik fungsi transmission (dB) terhadap frekuensi (THz) dimana pergeseran spektrum yang terjadi semakin besar dengan semakin besarnya nilai indeks bias uji yang artinya analit/sinyal gangguan/pergerakan membran molekuler lain telah terdeteksi. Nilai pergeseran yang semakin besar ditentukan pula oleh nilai indeks bias *core*. Indeks bias *core* yang semakin besar akan memberikan pergeseran spektrum yang meningkat pula^[10]. Untuk nilai FSR suatu sensor dapat ditentukan secara langsung dengan menentukan perbedaan frekuensi dari 2 puncak yang berdekatan^[5]

n = indeks bias cover medim	FSR (THz)	
	$\theta = 8^\circ$	$\theta = 10^\circ$
1.01	6.7057	6.9278
1.1	6.7116	6.9364
1.2	6.7369	6.9833

Sudut yang semakin besar menghasilkan nilai FSR yang semakin besar. Sudut yang kecil mengalami atenuasi yang kecil^[6]. Pada Gambar 1 dan 2 dapat dilihat terjadinya pergeseran pada power transmisi MZI dengan indeks bias yang kecil, namun pada frekuensi tertentu pergeseran power transmisi akibat perbedaan indeks bias tersebut terlihat sangat kecil

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi ini dapat disimpulkan Interferometer Mach Zehnder (MZI) *single mode* memiliki sensitivitas tinggi yang dapat dilihat dengan nilai FSR yang besar. Sensor dengan redaman kecil dimiliki dengan sudut kecil yang dapat dihitung berdasarkan persamaan (1). Dengan panjang jalur optik (L) = $4\mu\text{m}$ dengan sudut yang dibentuk sangat kecil didapat nilai FSR yang optimal dengan atenuasi yang kecil.

Ucapan Terima Kasih

1. Terima kasih kepada Bapak Taufik Teguh yang telah membantu saya dalam pembuatan Program CST
2. Bidang PPET Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

Daftar Acuan

[1] S.M. Lindecrantz, J.-C.Tinguely, B.Singh Ahluwalia, and O.G. Helleso, Characterization of a waveguide Mach-Zehnder Interferometer

- using PDMS as a Cover Layer, *J. Eur. Opt. Soc. Rapid* 10, 15020 (2015).
- [2] Yonathan Dattner, Orly Yadid-Pecht. Analysis of the Effective Refractive Index of Silicon Waveguides Through the Constructive and Destructive Interference in a Mach-Zehnder Interferometer, *IEEE Photonics Journal*, vol (3) number 6, December 2011.
- [3] A.Sulaiman, S.W.Harun, K.S. Lim, F.Ahmad, H.Ahmad. Microfiber Mach Zehnder Interferometer Embedded in Low Index Polymer. *Optics & Laser Technology*, ELSEVIER. (2011)
- [4] G.Calo, A. Farinola, V.Petruzzelli. Design and Optimization Of High Sensitivity Photonic Interferometric Biosensor on Polymeric Waveguides. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, vol (33), 151-166, (2012)
- [5] Mario La Notte, Vittorio M.N. Passaro. Ultra High Sensitivity Chemical Photonic Sensing by Mach-Zehnder Interferometer Enhanced Vernier-Effect. *Sensors and Actuators B : Chemical* (2010), doi: 10. 1016/j.snb.2012 .10.008 S0925-4005 (12) 01032-5, 2012.
- [6] Acacio L. Siarkowski, Douglas A.P.Bulla and Nilton I.Morimoto. Mach Zehnder Interferometer Simulation Results for Integrated Optical Pressure Sensor. *Integrated Systems Laboratory – Polytechnic School-University of Sao Paulo*.
- [7] Ratih Retno Palupi, Ary Syahriar, Ahmad H.Lubis, Sasono Rahardjo, Sardjono. Simulation of Mach Zehnder Interleaver Based Thermo-Optic Effect in L-Band Range. *RSM2013 Proc.2013*, Langkawi, Malaysia.
- [8] Notte La Mario, Passaro M.N. Vittorio, Ultra High Sensitivity Chemical Photonic Sensing by Mach-Zehnder Interferometer Vernier-Effect, *Sensors and Actuators*.(2012).
- [9] Fuadi, N, Deteksi Uap Etanol Berbasis Serat Optik dengan Cladding Termodifikasi Kitosan/pva-indigo Carmine, *Prosiding Seminar Nasional Geofisika* (2014) , 207-210.
- [10] Bruck, R., & Hainberger, R, Polymer Waveguide Based Biosensor, *Nano-System-Technologies SPIE Vol (7138)* (2008), 1-7.