

# **STUDI PERAMBATAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK PADA MODEL BIOSENSOR SUKROSA BERBASIS LITHIUM NIOBATE ( $\text{LiNbO}_3$ ) DENGAN METODE FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN (FDTD)**

**M. Ichwanul Muslimin\*, I Wayan Sudiarta, Ph.D. , I Gusti Ngurah Yudi Handayana,  
M.Sc.**

**Program Studi Fisika Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Mataram**

**Jl. Majapahit No. 62 Mataram 83125. Email: fisika.fmipa@unram.ac.id**

**ichwanulmusliminrf@gmail.com**

## **ABSTRACT**

*Lithium Niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ) is a Photonic Crystal (PhC) material which has an anisotropic permittivity value and based on its characteristics is suitable for use in the manufacture of biosensors.  $\text{LiNbO}_3$ -based PhC can be found in biosensor applications, one of which is sensing the concentration of sucrose. One thing that can be done before making a sucrose biosensor using  $\text{LiNbO}_3$ -based PhC is to analyze the electromagnetic wave propagation that occurs in the proposed biosensor model. This study aims to simulate the propagation of electromagnetic waves on a  $\text{LiNbO}_3$ -based PhC-based biosensor model with anisotropic permittivity and then look for reflectance and transmittance values to determine the sensitivity of the sensor. The numerical simulation technique used in this study is the Finite Difference Time Domain (FDTD) method because it is suitable for simulating electromagnetic waves in time domain, space with planar boundaries, non-homogeneous medium, and anisotropic medium. The absorption limit used is MUR Absorbing Boundary Condition (ABC). The results show that the simulation of electromagnetic waves on the  $\text{LiNbO}_3$  material shows the occurrence of circular polarization because there are different wave phases. Changes in transmittance and reflectance values for changes in sucrose concentration did not experience a large change, which was less than 0.001, so that the proposed sensor model was not able to detect differences in sucrose concentration properly based on the transmittance and reflectance values.*

**Key word:** Anisotropic, MUR ABC, FDTD,  $\text{LiNbO}_3$ .

## **ABSTRAK**

*Lithium Niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ) merupakan salah satu material Photonic Crystal (PhC) yang memiliki nilai permitivitas anisotropik dan berdasarkan karakteristiknya cocok digunakan dalam pembuatan biosensor. PhC berbasis  $\text{LiNbO}_3$  dapat ditemukan dalam aplikasi biosensor salah satunya penginderaan konsentrasi sukrosa. Salah satu hal yang dapat dilakukan sebelum membuat biosensor sukrosa menggunakan PhC berbasis  $\text{LiNbO}_3$  adalah dengan menganalisa perambatan gelombang elektromagnetik yang terjadi dalam model biosensor yang diusulkan. Penelitian ini bertujuan untuk*

mensimulasikan perambatan gelombang elektromagnetik pada model biosensor berbasis PhC jenis  $\text{LiNbO}_3$  dengan permitivitas anisotropik yang kemudian dicari nilai reflektansi dan transmitansinya untuk mengetahui sensitivitas sensor. Teknik simulasi numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) dikarenakan baik digunakan dalam simulasi gelombang Elektromagnetik berdomain waktu, ruang dengan perbatasan planar, medium non-homogen, dan medium anisotropik. Batas penyerapan yang digunakan yaitu MUR *Absorbing Boundary Condition* (ABC). Didapatkan hasil bahwa simulasi gelombang elektromagnetik pada material  $\text{LiNbO}_3$  memperlihatkan terjadinya *circular polarization* karena terdapat beda fase gelombang. Perubahan nilai transmitansi dan reflektansi terhadap perubahan konsentrasi sukrosa tidak mengalami perubahan yang besar yaitu kurang dari 0,001, sehingga model sensor yang diusulkan tidak mampu mendeteksi perbedaan konsentrasi sukrosa dengan baik berdasarkan nilai transmitansi dan reflektansinya.

**Kata kunci:** Anisotropik, MUR ABC, FDTD,  $\text{LiNbO}_3$ .

## PENDAHULUAN

*Lithium Niobate* ( $\text{LiNbO}_3$ ) merupakan salah satu material *Photonic Crystal* (PhC) yang memiliki nilai permitivitas anisotropik.  $\text{LiNbO}_3$  menunjukkan beberapa karakteristik celah pita fotonik yang luar biasa, yang membuat  $\text{LiNbO}_3$  merupakan kandidat yang cocok untuk desain perangkat optoelektronik yang sangat efisien seperti *optical switches*, *optical modulators*, *photochemical sensors*, dan *photonic waveguides* (Bernal dkk, 2009 ; Prakash dkk, 2019 dalam Panda dkk, 2020). PhC berbasis  $\text{LiNbO}_3$  dapat ditemukan dalam aplikasi *biosensor* (Christoph dkk, 2015 ; Manpreet dan Chetan, 2014; Ayyanar dkk, 2018 dalam Panda dkk, 2020). Diantara biomolekul yang berbeda, sukrosa merupakan satu dari elemen kunci yang pada dasarnya merupakan larutan berair dari gula dan muncul sebagai komponen yang sesuai dalam membentuk berbagai produk kimia seperti glycerol, ethanol, dan asam sitrat (Caballero, 2003).

Konsentrasi sukrosa dalam larutan berair telah digunakan secara luas pada tindakan farmasi seperti pengawetan protein dan makanan. Oleh karena itu, sangat diperlukan untuk secara akurat merasakan konsentrasi sukrosa (Caballero, 2003), sehingga pembuatan model biosensor dalam penentuan konsentrasi sukrosa menggunakan PhC berbasis  $\text{LiNbO}_3$  perlu dilakukan. Salah satu hal yang dapat dilakukan sebelum membuat biosensor sukrosa menggunakan PhC berbasis  $\text{LiNbO}_3$  adalah dengan menganalisa perambatan gelombang elektromagnetik yang terjadi dalam model biosensor yang diusulkan. Analisis perambatan gelombang elektromagnetik merujuk pada persamaan Maxwell. Penggunaan persamaan Maxwell tersebut dapat digunakan untuk mengkaji perilaku dan simulasi gelombang elektromagnetik dalam berbagai hal seperti pembuatan model antena (Shifa dkk, 2020), aplikasi radar (Negara dkk, 2019), desain Printed Circuit Boards (PCB) 20-H Rule (Yi dkk, 2002), realisasi biosensor sukrosa berbasis PhC (Panda dkk, 2020) dan masih banyak aplikasi lainnya.

Gelombang elektromagnetik yang dijabarkan dalam persamaan Maxwell baik dalam bentuk diferensial maupun integral memiliki solusi yang cukup rumit untuk dilakukan, sehingga dibutuhkan suatu pendekatan yang kita kenal sebagai metode komputasi elektromagnetik. Ada banyak jenis metode komputasi elektromagnetik yang dapat digunakan

untuk memecahkan permasalahan gelombang elektromagnetik, salah satu yang paling banyak digunakan di berbagai aplikasi dan telah diimplementasikan dalam beberapa software komputer adalah metode numerik. Adapun beberapa metode komputasi numerik yaitu Method of Moment (MoM), Finite Element Method (FEM), dan Finite Difference Time Domain (FDTD) (Shabrina, 2017). Metode FDTD merupakan metode yang sederhana, mudah dipahami, dan memiliki waktu pengembangan yang singkat. Metode FDTD baik digunakan untuk simulasi gelombang elektromagnetik dalam domain waktu, ruang dengan perbatasan planar, medium non-homogen, dan medium anisotropik (Jithesh dan Pande, 2003). Beberapa variabel yang dapat dianalisis dari simulasi gelombang elektromagnetik dengan menggunakan metode FDTD antara lain frekuensi (Randa, 2015), phase (Yudistira dkk, 2017), amplitudo, reflektansi, transmitansi, dan hamburan gelombang (Houle dan Sullivan, 2020).

Penggunaan metode FDTD dalam kasus hamburan gelombang dilakukan dengan cara memberikan sebuah batas penyerapan pada ruang komputasi atau yang dikenal dengan Absorbing Boundary Condition (ABC). Batas penyerapan dimaksudkan untuk mendapatkan keakuratan simulasi dalam kasus hamburan gelombang. Hal ini disebabkan karena bidang propagasi gelombang tidak berinteraksi dengan ABC serta beban pada ABC harus diminimalkan (Houle dan Sullivan, 2020). Simulasi perambatan gelombang elektromagnetik menggunakan metode FDTD dapat juga digunakan dalam analisis sensor berbasis material PhC seperti yang dilakukan oleh Panda dkk. (2020). Pada penelitiannya, Panda dkk. (2020) memodelkan sebuah biosensor berbasis PhC 1D jenis Lithium Niobate (LiNbO<sub>3</sub>) dengan permitivitas isotropik untuk pengindraan efektif konsentrasi sukrosa dalam larutan berair.

Panda dkk (2020) berhasil menyelidiki perubahan panjang gelombang refleksi dan transmisi, tepi Photonic Band Gap (PBG), lebar PBG, diffraction loss, energi transmisi cahaya, energi refleksi cahaya, sensitivitas sensor dan Limit of Detection (LOD). Model biosensor sukrosa yang diusulkan menunjukkan sensitivitas yang lebih baik dan LOD rendah yang cocok untuk aplikasi pengindraan hayati. Secara teori, reflektansi dan transmitansi berhubungan dengan energi refleksi dan transmisi gelombang elektromagnetik ketika gelombang melewati medium. Nilai reflektansi dan transmitansi dapat dihitung menggunakan persamaan dari hukum Fresnel (Griffiths, 1999). Dalam simulasi perambatan gelombang elektromagnetik, persamaan Maxwell harus disesuaikan pada medium yang digunakan seperti ruang vakum, material dielektrik isotropik, material dielektrik anisotropik (Griffiths, 1999) yang kemudian diubah menjadi persamaan differensial berdomain waktu.

Simulasi perambatan gelombang elektromagnetik pada material dielektrik anisotropik sudah banyak digunakan dalam beberapa penelitian seperti realisasi antenna mikrostrip menggunakan material dielektrik anisotropik pada frekuensi 1,8 GHz untuk aplikasi LTE dan 2400 GHz untuk Wifi oleh Shifa (2020), dilakukan oleh Gowini dan Moussa (2010) menggunakan LiNbO<sub>3</sub> pada model biosensor Surface Acoustic Wave (SAW) dengan permitivitas anisotropik yang berfungsi untuk deteksi hidrogen, dan yang telah dilakukan oleh Randa (2015) tentang analisis propagasi gelombang elektromagnetik dengan sisipan material dielektrik anisotropik menggunakan metode FDTD.

Salah satu jenis material anisotropik adalah Photonic Crystal (PhC) yang dapat digunakan dalam model biosensor sukrosa. PhC yang dapat digunakan dalam model biosensor sukrosa adalah Lithium Niobate, sehingga dari hal itu dapat dilakukan penelitian

lebih lanjut untuk mengetahui perilaku gelombang elektromagnetik seperti reflektansi dan transmitansi terhadap model biosensor sukrosa berbasis PhC jenis LiNbO3 dengan permitivitas anisotropik pada 1D. Nilai reflektansi dan transmitansi akan dibandingkan dengan hukum Fresnel dan dicari nilai galat relatifnya.

### BAHAN DAN METODE

#### Waktu, Software dan Hardware

Penelitian ini termasuk penelitian berbasis simulasi yang memiliki tahapan penelitian yakni terdiri dari pembuatan program, validasi program, pengolahan data dan interpretasi data. Penelitian ini menggunakan aplikasi Python 3.8 64-bit. Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan November 2021 hingga bulan Juli 2022 di Laboratorium Riset Teori dan Komputasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram. *Software* dan *hardware* yang digunakan seperti yang ditunjuk oleh (Tabel 1).

Tabel 1. *Software* dan *hardware* yang digunakan serta fungsinya

NO	Nama <i>Software</i> dan <i>hardware</i>	Fungsi
1	Laptop	Sebagai <i>hardware</i> untuk menjalankan Program dan penulisan laporan
2	Aplikasi Python 3.8 64-bit	Sebagai <i>software</i> untuk menjalankan program.
3	Aplikasi Jupyter Notebook	Sebagai <i>software</i> untuk tempat menulis coding dan visualisasi.

#### Metode Pembuatan Program

Pembuatan program dibagi menjadi perancangan simulasi program dan pembuatan program yang berdasarkan diagram alir komputasi. Pembuatan program simulasi menggunakan metode FDTD didasari pada persamaan (1) sampai (5) yang kemudian diubah kedalam code menggunakan *software* Python (Houle dan Sullivan, 2020):

$$\tilde{D}_x^{n+\frac{1}{2}}(k) = \tilde{D}_x^{n-\frac{1}{2}}(k) - \frac{1}{2} \left[ H_y^n \left( k + \frac{1}{2} \right) - H_y^n \left( k - \frac{1}{2} \right) \right] \tag{1}$$

$$H_y^{n+1} \left( k + \frac{1}{2} \right) = H_y^n \left( k + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} \left[ \tilde{E}_x^{n+\frac{1}{2}}(k+1) - \tilde{E}_x^{n+\frac{1}{2}}(k) \right] \tag{2}$$

$$E^n = \frac{D^n - I^{n-1}}{\epsilon_r + \frac{\sigma \Delta t}{\epsilon_0}} \tag{3}$$

$$I^{n-1} = \frac{\sigma \Delta t}{\epsilon_0} \sum_{i=0}^{n-1} E^i \tag{4}$$

$$I^n = I^{n-1} + \frac{\sigma \Delta t}{\epsilon_0} E^n \tag{5}$$

Nilai amplitudo gelombang didasari pada Fourier transform dengan menyimulasikan gelombang elektromagnetik sudah melewati wilayah pengamatan komputasi, sehingga perlu diatur wilayah komputasi ( $k_{max}$ ) sebesar 300 satuan komputasi dengan time step (n) sebanyak 8000 satuan komputasi saat gelombang sudah melewati wilayah pengamatan komputasi.

Pembuatan program simulasi amplitudo gelombang didasari pada persamaan (6) (Houle dan Sullivan, 2020):

$$E_0 = \sqrt{E_{Re}^2 + E_{Im}^2} \tag{6}$$

Perhitungan nilai transmitansi serta reflektansi hasil simulasi didasari pada persamaan (7) dan (8):

$$R = \left(\frac{E_{0R}}{E_{0I}}\right)^2 \tag{7}$$

$$T = \sqrt{\epsilon_r} \left(\frac{E_{0T}}{E_{0I}}\right)^2 \tag{8}$$

Sedangkan, nilai reflektansi dan transmitansi secara teori berdasarkan Hukum Fresnel seperti pada persamaan (3.32) dan (3.33):

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2 \tag{9}$$

$$T = \frac{4n_1n_2}{(n_1 + n_2)^2} \tag{10}$$

Panjang gelombang yang digunakan adalah 1200 nm (cahaya inframerah). Permittivitas yang digunakan pada indeks bias ordinary dan extraordinary berturut-turut yaitu  $\epsilon_{ro} = 4,950$  dan  $\epsilon_{re} = 4,619$ . Nilai ini didapatkan berdasarkan Persamaan Sellmeier pada persamaan (11) :

$$n^2 = 1 + \frac{A\lambda^2}{\lambda^2 - B} + \frac{C\lambda^2}{\lambda^2 - D} + \frac{E\lambda^2}{\lambda^2 - F} \tag{11}$$

dan berdasarkan nilai konstanta Sellmeier (Tabel 2).

Tabel 2. Konstanta Sellmeier

No	Koefisien	Extraordinary refraction	Ordinary refraction
1	A	2,98040	2,67340
2	B	0,02047	0,01764
3	C	0,59810	1,22900
4	D	0,06660	0,05914
5	E	8,95430	12,6140
6	F	416,080	474,600

Hubungan antara nilai konsentrasi sukrosa dan nilai indeks bias sukrosa ditunjukkan pada (Tabel 3) (Yunus, 1988 dalam Panda dkk ,2020).

Tabel 3. Konsentrasi sukrosa

Konsentrasi sukrosa (g/100ml)	Indeks bias
0	1,000
10	1,345

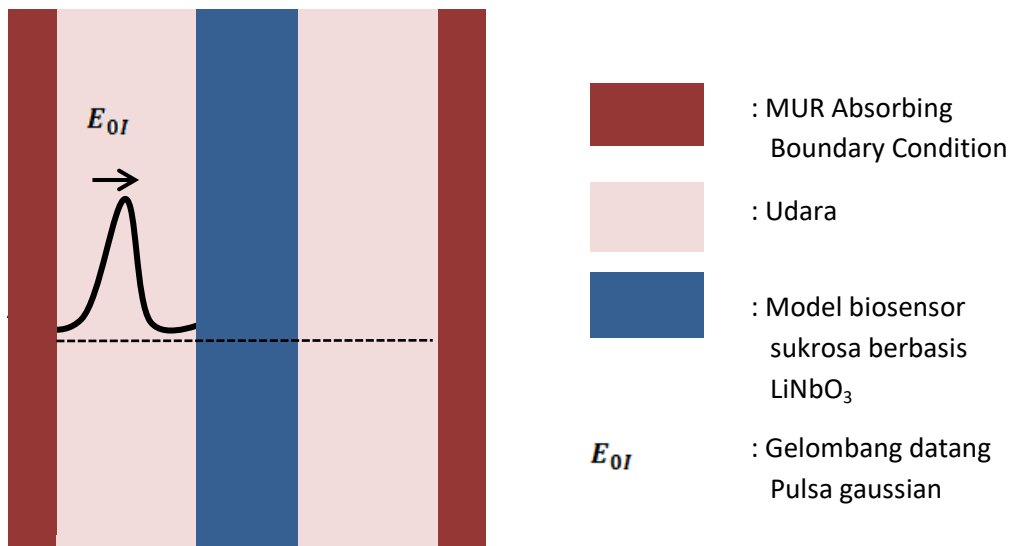
20	1,364
30	1,385
40	1,396
50	1,410
60	1,433
70	1,442

Ukuran grid yang digunakan sebesar  $\Delta x = 10^{-8} \text{ m}$  dan ukuran beda waktu yang digunakan tiap time step nya sebesar  $\Delta t = 1,67 \times 10^{-17} \text{ s}$ . Gelombang datang yang digunakan adalah gelombang pulsa Gaussian sesuai persamaan (12), dengan  $t_0 = 150$  dan  $t_{decay} = 40$  (Taflove dan Hagness, 2005):

$$E_x|_k^t = E_0 \exp\left(-\left[\frac{t - t_0}{t_{decay}}\right]^2\right) \tag{12}$$

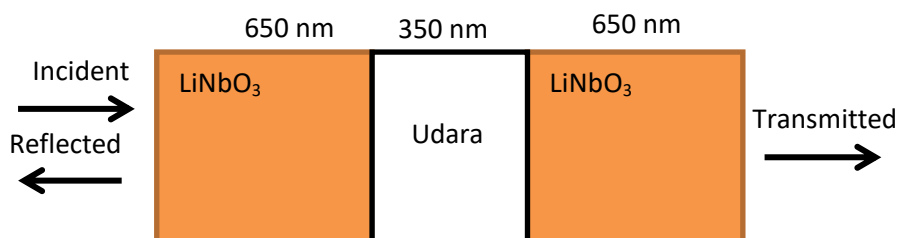
*Rancangan Simulasi Program*

Pada penelitian ini di asumsikan medium merupakan medium *non-magnetic* dengan permeabilitas relatif ( $\mu_r$ ) sama dengan satu dan *non-conducting* dengan konduktifitas ( $\sigma$ ) sama dengan 0. Rancangan simulasi dapat dilihat pada Gambar 1 dengan referensi model biosensor berbasis PhC jenis LiNbO<sub>3</sub> pada Gambar 2 (Panda dkk, 2020).



Gambar 1. Rancangan simulasi program

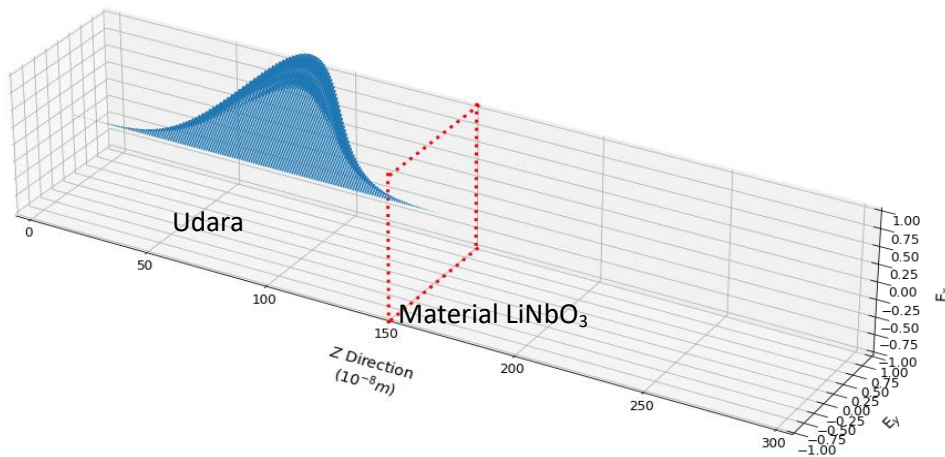
Rancangan model biosensor sukrosa merujuk pada penelitian Panda, dkk (2020) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Model biosensor berbasis PhC jenis LiNbO<sub>3</sub> (Panda dkk, 2020)

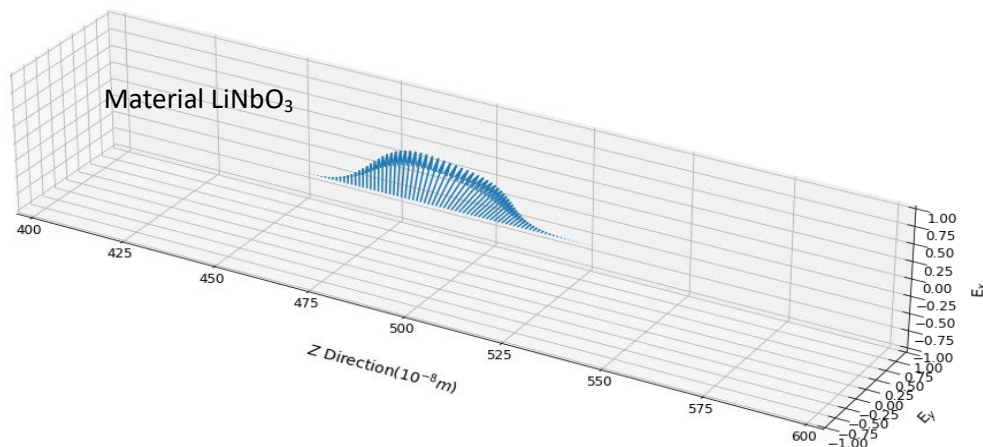
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi perambatan gelombang Elektromagnetik dua keadaan yaitu pada material LiNbO<sub>3</sub> isotropik dan anisotropik. Material LiNbO<sub>3</sub> isotropik menggunakan nilai permitivitas relatif pada indeks bias *ordinary*, sedangkan untuk anisotropik menggunakan dua inputan permitivitas relatif pada indeks bias *ordinary*  $\epsilon_{ro} = 4,950$  dan *extraordinary*  $\epsilon_{re} = 4,619$ . Keadaan ini disimulasikan pada 1D menggunakan metode FDTD merambat ke arah z. Simulasi dilakukan pada  $t = 5 \times 10^{-15} s$  dengan wilayah pengamatan dari 0 sampai  $300 \times 10^{-8} m$  untuk gelombang datang seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.

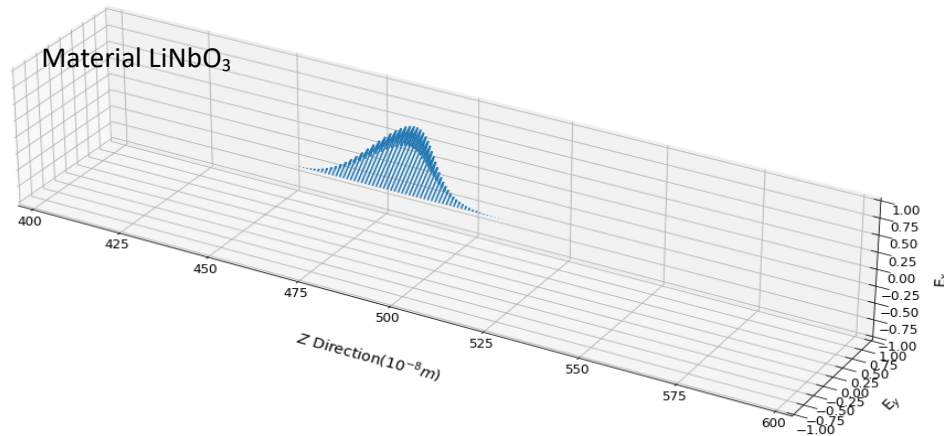


Gambar 3. Gelombang elektromagnetik datang pada  $t = 5 \times 10^{-15} s$

Terlihat pada Gambar 3 gelombang datang berbentuk pulsa gaussian dengan panjang gelombang sekitar  $1200 nm$  (infra merah) dan diasumsikan tidak terpolarisasi. Simulasi dilakukan pada  $t = 3,5 \times 10^{-14} s$  dengan wilayah pengamatan dari  $400 \times 10^{-8} m$  sampai  $600 \times 10^{-8} m$  untuk gelombang yang ditransmisikan ke dalam material LiNbO<sub>3</sub> anisotropik dan isotropik seperti ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Gelombang elektromagnetik di dalam material LiNbO<sub>3</sub> anisotropik saat  $t = 3,5 \times 10^{-14} s$



Gambar 5. Gelombang elektromagnetik di dalam material LiNbO<sub>3</sub> isotropik saat  $t = 3,5 \times 10^{-14} \text{ s}$

Pada Gambar 4 terlihat bahwa terjadi *circular polarization* dalam material LiNbO<sub>3</sub> anisotropik. Hal ini disebabkan oleh perbedaan permitivitas relatif pada indeks bias *ordinary* dan *extraordinary*, sehingga gelombang yang terpolarisasi memiliki cepat rambat gelombang yang berbeda. Hal itu akan menyebabkan terjadinya beda fase antara gelombang yang terpolarisasi, sehingga resultan gelombangnya akan terlihat seperti melingkar atau mengalami *circular polarization* (Fowles, 1975).

Gelombang elektromagnetik akan mengalami reflektansi dan transmitansi karena melalui dua medium yang memiliki permitivitas relatif yang berbeda (Griffiths, 1999). Simulasi dilakukan untuk mencari nilai reflektansi dan transmitansi yang kemudian dibandingkan dengan hukum Fresnel untuk mengetahui seberapa akurat perhitungan menggunakan metode FDTD. Dikarenakan metode FDTD adalah metode pendekatan nilai, sehingga perlu dilakukan validasi dengan cara mencari galat relatif hasil simulasi dan teori. Dapat dilihat pada (Tabel 4) perbandingan antara transmitansi simulasi ( $T_{simulasi}$ ), reflektansi simulasi ( $R_{simulasi}$ ), transmitansi teori ( $T_{teori}$ ), reflektansi teori ( $R_{teori}$ ), galat relatif transmitansi ( $galat_T$ ), dan galat relatif reflektansi ( $galat_R$ ).

Tabel 4. Galat relatif simulasi dan teori

Material	LiNbO <sub>3</sub>	LiNbO <sub>3</sub>
	( $\epsilon_{ro} = 4,950$ )	( $\epsilon_{re} = 4,619$ )
$T_{teori}$	0,855738	0,866837
$T_{simulasi}$	0,855745	0,866844
$R_{teori}$	0,144262	0,133163
$R_{simulasi}$	0,144263	0,133164
$galat_R$ (%)	0,001054	0,000935
$galat_T$ (%)	0,000828	0,000778

Analisis perambatan gelombang elektromagnetik dengan permitivitas material LiNbO<sub>3</sub> isotropik bernilai  $\epsilon_r = 4,950$  berdasarkan perhitungan menggunakan *Sellmeier's Equation* pada persamaan (11). Disimulasikan pada konsentrasi sukrosa berbeda untuk mengetahui

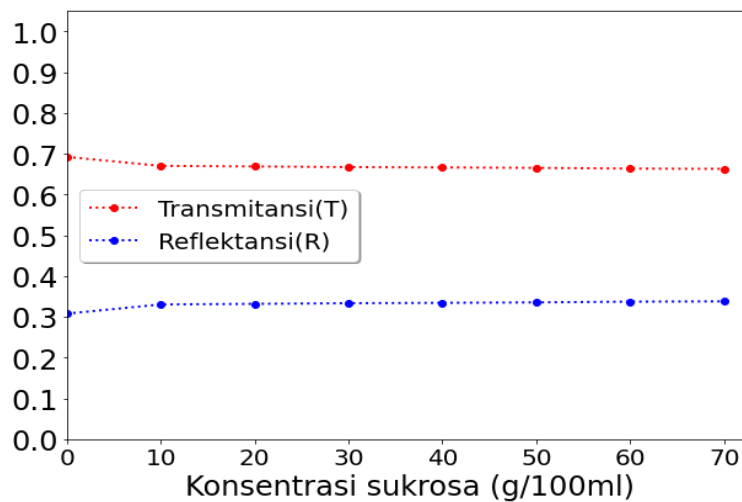


perubahan nilai reflektansi dan transmitansi pada konsentrasi sukrosa berbeda. Nilai sukrosa yang digunakan sesuai pada (Tabel 3) dengan asumsi gelombang elektromagnetik *incident* tidak terpolarisasi. Perbedaan indeks bias sukrosa pada model sensor tetap akan menimbulkan reflektansi dan transmitansi gelombang dengan nilai yang berbeda bergantung pada nilai indeks bias konsentrasi sukrosa seperti yang dapat dilihat pada (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai transmitansi dan reflektansi pada model biosensor sukrosa berbasis LiNbO<sub>3</sub> pada indeks bias *ordinary*

Konsentrasi sukrosa (g/100ml)	Transmitansi	Reflektansi
0	0,6923	0,3078
10	0,6703	0,3303
20	0,6689	0,3318
30	0,6673	0,3334
40	0,6664	0,3343
50	0,6654	0,3354
60	0,6636	0,3372
70	0,6630	0,3380

Agar mudah dipahami hasil pada (Tabel 5) dapat dikonversi menjadi grafik seperti Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan nilai reflektansi pada konsentrasi sukrosa berbeda untuk nilai permitivitas relatif  $\epsilon_r = 4,950$

Gambar 6 memperlihatkan bahwa dalam kasus perambatan gelombang elektromagnetik pada tiga medium dengan indeks bias berbeda yaitu LiNbO<sub>3</sub>-Sukrosa-LiNbO<sub>3</sub>, gelombang elektromagnetik yang direfleksikan akan berbanding lurus dengan indeks bias sukrosa, sedangkan gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan akan berbanding terbalik dengan indeks bias sukrosa. Jika dilihat perubahan nilai transmitansi dan reflektansi pada (Tabel 3) terdapat hubungan antara reflektansi dan transmitansi terhadap konsentrasi sukrosa yang ditunjukkan oleh koefisien determinasi berturut-turut sebesar 0,772 dan 0,769. Namun, jika dilihat perubahan nilai transmitansi maupun reflektansi pada konsentrasi sukrosa yang berbeda, tidak terdapat perubahan yang besar yaitu kurang dari 0,001 sehingga dari hasil ini

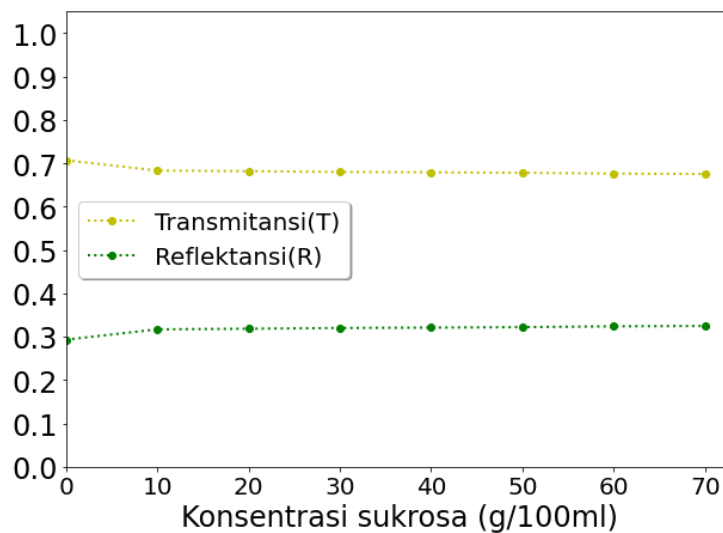
dapat disimpulkan model sensor yang diusulkan tidak dapat membedakan konsentrasi dengan cukup baik.

Analisis perambatan gelombang elektromagnetik dengan permitivitas material LiNbO<sub>3</sub> anisotropik bernilai  $\epsilon_{r,o} = 4,950$  dan  $\epsilon_{r,e} = 4,619$  berdasarkan pada persamaan (11). Disimulasikan pada konsentrasi sukrosa berbeda untuk mengetahui perubahan nilai reflektansi dan transmitansi pada konsentrasi sukrosa berbeda. Nilai sukrosa yang digunakan sesuai pada (Tabel 3), didapatkan perubahan nilai reflektansi dan transmitansi pada indeks bias *extraordinary* seperti pada (Tabel 6).

Tabel 6. Nilai transmitansi dan reflektansi pada model biosensor sukrosa berbasis LiNbO<sub>3</sub> pada indeks bias *extraordinary*

Konsentrasi sukrosa (g/100ml)	Transmitansi	Reflektansi
0	0,7070	0,2931
10	0,6832	0,3169
20	0,6817	0,3184
30	0,6800	0,3200
40	0,6791	0,3209
50	0,6780	0,3220
60	0,6761	0,3239
70	0,6753	0,3247

Agar mudah dipahami hasil pada (Tabel 6) dapat dikonversi menjadi grafik seperti Gambar 7.



Gambar 7. Perubahan nilai reflektansi pada konsentrasi sukrosa berbeda untuk nilai permitivitas relatif  $\epsilon_r = 4,619$

Perbedaan permitivitas relatif pada material anisotropik akan menyebabkan perbedaan cepat rambat gelombang dan menimbulkan beda fase serta perubahan sudut polarisasi. Nilai indeks bias dari sukrosa dengan konsentrasi yang berbeda akan menghasilkan beda fase yang berbeda seperti pada (Tabel 7).

Tabel 7. Nilai beda fase gelombang

Konsentrasi sukrosa (g/100ml)	Beda Fase (rad)
0	2,7827
10	3,2056
20	3,2290
30	3,2708
40	3,2974
50	3,3344
60	3,3989
70	3,4243

### KESIMPULAN

Model biosensor sukrosa berbasis PhC jelis LiNbO<sub>3</sub> memiliki karakteristik antara lain nilai transmitansi yang cenderung lebih besar dari nilai reflektansinya, nilai reflektansi berbanding lurus dengan konsentrasi sukrosa sedangkan nilai transmitansi yang berbanding terbalik. Namun berdasarkan nilai transmitansi dan reflektansinya, model biosensor sukrosa berbasis material LiNbO<sub>3</sub> yang diusulkan tidak baik digunakan untuk pengindraan sukrosa.

### DAFTAR PUSTAKA

- Caballero, B. (2003). *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 2nd Edn.*
- Fowles, G. R. (1975). *Introduction to Modern Optics.* New York: Dolt, Rinehart And Winston, Inc.
- Gowini, M. dan Moussa, W. (2010). *A Finite Element Model of A MEMS-Based Surface Acoustic Wave Hydrogen Sensor. Sensors, X,* 1232-1250.
- Griffiths, D. J. (1999). *Introduction To Electrodynamics .* New Jersey: Prentice-Hall. Lnc.
- Houle, J. E. dan Sullivan, D. M. (2020). *Electromagnetic Simulation Using The FDTD Method With Python.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Jithesh, V. dan Pande, D. (2003). *Review on Computational EMI Modeling Techniques . Electronics And Radar Development Establishment,* 159-166.
- Negara, T. P., Erniyati, dan Ismangil, A. (2019). Simulasi Gelombang Elektromagnetik Pada Waveguide Menggunakan Metode Finite Difference Time Domain Untuk Aplikasi Radar. *Seminar Nasional Sains Teknologi Dan Inovasi Indonesia, 1,* 147-154.
- Panda, A., Pukhrambang, P. D., dan Keiser, G. (2020). *Realization of Sucrose Sensor Using 1D Photonic Crystal Structure Vis-A-Vis Band Gap Analysis. Micsystem Technologies.*
- Randa , M. (2015). Metode *Finite-Difference Time-Domain* untuk Analisis Propagasi Gelombang Pada Bumbung Gelombang Persegi Dengan Sisipan Material Dielektrik Anisotropik. *Jurnal Inovasi Pertahanan, 1,* 1-5.
- Shabrina, N. H. (2017). *Literature Review: Metode Komputasi Numerik Untuk Analisis Gelombang Elektromagnetik. ULTIMA Computing, IX.*
- Shifa, A. A., Wulani, I., Azzahra, Y. S., dan Ludiyati, H. (2020). Realisasi Antena Mikrostrip Persegi Satu Elemen Untuk Aplikasi LTE Menggunakan Material Dielektrik Anisotropik Pada Frekuensi 1,8 Ghz. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop And National Seminar,* 630-636.

- Taflove , A. dan Hagness, S. (2005). *Computational Electrodynamics The Finite-Difference Time-Domain Method* . Norwood: Artech House, INC.
- Yi, J., Li, L.-W., dan Li, E.-P. (2002). *Design and Analysis of Printed Circuit Boards Using FDTD Method For The 20-H Rule*. *Singapore-MIT Alliance Annual Symposium*, 1-7.
- Yudistira, H. T., Dipojono, H. K., dan Suksmono, A. B. (2017). Penggunaan Metode Finite Difference Time Domain (FDTD) dalam Simulasi *Phased Array Antenna*. *Journal of Science and Applicative Technology – Institut Teknologi Sumatera*, 19-24.