

**ANALISIS NUMERIK STRUKTUR OPTIK PERIODIK 2-DIMENSI
UNTUK FUNGSI PENAPIS DARI DEVAIS FOTONIK**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Fisika Sebagai Salah Satu
Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana*



Oleh

NINA

NIM/BP. 84170/2007

PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2011

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

ANALISIS NUMERIK STRUKTUR OPTIK PERIODIK 2-DIMENSI UNTUK FUNGSI PENAPIS DARI DEVAIS FOTONIK

Nama : Nina

Nim : 84170

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2011

Disetujui oleh

Pembimbing I



Dra. Hidayati, M.Si

NIP.19671111 199203 2 001

Pembimbing II



Pakhrur Razi, S.Pd, M.Si

NIP.19790812 200604 1 003

PENGESAHAN

**Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir
Program Studi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang**

**Judul : Analisis Numerik Struktur Optik Periodik 2-Dimensi
untuk Fungsi Penapis dari Devais Fotonik**

Nama : Nina

NIM : 84170

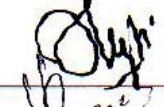
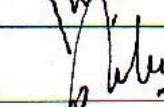
Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2011

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dra. Hidayati, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Pakhrur Razi, S.Pd, M.Si	2. 
3. Anggota	: Dra. Yulia Jamal, M.Si	3. 
4. Anggota	: Drs. Masril, M.Si	4. 
5. Anggota	: Dr. Ratnawulan, M.Si	5. 

ABSTRAK

Nina : Analisis Numerik Struktur Optik Periodik 2-Dimensi Untuk Fungsi Penapis Dari Devais Fotonik

Aplikasi dari ilmu pengetahuan dan teknologi fotonik di bidang telekomunikasi semakin berkembang. Teknologi fotonik sangat erat hubungannya dengan karakteristik optik bahan dan struktur geometri yang fungsional sehingga dapat dipakai untuk mengolah cahaya. Pada sistem optik terintegrasi (*Integrated Optics*), diperlukan sejumlah piranti fotonik yang berfungsi sebagai fungsi penapis, fungsi pandu gelombang dan fungsi penggandeng. Kristal fotonik ini dapat memiliki celah pita fotonik (*photonic band gap*) dengan suatu desain spesifik sehingga perambatan cahaya dalam kristal fotonik dapat diatur.

Penelitian ini bertujuan melakukan pengamatan tentang pola spektrum transmitansi. Melalui metode indeks bias efektif dan metode matriks transfer yang menghubungkan amplitudo medan listrik pada setiap lapisan dielektrik dapat ditentukan nilai Transmitansi dari divais fotonik dengan variasi parameter geometri (tebal dan jumlah lapisan) dan parameter fisis (indeks bias). Analisis numerik selanjutnya menggunakan metode bagi dua (*bisection*) dan membuat program aplikasinya dengan menggunakan Matlab 7.0 yang dijalankan pada sistim operasi Windows XP.

Dari hasil penelitian, variasi dari parameter geometri (tebal dan jumlah lapisan) dan parameter fisis (indeks bias) mempengaruhi pergeseran daerah *bandgap* pada struktur optik periodik 2-dimensi untuk disain sebagai fungsi penapis. Pergeseran daerah *bandgap* ini divisualisasikan dengan grafik transmitansi.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan atas limpahan rahmat dan karunia Allah SWT kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ **Analisis Numerik Struktur Optik Periodik 2 Dimensi untuk Fungsi Penapis Dari Devais Fotonik** ”. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

Selama penulisan tugas akhir ini, penulis banyak mengalami kendala dan hambatan. Namun, berkat bantuan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikannya. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan penulis kepada:

1. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai pembimbing I.
2. Bapak Pakhrur Razi, S.Pd, M.Si sebagai pembimbing II.
3. Ibu Dra. Yulia Jamal, M.Si, Bapak Drs. Masril, M.Si dan Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si selaku tim penguji.
4. Bapak Dr. Ahmad Fauzi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
5. Bapak/Ibu staf pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP.

6. Ayahanda dan Ibunda beserta adik, kakak dan keluarga tercinta atas bimbingan, dorongan dan kasih sayang serta doa yang telah diberikan.
7. Rekan-rakan seperjuangan mahasiswa Fisika FMIPA UNP, khususnya 'Fisika 2006' atas motivasi dan kritikan dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Semua pihak yang turut membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga semua bantuan, bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis dapat menjadi amal ibadah dan mendapat balasan dari Allah SWT, amin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan dari penulis. Untuk itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan bagi penulis sendiri.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Pembatasan Masalah	6
C. Pertanyaan Penelitian	6
D. Tujuan Penelitian.....	7
E. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Gelombang	8
B. Persamaan Gelombang Elektromagnetik	9
C. Hukum Snellius	13
D. Teknologi Fotonik	15
E. Karakteristik Struktur Optik Periodik 2-Dimensi.....	18
F. Pemantulan dan Pembiasan pada Bidang Batas Dielektrik	23
G. Reflektansi dan Transmittansi	27
H. Matrik untuk Perioditas Lapisan	28

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	32
A.	Jenis Penelitian	32
B.	Tempat Penelitian	32
C.	Waktu Penelitian	32
D.	Instrumen Penelitian	33
E.	Variabel Penelitian	33
F.	Desain Penelitian	33
G.	Analisa Data	37
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A.	Transmitansi Karakteristik dari Struktur Optik Periodik 2D Berhingga.....	39
B.	Grafik Transmitansi terhadap Variasi Struktur Periodik 2D Berhingga	40
C.	Analisa.....	53
BAB V	PENUTUP.....	54
A.	Kesimpulan.....	54
B.	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Sistem Berlapis Jamak Bahan Dielektrik yang Periodik dalam Satu Dimensi (Joannopoulus, 2008)	4
Gambar 2	Spektrum Pola Transmittansi dan Reflektansi untuk Sistem Berlapis Jamak Bahan Dielektrik yang Periodik dalam Satu Dimensi (Nasyurda, 2009).....	5
Gambar 3	Sistem Berlapis Jamak Bahan Dielektrik yang Periodik dalam Dua Dimensi (Joannopoulus, 2008)	5
Gambar 4	Peristiwa Pembiasan (Virgus. 2008).....	13
Gambar 5	Peristiwa Pembiasan dengan Sudut Datang Berbeda-Beda untuk $n_1 > n_2$	15
Gambar 6	Pembagian Daerah pada Struktur Optik Periodik Dua Dimensi	18
Gambar 7	Struktur Penjalaran Gelombang pada Daerah 1	19
Gambar 8	Struktur Penjalaran Gelombang pada Daerah 2	21
Gambar 9	Struktur Optik Periodik Searah Sumbu-y	23
Gambar 10	Vektor Propagasi pada Bidang Batas untuk Modus TE (Yeh, 1998)	24
Gambar 11	Vektor Propagasi pada Bidang Batas untuk Modus TM (Yeh, 1998).....	26
Gambar 12	Matrik Lapisan Isotropik (Yeh. 1998).....	29
Gambar 13	Flowchart: (a) Program Pembantu untuk Mendapatkan Indeks Bias Efektif dan (b) Program Utama untuk Menampilkan Grafik Transmittansi dari Divais Fotonik.....	36
Gambar 14	Kurva Transmittansi dengan Indeks Bias Efektif $N_{eff1}=0,54$; $N_{eff2}=0.77$ (Iskandar, 2007)	37
Gambar 15	Grafik Transmittansi terhadap Panjang Gelombang	40
Gambar 16	Grafik Transmittansi terhadap Panjang Gelombang dengan Memvariasikan Lebar Lapisan medium 2 b	43

Gambar 17	Grafik Transmittansi terhadap Panjang Gelombang dengan Memvariasikan Lebar Lapisan medium 1 a	46
Gambar 18	Grafik Transmittansi terhadap Panjang Gelombang dengan Memvariasikan Indeks Bias Medium 2. ($n_1=1.76$ (MgO) dan $n_2=1.37$ (MgF ₂), 1.57 (KBr), 2.18 (CuBr), (Yeh. 1998).....	49
Gambar 19	Grafik Transmittansi terhadap Panjang Gelombang dengan Memvariasikan Jumlah Lapisan.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Penyelesaian Persamaan	57
Lampiran 2 Fungsi Metode Bisection	65
Lampiran 3 Listing Program Utama	66
Lampiran 4 Penyelesaian Matriks Translasi	78

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi informasi dimulai oleh Alexander Graham Bell dengan diperkenalkannya pesawat telepon pada tahun 1878. Pada tahun 1864 James C Maxwell mempublikasikan makalahnya yang berjudul, “*A Theory of the Electromagnetic Field*”, dan menyatakan persamaan yang menerangkan pemahaman tentang fenomena medan listrik dan medan magnet (elektromagnet) yang menjadi persamaan paling fundamental dalam fisika. Persamaan ini menjadi dasar dalam perkembangan gelombang elektromagnet yang diaplikasikan dalam teknologi komunikasi.

Pada paruh kedua abad ke 20, teknologi semikonduktor memegang peranan yang sangat penting dalam kemajuan teknologi komunikasi. Manfaat dari teknologi semikonduktor dapat kita temukan pada kinerja komputer. Dalam perkembangannya, kecepatan komputer dalam mengolah data meningkat dengan sangat cepat. Seperti yang diprediksikan oleh Gordon Moore dari Intel bahwa setiap 18 bulan, jumlah dari komponen elektronik yang terdapat dalam mikrochip meningkat dua kali lipat. Hal ini memungkinkan komputer bekerja dua kali lebih cepat dengan harga yang lebih murah.

Dalam beberapa tahun ke depan, pengetahuan tentang semikonduktor pada saat ini membawa kita pada batas kecepatan maksimum komputer. Sebagai

contoh, sekarang komputer mampu bekerja pada kecepatan 2 GHz. Akan tetapi, tidaklah mungkin menciptakan komputer dengan kecepatan 100 GHz dengan teknologi semikonduktor yang kita miliki sekarang. Kondisi yang seperti ini memaksa para ahli menemukan teknologi baru dalam meningkatkan kinerja komputer, salah satunya dengan mentransmisikan sinyal cahaya sebagai pengganti elektron. Hal ini sangat memungkinkan untuk menciptakan komputer dengan kecepatan dalam orde 10^{12} Hertz. Para ahli meyakini bahwa kristal fotonik akan mampu menjawab permasalahan ini.

Pada rangkaian elektronik, komponen-komponen penyusunnya tersusun dalam suatu *Integrated Circuit* yang biasa disebut IC. Pada IC, semikonduktor berperan sebagai medium perambatan elektron. Seperti yang kita ketahui bersama, diyakini bahwa kecepatan komponen elektronik ini sudah dekat pada batas maksimumnya, sehingga diperlukan terobosan teknologi baru yang mampu bekerja dengan kecepatan yang lebih tinggi lagi. Persoalan yang dihadapi ini mulai menemukan titik terang setelah ditemukan konsep cahaya sebagai pembawa informasi. Bidang yang mempelajari hal ini dinamai dengan teknologi fotonik *Integrated Optic* yang disingkat IO.

Teknologi fotonik diharapkan menjadi solusi atas keterbatasan teknologi komunikasi sekarang. Hal ini didasarkan pada pemahaman bahwa teknologi ini mempelajari perilaku interaksi foton dengan medium perambatannya (kristal fotonik). IO dipercayai dapat membawa sekaligus mengontrol foton sebagai sinyal pembawa dan pemroses data, dimana dengan teknologi foton ini data yang

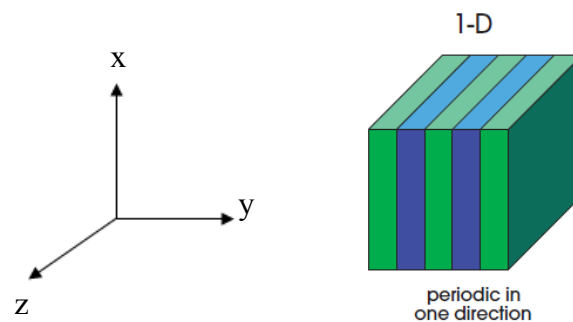
ditransmisikan memiliki lebar frekuensi (*bandwidth*) yang lebih besar dibandingkan dengan IC, atau dengan kata lain lebih banyak data dan lebih cepat.

Pengetahuan tentang kristal fotonik dimulai pada tahun 1987, dimana publikasi dari Eli Yablonovitch dari laboratorium Bell, dan Sajeev John pada Universitas Princeton. Yablonovitch mencoba untuk meningkatkan efisiensi dari sinar laser dengan mengontrol emisi spontannya. Di sisi lain, Sajeev John berusaha menciptakan lokalisasi cahaya (Virgus, 2008). Kata “kristal” berarti struktur periodik atom-atom penyusun materi, sedangkan “fotonik” berarti perambatan foton (cahaya) dalam struktur materi. Dengan kata lain, kristal fotonik diartikan struktur periodik materi (nano) optik yang di desain untuk mempengaruhi perambatan dari foton sebagaimana perambatan elektron dalam semikonduktor. Sebuah kristal fotonik sederhana adalah sistem lapisan bahan dielektrik yang periodik. Cara terbaik dalam memahami perambatan foton dalam kristal fotonik adalah membandingkannya dengan perambatan elektron dalam semikonduktor.

Foton melewati bahan dielektrik yang indeks biasanya berbeda dan tersusun secara periodik. Untuk sebuah foton, keperiodikan dari indeks bias dapat dianalogikan dengan keperiodikan potensial yang dilewati oleh sebuah elektron dalam kristal silikon. Dalam teknologi semikonduktor, struktur kristal yang periodik menghasilkan celah-celah energi (*energy gaps*) sehingga hanya elektron dengan energi tertentu saja yang dapat merambat. Hal ini senada dengan kristal fotonik, dengan adanya pengaruh dari perbedaan indeks bias dielektrik

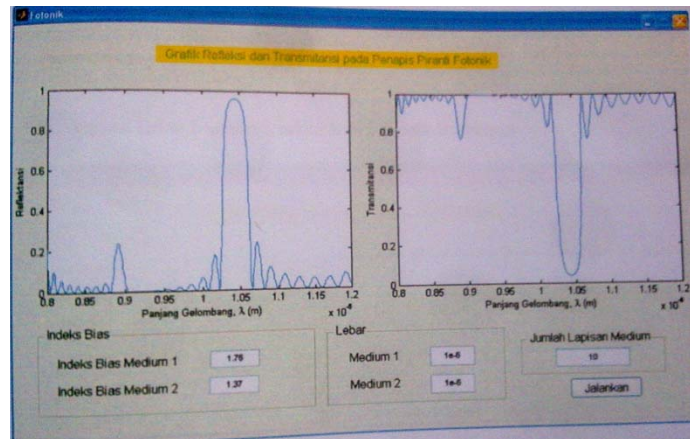
menyebabkan terciptanya daerah energi dan daerah terlarang. Daerah yang memungkinkan adanya energi foton dikenal dengan istilah “modus (*modes*)” dan daerah terlarang disebut celah pita fotonik (*photonic band gap*).

Pengontrolan desain dari kristal fotonik dapat memungkinkan kita dalam memanipulasi perambatan foton. Aplikasi dalam suatu *devais optic* terintegrasi adalah fungsi penapis, fungsi pandu gelombang, dan fungsi penggandeng (Tamir, 1985). Keberadaan celah pita fotonik tersebut merupakan ciri utama fenomena fisis yang mendasari kerja fungsi tersebut dalam struktur periodik ini.



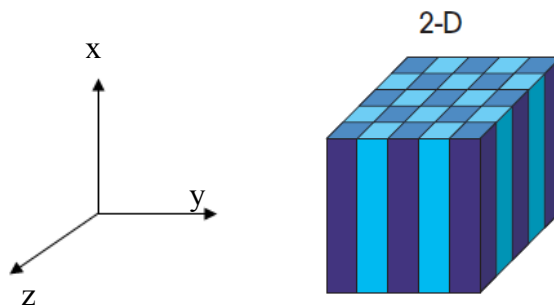
Gambar 1 Sistem Berlapis Jamak Bahan Dielektrik yang Periodik dalam Satu Dimensi (Joannopoulos, 2008)

Berdasarkan penelitian sebelumnya, telah dilakukan analisa numerik struktur geometri optik linier (1-dimensi) periodik untuk mendapatkan fungsi penapis dari sistem dielektrik berlapis jamak seperti terlihat pada Gambar 1. Spektrum pola transmisi dengan struktur optik periodik linier (satu dimensi) terlihat pada Gambar 2. Penjalaran gelombang elektromagnetik pada struktur ini menggunakan syarat batas pada penjalaran modus TE yaitu tinjauan medan listrik E tegak lurus dengan bidang datang.



Gambar 2 Spektrum Pola Transmittansi dan Reflektansi untuk Sistem Berlapis Jamak Bahan Dielektrik yang Periodik dalam Satu Dimensi (Nasyurda, 2009)

Oleh karena itu penulis tertarik melanjutkan penelitian tersebut agar lebih realistis untuk struktur optik periodik 2-dimensi. Berdasarkan hal ini penulis mengangkat judul yaitu “*Analisis Numerik Struktur Optik Periodik 2-Dimensi untuk Fungsi Penapis dari Devais Fotonik*”. Pada sistem berlapis jamak (*multilayer dielectric system*) 2-dimensi, variasi perubahan medium dielektrik terjadi pada dua arah ruang. Kristal fotonik 2-dimensi ini terdiri dari dua macam pelat dielektrik dengan indeks bias n_1 dan n_2 yang tersusun secara periodik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem Berlapis Jamak Bahan Dielektrik yang Periodik dalam Dua Dimensi (Joannopoulos, 2008)

Respon sistem ini terhadap gelombang optik dinyatakan oleh pola spektrum transmisi. Dalam penelitian ini dilakukan terlebih dahulu pendekatan dua arah bidang (2-dimensi) ke satu arah bidang (1-dimensi) dengan menggunakan metoda indeks bias efektif n_{eff} (Tamir, 1985). Selanjutnya, hubungan antara amplitudo medan-medan dalam medium yang berbeda ini dinyatakan melalui *matriks transfer*. Melalui pengaturan sifat medium, celah pita frekuensi tersebut dapat diatur. Pemahaman perilaku karakteristik dari respons ini terhadap variasi parameter geometri dan parameter bahan akan memberikan pengetahuan yang diperlukan untuk spesifikasi desain *devais* fotonik fungsi penapis.

B. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini akan dibahas struktur geometri optik periodik dua dimensi, yaitu melihat spektrum pola transmisi sistem kisi optik dengan variasi ketebalan dari indeks bias dan jumlah lapisan medium.

C. Pertanyaan Penelitian

Untuk menjawab permasalahan penelitian ini perlu dikemukakan beberapa pertanyaan penelitian yaitu:

1. Bagaimana penyelesaian bentuk matriks untuk perambatan gelombang elektromagnetik dalam struktur periodik 2-dimensi?
2. Bagaimana hubungan antara parameter geometri dan parameter bahan terhadap pola spektrum Transmittansi respon dari sistem dielektrik?

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menyelesaikan bentuk matriks untuk perambatan gelombang elektromagnetik dalam struktur periodik 2-dimensi dengan metode indeks bias efektif dan formulasi matriks.
2. Melihat pola spektrum Transmittansi respon dari sistem dielektrik dengan variasi parameter geometri yaitu perioditas lapisan dan parameter bahan yaitu indeks bias dengan menggunakan program simulasi software Matlab 7.0.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Peningkatan pemahaman ilmu fisika yang berkaitan dengan gelombang elektromagnetik dalam kaitannya dengan celah pita fotonik dari piranti fotonik sebagai fungsi penapis.
2. Menambah software aplikasi ilmu fisika dalam bidang teknologi fotonik.
3. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program strata satu di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Gelombang

Gelombang didefinisikan sebagai energi getaran yang merambat. Pada setiap titik yang dilalui gelombang terjadi getaran, dan getaran tersebut berubah fasenya sehingga tampak sebagai getaran yang merambat. Terkait dengan arah getar dan arah rambatnya, gelombang dibagi menjadi dua kelompok, gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal arah rambatnya tegak lurus dengan arah getarannya, sedangkan gelombang longitudinal arah rambatnya searah dengan arah getarannya. Gelombang berdasarkan mediumnya dibedakan menjadi 2 macam, gelombang mekanik yaitu gelombang yang dalam perambatannya membutuhkan medium dan gelombang elektromagnetik yaitu gelombang yang dalam perambatannya tidak membutuhkan medium.

Persamaan umum gelombang memenuhi bentuk:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

dengan Ψ adalah fungsi gelombang satu dimensi yang dinyatakan dalam posisi z , waktu t dan kecepatan rambat gelombang v (Tjia, 1993).

Bentuk umum penyelesaian persamaan di atas adalah semua fungsi yang berbentuk $\Psi(z, t) = \Psi(z \pm vt)$. Bentuk sederhana yang merupakan solusi dari persamaan gelombang pada persamaan (1) dapat dinyatakan

$$\Psi(z, t) = A \sin(kz \pm \omega t + \phi) \quad (2)$$

dengan k menunjukkan bilangan gelombang, ϕ adalah beda fase dan ω adalah frekuensi sudut gelombang.

B. Persamaan Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak memerlukan medium dalam perambatannya. Semua permasalahan makroskopik elektromagnetik dapat dianalisa menggunakan persamaan Maxwell. Bentuk persamaan Maxwell dirumuskan dalam besaran medan listrik $\mathbf{E}$ dan medan magnet $\mathbf{B}$. Persamaan Maxwell yang merupakan himpunan empat persamaan diferensial parsial yang mendeskripsikan sifat-sifat medan listrik dan medan magnet, serta hubungan dengan sumber-sumbernya, muatan listrik dan arus listrik. Berikut ini adalah perumusan persamaan Maxwell tanpa sumber yakni:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (3. a)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3. b)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3. c)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{J} \quad (3. d)$$

Pada persamaan di atas **B** dan **E** adalah medan magnet dan medan listrik. **D** dan **J** adalah rapat fluks listrik dan rapat fluks magnet. Sedangkan ρ dan **J** menyatakan rapat muatan dan rapat arus listrik. Untuk mendapatkan solusi persamaan Maxwell, kita perlu menyatakan hubungan antara **B** dan **H** serta antara **D** dan **E**. Hubungan ini dinyatakan dengan persamaan yang bergantung pada karakteristik material dari medium. Persamaan ini dinyatakan dalam bentuk:

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (4.a)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M} \quad (4.b)$$

dimana μ dan ϵ masing-masing menyatakan permeabilitas relatif dan permitivitas relatif bahan. Sedangkan **P** dan **M** masing-masing adalah polarisasi listrik dan polarisasi magnetik. Konstanta ϵ_0 adalah nilai permitivitas dalam vakum sebesar $8,854 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ C}^2$ dan μ_0 merupakan permeabilitas dalam vakum dengan nilai $4\pi \times 10^{-7} \text{ m kg C}^{-2}$.

Perumusan persamaan Maxwell ada sumber yakni:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (5. a)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (5. b)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (5. c)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (5. d)$$

Dalam medium optik digunakan beberapa asumsi diantaranya ruang vakum, medium dielektrik tanpa sumber ($\mathbf{J}=0$ dan $\rho=0$) dan respon bahan bersifat isotropik. Jika digunakan untuk keadaan diatas, persamaan Maxwell dapat ditulis secara sederhana yakni:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (6. a)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (6. b)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (6. c)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (6. d)$$

Dengan asumsi ini selanjutnya dilakukan operasi curl pada persamaan (6.c), akan diperoleh:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B}) \quad (7)$$

dan menggunakan vektor identitas $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}$ maka persamaan (7) menjadi

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} = \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B}) \quad (8)$$

dari persamaan (6.a) kita mendapatkan divergensi $\mathbf{E}$ adalah nol, kemudian dari persamaan (4.a) kita dapat menuliskan persamaan (8) menjadi

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (9)$$

Melalui cara yang sama, dapat kita lakukan untuk medan listrik $\mathbf{H}$, dapat diturunkan dari persamaan (6.c), dan akan diperoleh:

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (10)$$

(Griffiths, 1981)

Persamaan (9) dan (10) adalah persamaan gelombang elektromagnetik sederhana yang salah satu solusinya adalah gelombang datar monokromatik, yaitu:

$$\psi = Ae^{i(\omega t - kr)} \quad (11)$$

dengan A adalah amplitudo dan ψ merupakan komponen kartesian dari polarisasi medan listrik $\mathbf{E}$ atau polarisasi medan magnetik $\mathbf{H}$. Frekuensi sudut ω dan faktor gelombang k yang memenuhi persamaan $|k| = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$. Polarisasi medan listrik $\mathbf{E}$ tegak lurus terhadap polarisasi medan magnetik $\mathbf{H}$ yang sama-sama tegak lurus terhadap arah rambatan k .

Gelombang elektromagnetik dalam perambatannya dibedakan atas dua modus, yaitu modus gelombang TE (*Transverse Electric*) dan modus gelombang TM (*Transverse Magnetic*). Pada Modus TE, medan listrik $\mathbf{E}$ tegak lurus bidang datang, sedangkan untuk modus TM medan magnetik $\mathbf{H}$ tegak lurus bidang

datang. Medan listrik berosilasi sepanjang sumbu y sehingga komponen-komponen pada sumbu x dan z bernilai nol ($E_x = E_z = 0$). Persamaan umum dari medan listrik tersebut dapat dituliskan

$$\mathbf{E}(x, z, t) = \hat{y}E(x)e^{i(\omega t - \beta z)} \quad (12)$$

Dengan menghubungkan persamaan (6.b) dengan persamaan (4.b) kemudian disubsitusikan ke persamaan (12), diperoleh komponen-komponen medan $\mathbf{H}$ sebagai berikut

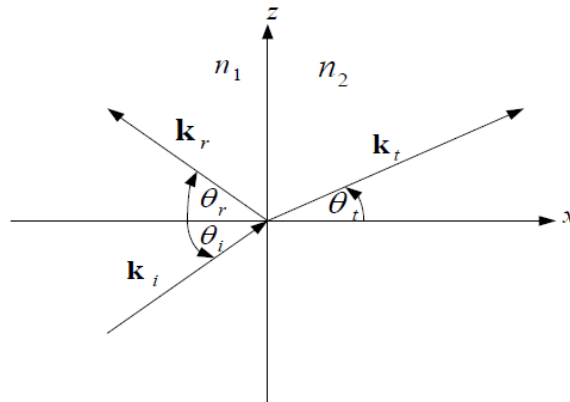
$$H_x = -\frac{\beta}{\omega\mu} \quad (13.a)$$

$$H_y = 0 \quad (13.b)$$

$$H_z = \frac{i}{\omega\mu} \frac{dE}{dx} \quad (13.c)$$

dengan ω adalah frekuensi sudut, β merupakan konstanta propagasi dan μ adalah permeabilitas relatif (Tamir, 1985:46).

C. Hukum Snellius



Gambar 4 Peristiwa Pembiasan (Virgus. 2008)

Cahaya yang merambat dari suatu medium ke medium yang lain dengan indeks bias yang berbeda akan mengalami peristiwa pembiasan dan pemantulan. Amplitudo medan listrik datang adalah $E_i e^{i(\omega t - k_i \cdot r)}$ dengan frekuensi ω dan vektor propagasi gelombang k_i . Amplitudo medan refleksi dan transmisi dapat dijabarkan berturut-turut $E_r e^{i(\omega t - k_r \cdot r)}$ dan $E_t e^{i(\omega t - k_t \cdot r)}$. Pada bidang batas di $x=0$ (lihat Gambar 4)

$$(k_i \cdot r)_{x=0} = (k_r \cdot r)_{x=0} = (k_t \cdot r)_{x=0} \quad (14)$$

Besarnya dari vektor gelombang dapat dituliskan

$$|k_i| = |k_r| = \frac{\omega}{c} n_1, \quad |k_t| = \frac{\omega}{c} n_2 \quad (15)$$

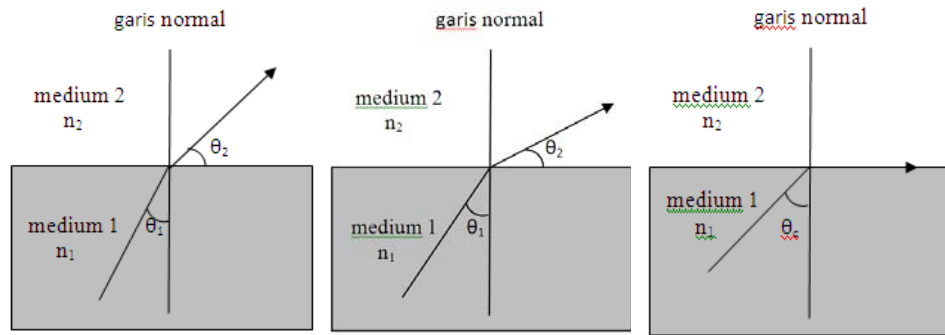
n_1 dan n_2 adalah indeks bias dari medium 1 dan 2. Dari persamaan (14) dan (15) kita dapat hubungkan menjadi

$$n_1 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r = n_2 \sin \theta_t \quad (16)$$

dimana θ_i , θ_r , dan θ_t adalah sudut datang, sudut pantul dan sudut bias terhadap garis normal. Di sini tersirat bahwa sudut pantul harus sama dengan sudut datang ($\theta_r = \theta_i$) sebagaimana hukum Snellius

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (17)$$

dengan n_1 dan n_2 masing-masing adalah indeks bias medium yang berbeda (Yeh, 1998). Dari hukum Snellius dapat kita lihat apabila $n_2 > n_1$, maka $\theta_t < \theta_i$, hal ini berarti apabila cahaya datang dari medium renggang ke medium rapat maka cahaya tersebut akan dibiaskan mendekati garis normal.



Gambar 5 Peristiwa Pembiasan dengan Sudut Datang Berbeda-Beda untuk $n_1 > n_2$

Apabila cahaya merambat dari suatu medium rapat ke medium lain yang lebih renggang, maka cahaya akan dibelokkan menjauhi garis normal. Pada suatu sudut datang tertentu, sudut bias akan 90° yaitu saat sinar bias berhimpit dengan permukaan bidang batas. Sudut datang yang menyebabkan hal ini disebut sudut kritis θ_c . Berdasarkan hukum Snellius besar sudut kritis adalah:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (18)$$

Untuk sinar dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritis, seluruh sinar akan dipantulkan dan tidak ada yang dibiaskan. Gejala ini dikenal sebagai pemantulan internal sempurna (Giancoli, 2001).

D. Teknologi Fotonik

Foton adalah partikel dasar yang bertanggung jawab untuk fenomena elektromagnet, sebagai pembawa radiasi elektromagnetik pada semua panjang gelombang, sinar gamma, sinar X, sinar ultraviolet, cahaya tampak, sinar infra merah, gelombang mikro dan gelombang radio. Foton berbeda dari partikel dasar

lainnya, seperti elektron dan quark. Foton tidak bermassa dan bergerak (dalam vakum) pada laju cahaya c . Foton memiliki sifat partikel sekaligus gelombang (dualitas gelombang partikel). Foton menunjukkan fenomena seperti gelombang, pada peristiwa pembiasan dan interferensi. Di samping itu, sebagai partikel, foton dapat berinteraksi dengan materi dan memindahkan sejumlah energi yang besarnya

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (19)$$

dimana h adalah konstanta Planck, c adalah laju cahaya, dan λ adalah panjang gelombang (Beiser, 1992).

Salah satu bidang yang mempelajari mengenai interaksi cahaya dengan materi adalah fotonik. Teknologi fotonik memberikan sumbangan yang besar bagi perkembangan teknologi komunikasi dan informasi. Fotonik sebagai pendorong untuk inovasi teknologi dan kreatif produksi devais. Teknologi fotonik telah mempengaruhi perkembangan kapasitas data pada jaringan telekomunikasi. Di samping itu, teknologi fotonik juga berperan dalam kemajuan pada bidang kesehatan, penerangan, *manufacturing*, *life science* dan bidang lainnya.

Teknologi fotonik terus berkembang hingga saat ini. Beberapa kemajuan yang didasari oleh teknologi ini adalah laser diode sebagai sumber komunikasi optik. Teknologi laser diode ini mampu mentransmisikan data dengan kecepatan

dalam orde terabit tiap detiknya. Hal ini sungguh merupakan kemajuan yang sangat menggembirakan untuk kemajuan teknologi komunikasi dunia.

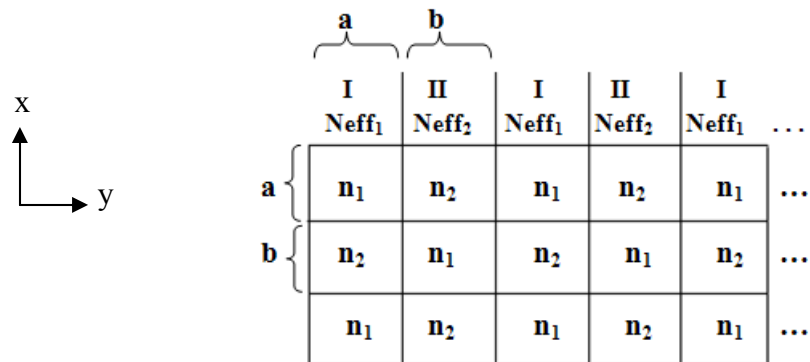
Selain itu, telah dikembangkan lampu LED (*light emitting diode*) yang berbahan dasar semikonduktor tipe III-V. Lampu LED ini menghasilkan cahaya dengan energi listrik yang dibutuhkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan bola lampu yang digunakan pada saat sekarang ini. LED merupakan perangkat keras dan padat (*solid-state component*) sehingga unggul dalam hal ketahanan (*durability*).

Selanjutnya, laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) dengan daya tinggi untuk proses pengelasan. Salah satu penggunaan laser adalah pada proses pengelasan dan pemotongan. Laser yang digunakan untuk proses ini harus memiliki daya minimal 100 watt dan panjang gelombang sekitar 1064 nanometer. Sinar laser ini beroperasi secara kontinyu, dapat memotong hampir semua bahan kalau berkas difokuskan.

Sampai saat ini teknologi fotonik masih menjadi bidang yang sangat menarik untuk dikaji. Untuk mengembangkan teknologi ini dibutuhkan banyak inovasi, baik secara teori maupun aplikasi langsung. Dalam perkembangannya teknologi ini diharapkan dapat terus memberikan kontribusi dalam hal kesejahteraan kehidupan.

E. Karakteristik Struktur Optik Periodik 2-Dimensi

Karakteristik struktur optik periodik 2-dimensi dengan indeks bias n_1 dan n_2 seperti pada Gambar 3 dapat dianalogikan seperti pada Gambar 6. Penjalaran gelombang elektromagnetik ditinjau dari dua arah yaitu arah sumbu-x dan arah sumbu-y. Analisa awal yang dilakukan adalah searah sumbu-x dengan menggunakan metode indeks bias efektif. Tinjau penjalaran gelombang menjadi beberapa daerah berdasarkan distribusi indeks biasnya dengan nilai indeks bias efektif N_{eff1} untuk daerah 1 yang mempunyai ketebalan b dan nilai indeks bias efektif N_{eff2} untuk daerah 2 yang mempunyai ketebalan a . Selanjutnya dapat ditinjau searah sumbu-y dengan formulasi matriks.



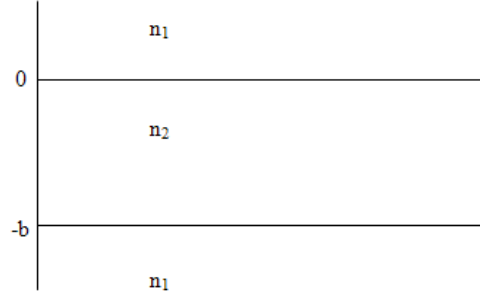
Gambar 6 Pembagian Daerah pada Struktur Optik Periodik Dua Dimensi

a. Struktur ditinjau searah sumbu-x

Apabila struktur ditinjau searah sumbu-x, maka dapat kita bagi menjadi dua daerah, yaitu:

1) Daerah Pertama

Daerah pertama, yaitu daerah penjalaran gelombang dengan ketebalan indeks bias n_2 adalah b (diperlihatkan dalam Gambar 7).



Gambar 7 Struktur Penjalaran Gelombang pada Daerah 1

Distribusi dari indeks bias pada daerah 1 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n(x) = \begin{cases} n_1 & x > 0 \\ n_2 & -b < x < 0 \\ n_1 & x < -b \end{cases} \quad (20)$$

Jika disubstitusikan persamaan (12) ke dalam persamaan (11) maka didapatkan solusi persamaan terhadap amplitudo $E(x)$ yang harus dipenuhi yaitu:

$$\left[\frac{d^2}{dx^2} + (k_1^2 - \beta_1^2) \right] E(x) = 0 \quad x > 0 \quad (21.a)$$

$$\left[\frac{d^2}{dx^2} + (k_2^2 - \beta_1^2) \right] E(x) = 0 \quad -b < x < 0 \quad (21.b)$$

$$\left[\frac{d^2}{dx^2} + (k_1^2 - \beta_1^2) \right] E(x) = 0 \quad x < -b \quad (21.c)$$

Solusi dari persamaan di (21.a), (21.b) dan (21.c) bergantung pada nilai

$(k_x^2 - \beta^2)$, yaitu:

$$(k_1^2 - \beta_1^2) < 0; (k_2^2 - \beta_1^2) > 0 \quad (22)$$

sehingga persamaan (21) dapat dituliskan menjadi :

$$E(x) = \begin{cases} C \exp(-qx) & x > 0 \\ A \sin(\gamma x) + B \cos(\gamma x) & -b < x < 0 \\ D \exp(px) & x < -b \end{cases} \quad (23)$$

dengan nilai A, B, C dan D adalah konstanta. Persamaan (23) dapat

disederhanakan dengan menerapkan batas kekontinuan E dan syarat batas $\frac{dE}{dx}$

pada bidang batas $x=0$ dan $x=-b$ sehingga menjadi :

$$E(x) = A \begin{cases} \exp(-qx) & x > 0 \\ \cos(\gamma x) - \frac{q}{\gamma} \sin(\gamma x) & -b < x < 0 \\ \left[\cos(\gamma f) + \frac{q}{\gamma} \sin(\gamma f) \right] \exp(px) & x < -b \end{cases} \quad (24)$$

Frekuensi ternormalisasi merupakan parameter ketebalan penjalaran gelombang

yang dinormalisasi terhadap panjang gelombang masukan yang dapat ditulis:

$$V_1 = kb(n_2^2 - n_1^2)^{1/2} \quad (25)$$

$$V_1 = \frac{\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_1}{1-b_1}} \right) + \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_1 + a^{TE}}{1-b_1}} \right) + m\pi}{\sqrt{1-b_1}} \quad (26)$$

Nilai indeks bias efektif dapat ditentukan dengan cara mendapatkan nilai b_1 terlebih dahulu, yaitu dengan cara mensubstitusikan persamaan (25) ke persamaan (26) pada keadaan *fundamental mode* ($m=0$).

$$kb(n_2^2 - n_1^2) = \frac{\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_1}{1-b_1}} \right) + \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_1 + a^{TE}}{1-b_1}} \right)}{\sqrt{1-b_1}} \quad (27)$$

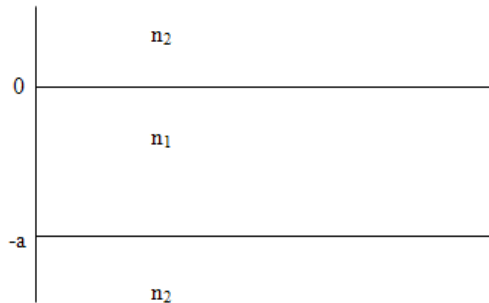
dimana $k=2\pi/\lambda$ dan b_1 adalah indeks bias ternormalisasi terhadap panjang gelombang masukan, yang memiliki nilai antara nol dan satu, dituliskan sebagai:

$$b_1 = \frac{((N_{eff1})^2 - n_1^2)}{(n_2^2 - n_1^2)} \quad (28)$$

N_{eff1} adalah parameter indeks bias efektif pada daerah 1.

2) Daerah kedua

Indeks bias efektif pada daerah 2, N_{eff2} dapat diperoleh dengan cara yang sama dengan daerah 1, akan tetapi yang membedakan adalah batas atau ketebalan dari medium n_1 . Struktur penjalaran gelombang pada daerah 2 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Struktur Penjalaran Gelombang pada Daerah 2

Profil indeks bias $n(x)$ dari Gambar 8 di definisikan sebagai berikut:

$$n(x) = \begin{cases} n_2 & x > 0 \\ n_1 & -a < x < 0 \\ n_2 & x < -a \end{cases} \quad (29)$$

dan frekuensi ternormalisasi pada daerah 2 dapat dituliskan:

$$V_2 = ka(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (30)$$

dengan menggunakan langkah-langkah yang sama pada daerah 1, dapat diturunkan persamaan frekuensi ternormalisasi V_2 dan indeks bias ternormalisasi b_2 untuk daerah 2 sebagai berikut:

$$V_2 = \frac{\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_2}{1-b_2}} \right) + \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_2 + a^{TE}}{1-b_2}} \right) + m\pi}{\sqrt{1-b_2}} \quad (31)$$

$$ka(n_1^2 - n_2^2) = \frac{\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_2}{1-b_2}} \right) + \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_2 + a^{TE}}{1-b_2}} \right)}{\sqrt{1-b_2}} \quad (32)$$

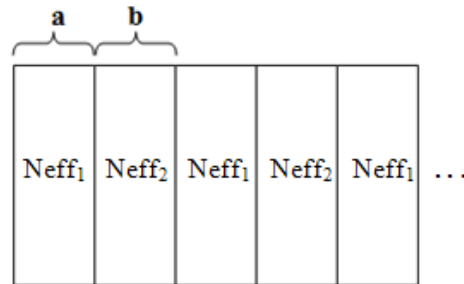
$$b_2 = \frac{((N_{eff2})^2 - n_2^2)}{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (33)$$

N_{eff2} adalah parameter indeks bias efektif pada daerah 2.

b. Struktur ditinjau searah sumbu-y

Struktur yang ditinjau searah sumbu-y juga dipandang berupa gelombang elektromagnetik dengan formulasi matriks untuk menentukan nilai

transmitansi dan reflektansi setelah didapatkan nilai indeks bias efektif kedua daerah. Seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Struktur Optik Periodik Searah Sumbu-y

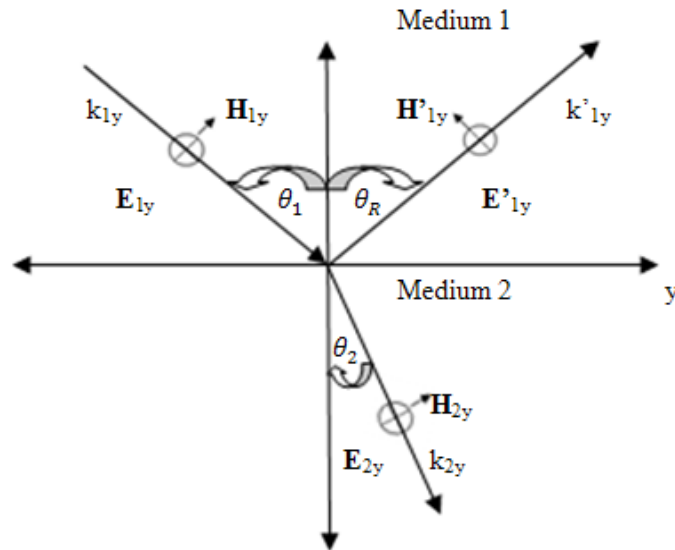
Analisis selanjutnya, dengan menggunakan formulasi matriks yang dapat dilihat pada sub-bab 8 mengenai matrik untuk perioditas lapisan.

F. Pemantulan dan Pembiasan pada Bidang Batas Dielektrik

Pemantulan dan pembiasan merupakan peristiwa yang terjadi saat gelombang menemui bidang batas antara dua medium yang berbeda sifat optiknya. Hubungan antara arah perambatan gelombang berlaku hukum Snellius untuk pemantulan. Hubungan antara amplitudo medan untuk setiap medium memenuhi hukum Fresnel (Tjia, 1993). Untuk itu ditinjau medan yang merambat dalam medium yang dapat dibedakan atas dua modulus yaitu:

1. Modus Gelombang TE

Tinjauan medan yang merambat dengan medan listrik **E** tegak lurus bidang datang atau modus TE (*Transverse Electric*) seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Vektor Propagasi pada Bidang Batas untuk Modus TE (Yeh, 1998)

Berdasarkan Gambar 10, dengan menggunakan syarat batas kontinuitas komponen tangensial medan $\mathbf{E}$ dan $\mathbf{H}$, berlaku hubungan

$$E_{1y} + E'_{1y} = E_{2y} \quad (34)$$

dan untuk $\mathbf{H}$

$$H_{1y} \cos \theta_1 + H'_{1y} \cos \theta_1 = H_{2y} \cos \theta_2 \quad (35)$$

lalu dimisalkan $Z = \frac{E}{H} = \frac{c\mu}{n}$, dimana n adalah indeks bias, persamaan (35) dapat dituliskan:

$$\frac{(E_{1y} - E'_{1y}) \cos \theta_1}{Z_1} = \frac{E_{2y} \cos \theta_2}{Z_2} \quad (36)$$

$$E_{1y} - E'_{1y} = \frac{Z_1 \cos \theta_2}{Z_2 \cos \theta_1} E_{2y} \quad (37)$$

Dari persamaan (34) dan (37) dapat dihitung koefisien refleksi dan transmisi gelombang TE.

$$\left(\frac{E'_{1y}}{E_{1y}}\right)_{TE} = \frac{Z_2 \cos \theta_1 - Z_1 \cos \theta_2}{Z_2 \cos \theta_1 + Z_1 \cos \theta_2} \quad (38)$$

$$\left(\frac{E_{2y}}{E_{1y}}\right)_{TE} = \frac{2Z_2 \cos \theta_1}{Z_2 \cos \theta_1 + Z_1 \cos \theta_2} \quad (39)$$

Sebelumnya telah digunakan hubungan $Z = \frac{E}{H} = \frac{c\mu}{n}$, jadi $Z_1 = \frac{c\mu}{n_1}$ dan $Z_2 = \frac{c\mu}{n_2}$ sehingga $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1}$. Koefisien refleksi (r) yaitu perbandingan amplitudo medan pantul dengan medan datang.

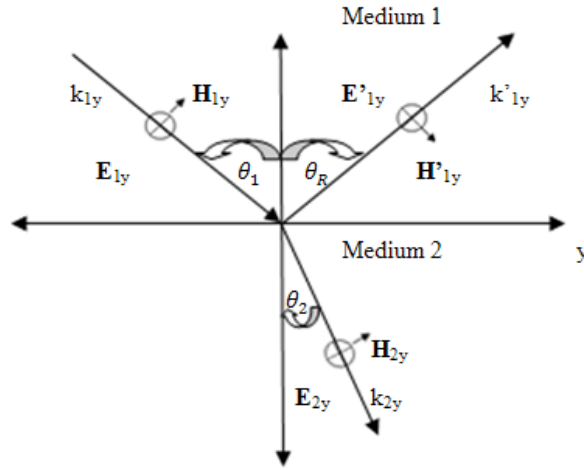
$$r_{\perp} = \frac{E'_{1y}}{E_{1y}} = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (40)$$

dan koefisien transmisi (t) yaitu perbandingan amplitudo medan bias dengan medan datang.

$$t_{\perp} = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (41)$$

2. Modus Gelombang TM

Tinjauan medan yang merambat dengan medan **H** tegak lurus bidang datang atau modus TM (*Transverse Magnetic*) seperti Gambar 11.



Gambar 11 Vektor Propagasi pada Bidang Batas untuk Modus TM (Yeh, 1998)

Dari Gambar 11, dengan menggunakan syarat kontinuitas medan **E** dan **H** pada bidang batas

$$H_{1y} - H'_{1y} = H_{2y} \quad (42)$$

$$\text{atau } \frac{(E_{1y} - E'_{1y})}{Z_1} = \frac{E_{2y}}{Z_2} \quad (43)$$

dan

$$(E_{1y} + E'_{1y})\cos\theta_1 = E_{2y}\cos\theta_2 \quad (44)$$

Dari persamaan (42) dan (44) dapat dihitung koefisien refleksi dan transmisi gelombang TM.

$$\left(\frac{E'_{1y}}{E_{1y}}\right)_{TM} = \frac{Z_2\cos\theta_1 - Z_1\cos\theta_2}{Z_2\cos\theta_1 + Z_1\cos\theta_2} \quad (45)$$

$$\left(\frac{E_{2y}}{E_{1y}}\right)_{TM} = \frac{2Z_2\cos\theta_1}{Z_2\cos\theta_1 + Z_1\cos\theta_2} \quad (46)$$

Persamaan (38), (39), (45) dan (46) adalah persamaan Fresnel.

Koefisien refleksi (r) dan koefisien transmisi (t) untuk mode TM berturut-turut sebagai berikut:

$$r_{\parallel} = \frac{E'_{1y}}{E_{1y}} = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (47)$$

$$t_{\parallel} = \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \quad (48)$$

(Yeh, 1998)

G. Reflektansi dan Transmittansi

Untuk menentukan besar energi yang dipantulkan dan dibiaskan oleh bidang batas, dihitung komponen normal rata-rata vektor pointing gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang transmisi. Reflektansi (R) dan Transmisi (T) didefinisikan sebagai:

$$R = \frac{|x\langle S'_1 \rangle|}{|x\langle S_1 \rangle|} \quad (49)$$

$$T = \frac{|x\langle S'_2 \rangle|}{|x\langle S_2 \rangle|} \quad (50)$$

Dimana $\langle \mathbf{S} \rangle$ adalah rata-rata terhadap waktu dari vektor pointing dan merupakan vektor satuan yang tegak lurus terhadap permukaan bidang batas. Dengan menghitung $\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{k_i}{2k\mu\omega} |\mathbf{E}_i|^2$ untuk gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang transmisi diperoleh: $R = |\mathbf{r}|^2$ dan

$$T = \frac{n_3 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1} |t|^2 \quad (51)$$

Selanjutnya dengan mendistribusikan harga koefisien transmisi dan koefisien refleksi untuk masing-masing modulus TE dan TM, pada persamaan (51) diperoleh $R+T=1$, berarti memenuhi hukum kekekalan energi (Yeh, 1998).

H. Matrik untuk Perioditas Lapisan

Untuk menentukan nilai Transmittansi dan Reflektansi secara matrik terlebih dahulu medan gelombang elektromagnetik dipandang berupa gelombang monokromatik yang memiliki ketergantungan periodik terhadap waktu.

$$E(r, t) = E(y) \exp i(\omega t - \beta z) \quad (52)$$

Gelombang datang dari kiri, sehingga medan $E(y)$ dapat dituliskan:

$$E(y) = \begin{cases} Pe^{-ik_1 y} + Qe^{-ik_1 y} : y < 0 \\ Re^{-ik_2 y} + Se^{-ik_2 y} : 0 < y < d \\ Ue^{-ik_3(y-d)} : d < y \end{cases} \quad (53)$$

dengan P, Q, R, S, dan U adalah konstanta serta k_1, k_2 , dan k_3 adalah vektor gelombang dalam arah-y. Selanjutnya dapat dituliskan:

$$k_{iy} = \left[\left(\frac{n_i \omega}{c} \right)^2 - \beta^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{\omega}{c} n_i \cos \theta_i \quad (54)$$

Dari persamaan (54) dapat kita tulis koefisien refleksi dan transmisi Fresnel:

$$r_{12} = \frac{k_{1y} - k_{2y}}{k_{1y} + k_{2y}} \quad (55)$$

$$r_{23} = \frac{k_{2y} - k_{3y}}{k_{2y} + k_{3y}} \quad (56)$$

dan

$$t_{12} = \frac{2k_{1y}}{k_{1y} + k_{2y}} \quad (57)$$

$$t_{23} = \frac{2k_{2y}}{k_{2y} + k_{3y}} \quad (58)$$

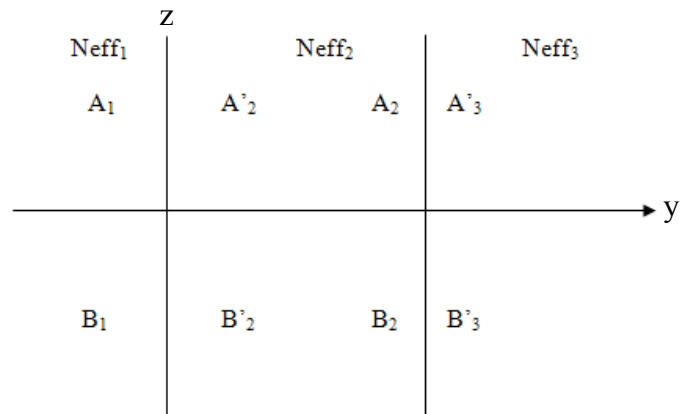
untuk modus TE

$$t \equiv \frac{U}{P} = \frac{t_{12}t_{23}e^{-i\phi}}{1 + r_{12}r_{23}e^{-i\phi}} \quad (59)$$

dan

$$r \equiv \frac{Q}{P} = \frac{r_{12}r_{23}e^{-i2\phi}}{1 + r_{12}r_{23}e^{-i2\phi}} \quad (60)$$

Matriks untuk lapisan Isotropik:



Gambar 12 Matrik Lapisan Isotropik (Yeh. 1998)

$$n(y) = \begin{cases} n_1 : & y < 0 \\ n_2 : & 0 < y < d \\ n_3 : & d < y \end{cases} \quad (61)$$

Dalam bentuk matrik hubungan antara medan pada bidang batas dapat ditulis dalam bentuk representasi amplitudo gelombang sebagai berikut:

Pada bidang batas pertama berlaku hubungan

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} \equiv D_1^{-1} D_2 \begin{pmatrix} A_2' \\ B_2' \end{pmatrix} \equiv D_{12} \begin{pmatrix} A_2' \\ B_2' \end{pmatrix} \quad (62)$$

Pada daerah kedua berlaku hubungan

$$\begin{pmatrix} A_2' \\ B_2' \end{pmatrix} = P_2 \begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{i\phi_2} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \end{pmatrix} \quad (63)$$

Pada bidang batas kedua berlaku hubungan

$$\begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \end{pmatrix} = D_2^{-1} D_3 \begin{pmatrix} A_3' \\ B_3' \end{pmatrix} = D_{23} \begin{pmatrix} A_3' \\ B_3' \end{pmatrix} \quad (64)$$

dengan $D_i = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ n_i \cos \theta_i & -n_i \cos \theta_i \end{bmatrix}$ untuk Mode TE

Untuk $i=1,2$, dan 3 serta θ adalah sudut datang D_{ij} disebut dengan matriks transmisi dari daerah i ke daerah j , dan matriks P_2 adalah matrik propagasi untuk daerah kedua. Untuk sistem dapat dituliskan hubungan antar amplitudo gelombang sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} = D_{12} P_2 D_{23} \begin{pmatrix} A_3' \\ B_3' \end{pmatrix} \text{ atau}$$

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_3' \\ B_3' \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} A_3' \\ B_3' \end{pmatrix} \quad (65)$$

Matriks **M** adalah nama matriks transformasi. Nilai transmitansi dan reflektansi secara numerik ini dapat ditentukan dengan asumsi $B_3' = 0$ atau tidak ada gelombang yang datang dari medium 3 ke medium 2, sehingga diperoleh:

$$R = |r|^2 = \left| \frac{M_{21}}{M_{11}} \right|^2 \text{ dan}$$

$$T = \frac{n_j \cos \theta_j}{n_i \cos \theta_i} |t|^2 = \frac{n_j \cos \theta_j}{n_i \cos \theta_i} \left| \frac{1}{M_{11}} \right|^2 \quad (66)$$

Untuk sistem dengan jumlah lapisan yang lebih banyak, maka rumusan pada persamaan (65) dapat diperluas dengan memperbanyak matriks yang bersangkutan. Berdasarkan persamaan (66) dapat dibuat spektrum pola transmitansi dan reflektansi dengan mengatur indeks bias medium dan lebar medium, serta perioditas (Yeh, 1998).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan:

1. Penjalaran gelombang elektromagnetik pada medium optik dapat ditelaah melalui matrik Transfer yaitu dengan melihat grafik hubungan panjang gelombang dengan Transmittansi.
2. Melalui grafik transmitansi terlihat respon karakteristik dari struktur kisi periodik 2 dimensi, terutama terdapat daerah panjang gelombang tertentu dengan panjang gelombang elektromagnetik ada yang tidak dapat diteruskan yang disebut dengan celah pita fotonik (*photonic bandgap*). Hal ini memungkinkan sebagai suatu divais penapis (*filter*) yang dipengaruhi oleh indeks bias, tebal dan jumlah lapisan kristal. Semakin besar nilai indeks bias maka daerah *bandgap* akan bergeser ke arah panjang gelombang yang panjang. Sedangkan semakin besar tebal struktur kristal, daerah *bandgap* akan bergeser ke arah yang panjang gelombangnya pendek. Jumlah lapisan tidak mempengaruhi pergeseran daerah *bandgap* tetapi pada keadaan transmisi.

B. Saran

1. Pada penelitian ini belum bisa menampilkan angka-angka iterasi dari grafik Transmittansi jadi disarankan untuk penelitian lebih lanjut dengan program yang lebih komunikatif.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut tentang fungsi penapis gelombang untuk 3 dimensi.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk modus TM (*Transverse Magnetic*).

DAFTAR PUSTAKA

- Beiser , Arthur. 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Erlangga, Jakarta.
- Giancoli, D.C. 2001. *Fisika (edisi kelima)*. Erlangga, Jakarta.
- Griffiths, D.J. 1981. *Introduction to Electrodynamics (3rd Edition)*. Printice Hall, New Jersey.
- Iskandar,A.A. 2007. *Lecture Photonic Science* Physics of Magnetism and Photonics Research Group, Institut Teknologi Bandung (tidak dipublikasikan)
- Joannopoulos, J. D., R. D. Meade, J. N. Winn. 1995, *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*. Princeton University Press.
- Lee, Donald L. 1986. *Electromagnetic Principles of Integrated Optics*. Jhon Wiley & Sons, New York.
- Nasyurda, Ricky. 2009. *Analisis Numerik Struktur Optik Linier Periodik Untuk Fungsi Penapis dari Piranti Fotonik*. Fisika FMIPA: UNP.
- Tamir, T. 1985. *Integrated Optics*. Springer-Veriag Berlin Heidelberg, New York.
- Tjia, M.O.1993, *Gelombang*. Dabara Publisher, Bandung.
- Virgus, Y. 2008. *Studies of Photonic Crystals with Plane-wave Expansion Method*. FMIPA ITB, Bandung.
- Yeh, Pochi. 1998. *Optical Waves in Layered Media*. A Wiley-Interscience Publication, New York.