

**PEMBUATAN PROGRAM APLIKASI UNTUK MENENTUKAN MODUS PANDU
GELOMBANG RAISED-STRIP DARI DEVAIS FOTONIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh

GENOV ZULMARTIN

NIM. 2006/73188

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2014

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**PEMBUATAN PROGRAM APLIKASI UNTUK MENENTUKAN MODUS
PANDU GELOMBANG *RAISED-STRIP* DARI DEVAIS FOTONIK**

Nama : Genov Zulmartin
NIM : 73188
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 28 Januari 2014

Disetujui oleh

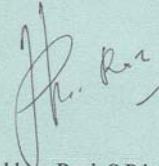
Pembimbing I



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 : Pembuatan Program Aplikasi Untuk Menentukan
Modus Pandu Gelombang *Raised-Strip* Dari Devais
Fotonik
Nama : Genov Zulmartin
NIM : 73188
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 28 Januari 2014

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

1. Ketua : Dra. Hidayati, M.Si
2. Sekretaris : Pakhrur Razi, S.Pd, M.Si
3. Anggota : Drs. H. Masril, M.Si
4. Anggota : Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si
5. Anggota : Drs. Hufri, M.Si

1. 
2. 
3. 
4. 
5. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 28 Januari 2014

Yang menyatakan,



Genov Zulmartin

ABSTRAK

Genov Zulmartin : Pembuatan Program Aplikasi Untuk Menentukan Modus Pandu Gelombang *Raised-Strip* Dari Devais Fotonik

Pada sistem optik terintegrasi (*Integrated Optic*), pandu gelombang *raised-strip* merupakan bagian dari devais fotonik yang digunakan sebagai media perambatan cahaya. Parameter-parameter fisis pandu gelombang *raised-strip* mempengaruhi modus pandu gelombang yang dapat dilewatkan pada pandu gelombang tersebut. Mengingat cukup rumitnya perhitungan – perhitungan dalam menentukan jumlah modus pandu gelombang, pada penelitian ini dilakukan analisis numerik dan membuatnya dalam suatu program aplikasi guna mempermudah penentuan modus pandu gelombang.

Penelitian yang dilakukan termasuk jenis penelitian deskriptif menggunakan pendekatan numerik. Pendekatan numerik yang digunakan adalah metoda *Bisection* yaitu suatu metoda ideal untuk mencari suatu hasil dengan menggunakan iterasi atau perhitungan berulang. Selanjutnya dengan metoda ini dirancang program menggunakan *software* Matlab 2007. yang dijalankan pada sistim operasi Windows XP

Berdasarkan penelitian yang dilakukan program dalam bentuk GUI matlab yang menampilkan kurva dispersi. Dihasilkan bahwa variasi pada parameter fisis seperti indeks bias, ketebalan dan lebal film serta panjang gelombang memberikan pengaruh terhadap jumlah modus pandu gelombang *raised-strip* dari devais fotonik. Dimana semakin besar perbedaan indeks bias yang diberikan, maka semakin banyak pula modus pandu gelombang yang dapat dilewatkan. Sebaliknya, dimana semakin kecil perbedaan indeks bias yang diberikan, maka semakin sedikit pula modus pandu gelombang yang dapat dilewatkan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul yaitu : **”Pembuatan Program Aplikasi Untuk Menentukan Modus Pandu Gelombang *Raised-Strip* Dari Devais Fotonik”**. Penulisan tugas akhir ini merupakan hasil penelitian yang disusun dalam rangka memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Ilmu Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan dan segala kemudahan dalam penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Pakhrur Razi, S.Pd. M.Si sebagai Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis.
3. Bapak Drs. Hufri, M.Si sebagai Penasehat Akademik.
4. Bapak Drs. H. Masril, M.Si, Ibu Dr. Hj. Ratna Wulan, M.Si dan Bapak Drs. Hufri, M.Si sebagai Dosen Penguji.
5. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
6. Ayahanda dan Ibunda beserta keluarga tercinta atas bimbingan, dorongan dan kasih sayang serta doa yang telah diberikan.
7. Rekan-rekan mahasiswa Fisika FMIPA UNP yang telah memberi bantuan.

8. Semua Pihak yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.

Semoga semua kebaikan yang diberikan menjadi amal ibadah dan mendapat pahala yang berlipat ganda dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat berbagai kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk kesempurnaan penulisan dimasa mendatang.

Padang, 28 Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Pertanyaan Penelitian	4
E. Tujuan Penulisan	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
A. Gelombang	6
B. Gelombang Elektromagnetik	8
C. Hukum Pembiasan Cahaya	14
D. Fotonik	16
1. Foton	16
2. Teknologi Fotonik	17

E. Pandu Gelombang.....	20
F. Pandu Gelombang <i>Raised-Strip</i>	22
G. Metoda Numerik	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
A. Jenis Penelitian.....	33
B. Tempat Penelitian	33
C. Pelaksanaan Penelitian	33
D. Instrumen Penelitian	34
E. Variabel Penelitian.....	35
F. Desain Penelitian	35
G. Analisa Data	36
H. Flowchart	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. Hasil yang Diperoleh	58
B. Pembahasan	58
BAB V PENUTUP.....	62
A. Kesimpulan	62
B. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Indeks Bias Bahan.....	39
2. Keluaran Modus Pandu Gelombang Pada Variasi Parameter.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Geometri Pandu Gelombang.....	3
2. Gelombang Merambat pada Tali dengan Amplitudo Tetap	7
3. Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	9
4. Peristiwa pembiasan dari air ke udara	15
5. Pemantulan total pada padu gelombang dielektrik	21
6. Struktur pandu gelombang <i>raised-strip</i>	23
7. Struktur Pandu Gelombang <i>raised-strip</i> searah sumbu-x	23
8. Struktur Pandu Gelombang <i>raised-strip</i> searah sumbu-y.....	27
9. Modus pada struktur pandu gelombang <i>raised-strip</i>	29
10. Flowchart Menentukan Indeks Bias Efektif	36
11. Flowchart Menentukan Modus Pandu Gelombang.....	37
12. Grafik Keluaran Jumlah modus Pandu Gelombang <i>Raised-Strip</i> dengan Variasi Indeks Bias.....	39
13. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias GaAlAs	41
14. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias <i>Sputtered Glass</i>	42
15. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias <i>Outdifused</i> LiNbO ₃	42
16. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Substrat GaAlAs	44
17. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Substrat Sampel A.....	44
18. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Substrat Sampel B.....	45
19. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Substrat Sampel C.....	45
20. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Film <i>Sputtered Glass</i>	47

21. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Film Sampel A	47
22. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Film Sampel B	48
23. Grafik Keluaran Modus Indeks Bias Film Sampel C	48
24. Grafik Keluaran Modus Ketebalan film (0.4 μm)	50
25. Grafik Keluaran Modus Ketebalan film (0.8 μm)	50
26. Grafik Keluaran Modus Ketebalan film (1.0 μm)	51
27. Grafik Keluaran Modus Ketebalan film (2.0 μm)	51
28. Grafik Keluaran Modus Lebar film (1.0 μm)	53
29. Grafik Keluaran Modus Lebar film (2.0 μm)	53
30. Grafik Keluaran Modus Lebar film (3.0 μm)	54
31. Grafik Keluaran Modus Lebar film (5.0 μm)	54
32. Grafik Keluaran Modus Panjang Gelombang (1.0 μm).....	56
33. Grafik Keluaran Modus Panjang Gelombang (2.0 μm).....	56
34. Grafik Keluaran Modus Panjang Gelombang (3.0 μm).....	57
35. Grafik Keluaran Modus Panjang Gelombang (5.0 μm)	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Penyelesaian Persamaan	65
2. Sumber <i>Source Code</i> Program Aplikasi Menentukan Modus Pandu Gelombang <i>Raised-strip</i>	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi sekarang ini telah banyak menunjukkan kemajuan yang luar biasa. Banyak hal dari sektor kehidupan yang telah menggunakan keberadaan dari teknologi itu sendiri. Kehadirannya telah memberikan dampak yang cukup besar terhadap kehidupan umat manusia dalam berbagai aspek dan dimensi. Demikian pula halnya dengan teknologi komunikasi yang merupakan peralatan perangkat keras dalam struktur organisasi yang mengandung nilai sosial yang memungkinkan individu untuk mengumpulkan, memproses dan saling tukar informasi.

Keadaan ini karena sebuah teknologi mampu merubah sesuatu yang belum tentu dapat dilakukan menjadi sebuah kenyataan. Misalnya, kalau dahulu orang tidak dapat berbicara dengan orang lain yang berada di suatu tempat yang berjarak jauh, maka setelah adanya telepon orang dapat berbicara tanpa batas dan jarak waktu. Inilah awal ditemukannya berbagai perangkat sederhana, mulai dari telepon, yang berbasis analog, maju dan berkembang terus hingga muncul berbagai perangkat elektronik lainnya. Teknologi komunikasi yang telah ada merupakan sebuah jawaban dari adanya perkembangan zaman, hal ini terjadi karena semakin berkembang maju sebuah peradaban manusia.

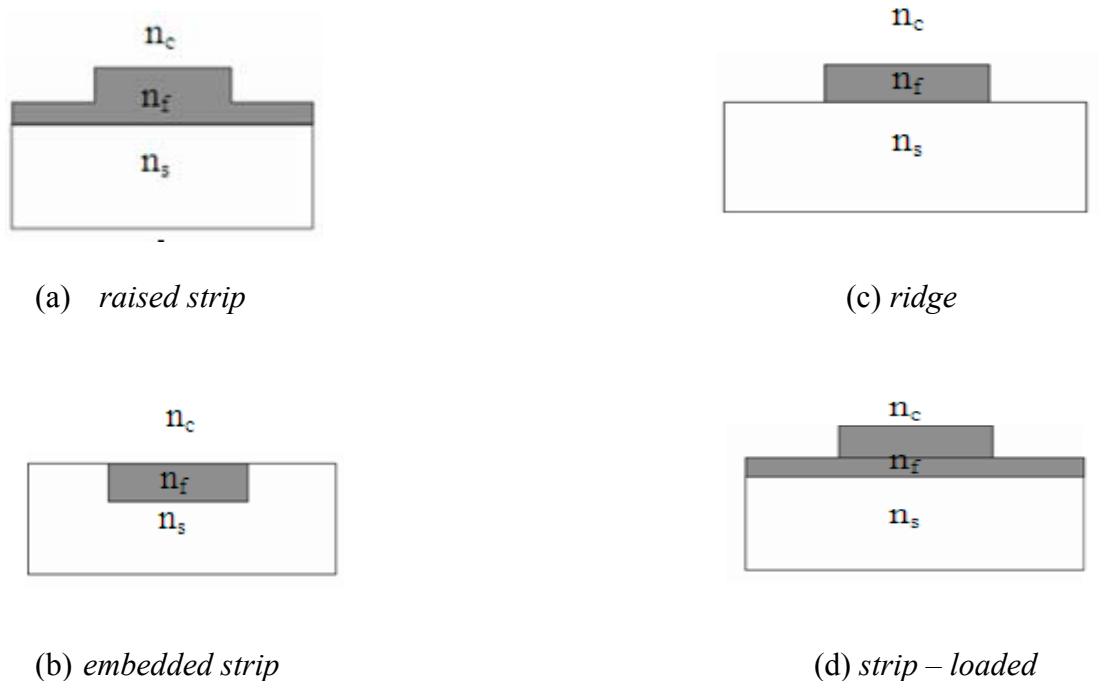
Teknologi informasi didefinisikan sebagai teknologi pengolahan dan penyebaran data menggunakan perangkat keras, perangkat lunak, komputer, komunikasi, dan elektronik digital. Teknologi Informasi dan Komunikasi merupakan elemen penting

dalam kehidupan berbangsa dan bernegara. Peranan teknologi informasi pada aktivitas manusia pada saat ini memang besar. Walaupun demikian keterbatasan juga menghampiri teknologi informasi.

Adanya keterbatasan tersebut tidak selalu berdampak buruk, khususnya pada perkembangan di bidang telekomunikasi karena mendorong lahirnya teknologi-teknologi terbaru. Meski selama berabad-abad cahaya telah menjadi alat penting dalam perkembangan teknologi, baru pada era 50-an setelah ditemukan transistor dan laser, manusia mulai melihat bahwa cahaya yang koheren dari laser mempunyai potensi aplikasi yang luar biasa untuk diterapkan dalam bidang komunikasi, pengolahan informasi, pengobatan, kedokteran, pengukuran, pengolahan material, pertahanan militer, dan lain sebagainya. Dipicu oleh penemuan laser dan potensinya tersebut, orang mulai tergoda untuk mengganti teknologi elektronik dengan teknologi optik atau fotonik.

Fotonik adalah bidang yang mengkaji interaksi cahaya dengan materi yang merupakan teknologi kunci abad 21. Hubungan antara fotonik dan nanoteknologi sangat erat sekali. Teknologi fotonik berperan sangat vital bagi pengembangan teknologi komunikasi dan informasi, penerangan, *manufacturing*, *life science* dan kesehatan (Novotny L., Hecht B. , 2006). Fotonik sebagai pendorong untuk inovasi teknologi dan kreatif produksi devais. Teknologi fotonik telah mempengaruhi perkembangan kapasitas data pada jaringan telekomunikasi. Teknologi ini berkembang cepat sekali, sehingga untuk menjaga kondisi tersebut dibutuhkan suatu industri yang kokoh. Dalam kehidupan sehari-hari tanpa sadar manusia telah memanfaatkan fotonik, seperti halnya penggunaan handphone, CD, Laser, dan lain-lain

Penelitian di bidang fotonik terbagi dalam dua wilayah, pertama yang berhubungan dengan karakteristik optik bahan dan kedua tentang struktur geometri dan piranti. Secara umum struktur pandu gelombang terdiri dari tiga lapisan material yang tersusun secara berlapis, dimana sebuah film tipis atau dielektrik dengan ketebalan h , tebal tepi film f , lebar a dan indeks bias n_f terletak antara lapisan penutup (*cover*) dengan indeks bias n_c dan sebuah substrat dengan indeks bias n_s yang nilainya lebih kecil ($n_f > n_s \geq n_c$). Struktur geometri pandu gelombang terdiri dari beberapa jenis, yaitu: *raised strip*, *embedded strip*, *ridge guide* dan *strip-loaded guide* dan lain sebagainya



Gambar 1. Struktur Geometri Pandu Gelombang

(Tamir, 1975)

Dalam penelitian ini, penulis membatasi hanya pada fungsi pandu gelombang pada struktur geometri *raised-strip*. Penulis bervariasi parameter-parameter fisis pandu gelombang seperti ketebalan dielektrik film, lebar film, indeks bias, indeks cover,

indeks substrat, panjang gelombang dan interaksinya dengan gelombang elektromagnetik serta melihat modus yang bisa dilewatkan pada pandu gelombang tersebut. Hubungan parameter-parameter ini lebih mudah dianalisis dan diperlihatkan dalam suatu program aplikasi menggunakan software matlab. Berdasarkan hal alasan inilah penulis mengangkat judul yaitu “*Pembuatan Program Aplikasi untuk Menentukan Modus pandu gelombang raised-strip dari devis fotonik*”.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan dapat dirumuskan permasalahan penelitian yaitu apakah program aplikasi yang dibuat untuk menentukan jumlah modus pandu gelombang *raised-strip*?

C. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini dibahas struktur pandu gelombang *raised-strip*, yaitu melihat modus-modus pandu gelombang yang dapat dilewatkan dengan variasi parameter-parameter fisis pandu gelombang seperti tebal film, lebar film, panjang gelombang dan indeks bias.

D. Pertanyaan Penelitian

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

1. Bagaimana hubungan antara parameter-parameter fisis pada struktur pandu gelombang *raised-strip* dari devis fotonik?

2. Berapa jumlah modus yang dapat dilewatkan dengan bervariasi parameter-parameter fisis struktur pandu gelombang *raised-strip*?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui karakteristik dan hubungan antara parameter-parameter pada struktur pandu gelombang *raised-strip* dari devais fotonik.
2. Menentukan jumlah modus pandu gelombang *raised-strip* dari devais fotonik berdasarkan variasi parameter yang dilakukan?

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Peningkatan pemahaman ilmu fisika yang berkaitan dengan gelombang elektromagnetik dalam kaitanya dengan pandu gelombang piranti fotonik.
2. Menambah program aplikasi ilmu fisika dalam bidang teknologi fotonik.
3. Sebagai Dasar untuk mengatasi permasalahan dalam bidang informasi dan telekomunikasi yang sedang terkendala dengan keterbatasan devais berbasis elektronik.
4. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program strata satu di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Gelombang

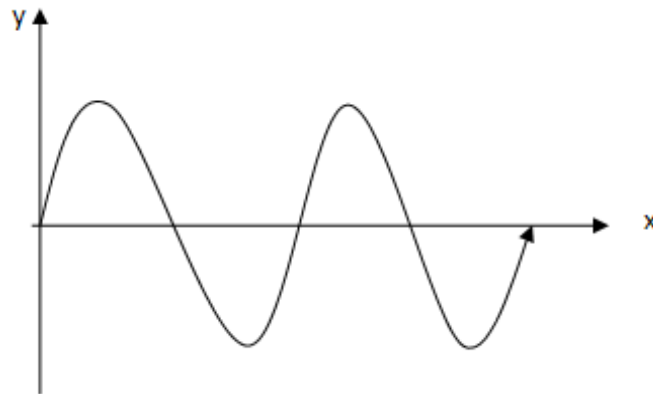
Gelombang adalah getaran yang merambat. Bentuk ideal dari suatu gelombang akan mengikuti gerak sinusoide. Selain radiasi elektromagnetik, dan mungkin radiasi gravitasional, yang bisa berjalan lewat vakum, gelombang juga terdapat pada medium (yang karena perubahan bentuk dapat menghasilkan gaya pemulih yang lentur) di mana mereka dapat berjalan dan dapat memindahkan energi dari satu tempat kepada lain tanpa mengakibatkan partikel medium berpindah secara permanen. Terkait dengan arah getar dan arah rambatnya, gelombang dibagi menjadi dua kelompok, gelombang transversal dan gelombang longitudinal.

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang memiliki arah getaran yang sama dengan arah rambatan. Artinya arah gerakan medium gelombang sama atau berlawanan arah dengan perambatan gelombang. Gelombang longitudinal mekanis juga disebut sebagai gelombang mampatan atau gelombang kompresi. Contoh-contoh gelombang longitudinal adalah gelombang suara dan gelombang-P seismik yang disebabkan oleh gempa dan ledakan. Persamaan Maxwell mengindikasikan gelombang elektromagnetik berbentuk gelombang transversal dalam ruang hampa, namun gelombang elektromagnetik dalam medium plasma bisa berbentuk transversal, longitudinal, atau campuran keduanya.

Gelombang transversal arah rambatnya tegak lurus 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.

Bentuk gelombang secara umum dapat digambarkan dengan grafik y sebagai fungsi dari x, seperti Gambar 2:



Gambar 2. Gelombang Merambat Pada Tali Dengan Amplitudo Tetap

Persamaan umum gelombang memenuhi bentuk :

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

dengan Ψ adalah fungsi gelombang 1 dimensi yang dinyatakan dalam posisi z dan waktu t (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.

penyelesaian persamaan (1) dapat berupa gelombang harmonis seperti berikut

$$\Psi(x,t) = A \sin(kx \pm \omega t + \varphi) \quad (2)$$

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

B. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium (Bob Foster, 2000). Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu: panjang gelombang/wavelength, frekuensi, amplitudo, kecepatan. Amplitudo adalah simpangan maximum gelombang.

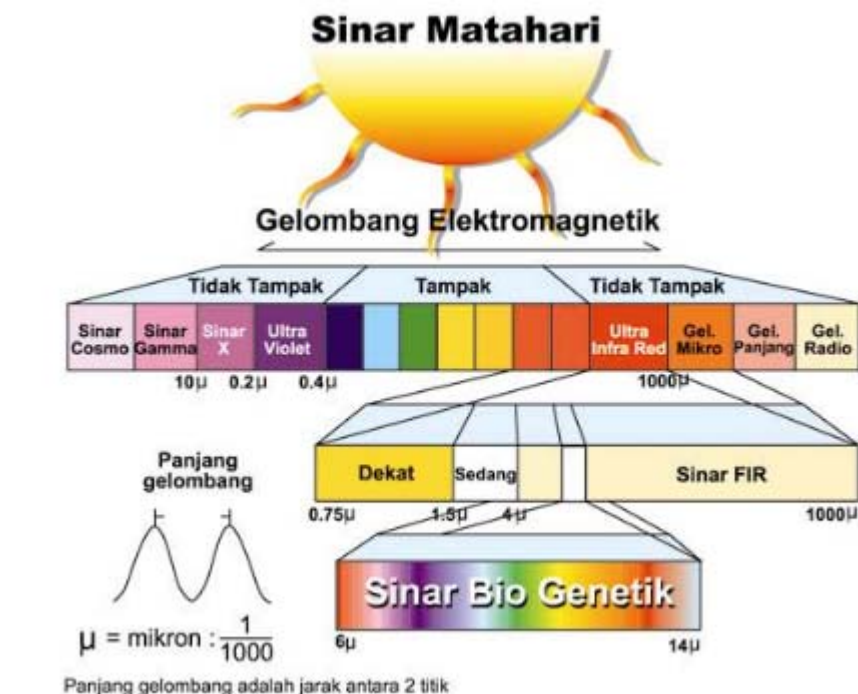
Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal yang gangguannya berupa medan listrik E dan medan magnet B saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus arah rambat gelombang. Karena gangguan gelombang elektromagnetik adalah medan listrik dan medan magnetik maka gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam vakum. Semua jenis gelombang elektromagnetik merambat dalam vakum dengan kecepatan sama yaitu $c = 3 \times 10^8$ m/s yang disebut dengan tetapan umum.

Susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya disebut spektrum elektromagnetik. Gambar spectrum elektromagnetik di bawah disusun berdasarkan panjang gelombang (diukur dalam satuan m) mencakup kisaran energi yang sangat rendah, dengan panjang gelombang tinggi dan frekuensi rendah, seperti gelombang radio sampai ke energi yang sangat tinggi, dengan panjang gelombang rendah dan frekuensi tinggi seperti radiasi X-ray dan Gamma Ray.

Gelombang elektromagnetik memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang tanpa medium
2. Gelombang Elektromagnetik merupakan gelombang transversal.
3. Gelombang elektromagnetik tidak memiliki muatan listrik sehingga bergerak lurus dalam medan magnet maupun medan listrik.
4. Gelombang elektromagnetik dapat mengalami pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), perpaduan (interferensi), pelenturan (difraksi), pengutuban (polarisasi).
5. Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi secara bersamaan, sehingga medan listrik dan medan magnet sefase dan berbanding lurus.

Gelombang elektromagnetik memiliki beberapa spektrum. spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat dari gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Spektrum Gelombang Elektromagnetik.

(Giancoli, 2001)

Spektrum gelombang elektromagnetik dapat dijelaskan sebagai berikut di bawah ini (Bob Foster, 2000) :

1. Gelombang radio merupakan gelombang yang memiliki frekuensi paling kecil atau panjang gelombang paling panjang. Gelombang radio berada dalam rentang frekuensi yang luas meliputi beberapa Hz sampai gigahertz. Gelombang ini dihasilkan oleh alat-alat elektronik berupa rangkaian osilator (variasi dan gabungan dari komponen Resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C)). Oleh karena itu, gelombang radio banyak digunakan dalam sistem telekomunikasi. Siaran TV, radio, dan jaringan telepon seluler menggunakan gelombang dalam rentang gelombang radio ini.
2. Gelombang mikro (mikrowaves) adalah gelombang radio dengan frekuensi paling tinggi yaitu diatas 3 GHz. Jika gelombang mikro diserap oleh sebuah benda, maka akan muncul efek pemanasan pada benda itu. Jika makanan menyerap radiasi gelombang mikro, maka makanan menjadi panas dalam selang waktu yang sangat singkat
3. Sinar inframerah meliputi daerah frekuensi 10¹¹Hz sampai 10¹⁴ Hz atau daerah panjang gelombang 10⁻⁴ cm sampai 10⁻¹ cm. jika kamu memeriksa spektrum yang dihasilkan oleh sebuah lampu pijar dengan detektor yang dihubungkan pada miliampermeter, maka jarum ampermeter sedikit diatas ujung spektrum merah. Sinar yang tidak dilihat tetapi dapat dideteksi di atas spektrum merah itu disebut radiasi inframerah
4. Cahaya tampak sebagai radiasi elektromagnetik yang paling dikenal oleh kita dapat didefinisikan sebagai bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata manusia. Panjang gelombang tampak variasi tergantung

warnanya mulai dari panjang gelombang kira-kira 4×10^{-7} m untuk cahaya violet (ungu) sampai 7×10^{-7} m untuk cahaya merah

5. Sinar ultraviolet mempunyai frekuensi dalam daerah 10^{15} Hz sampai 10^{16} Hz atau dalam daerah panjang gelombang 10^{-8} m 10^{-7} m. gelombang ini dihasilkan oleh atom dan molekul dalam nyala listrik. Matahari adalah sumber utama yang memancarkan sinar ultraviolet dipermukaan bumi, lapisan ozon yang ada dalam lapisan atas atmosferlah yang berfungsi menyerap sinar ultraviolet dan meneruskan sinar ultraviolet yang tidak membahayakan kehidupan makhluk hidup di bumi.
6. Sinar X mempunyai frekuensi antara 10^{16} Hz sampai 10^{18} Hz . Panjang gelombangnya sangat pendek yaitu 10^{-8} cm sampai 10^{-9} cm. meskipun seperti itu tapi sinar X mempunyai daya tembus kuat, dapat menembus buku tebal, beberapa kayu tebal dll. Sinar gamma mempunyai frekuensi antara 10^{18} Hz sampai 10^{20} Hz.

Semua permasalahan makroskopik elektromagnetik dapat dianalisa menggunakan persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell 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

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (3.a)$$

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

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

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (3.d)$$

Pada persamaan di atas $\mathbf{H}$ dan $\mathbf{E}$ adalah medan magnet dan medan listrik. $\mathbf{D}$ dan $\mathbf{B}$ adalah rapat fluks listrik dan rapat fluks magnet. Sedangkan ρ dan J menyatakan rapat muatan dan rapat arus listrik (Griffiths, 1981). Untuk mendapatkan solusi persamaan Maxwell, kita perlu menyatakan hubungan antara $\mathbf{B}$ dan $\mathbf{H}$ serta antara $\mathbf{D}$ dan $\mathbf{E}$. Hubungan ini dinyatakan dengan persamaan yang bergantung pada karakteristik material, dimana gelombang tersebut merambat. 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 $\mathbf{P}$ dan $\mathbf{M}$ masing-masing adalah polarisasi listrik dan polarisasi magnetik. Konstanta ϵ_0 adalah nilai permitivitas dalam vakum sebesar $8,854 \times 10^{-12}$ F/m dan μ_0 merupakan permeabilitas dalam vakum dengan nilai $4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

Dalam medium optik digunakan beberapa asumsi diantaranya ruang vakum, medium dielektrik tanpa sumber ($J=0$ dan $\rho=0$) dan respon bahan bersifat isotropik. Dengan asumsi ini selanjutnya dilakukan operasi curl pada persamaan (3.d), akan diperoleh

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

dan menggunakan vektor identitas $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H}$

maka persamaan (5) menjadi

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H} = \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{D}) \quad (6)$$

dari persamaan (3.b) kita mendapatkan divergensi H adalah nol, kemudian dari persamaan (4.b)

kita dapat menuliskan persamaan (6) menjadi

$$\nabla^2 H - \mu s \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0 \quad (7)$$

Melalui cara yang sama, dapat kita lakukan untuk medan listrik E . sehingga, dari persamaan (3.c) akan diperoleh

$$\nabla^2 E - \mu s \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad (8)$$

persamaan (7) dan (8) adalah persamaan gelombang elektromagnetik sederhana yang salah satu sololusinya adalah gelombang datar monokromatik, yaitu

$$\Psi = A e^{i(\omega t - k r)} \quad (9)$$

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

Gelombang elektromagnetik dalam perambatanya dibedakan atas dua modus, yaitu modus gelombang TE (*Transverse Electric*) dan modus gelombang TM (*Transverse Magnetic*). Pada Modus TE, medan listrik E tegak lurus bidang datang. Sedangkan untuk modus TM medan magnetik H tegak lurus bidang datang.

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

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

dengan menghubungkan persamaan (3.b) dengan persamaan (4.b) kemudian disubsitusikan persamaan (12) diperoleh komponen-komponen medan H sebagai berikut

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

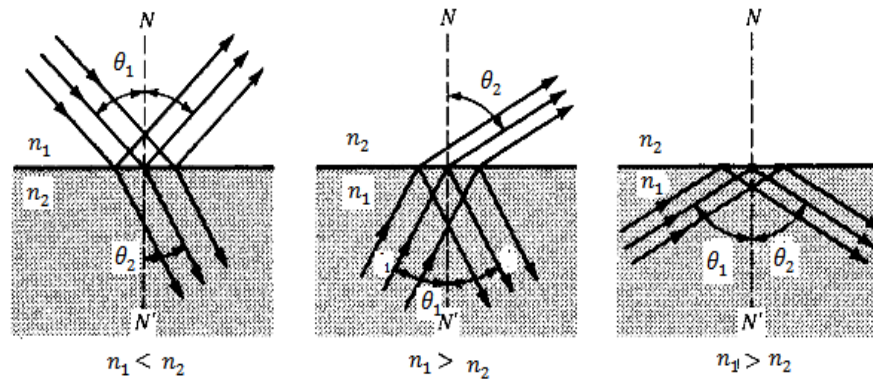
$$H_y = 0 \quad (13.b)$$

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

dengan ω adalah frekuensi sudut, β merupakan konstanta propagasi dan μ adalah permeabilitas relatif.

C. Hukum Pembiasan Cahaya

Cahaya biasanya tampak sebagai sekelompok sinar-sinar cahaya atau juga berkas cahaya. Perhatikan cahaya matahari yang masuk melalui celah kecil ke dalam ruangan gelap, atau jalannya sinar dari proyektor bioskop atau lampu sorot di panggung pertunjukan. Akan terlihat bahwa cahaya merambat menurut garis lurus berupa sinar cahaya. Jika suatu sinar cahaya jatuh pada permukaan benda lalu dibalikkan, kita sebut pemantulan. Selain pemantulan cahaya juga bisa dibiaskan yang disebut dengan pembiasan. Pembiasan cahaya terjadi karena dalam zat antara medium yang berbeda, besarnya cepat rambat cahaya juga berbeda.



Gambar 4. Peristiwa Pembiasan dari Medium 1 ke Medium 2

Pada Gambar 4 memperlihatkan sinar yang merambat dari medium 1 ke medium 2. Sudut (θ_1) adalah sudut datang, dan sudut (θ_2) adalah sudut bias. Sehingga pembiasan dapat dinyatakan sebagai berikut sinar datang dari medium yang kurang rapat ke medium yang lebih rapat dibiaskan mendekati normal (Bob Foster, 2000). Hukum pembiasan didapatkan dengan percobaan oleh Willebrord Snell (1580-1626) dan diturunkan dengan menggunakan teori korpuskuler cahaya oleh Rene Descartes (1593-1650). Hukum Snellius dengan bentuk matematis sebagai berikut (Bob Foster, 2000).

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (14)$$

dengan n_1 dan n_2 masing-masing adalah indeks bias medium yang berbeda. Berdasarkan hukum Snell dapat kita lihat apabila $n_2 > n_1$, maka $\theta_2 < \theta_1$, hal ini berarti apabila cahaya datang dari medium renggang ke medium rapat maka cahaya tersebut akan dibiaskan mendekati garis normal.

Pemantulan total terjadi jika sinar datang dari medium lebih rapat menuju medium kurang rapat, maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Jika sudut sinar datang kita perbesar, maka sudut bias akan makin besar pula. Suatu saat, sudut bias akan sama dengan 90° . Hal ini berarti sinar dibiaskan sejajar dengan bidang antar medium. Jika

sudut sinar datang kita perbesar lagi, maka sinar datang tidak lagi dibiaskan, akan tetapi dipantulkan. Peristiwa ini yang kita sebut dengan pemantulan total atau pemantulan sempurna. Sinar datang dengan sudut θ_1 akan dibiaskan dengan sudut bias θ_2 . Jika sudut sinar datang diperbesar sampai $\theta_1 = \theta_2$, maka sinar akan dibiaskan sejajar dengan permukaan medium 1 (karena sudut datang θ_1 menghasilkan sudut bias 90° , maka θ_1 disebut sudut batas). Jika sudut sinar datang lebih besar daripada sudut batas, maka sinar akan dipantulkan seluruhnya oleh permukaan medium 1 kembali ke dalam medium 1.

D. Fotonik

1. Foton

Foton adalah partikel dasar yang bertanggung jawab untuk fenomena elektromagnetik, 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 memiliki sifat partikel sekaligus gelombang (dualisme gelombang partikel). Foton menunjukkan fenomena sifat seperti gelombang pada peristiwa pembiasan dan interferensi.

Sebagai gelombang, satu foton tunggal tersebar diseluruh ruang hampa dan menunjukkan fenomena seperti pembiasan oleh lensa. Disamping Itu, foton bersifat sebagai partikel dengan berinteraksi dengan materi. Interaksi ini memindahkan sejumlah energi yang besarnya

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (15)$$

dimana h adalah konstanta Planck, c adalah laju cahaya, dan λ adalah panjang gelombang.

Foton awalnya dinamakan kuantum cahaya oleh Albert Einstein (1905), sifat fisis foton tidak bermassa tidak memiliki muatan listrik dan tidak meluruh secara spontan di ruang hampa. Sebuah foton memiliki dua keadaan polarisasi yang dimungkinkan dan dapat dideskripsikan dengan tiga parameter kontinu yaitu komponen-komponen vektor gelombang, panjang gelombangnya dan arah perambatannya. Salah satu bidang yang mempelajari mengenai interaksi cahaya dengan materi adalah fotonik.

2. Teknologi Fotonik

Fotonik adalah ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menghasilkan dan mengendalikan foton. Ilmu Fotonik termasuk emisi, transmisi, manipulasi, deteksi dan pemanfaatan cahaya. Fotonik adalah salah satu teknologi kunci yang paling penting bagi dunia di abad ke-21. Industri Fotonik memainkan peran penting seperti informasi dan komunikasi, pencahayaan dan manufaktur, keamanan, ruang dan pertahanan, ilmu kehidupan dan kesehatan.

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. Disamping itu, teknologi fotonik juga berperan dalam kemajuan pada bidang kesehatan, penerangan, dan bidang lainnya. Teknologi fotonik terus berkembang hingga saat ini. Beberapa

kemajuan yang didasari oleh teknologi ini adalah sebagai berikut (Agus Rubianto. 2008) :

- a. **Laser diode sebagai sumber komunikasi optik.** Teknolgi laser diode mampu mentransmisikan data dengan kecepatan dalam orde terabit tiap detik. Selain itu, telah dikembangkan lampu LED (*light emitting diode*) yang berbahan dasar semikonduktor tipe III-V. Lampu LED ini menghasilkan cahaya dan energi listrik yang dibutuhkan jauh lebih kecil di bandingkan bola lampu yang digunakan saat sekarang.
- b. **Pengembangan lampu LED yang menghemat energi.** Lampu LED menghasilkan cahaya dari perubahan arus listrik dengan energi yang dibutuhkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan bola lampu. Spektrum yang dihasilkan oleh LED adalah spektrum kontinu dari inframerah sampai dengan ultraviolet. Dalam beberapa tahun mendatang, bola lampu akan diganti dengan LED yang hemat energi dan memiliki waktu hidup yang cukup lama.
- c. **Sumber Cahaya UV untuk Sterilisasi Air.** Cahaya ultra violet memiliki energi yang cukup tinggi dan dapat digunakan untuk membunuh kuman-kuman atau bakteri. Spektrum cahaya ultra violet terletak antara panjang gelombang 100 sampai dengan 280 nanometer dapat digunakan untuk sterilisasi air minum. Bakteri dan virus akan menyerap energi cahaya, energinya bertambah, dan akhirnya ikatannya putus sehingga tidak dapat berkembang biak. Untuk sterilisasi air minum dibutuhkan cahaya yang memiliki panjang gelombang 265 nanometer dan 280 nanometer.

- d. **Laser dengan Daya Tinggi untuk Proses Pengelasan dengan Presisi yang Tinggi.** Salah satu penggunaan penting laser adalah untuk pengelasan dan pemotongan. Laser yang digunakan untuk memotong harus memiliki daya minimal 100 Watt dengan panjang gelombang terletak 1064 nanometer. Untuk menghasilkan laser dengan daya yang tinggi dibutuhkan material semikonduktor dengan dimensi yang kecil, sehingga dapat dengan mudah dibawa ke beberapa tempat. Laser ini beroperasi secara kontinyu, dapat memotong hampir semua bahan kalau berkas difokuskan Diode ultra violet menghasilkan cahaya dengan panjang gelombang terletak antara 210 sampai dengan 400 nanometer.
- e. **Quantum optik untuk pengamanan data.** Pengamanan data dengan memanfaatkan foton di masa mendatang bukan sesuatu yang tidak mungkin. Foton memiliki dimensi yang begitu kecil dan tentu saja tidak dapat diuraikan lagi. Untuk dapat mengirim foton dibutuhkan sebuah laser diode dengan daya tertentu secara pulsa hasilnya disebut sebagai *quantum dot*. *Quantum Information Science* akan mendorong pengembangan inovasi dan teknologi baru sebagaimana *quantum computers*, *quantum materials*, *quantum cryptography*, *quantum simulations* dan *quantum algorithms*. Eksperimen quantum bersifat penelitian multidisiplin.

Beberapa fungsi dari teknologi fotonik adalah pemandu gelombang (*guiding*), penapis gelombang (*filtering*), dan penggandeng gelombang (*coupling*). Fungsi penapis berfungsi sebagai *filtering* data-data yang ditransmisikan, fungsi pemandu gelombang adalah memandu data-data dan lainnya sehingga dapat mempercepat transmisi data. Fungsi – fungsi ini terus dikembangkan dalam rangka meningkatkan

teknologi yang memudahkan manusia. Untuk mengembangkan teknologi ini dibutuhkan banyak inovasi, baik secara teori maupun aplikasi langsung.

E. Pandu Gelombang

Pandu gelombang adalah sebuah medium yang digunakan untuk memandu gelombang, seperti gelombang elektromagnetik atau gelombang suara (Tamir, 1975). Pandu gelombang yang digunakan berbeda-beda disesuaikan dengan jenis gelombang yang akan dipandu. Pandu gelombang yang asli dan yang paling umum digunakan adalah pipa berongga yang terbuat dari logam yang konduktif yang digunakan untuk membawa gelombang radio berfrekuensi tinggi khususnya gelombang mikro (microwaves). Pandu gelombang memiliki bentuk geometri yang berbeda-beda yang dapat menahan energy dalam satu dimensi seperti pandu gelombang yang berbentuk lempeng (slab waveguide) atau dalam dua dimensi seperti dalam fiber atau channel waveguide. Selain itu, pandu gelombang yang berbeda digunakan untuk memandu gelombang dengan frekuensi yang berbeda-beda; contohnya fiber optic digunakan untuk memandu cahaya (frekuensi tinggi) dan tidak memandu gelombang mikro yang memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan cahaya tampak. Sebuah aturan yang harus diingat adalah lebar dari pandu gelombang harus memiliki orde yang sama dengan besar dari panjang gelombang yang akan dipandu. Terdapat beberapa struktur dalam yang bertindak sebagai pandu gelombang; contohnya sebuah lapisan di lautan yang dapat memandu suara paus dalam jarak yang sangat jauh.

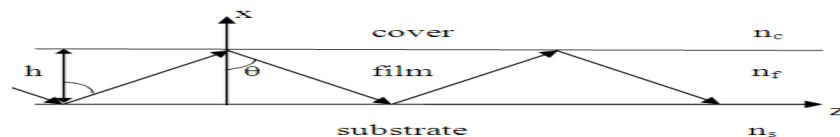
Pandu gelombang terdiri dari tiga lapisan yaitu cover, film dan substrat. Struktur yang digunakan dalam pandu gelombang adalah struktu dielektrik. Struktur

dielektrik terdiri dari 2 atau lebih bahan semikonduktor yang berbeda. Pandu gelombang dielektrik adalah struktur yang digunakan untuk membatasi dan memandu cahaya di dalam devais pandu gelombang dan sirkuit optic terpadu (V.Ramaswamy.1973)

Menurut Tamir (1975), pandu gelombang dielektrik adalah struktur yang digunakan untuk membatasi dan memandu cahaya didalam devais pandu gelombang dan sirkuit pandu gelombang. Pandu gelombang yang digunakan dalam sstruktur optic terpadu adalah struktur planal seperti film dan strip yang terletak diantara cover dan substrat.

Gelombang elektromagnetik yang merambat dalam suatu dielektrik, biasanya berupa film tipis, dapat dikontrol dengan menggunakan parameter-parameter optik dan geometrisnya. Pandu gelombang dielektrik biasanya digunakan dalam memandu cahaya pada devais *integrated optics*.

Pandu gelombang pada prinsipnya adalah pemantulan total yang terjadi pada dua medium yang berbeda. Pemantulan total akan terjadi apabila sudut datang lebih besar dari sudut kritis ($\theta > \theta_c$). Fenomena ini terjadi bila gelombang datang dari medium rapat ke medium yang renggang sehingga terjadi pemantulan total di sepanjang struktur pandu gelombang. Syarat untuk terjadinya pemantulan total adalah indeks biasnya $n_f > n_f \geq n_s$. Pemantulan total dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 5. Pemantulan total pada padu gelombang dielektrik (Tamir.1975)

Gelombang-gelombang dalam ruang terbuka dipropagasikan ke semua arah, seperti gelombang sferis (bola). Dengan cara ini, mereka akan kehilangan energinya sebanding dengan kuadrat jaraknya; oleh karena itu pada jarak R dari sumber besar energinya adalah energi sumber dibagi dengan R^2 . Pandu gelombang menahan gelombang untuk dipropagasikan dalam satu dimensi, sehingga dalam kondisi ideal gelombang tidak akan kehilangan energinya selama dipropagasikan.

Sinar yang dikurung dan dibatasi dalam film, propagasinya berupa zig-zag. Gelombang yang mengalami pemantulan total adalah gelombang monokromatik dan koheren dengan frekuensi sudut ω , dan panjang gelombang bebas λ dan merambat dengan sebuah vector gelombang k pada arah gelombang normal. Untuk mengetahui pengaruh parameter indeks bias, ketebalan plat dan panjang gelombang terhadap pandu gelombang dapat dihitung dari perubahan fase. Perubahan fase terjadi untuk film dengan cover sebesar ϕ_{21} , dan untuk film dengan substrat sebesar ϕ_{23} . Total pergeseran fase selama menempuh satu panjang lintasan optik adalah sama dengan kelipatan bulat dari 2π . Bentuk persamaan untuk keadaan ini :

$$-2yl + \phi_{21} + \phi_{23} = -2m\pi \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (16)$$

Dan m merupakan bilangan bulat yang menyatakan number mode. Banyak modus yang dapat dilewatkan pada struktur pandu gelombang bergantung pada ketebalan plat (l) dan panjang gelombang (λ) yang dituliskan dengan hubungan $\frac{a}{\lambda}$.

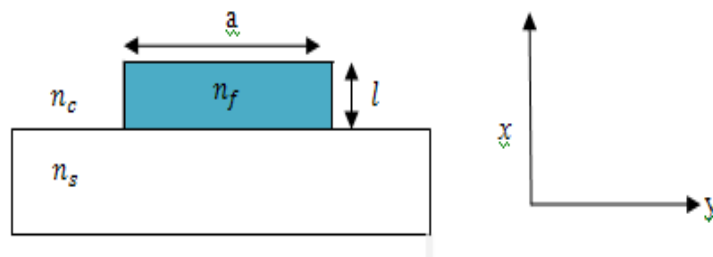
F. Pandu Gelombang *Raised- Strip*

Pada dasarnya pandu gelombang hanya membatasi agar cahaya tetap berjalan pada bagian dielektrik atau bagian film. Hal ini hanya akan terpenuhi apabila indeks bias

elektrik film (n_f) lebih besar dari indeks bias cover (n_c) dan indeks bias Subtrat (n_s).

Pandu gelombang planar adalah pandu gelombang yang indeks bias cover dan indeks bias subtratnya berukuran sama. Pandu gelombang planar (slab) ditinjau dari satu arah saja yaitu sumbu-x sedangkan pandu gelombang *raised-strip* penjalaran gelombang elektromagnetiknya ditinjau dari dua arah yaitu sumbu-x, Setelah itu kita tinjau kembali dengan sumbu-y.

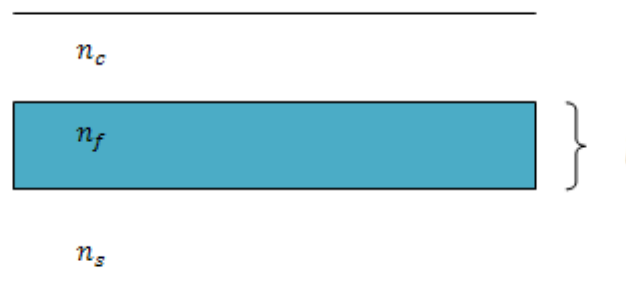
dibawah ini merupakan struktur pandu gelombang *raised-strip*.



Gambar 6. Struktur Pandu Gelombang *Raised-strip*.

1. Struktur ditinjau searah sumbu-x

Apabila struktur pandu gelombang *raised-strip* ditinjau searah sumbu-x, maka akan didapatkan bentuk struktur yang simetris seperti dibawah ini :



Gambar 7. Struktur Pandu Gelombang *Raised-strip* Searah Sumbu-x

Berdasarkan pada solusi persamaan (12), maka persamaan gelombang elektromagnetik yang berosilasi searah sumbu-x dapat dinyatakan persamaan dalam bentuk persamaan differensial.

Bentuk persamaan differensial :

$$\left[\frac{\partial^2 E(x)}{\partial x^2} + (k^2 n^2 - \beta^2) \right] E(x) = 0 \quad (17)$$

Berdasarkan penyelesaian persamaan (17) dapat ditulis menjadi persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial^2 E(x)}{\partial x^2} + (k^2 n_c^2 - \beta^2) \right] E(x) &= 0 & x \geq l \\ \left[\frac{\partial^2 E(x)}{\partial x^2} + (k^2 n_f^2 - \beta^2) \right] E(x) &= 0 & 0 < x < l \\ \left[\frac{\partial^2 E(x)}{\partial x^2} + (k^2 n_s^2 - \beta^2) \right] E(x) &= 0 & x \leq 0 \end{aligned} \quad (18)$$

keadaan ini akan terpenuhi apabila nilai $(k^2 - \beta^2)$ adalah :

$$(k^2 n_c^2 - \beta^2) < 0; (k^2 n_f^2 - \beta^2) > 0; (k^2 n_s^2 - \beta^2) < 0$$

Persamaan (18) diinginkan untuk pandu gelombang *raised-strip* adalah berupa modus terpandu. Untuk mendapatkan modus terpandu terdapat beberapa syarat yaitu osilasi atau penjalaran transversal terjadi dalam film dan gelombang meluruh secara eksponensial pada lapisan substrat dan cover, serta amplitude medan harus bernilai nol pada $x = \pm \infty$. Berdasarkan syarat tersebut, solusi persamaan (18) untuk modus pandu gelombang dapat dituliskan :

$$E(x) \begin{cases} C \exp(-qx) & x \geq l \\ A \sin(\gamma x) + B \cos(\gamma x) & 0 < x < l \\ D \exp(-px) & x \leq 0 \end{cases} \quad (19)$$

dengan A, B, C, dan D adalah konstanta

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{k_f^2 - \beta^2} & p &= \sqrt{\beta^2 - k_s^2} \\ q &= \sqrt{\beta^2 - k_s^2} & \beta &= kN_{eff} \end{aligned}$$

Penerapan syarat batas kekontinuan E pada persamaan (19) akan mendapatkan suatu hubungan (Lampiran I).

Syarat batas kekontinuan seperti dibawah ini :

$$E(x) = A \begin{cases} \exp(-qx) & x \geq l \\ \cos(\gamma x) - \frac{q}{\gamma} \sin(\gamma x) & 0 < x < l \\ [\cos(-\gamma x) + \frac{q}{\gamma} \sin(\gamma l)] \exp(p(x+l)) & x \leq 0 \end{cases} \quad (20)$$

Kombinasi dari parameter- parameter pandu gelombang *raised-strip* akan menghasilkan besar-besaran baru yaitu sebagai berikut :

a. Derajat asimetrisitas

$$\alpha^{TE} = \frac{n_s^2 - n_g^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad (21)$$

Parameter α^{TE} Disebut derajat asimetrisitas, dimana semakin besar α berarti tidak simetris suatu pandu gelombang dan apabila indeks bias subtract sama dengan ineks bias film maka $\alpha^{TE} = 0$

b. Ketebalan Ternormalisasi

Ketebalan ternormalisasi merupakan parameter ketebalan pandu gelombang yang dinormalisasi terhadap panjang gelombang masukan yang dapat ditulis:

$$V = kl(n_f^2 - n_s^2)^{1/2} \quad (22)$$

c. Indeks Bias Ternormalisasi.

$$b = \frac{(n_{eff}^2 - n_s^2)}{(n_f^2 - n_s^2)} \quad (23)$$

Parameter b disebut indeks bias ternormalisasi yang memiliki rentangan nilai dari nol sampai satu. Selanjutnya, modulus gelombang yang dilewatkan dalam pandu gelombang dipengaruhi oleh faktor indeks bias.

Substitusikan persamaan (23) ke persamaan (18), sehingga diperoleh suatu persamaan seperti dibawah ini.

$$V_m = \frac{\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{b}{1-b}}\right) + \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{b|a^{TE}|}{1-b}}\right) + m\pi}{\sqrt{1-b_1}} \quad (24)$$

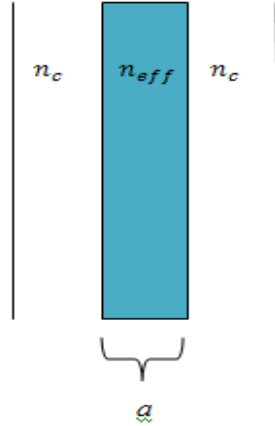
d. Metode indeks bias efektif

Dengan menggunakan metode indeks bias efektif, maka akan memudahkan dalam menganalisa modulus yang terpandu pada pandu gelombang pada *raised-strip*. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan indeks bias efektif adalah

$$n_{eff}^2 = n_s^2 + b(n_f^2 - n_s^2) \quad (25)$$

2. Struktur ditinjau searah sumbu-y

Untuk menganalisis pandu gelombang *raised-strip*. Maka akan didapatkan struktur pandu gelombang yang simetris. Berdasarkan metode indeks bias efektif, maka indeks bias film dapat dinyatakan sebagai indeks bias efektif.



Gambar 8. Struktur Pandu Gelombang *Raised-strip* Searah Sumbu-y.

Dari struktur ini persamaan gelombang yang berosilasi searah sumbu-y berdasarkan penyelesaian persamaannya adalah persamaan dalam bentuk persamaan differensial :

$$\left[\frac{\partial^2 E(y)}{\partial (y)^2} + (k^2 n^2 - \beta^2) \right] E(y) = 0 \quad (26)$$

maka penyelesaian persamaan (26) dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial^2 E(y)}{\partial (y)^2} + (k^2 n_c^2 - \beta^2) \right] E(y) &= 0 & y \leq 0 \\ \left[\frac{\partial^2 E(y)}{\partial (y)^2} + (k^2 n_{eff}^2 - \beta^2) \right] E(y) &= 0 & 0 \leq y \leq a \\ \left[\frac{\partial^2 E(y)}{\partial (y)^2} + (k^2 n_c^2 - \beta^2) \right] E(y) &= 0 & a \leq y \end{aligned} \quad (27)$$

keadaan ini akan terpenuhi apabila nilai $(k^2 - \beta^2)$ adalah :

$$(k^2 n_c^2 - \beta^2) < 0; (k^2 n_{eff}^2 - \beta^2) > 0; (k^2 n_c^2 - \beta^2) < 0$$

Maka dari penjelasan sebelumnya yaitu syarat fisis yang harus dipenuhi maka solusi persamaan (27).
seperti dibawah ini :

$$E(y) = \begin{cases} E \exp(-tx) & y \leq 0 \\ F \sin(ax) + G \cos(ax) & 0 < y < a \\ H \exp(rx) & a \leq y \end{cases} \quad (28)$$

dengan E, F, G, dan H adalah konstanta

$$\gamma = \sqrt{k_{eff}^2 - \beta^2} \quad t = r = \sqrt{\beta^2 - k_c^2}$$

$$\beta = k N_{eff}$$

dan persamaan (28) menjadi

$$E(x) = A \begin{cases} \exp(-tx) & y \leq 0 \\ \cos(ax) - \frac{t}{a} \sin(ax) & 0 < y < a \\ \left[\cos(-rx) + \frac{t}{a} \sin(ax) \right] \exp(r(y+a)) & a \leq y \end{cases} \quad (29)$$

Setelah pandu gelombang *raised-strip* searah sumbu-y., maka terbentuklah suatu struktur yang simetris berarti derajat asimetrisitasnya $a^{TE} = 0$, sehingga persamaan terakhir menjadi :

$$V_s = \frac{\tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_s}{1-b_s}} \right) + \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b_s + a_s^{TE}}{1-b_s}} \right) + m\pi}{\sqrt{1-b_s}} \quad (30)$$

dimana indeks bias ternormalisasi adalah :

$$b_s = \frac{((N_s)^2 - N_c^2)}{(N_{eff}^2 - N_c^2)} \quad (31)$$

pemakai lebar struktur a maka untuk menentukan indeks modus yang dapat dilewati pada struktur pandu gelombang *raised-strip*.

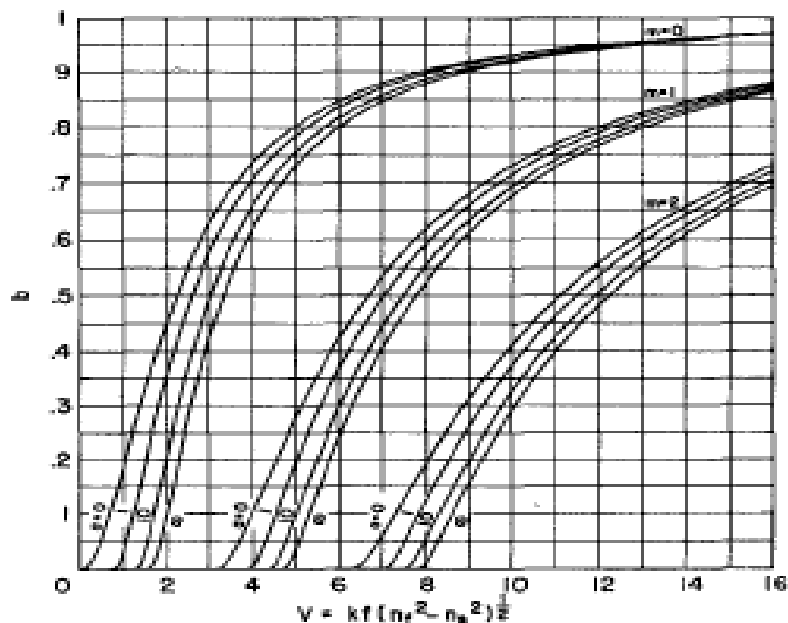
dapat digunakan persamaan dibawah ini :

$$m = 2a/\lambda(n_{eff}^2 - n_s^2)^{1/2} \quad (31)$$

sehingga jumlah modus yang dapat dilewatkan paa pandu gelombang *raised-strip* adalah

$$N = 1 + m \quad (32)$$

Berdasarkan persamaan (32) ,maka dapat dilihat bahwa jumlah modus yang dapat terpandu didalam struktur pandu gelombang *raised-strip* tergantung kepada lebar w , indeks bias efektif dan indeks bias substrat. Dengan mensubstitusikan persamaan (32) ke kedalam persamaan (30), maka dapat diplot grafik yang menghubungkan indeks bias ternormalisasi (b) terhada ketebalan ternormalisasi (V). Grafik ini berfungsi untuk melihatkan profil keluaran modus pandu gelombang pada struktur pandu gelombang *raised-strip*.



Gambar 9. Modus Pada Struktur Pandu Gelombang *Raised-strip*
(Herwig Kongerlix, 1975.)

Gambar 9 merupakan grafik keluaran modus pandu gelombang pada struktur *raised-strip* dengan ketebalan struktur (l) sama dengan lebar struktur (a). indeks bias cover, film dan substrat.

Pada penelitian ini yang dilakukan adalah merancang sebuah program yang untuk menentukan grafik keluaran modus yang dapat dilewatkan pada struktur pandu gelombang *raised-strip*, sehingga dapat diketahui parameter-parameter yang dapat mempengaruhi keluaran modus pandu gelombang pada struktur *raised-strip*. Sehingga dapat diketahui hubungan antara parameter-parameter pandu gelombang.

G. Metoda Numerik

Metoda numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah *metode bisection*. Metode Bisection atau disebut juga dengan metode bagi dua merupakan salah satu jenis

metode pencarian instrumental dimana selang/range selalu dibagi dua atau membagi range menjadi 2 bagian. Metode ini ideal untuk mencari suatu hasil dengan menggunakan iterasi atau perhitungan berulang. Ide awal metode ini adalah metode table, dimana suatu area dibagi menjadi N bagian. Pada Metode Bisection ini jika suatu fungsi berubah tanda pada suatu selang, maka nilai fungsi dihitung pada titik tengah, kemudian lokasi akar ditentukan sebagai titik tengah selang bagian terjadinya perubahan tanda.

Pada metoda bisection, nilai $f(x)$ akan berubah tanda, berbeda pada kedua sisi akar. Secara umum, jika $f(x)$ real dan kontinu pada interval antara x_l sampai x_u , dan $f(x_l)$ dan $f(x_u)$ berlawanan tanda, maka

$$f(x_l)f(x_u) < 0 \quad (33)$$

dan sekurang-kurangnya ada satu akar pada interval itu.

Dalam Menggunakan metoda bisection diperlukan beberapa langkah, agar memudahkan dalam mencari penyelesaian persamaannya.

Berikut langkah-langkah komputasi aktual dengan metode bagi dua:

Langkah 1: Tentukan nilai awal x_l yang lebih rendah dan x_u yang lebih tinggi,

sehingga fungsi berubah tanda melalui interval. Ini bisa dicek

dengan menghitung $f(x_l)f(x_u) < 0$.

Langkah 2: Estimasi akar x_r , yang ditentukan oleh :

$$x_r = \frac{x_l + x_u}{2} \quad (34)$$

Langkah 3: Lakukan evaluasi berikut untuk menentukan interval akar:

(a) Jika $f(x_l)f(x_r) < 0$ berarti akar pada sub-interval bawah(x_l, x_r),

kemudian set $x_u = x_r$ dan kembali lakukan langkah 2

(b) ' $f(x_l)f(x_r) > 0$ berarti akar pada sub-interval atas(x_u, x_r),

kemudian set $x_l = x_r$ dan kembali lakukan langkah 2

(c) Jika $f(x_l)f(x_r) = 0$ akarnya adalah x_r , perhitungan dihentikan.

Dengan metode ini ditentukan titik tengah interval, dan interval akan dibagi menjadi dua sub-interval, yang salah satunya pasti mengandung akar. Berikutnya yang ditinjau adalah sub-interval yang mengandung akar. Proses diulangi dengan membagi sub-interval tersebut dan memeriksa separo sub-interval mana yang mengandung akar. Pembagiduaan sub-sub interval ini dilanjutkan sampai lebar interval yang ditinjau cukup kecil. Kriteria penghentian komputasi dan kesalahan estimasi pendekatan, adalah bijaksana untuk selalu disertakan didalam setiap kasus pencarian akar. Kesalahan relatif e_r cukup representatif untuk kasus dimana nilai akar sebenarnya telah diketahui.

Pada situasi aktual biasanya nilai akar sebenarnya tidak diketahui, sehingga diperlukan kesalahan relatif pendekatan, e_{ra} , yaitu:

$$e_{ra} = \left| \frac{x_r^{baru} - x_r^{lama}}{x_r^{baru}} \right| 100 \% \quad (35)$$

Pada penelitian kali ini persamaan yang digunakan dalam metoda numerik adalah persamaan (24).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan.

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Program yang dirancang untuk melihatkan profil keluaran modus pandu gelombang *raised-strip* dari devais fotonik sesuai dengan teori yang ada.
2. Parameter – parameter fisis pada pandu gelombang *raised-strip* memberikan dampak yang signifikan pada jumlah modus yang dilewatkan pada pandu gelombang tersebut. Dimana hubungan antara parameter fisis seperti indeks bias substrat dan indeks bias film tersebut mempengaruhi berapa banyak modus pandu gelombang yang dilewatkan. Semakin besar perbedaan indeks bias, semakin banyak jumlah modus pandu gelombang yang dilewatkan.. Parameter fisis lainnya seperti ketebalan dan lebar film tidak memberikan pengaruh signifikan pada jumlah modus pandu gelombang. Sedangkan parameter fisis pada panjang gelombang berbanding terbalik dengan perbedaan indeks bias, dimana semakin besar panjang gelombang diberikan maka jumlah modus pandu gelombang yang dilewatkan semakin sedikit.
3. Jumlah modus yang dapat dilewatkan pada pandu gelombang *raised-strip* dapat diatur sesuai kebutuhan dengan cara memvariasikan nilai dari parameter-parameter fisis pandu gelombang.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan, maka penelitian ini perlu ditinjau dan dikembangkan lebih lanjut. Oleh sebab itu peneliti menyarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan bahasa pemograman yang lain sehingga memberikan program aplikasi pandu gelombang yang lebih baik dan lebih menarik pada penampilan programnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Berry, John Nantha. 1994. *Design fabrication, modeling, and optical characterization of organic polymer nonlinier directional coupler*. Ohia : Air force Institute of Tecnology.DESIGN.
- Giancoli, D. C. 2001. *Fisika (edisi kelima)*. Jakarta.:Elangga.
- Foster, Bob. 2000. *Fisika SMU*. Jakarta :Elangga.
- Lee, Donald L. 1986. *Elektromagnetic principles of Integrated Optics*. John Willey & Sons, New York.
- Kongerlix, Herwig. 1975. *An Introduction to Integrated Optics* . Vol. MTT-23, No 1 january 19, New York.
- Martinez, Alejandro. *Fundamental of optical integrated waveguides*. University politecnica de valecia.
- Marchand, Patrick. 2003. *Graphic and GUIs with Matlab*. Chapman and Hall/CRC, New York.
- Novotny L., Hecht B. (2006), *Principles of Nano Optics*, New York: Cambridge University Press.
- Ramas wamy.V.1987. Raised-loade film waveguide. The Bell System Technical Journal Vol 53. /rinted in USA
- Sugiharto, Aris. 2006. *Pemrograman GUI dengan Matlab*. C.V Andi Offset. Yogyakarta.
- Tamir, T. 1975. *Integrated Optics*. Springer-Veriag Berlin Heidelberg, New York.
- Tjia, M. O. 1994. *Gelombang*. Dapara Publisher, Bandung.
- Virgus, Y. 2008. *Studies of Photonic Crystals with Plane-wave Expansion Method*. Newyork.