



**KARAKTERISTIK PANDU GELOMBANG *Y-BRANCH*  
DENGAN *TAPER* DAN *CLADDING* BAHAN TAK LINIER  
UNTUK GERBANG LOGIKA X-OR**

**SKRIPSI**

Oleh  
**JA'FAR HELMI**  
**NIM 071810201016**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**KARAKTERISTIK PANDU GELOMBANG *Y-BRANCH*  
DENGAN *TAPER* DAN *CLADDING* BAHAN TAK LINIER  
UNTUK GERBANG LOGIKA X-OR**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Ilmu Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**JA'FAR HELMI  
NIM 071810201016**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Nur Nunung dan Ayahanda Moch. Toha, atas doa, nasehat, dukungan, kesabaran, pengorbanan serta curahan kasih sayang yang telah diberikan selama ini;
2. Kakakku, Bagir dan Adik-adikku, Musa dan Banun, yang telah mendoakan, memberikan kasih sayang dan semangat untuk kehidupanku;
3. Guru dan dosenku, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh ketulusan dan kesabaran;
4. Sahabat-sahabatku Rezkie, Ade, Aji, Mas Wawan, Farah, Melandi, serta teman-teman laboratorium komputasi, yang telah memberikan bantuan, kasih sayang, perhatian, dorongan semangat, dan dukungan doa.;
5. Teman-teman Jurusan Fisika 2007, terima kasih atas kebersamaan kita selama ini dalam senang, susah, maupun sedih, dan perjuangannya bersama-sama;
6. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

## MOTTO

Tugas kita bukanlah untuk berhasil. Tugas kita adalah untuk mencoba, karena di dalam mencoba itulah kita menemukan dan belajar membangun kesempatan untuk berhasil.

(Mario Teguh)<sup>1</sup>

Jenius adalah 1 % inspirasi dan 99 % keringat. Tidak ada yang dapat menggantikan kerja keras.

(Ananda)<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Teguh, Mario. 2011, 25 September. *Mario Teguh Golden Ways* [TV]. Jakarta: Metro TV

<sup>2</sup> Ananda. 2012. <http://ananda-7.blogspot.com/2012/08/kumpulan-contoh-kata-motto-skripsi.html#ixzz2HLSXdp8F>

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ja'far Helmi

NIM : 071810201016

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakteristik Pandu Gelombang *Y-Branch* dengan *Taper* dan *Cladding* Bahan Tak Linier untuk Gerbang Logika X-OR” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Mei 2013

Yang menyatakan,

Ja'far Helmi

NIM 071810201016

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK PANDU GELOMBANG *Y-BRANCH*  
DENGAN *TAPER* DAN *CLADDING* BAHAN TAK LINIER  
UNTUK GERBANG LOGIKA X-OR**

Oleh

Ja'far Helmi

NIM 071810201016

Pembimbing

Dosen Pembimbing I : Mutmainnah, S.Si, M.Si

Dosen Pembimbing II : Ir. Misto, M.Si

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Karakteristik Pandu Gelombang *Y-Branch* dengan *Taper* dan *Cladding* Bahan Tak Linier untuk Gerbang Logika X-OR” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat :

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Mutmainnah, S.Si, M.Si  
NIP 197005101997022001

Ir. Misto, M.Si  
NIP 195911211991031002

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc, Ph.D  
NIP 19620311 198702 1 001

Dra. Arry Yuariatun Nurhayati  
NIP 19610909 198601 2 001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas MIPA,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D  
NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

**Karakteristik Pandu Gelombang Y-Branch dengan *Taper* dan *Cladding* Bahan Tak Linier untuk Gerbang Logika X-OR;** Ja'far Helmi, 071810201016; 2007; 31 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Semakin pesatnya perkembangan ilmu dan teknologi maka diperlukan sistem pengiriman data yang lebih baik. Sistem pengiriman data yang baik saat ini menggunakan sistem komunikasi optik, sistem komunikasi optik menggunakan model device pandu gelombang optik menggunakan bahan tak linier dapat diaplikasikan untuk switching fotonik yang ultra cepat yang memungkinkan untuk dihasilkan suatu gerbang logika tertentu seperti X-OR. Karena ukuran device pandu gelombang sangat kecil hingga bersekala micro, maka perlu dilakukan simulasi terlebih dahulu sehingga mendapatkan hasil yang maksimal sebelum memasuki proses fabrikasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pandu gelombang Y-Branch miring kiri dengan sisipan bahan tak linier di *taper* dan *cladding* untuk gerbang logika X-OR.

Penelitian ini menggunakan metode FDBPM yang lebih handal dan memiliki runtime lebih cepat dari pada metode sebelumnya yaitu FFT (Fast Fourier Transform) dan Finite Elemen. Metode ini telah dibuktikan oleh beberapa peneliti yaitu Chung, Dagli, Huang, Pramodo dan Endarko.

Pada hasil simulasi numerik menggunakan FDBPM dan variasi parameter mulai dari sudut kemiringan, panjang larik, dan syarat batas untuk penjalaran gelombangnya didapatkan daya luaran sebesar 0,38 W/m untuk logika 1 1, daya luaran sebesar 4,0 W/m untuk logika 1 0 dan 0 1. Data yang dihasilkan dalam penelitian ini sesuai dengan tabel kebenaran gerbang logika X-OR.

Untuk hasil on-off dari struktur pandu gelombang Y-Branch logika X-OR menunjukkan harga 4,0 W/m untuk luaran 1 dan besar daya 0,38 W/m untuk luaran 0. Dari hasil ini kita dapat melihat *port* 3 sebagai luaran yang menunjukkan karakteristik dari gerbang logika X-OR.



## PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Pandu Gelombang Y-Branch dengan taper dan cladding bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Mutmainnah, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama, Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah memberikan bimbingannya dalam menyusun skripsi ini;
2. Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc, Ph.D, selaku Dosen Penguji I dan Dra. Arry Yuariatun Nurhayati selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas segala masukan, kritikan, dan saran yang telah diberikan bagi penyusunan skripsi ini;
3. Mutmainnah, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan motivasi;
4. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., yang telah membantu dalam penginstalan FreeBSD dan membantu memecahkan permasalahan mengenai FreeBSD;
5. Rekan kerja Heri, Melandi, Farah, Rezkie, dan teman-teman komputasi yang lainnya;
6. Semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Dengan demikian penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Mei 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Pandu Gelombang</b> .....	5
<b>2.2 Persamaan Maxwell</b> .....	6
<b>2.3 Bahan Tak Linier</b> .....	10
<b>2.4 Teori <i>Y-Branch</i></b> .....	11
<b>2.5 Gerbang Logika</b> .....	13
<b>2.6 <i>Finite Difference Beam Propagation Method (FDBPM)</i></b> .....	16
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>	
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	19
<b>3.2 Prosedur Penelitian</b> .....	19
<b>3.3 Prosedur Perancangan</b> .....	21

3.3.1 Perancangan Struktur Pandu Gelombang <i>Y-Branch</i> .....	22
3.3.2 Perancangan Struktur Pandu Gelombang <i>Y-Branch</i> dengan <i>Tapper</i> dan <i>Cladding</i> Tak Linier untuk Gerbang X-OR .....	23
<b>3.4 Simulasi Numerik dan Analisis</b> .....	25
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>4.1 Hasil</b> .....	26
4.1.1 Parameter Struktur Pandu Gelombang .....	26
4.1.2 Grafik Hubungan Daya Masukan dan Luaran .....	26
4.1.3 Penjalaran Gelombang untuk Gerbang Logika X-OR .....	28
<b>4.2 Pembahasan</b> .....	30
<b>BAB 5. KESIMPULAN</b>	
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	33
<b>5.2 Saran</b> .....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Nilai koefisien tak linier beberapa bahan bersama respon panjang gelombang ..... 11	11
2.2 Gerbang logika digital ..... 16	16
4.1 Parameter struktur pandu gelombang <i>Y-Branch</i> miring kiri ..... 26	26
4.2 Hasil <i>on-off</i> dari stuktur pandu gelombang gerbang logika X-OR ..... 31	31

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gelombang elektromagnetik yang merambat di udara .....	7
2.2 Kombinasi interferensi dari dua mode terpandu pada titik percabangan	12
2.3 Simbol gerbang OR .....	14
2.4 Simbol gerbang NOT .....	14
2.5 Simbol gerbang NOR .....	14
2.6 Simbol gerbang X-OR .....	15
2.7 Simbol gerbang X-NOR .....	15
2.8 Penyamplangan <i>device</i> pada metode FDBPM .....	17
3.1 Diagram alir penelitian .....	20
3.2 Struktur pandu gelombang <i>Y-Branch</i> .....	22
3.3 Struktur pandu gelombang <i>Y-Branch</i> dengan <i>taper</i> dan <i>cladding</i> bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR .....	24
4.1 Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan untuk logika 1-1	27
4.2 Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan untuk logika 1-0	27
4.3 Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan untuk logika 0-1	28
4.4 Penjalaran gelombang dengan daya masukan <i>port 1 = port 2 = 6,5 W/m</i>	29
4.5 Penjalaran gelombang dengan daya masukan <i>port 1 = 6,5 W/m</i> .....	29
4.6 Penjalaran gelombang dengan daya masukan pada <i>port 2 = 6,5 W/m</i> ..	30

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Para fisikawan membantu mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi komunikasi sampai sekarang dengan berbagai penelitiannya di berbagai bidang. Semakin berkembangnya ilmu teknologi komunikasi menuntut laju pengiriman data yang sangat cepat. Laju pengiriman data akan terganggu bila menggunakan saluran transmisi kabel berbasis elektronik. Misalnya, jaringan telepon yang menggunakan kabel berbasis elektronik hanya mampu digunakan untuk transmisi data dengan laju pengiriman 1200 kbit/detik (Green, 1995). Kendala sistem ini telah diatasi dengan penelitian yang dilakukan. Para ilmuwan telah menemukan *device* yang berbasis mikroelektronik, yakni suatu *device* lain yang berbasis serat optik. *Device* berbasis optik ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan *device* berbasis elektronik yaitu kemampuan pengiriman data yang cepat hingga mencapai 10 Gbit/detik dan bebas dari gangguan medan elektromagnetik (Surjono, 1998). *Device* berbasis optik memiliki kemampuan untuk mengakomodasikan kebutuhan *bandwidth* dalam skala besar, mempunyai keunggulan praktis lebih kecil dalam hal ukuran, dan lebih rendah dalam hal konsumsi daya input dari laser yang digunakan.

Penelitian awal untuk *device* berbasis optik dilakukan dengan penelitian di bidang bahan dan pandu gelombang. Bahan yang digunakan sebagai objek penelitian untuk pandu gelombang adalah bahan linier dan tak linier. Sifat bahan tak linier yang mengalami perubahan susceptibilitas optik seiring perubahan intensitas dan fenomena kestabilan yang terjadi pada pandu gelombang merupakan hal menarik untuk diteliti. Sistem komunikasi serat optik sangatlah membutuhkan suatu model *device* pandu gelombang optik dengan bahan tak linier seperti *Liquid Crystal MBBA* (*p-methoxy-benzylidene p-n-butylaniline*), *Nematik*

*Liquid Crystal* PCH-5 (*Pentylcyclohexil benzonitrile*) (Cotter *et al*, 1992) dan *Organosol* SnO<sub>2</sub> (Wu dan Zao, 1997). Bahan-bahan ini sangat potensial diaplikasikan untuk *switching* fotonik yang ultra cepat. Proses *switching* ini memiliki kecepatan terabit perdetik apabila menggunakan kecepatan rekombinasi dan interaksi dari foton dengan bahan tak linier (Hemyai dan Aitchiso, 1992). Perilaku perubahan sifat optis pada bahan tak linier memiliki keunikan, yaitu indeks biasnya yang mudah berubah apabila dikenai intensitas cahaya yang berbeda (Usha, *et al*, 1995).

Penelitian yang dilakukan Pramono dan Endarko pada tahun 2001 merupakan simulasi numerik beberapa struktur pandu gelombang dengan menyisipkan bahan tak-linier untuk gerbang logika XNOR, AND, NOR, NOT, dan OR (Pramono dan Endarko, 2001). Bahan tak linier yang akan disisipkan pada *taper* dan *cladding* merupakan sesuatu yang baru sehingga hal ini sangat menarik untuk diteliti. Untuk itu, dilakukan penelitian mengenai struktur pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier yang berfungsi sebagai gerbang logika X-OR. Bahan tak linier yang disisipkan pada *cladding* mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Mutmainnah dan Pramono yang dipublikasikan pada tahun 2006 dan 2009.

*Device* fotonik ukurannya sangatlah kecil (berorde 2-50  $\mu\text{m}$ ), sedangkan perilaku cahaya sangat berpengaruh sekali terhadap struktur dan pola pandu gelombangnya. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan ukuran parameter dan model struktur pandu gelombang sebelum proses fabrikasi agar penjalaran berkas cahaya laser sesuai dengan yang diharapkan dan mencapai hasil yang optimal.

Penelitian ini menggunakan metode numerik simulasi *Finite Difference Beam Propagation Method* (FDBPM) yaitu untuk menganalisis penjalaran gelombang pada struktur pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR. Metode FDBPM sangat akurat untuk menganalisa perambatan gelombang meskipun dalam struktur yang sulit. Hal ini telah dibuktikan melalui penelitian yang dilakukan oleh Chung, Dagli, Huang *et al*. Selain itu, FDBPM lebih handal, memiliki *runtime* yang lebih cepat dan akurat

bila dibandingkan dengan metode sebelumnya yaitu FFT (*Fast Fourier Transform*) dan *Finite Element* (Scarmozzino dan Osgood, 1991).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan bagaimana karakteristik pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR dengan menggunakan metode FDBPM?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini ialah:

1. Bahan tak linier hanya diletakkan pada *taper* dan *cladding*.
2. *Y-Branch* yang digunakan merupakan *Y-Branch* miring kiri.
3. Desain digunakan untuk gerbang X-OR.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui luaran pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR dengan menggunakan metode FDBPM.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, sebagai tambahan wawasan dan pengetahuan mengenai karakteristik dan luaran pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR dengan menggunakan metode FDBPM.
2. Mendapatkan karakteristik dan luaran pandu gelombang *Y-Branch* miring dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR yang dapat diterapkan pada *Optoelektronik Integrated Circuit* (OEIC) pada sistem transmisi komunikasi optik.



3. Menambah karya IPTEK, khususnya dalam hal desain pandu gelombang dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pandu Gelombang**

Pandu gelombang adalah sebuah medium yang digunakan untuk memandu gelombang, seperti gelombang elektromagnetik atau gelombang suara. Pandu gelombang yang digunakan berbeda-beda disesuaikan dengan jenis gelombang yang akan dipandu.

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 optik digunakan untuk memandu cahaya (frekuensi tinggi) dan tidak memandu gelombang micro yang memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan cahaya tampak.

Bahan yang sering digunakan sebagai bahan pandu gelombang adalah serat/fiber optic. Dalam perkembangannya, serat optik tidak hanya digunakan sebagai sarana telekomunikasi tapi juga sebagai sensor. Kelebihan dari serat optik sebagai sensor ini adalah tidak terpengaruh dari radiasi EM, memiliki ketelitian tinggi (dalam orde mikro), penempatan lebih mudah, dan dapat menampung banyak informasi dalam satu serat. Cahaya sebagai carier dari informasi yang memiliki rentang panjang gelombang dan frekuensi tentunya memberikan ukuran bandwidth tersendiri tergantung sifat cahaya sumber yang digunakan.

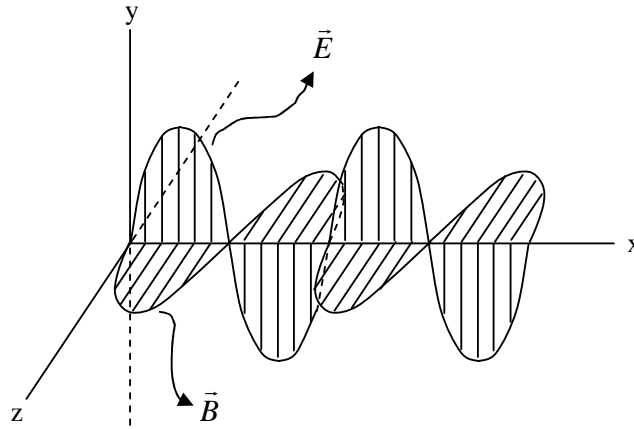
Pada penjalaran gelombang dalam pandu gelombang, gelombang elektromagnetik yang dipropagasikan sepanjang sumbu pandu gelombang dapat dijelaskan melalui persamaan gelombang yang diturunkan dari persamaan Maxwell, dan dimana panjang gelombangnya bergantung terhadap struktur dari

pandu gelombang, dan material yang berada di dalamnya (udara, plastik, vakum, dll), dan juga frekuensi dari gelombangnya.

## 2.2 Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell dan efek Kerr dapat menggambarkan peristiwa penjalaran gelombang pada medium linier dan tak linier. Dengan menggabungkan efek tak linier Kerr dengan persamaan Maxwell, akan diperoleh bentuk umum persamaan diferensial gelombang tak linier. Efek *Kerr* merupakan suatu fenomena dimana sinar-sinar yang memiliki panjang gelombang sama dan akan merambat dengan laju yang berbeda di dalam suatu bahan jika intensitasnya melebihi suatu harga batas (Sopyandi, 2010). Efek *Kerr* dibagi menjadi dua yaitu efek *Kerr* elektro-optik (*DC Kerr effect*) dan efek *Kerr* optik (*AC Kerr effect*). Efek *Kerr* elektro-optik (*DC Kerr effect*) adalah kasus khusus di mana perlahan-lahan berbagai medan listrik eksternal diterapkan oleh tegangan elektroda pada seluruh bahan sampel. Efek *Kerr* pada bahan nonlinier, listrik polarisasi medan  $P$  yang terjadi akan tergantung pada medan listrik  $E$ . Sedangkan efek *Kerr* optik (*AC Kerr effect*) adalah kasus di mana medan listrik terjadi akibat pengaruh cahaya itu sendiri sehingga menyebabkan variasi dalam indeks bias yang sebanding dengan radiasi lokal cahaya.

Pada gelombang elektromagnetik, medan listrik, medan magnet dan arah penjalarnya saling tegak lurus. Jika arah penjalaran gelombang elektromagnetik searah dengan sumbu  $x$  positif dan arah medan listrik searah dengan sumbu  $y$  positif maka arah medan magnet searah dengan sumbu  $z$  positif. Keadaan ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gelombang elektromagnetik yang merambat di udara (sumber: Zaki, 2000)

Suatu gelombang elektromagnetik terdiri atas medan vektor  $\vec{E}$  yang menyatakan medan listrik dan medan vektor  $\vec{B}$  yang menyatakan medan magnet. Dalam hubungannya dengan bahan atau materi, gelombang elektromagnetik juga dikaitkan dengan dua vektor lainnya, yaitu pergeseran listrik ( $\vec{D}$ ) dan intensitas magnet ( $\vec{H}$ ). Keempat vektor tersebut dihubungkan dengan persamaan Maxwell, yaitu persamaan yang mengatur fenomena elektromagnetik, sebagai berikut:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

dimana untuk bahan linier

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.5)$$

Sedangkan untuk bahan tak linier, polarisasi ( $\vec{P}$ ) dinyatakan dalam suseptibilitas bahan menjadi

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E} + \vec{P}_{NL} \quad (2.6)$$

Untuk efek *Kerr* polarisasi tak linier dinyatakan dengan  $\vec{P}_{NL} = \epsilon_0 \chi^{(3)} \vec{E}_y^3$ .

Persamaan (2.6) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.5) sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E} + \vec{P}_{NL} \\ \vec{D} &= \epsilon_0 (1 + \chi^{(1)}) \vec{E} + \vec{P}_{NL} \\ \vec{D} &= \epsilon \vec{E} + \vec{P}_{NL} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Hubungan antara  $\vec{H}$  dan  $\vec{B}$  adalah sebagai berikut:

$$\vec{B} = \mu\vec{H} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.8)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.7) dan (2.8) kedalam persamaan (2.1) dan (2.2) sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\nabla \times \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}_{NL}}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = Permittivitas bahan

$\varepsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa

$\mu$  = Permeabilitas magnetik

$\mu_0$  = Permeabilitas dalam magnetik =  $1,257 \times 10^{-6} T \frac{m}{A} \left( \frac{Henry}{m} \right)$

$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E}$  = Polarisasi linier

$\vec{P}_{NL}$  = Polarisasi tak linier

$\chi$  = Suseptibilitas magnet

$\chi^{(1)}$  = Suseptibilitas listrik orde pertama

$\chi^{(3)}$  = Suseptibilitas listrik orde tiga

$\vec{M} = \chi \vec{H}$  = Besaran magnetisasi

Persamaan (2.9) diturunkan terhadap waktu, maka didapatkan persamaan berikut:

$$\nabla_x \frac{\partial H}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \vec{P}_{NL}}{\partial t^2} \quad (2.11)$$

Sedangkan dengan memanfaatkan operasi rotasi (curl) maka persamaan (2.10) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla_x \nabla_x \vec{E} = -\mu \nabla_x \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.12)$$

Substitusi persamaan (2.12) ke persamaan (2.11), diperoleh

$$\nabla_x \nabla_x \vec{E} = -\mu \left[ \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \vec{P}_{NL}}{\partial t^2} \right] \quad (2.13)$$

Dengan menggunakan identitas vektor

$$\nabla_x \nabla_x \vec{E} = \nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} \quad (2.14)$$

maka persamaan (2.13) menjadi

$$\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\mu \left[ \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \vec{P}_{NL}}{\partial t^2} \right] \quad (2.15)$$

substitusi persamaan (2.5) ke persamaan (2.3) dengan memanfaatkan identitas vektor, serta memperhatikan syarat medium dengan rapat muatan  $\rho = 0$  sehingga  $\epsilon$  dan  $\mu$  adalah skalar, maka

$$\begin{aligned} \vec{D} = \epsilon \vec{E} & & \nabla \cdot \vec{D} = \rho = 0 & & \epsilon \nabla \cdot \vec{E} + \vec{E} \cdot \nabla \epsilon = 0 \\ \nabla \cdot \vec{D} = \nabla \cdot (\epsilon \vec{E}) = 0 & & & & \nabla \cdot (\epsilon \vec{E}) = \epsilon \nabla \cdot \vec{E} + \vec{E} \cdot \nabla \epsilon \end{aligned}$$

maka didapatkan

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\vec{E} \cdot \frac{\nabla \epsilon}{\epsilon} \quad (2.16)$$

substitusi persamaan (2.16) ke persamaan (2.15), diperoleh

$$\nabla \left( \vec{E} \cdot \frac{\nabla \epsilon}{\epsilon} \right) + \nabla^2 \vec{E} = \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial^2 \vec{P}_{NL}}{\partial t^2} \quad (2.17)$$

Jika medan listrik yang melewati terpolarisasi medan elektrik dan terhadap sumbu-y serba sama (uniform), sehingga  $E_x = E_z = 0$  dan  $(\partial/\partial y = 0)$ , maka

$$\vec{E} \cdot \frac{\nabla \epsilon}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} (iE_x + jE_y + kE_z) \left( i \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + j \frac{\partial \epsilon}{\partial y} + k \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.18)$$

Sehingga persamaan (2.17) dapat dituliskan menjadi

$$\nabla^2 \vec{E}_y = \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}_y}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial^2 \vec{P}_{NL}}{\partial t^2} \quad (2.19)$$

Jika bahan tak linier disisipkan pada lapisan film  $n_{fl}$ , maka indeks bias film tersebut tergantung pada intensitas gelombang optik yang dirambatkan dengan menggunakan *efek Kerr*. Persamaan indeks bias film dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$n_{fl} = \sqrt{n_{fl}^2 + \alpha |E|^2} \quad (2.20)$$

Dimana  $\alpha$  adalah koefisien tak linier,  $|E|^2$  adalah intensitas medan listrik. Diasumsikan pula bahwa pandu gelombang homogen ke arah sumbu y adalah sama. Oleh karena itu,  $\partial/\partial y = 0$  (Nishihara *et al*, 1989). Persamaan (2.20)

menunjukkan indeks bias film akan naik secara kuadratik terhadap medan  $\vec{E}$  (Ogusu, 1987). Perubahan indeks bias di dalam pandu gelombang tak linier bergantung pada intensitas cahaya yang dipandu. Jika intensitas cahaya semakin besar maka indeks bias juga semakin besar. Apabila persamaan (2.19) dan (2.20) digabungkan, diperoleh persamaan:

Menurut Nishihara (1985), persamaan medan elektrik (moda TE) yang berbentuk persamaan differensial orde dua dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + (k_0^2 n^2 - \beta^2) E_y = 0 \quad (2.21)$$

Dengan menggunakan alih variabel pada persamaan (2.21) serta menggabungkan persamaan (2.19) dan (2.20) diperoleh persamaan:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + (k_0^2 (n_c^2 + \alpha |E|^2) - \beta^2) E_y = 0 \quad (2.22)$$

Persamaan (2.22) merupakan persamaan yang akan disimulasikan dengan metode *Finite Difference Beam Propagation Method* (FDBPM). Dalam metode FDBPM ini terdapat metode numerik dari Crank-Nicholsan, Matriks Tridiagonal, dan persoalan syarat batas transpereal. (Chung dan Dagli, 1990).

### 2.3 Bahan Tak Linier

Secara umum, ketidakmampuan dari *dipole* dalam medium optik untuk merespon secara linier dari medan listrik ataupun medan magnet mengakibatkan fenomena tak linier (Handoko, *et al*, 2006). Jika cahaya dengan medan listrik yang cukup besar mengenai medium optik dengan suseptibilitas maka akan menghasilkan polarisasi yang sebanding dengan medan listriknya. Hal ini menyebabkan ketaklinieran optik. Selain itu, adanya perubahan cahaya yang diberikan pada bahan juga dapat mengakibatkan fenomena ketaklinieran optik. Misalnya, tingginya intensitas cahaya yang mengenai bahan atau adanya medan listrik atau medan magnet yang diberikan pada bahan.

Gelombang elektromagnetik yang merambat di dalam medium tak linier akan mengalami polarisasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$P_{NL} = \varepsilon_0 (x_1 \vec{E} + x_2 \vec{E}^2 + x_3 \vec{E}^3 + \dots) \quad (2.23)$$

Suku pertama pada persamaan merupakan polarisasi linier, sedangkan suku kedua, ketiga, dan seterusnya merupakan polarisasi tak linier (Handoko, *et al*, 1995). Penggunaan bahan tak linier pada suatu *device* pandu gelombang bertujuan untuk mendapatkan kemampuan *switching* yang sangat cepat.

Semua pandu gelombang tak linier diasumsikan terdiri dari bahan bertipe *Kerr* seperti semikonduktor MQW (*Multi Quantum Well*), *Liquid Crystal* MBBA (*p-methoxy-benzylidene p-n-butylaniline*), *Nematik Liquid Crystal* PCH-5 (*Pentylcyclohexil benzonitrile*) (Cotter *et al*, 1992) dan *Organosol* SnO<sub>2</sub> (Wu dan Zao, 1997). Bahan bertipe *Kerr* tersebut memiliki suseptibilitas orde tiga. Parameter-parameter yang berhubungan dengan bahan bertipe *Kerr* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai koefisien tak linier beberapa bahan bersama respon panjang gelombangnya

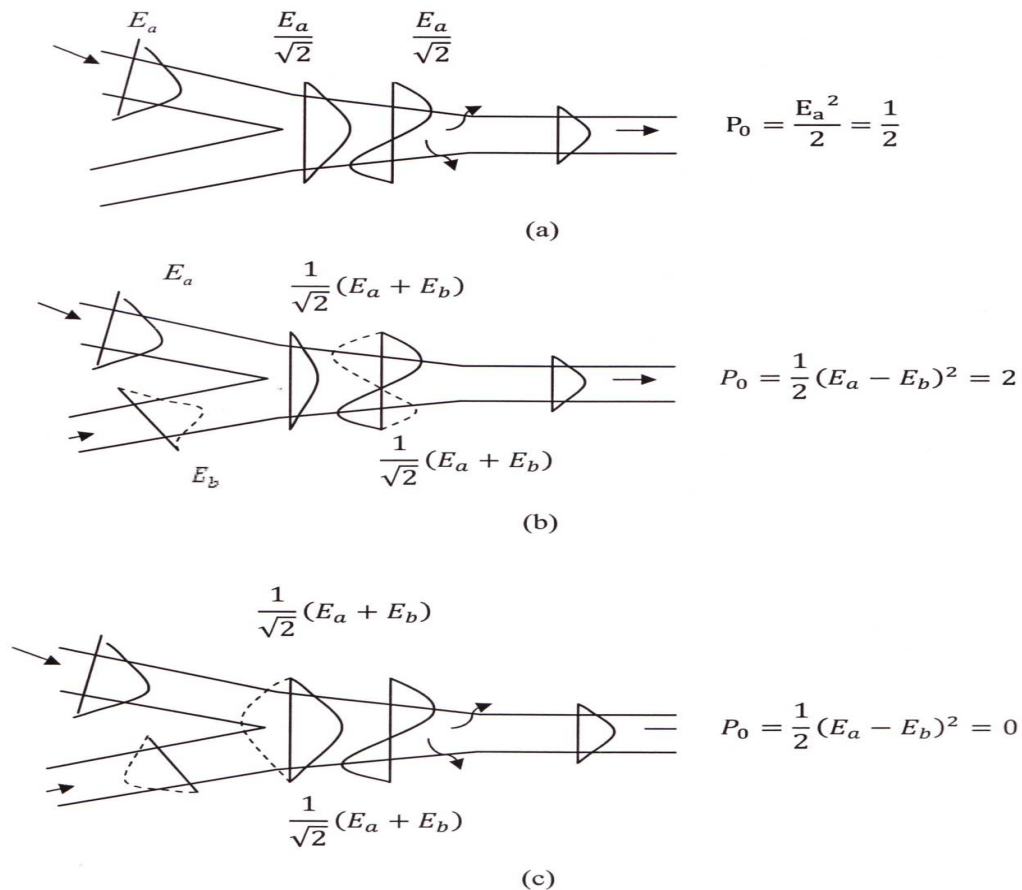
Nama Bahan	$\alpha \left( \frac{m^2}{V^2} \right)$	Respon Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )
<i>Glas</i> SF59	$7 \times 10^{-19}$	1,30
<i>Liquid Crystal</i> MBBA	$6,377 \times 10^{-12}$	0,51 ~ 1,55
Semikonduktor MQW	$\sim \times 10^{-19}$	1,48 ~ 1,55
<i>Nematik Liquid Crystal</i> PCH-5	$9,9 \times 10^{-19}$	0,51 ~ 1,55
<i>CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> nano crystal</i>	$3 \times 10^{-11}$	0,51 ~ 1,53
<i>Organosol</i> SnO <sub>2</sub>	$1,7 \times 10^{-11}$	1,60

Sumber: Pramono *et al*, 1999

## 2.4 Teori *Y-Branch*

Pandu gelombang *single mode* dapat menggunakan percabangan sebagai pembagi daya atau *combiner*. Pandu gelombang bercabang (*Y-Branch*) berfungsi sebagai *combiner* ketika daya masukan berasal dari kedua lengan. Sistem pandu gelombang bercabang (*Y-Branch*) ditunjukkan oleh Gambar 2.2.





Gambar 2.2 Kombinasi interferensi dari dua mode terpandu pada titik percabangan, dengan asumsi  $E_a^2 = E_b^2 = 1$ . (a) Kasus dimana mode terpandu hanya dimasukkan dari lengan A; (b) Kasus dimana dua mode terpandu dengan amplitudo yang sama dan sefase masuk dari kedua lengan; (c) Kasus dimana dua mode terpandu pada fase yang berlawanan (Nishihara *et al*,1989)

Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa sistem terdiri atas dua lengan masukan dan satu lengan luaran. Pandu gelombang mengalami tiga perlakuan berbeda sebagai berikut.

- Gambar 2.1(a) menunjukkan bahwa terjadi moda genap dan ganjil dengan amplitudo  $E_a/\sqrt{2}$  yang sama pada titik percabangan pandu gelombang ketika moda terpandu dimasukkan hanya melalui lengan A. Moda ganjil teradiasi pada substrat selama perambatan pada *taper* pandu gelombang. Hanya moda genap yang dapat mencapai bagian daya luaran sehingga menjadi  $P_0 = E_a^2/2 = 1/2$ .

- b. Pada titik percabangan hanya terjadi moda genap dan mencapai pada *port* luaran gelombang ketika dua moda sefase terpandu dengan amplitudo yang sama dimasukkan melalui lengan A dan B. Garis utuh dan garis putus-putus pada Gambar 2.1 (b) menunjukkan bahwa juga terjadi dua moda ganjil dengan amplitudo sama pada titik percabangan. Moda ganjil ini pada fase yang berlawanan dan saling menghilangkan sehingga daya luarannya sebesar  $P_0 = 1/2 (E_a - E_b)^2 = 2$ .
- c. Gambar 2.1(c) menunjukkan bahwa hanya terjadi moda ganjil pada titik percabangan ketika dua moda masuk pada percabangan berlawanan fase. Moda ganjil seluruhnya teradiasi ke substrat pada *taper* pandu gelombang. Pandu gelombang moda tunggal bercabang dapat digunakan untuk kombinasi dan interferensi moda terpandu dengan memperhatikan radiasi substrat sebagai sebuah alat optik dengan dua *port* masukan dan satu *port* luaran. Pada kasus ini tidak terdapat daya luaran.

## 2.5 Gerbang Logika

Gerbang logika adalah piranti yang menjelaskan operasi Boolean dengan satu atau lebih masukan dan menghasilkan satu luaran. Masukan dan luaran adalah variabel Boolean yang berada pada keadaan *low* atau *high* atau dengan menggunakan bilangan biner 0 dan 1 untuk menyatakan keadaan tersebut.

Pada dasarnya gerbang logika terdiri dari tiga macam, yaitu gerbang OR, gerbang AND, dan gerbang NOT. Sedangkan gerbang yang lain merupakan hasil bentukan maupun gabungan dari beberapa gerbang logika dasar yaitu gerbang logika X-OR, gerbang NAND, gerbang NOR, dan gerbang *Exclusive-NOR*.

### a. Gerbang OR

Gerbang OR mempunyai dua atau lebih dari dua sinyal masukan tetapi hanya satu sinyal keluaran. Gerbang OR mempunyai sifat bila salah satu dari sinyal masukan tinggi (1), maka sinyal keluaran akan menjadi tinggi (1) juga. Dapat dikatakan juga bahwa gerbang OR hanya memiliki sinyal keluaran rendah

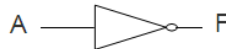
jika semua sinyal masukan bernilai rendah. Simbol gerbang OR ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Simbol gerbang OR

b. Gerbang NOT

*Inverter* (pembalik) merupakan gerbang logika dengan satu sinyal masukan dan satu sinyal keluaran dimana sinyal keluaran selalu berlawanan dengan keadaan sinyal masukan. *Inverter* disebut juga gerbang NOT atau gerbang komplemen (lawan) disebabkan keluaran sinyalnya tidak sama dengan sinyal masukan. Simbol gerbang NOT ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.4 Simbol gerbang NOT

c. Gerbang NOR

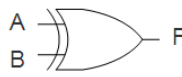
Gerbang NOR mempunyai dua atau lebih dari dua sinyal masukan tetapi hanya satu sinyal keluaran. Gerbang NOR adalah suatu NOT-OR, atau suatu fungsi OR yang dibalikkan sehingga dapat dikatakan bahwa gerbang NOR akan menghasilkan sinyal keluaran tinggi jika semua sinyal masukannya bernilai rendah. Jadi gerbang NOR hanya mengenal sinyal masukan yang semua bitnya bernilai nol. Simbol gerbang OR ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.5 Simbol gerbang NOR

d. Gerbang *Exclusive-OR* (X-OR)

Gerbang X-OR disebut juga gerbang *Exclusive-OR* dikarenakan hanya mengenali sinyal yang memiliki bit 1 (tinggi) dalam jumlah ganjil untuk menghasilkan sinyal keluaran bernilai tinggi (1). Gerbang X-OR akan menghasilkan sinyal keluaran rendah jika semua sinyal masukan bernilai rendah atau semua masukan bernilai tinggi atau dengan kata lain bahwa X-OR akan menghasilkan sinyal keluaran rendah jika sinyal masukan bernilai sama semua. Simbol gerbang X-OR ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.6 Simbol gerbang X-OR

e. Gerbang *Exclusive-NOR* (X-NOR)

Gerbang X-NOR disebut juga gerbang *Not-Exclusive-OR*. Gerbang X-NOR mempunyai sifat bila sinyal keluaran ingin bernilai tinggi (1) maka sinyal masukannya harus bernilai genap (kedua nilai masukan harus rendah keduanya atau tinggi keduanya). Gerbang X-NOR akan menghasilkan sinyal keluaran tinggi jika semua sinyal masukan bernilai sama (kebalikan dari gerbang X-OR). Simbol gerbang X-NOR ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.7 Simbol gerbang X-NOR

Secara lengkap penjelasan mengenai gerbang logika digital dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Gerbang logika digital (Morris, 1984)

Nama Gerbang	Fungsi Aljabar	Tabel Kebenaran		
		X	Y	F
OR	$F = x + y$	0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1
NOR	$F = (x + y)'$	0	0	1
		0	1	0
		1	0	0
		1	1	0
<i>Exclusive-OR</i> (X-OR)	$F = xy' + x'y$	0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	0
<i>Exclusive-NOR</i> (X-NOR)	$F = xy + x'y'$	0	0	1
		0	1	0
		1	0	0
		1	1	1

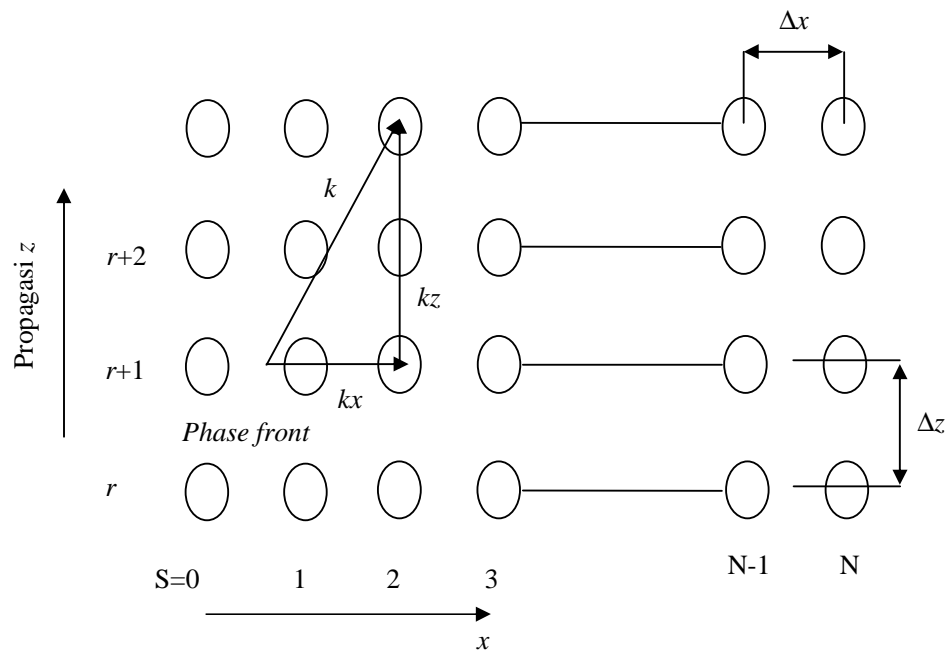
## 2.6 *Finite Difference Beam Propagation Method* (FDBPM)

Salah satu yang sangat mendasar di dalam perkembangan rangkaian optoelektronika adalah ketelitian dalam menganalisis struktur pandu gelombang, seperti *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang sangat teliti dan stabil untuk mendesain struktur pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier.

Metode yang digunakan adalah *Finite Difference Beam Propagation Method* (FDBPM). Ketelitian dari penggunaan FDBPM juga telah dibuktikan oleh hasil eksperimen beberapa peneliti dan sukses digunakan untuk menganalisa berbagai struktur pandu gelombang. Metode FDBPM pertama kali diperkenalkan oleh Chung dan Dagli pada tahun 1990. Hasil yang dilaporkan menunjukkan bahwa FDBPM memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan FDBPM adalah FDBPM lebih handal, memiliki *runtime* yang lebih cepat dan akurat bila dibandingkan dengan metode sebelumnya yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Finite Element* (Scarmozzino dan Osgood, 1991).

Dalam perkembangannya, ditemukan syarat batas transparan oleh Hadly, yang dapat dipadukan dengan FDBPM sehingga menambah keakuratan pada perhitungan rugi radiasi. Perumusan iteratif FDBPM merupakan persamaan diferensial gelombang tak linier yang diperoleh dari penggabungan efek *Kerr* dengan persamaan Maxwell.

Gambar 2.10 menunjukkan struktur yang akan diteliti dan disampling pada metode FDBPM secara diskrit ke arah sumbu  $x$  dengan interval  $\Delta x$  dan ke arah  $z$  dengan interval  $\Delta z$  dalam sistem koordinat kartesian.



Gambar 2.8 Penyamplingan *device* pada metode FDBPM (Pramono, *et al*, 1999)

Penjalaran gelombang cahaya pada setiap titik sampling dapat diurutkan dari  $S = 0$  sampai  $S = N$  (jumlah sampling maksimum pada arah sumbu  $x$ ) dan dari  $r = 0$  sampai  $r = M$  (jumlah sampling maksimum pada arah sumbu  $z$ ) melalui iterasi FDBPM. Urutan masuknya penjalaran gelombang cahaya ke dalam *device* ini mengacu pada penggabungan persamaan efek *Kerr* ke dalam persamaan Maxwell dengan menyelesaikan nilai eigennya. Nilai eigen adalah besarnya intensitas medan pada setiap titik perambatan baik ke arah sumbu  $x$  maupun ke arah penjalaran gelombangnya yaitu ke arah sumbu  $z$ . Jika interval  $\Delta x$  dan  $\Delta z$  semakin kecil maka perolehan nilai intensitas gelombang cahaya akan

semakin teliti, tetapi proses *runtime* akan semakin lambat. Pada penelitian sebelumnya digunakan interval  $\Delta x$  dan  $\Delta z$  masing-masing  $0,01 \mu\text{m}$  dan  $0,1 \mu\text{m}$  (Pramono dan Endarko, 2001).

## **BAB 3. METODE PENELITIAN**

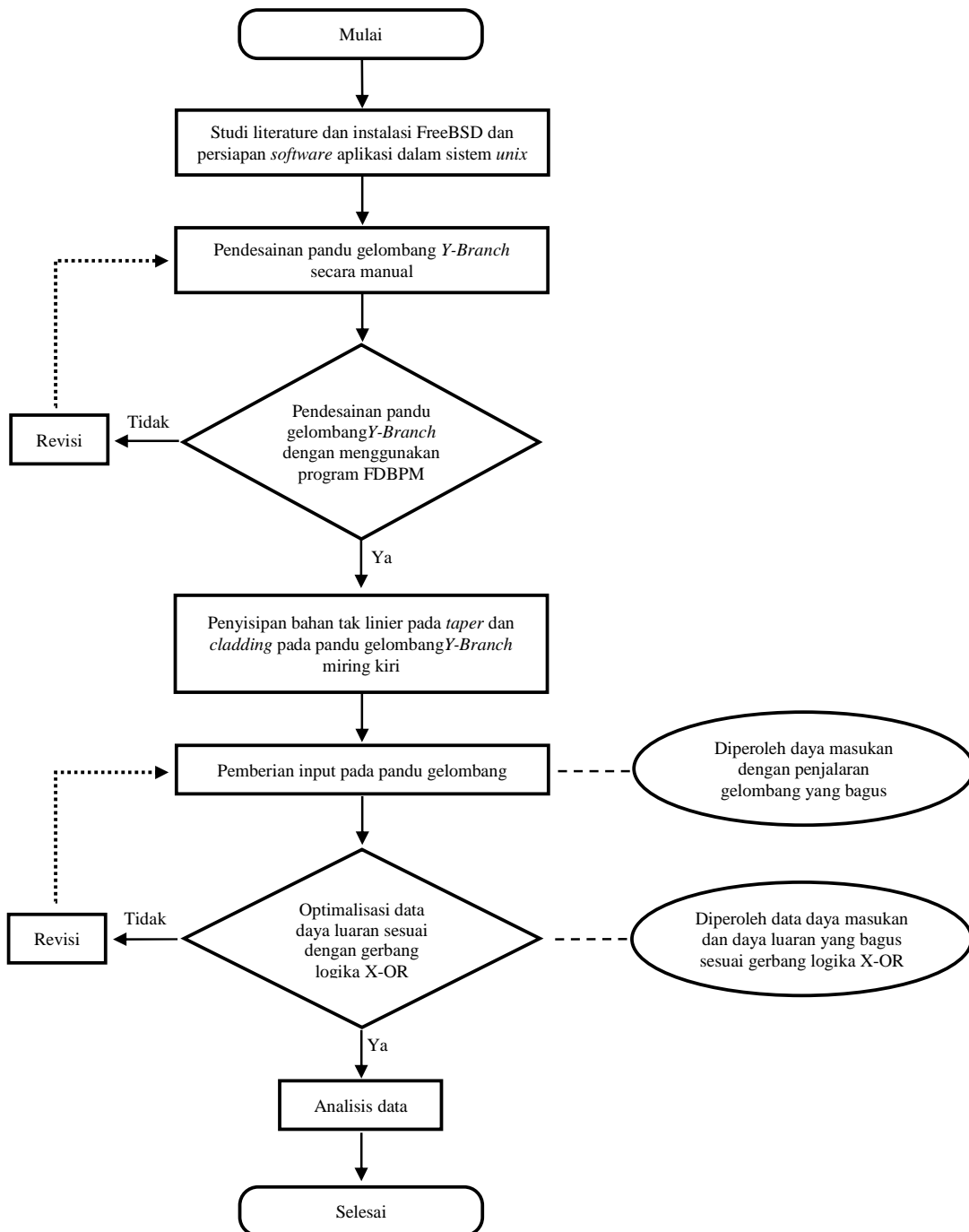
### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2012 sampai dengan Maret 2013 di Laboratorium Optoelektronika dan Fisika Modern Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

### **3.2 Prosedur Penelitian**

Alur penelitian dalam analisis pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak-liner untuk gerbang X-OR dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan diagram alir pada Gambar 3.1.





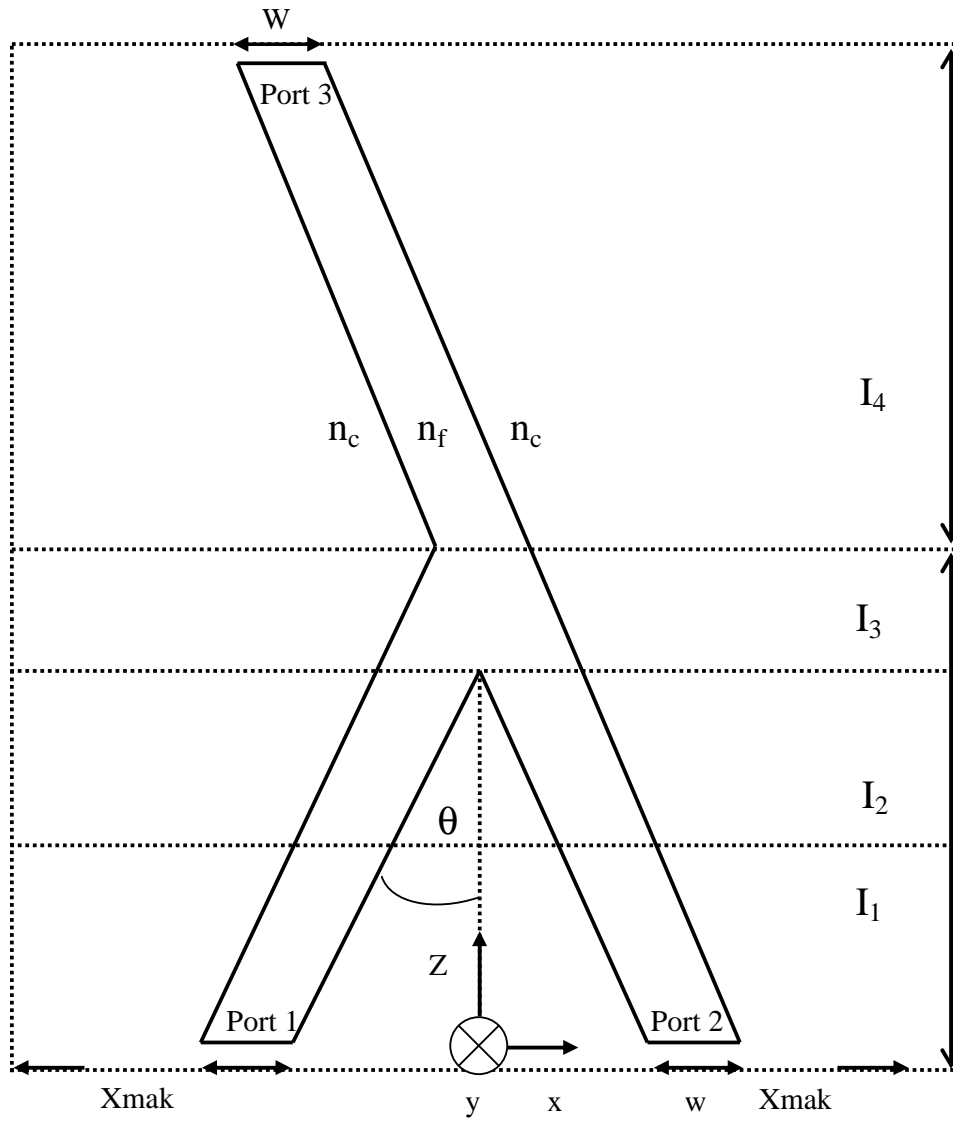
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Alur kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan penginstalan program *Free BSD* pada computer dengan spesifikasi prosesor core i3, hardisk 320 GB, memori 2 GB serta persiapan *software* aplikasi dalam sistem *unix*. Tahap selanjutnya adalah pendesainan pandu gelombang *Y-Branch* secara manual. Desain manual yang diperoleh akan didesain ulang menggunakan program FDBPM. Jika desain yang diperoleh tersebut tidak terjadi patahan maka desain pandu gelombang *Y-Branch* dapat langsung digunakan. Namun, jika desain yang diperoleh masih terdapat patahan maka akan dilakukan pendesainan ulang secara manual. Desain pandu gelombang *Y-Branch* yang sudah bagus dan tidak terdapat patahan disisipi bahan tak linier pada *taper* dan *cladding*. Kemudian desain ini diberi daya input hingga diperoleh daya masukan dengan penjalaran gelombang yang bagus. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah pemberian optimalisasi daya luaran sesuai dengan gerbang logika X-OR. Jika optimalisasi yang dilakukan menghasilkan daya luaran yang bagus dan sesuai dengan X-OR maka akan dilakukan analisis data penelitian. Namun. Jika optimalisasi yang dilakukan belum menghasilkan daya luaran yang bagus dan sesuai dengan X-OR maka akan dilakukan pemberian ulang daya input pada pandu gelombang. Analisis data yang diperoleh dari penelitian akan menghasilkan karakteristik pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR berdasarkan data

### **3.3 Prosedur Perancangan**

Prosedur perancangan terdiri atas dua kegiatan, yaitu perancangan struktur pandu gelombang *Y-Branch* dan perancangan struktur pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* tak linier untuk gerbang X-OR. Rincian dari tiap kegiatan perancangan diuraikan sebagai berikut:

### 3.3.1 Perancangan Struktur Pandu Gelombang *Y-Branch*



Gambar 3.2 Struktur pandu gelombang *Y-Branch*

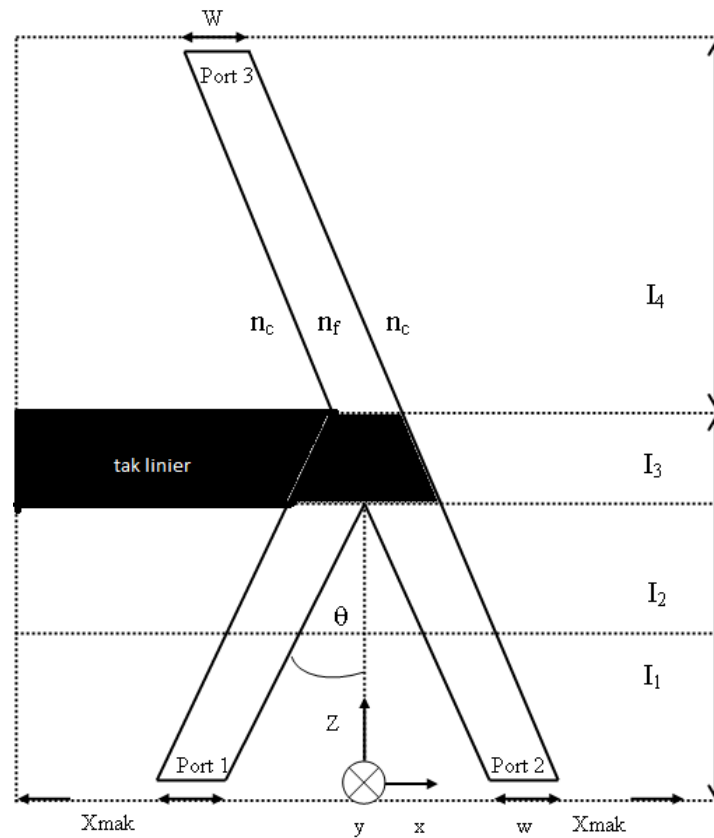
Keterangan:

- W = Lebar celah
- $n_c$  = Indeks bias *cladding*
- $n_f$  = Indeks bias film
- I = Panjang
- $\theta$  = Sudut Kemiringan

Perancangan struktur pandu gelombang *Y-Branch* dilakukan dengan mengatur parameter-parameter yang digunakan. Rancangan struktur pandu gelombang *Y-Branch* miring kiri disusun seperti Gambar 3.2. Parameter yang secara pasti digunakan adalah panjang gelombang  $\lambda = 0,5145 \mu\text{m}$  (laser Ar), indeks bias *taper*  $n_c = 1,550$ , indeks bias film  $n_{fl} = 1,552$ , bahan tak linier yang digunakan adalah *liquid crystal* MBBA dengan koefisien tak linier  $\alpha = 6,377 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{V}^2$ , lebar pandu gelombang  $w = 2,0 \mu\text{m}$ , konstanta propagasi dari mode  $\text{TE}_0$  pada input dihitung sebagai  $\beta/k_0 = 1,55087373$  ( $k_0$  adalah bilangan gelombang dalam ruang hampa) ketika  $\alpha = 0$ . Sedangkan untuk parameter yang diubah-ubah (variasi parameter) adalah sudut kemiringan ( $\theta$ ) *Y-Branch* dan panjang pandu gelombang *Y-Branch*.

### 3.3.2 Perancangan Struktur Pandu Gelombang *Y-Branch* dengan *Taper* dan *Cladding* Tak linier untuk Gerbang X-OR

Struktur pandu gelombang *Y-Branch* yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 sulit dihasilkan untuk suatu gerbang logika tertentu. Oleh karena itu, perlu disisipkan bahan tak linier pada pandu gelombang dengan posisi yang memungkinkan untuk menghasilkan suatu gerbang logika tertentu seperti gerbang logika X-OR. Bahan tak linier tersebut disisipkan pada *taper* dan *cladding*. Penyisipan bahan tak linier bertujuan untuk mengoptimalkan gerbang logika yang dihasilkan. Penyisipan bahan tak linier pada *taper* dan *cladding* ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Struktur pandu gelombang *Y-Branch* dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR

Setelah itu, dilakukan analisis penjalaran gelombang pada *port 1* maupun *port 2* dengan iterasi daya masukan  $6,5\text{W/m}$ , kemudian dilakukan analisis dengan *port 1* adalah nol dan *port 2* dengan iterasi daya masukan  $6,5\text{ W/m}$ . Begitu pula sebaliknya masukan *port 2* adalah nol dan *port 1* dengan iterasi daya masukan  $6,5\text{ W/m}$ . Hasil yang diperoleh dari proses ini harus sesuai dengan table kebenaran untuk gerbang logika X-OR.

### 3.4 Simulasi Numerik dan Analisis

Metode yang digunakan untuk menganalisis pandu gelombang adalah metode perambatan berkas hingga (FDBPM). Pada penelitian sebelumnya daerah interval terletak pada  $|x| < x_{mak}$  dengan  $x_{mak} = 25 \mu\text{m}$  dan interval  $\Delta x = 0,05 \mu\text{m}$  dalam arah transversal dan  $\Delta z = 1,0 \mu\text{m}$  dalam arah longitudinal. Daya optik dihitung dari daya masukan dan daya luaran hanya pada daerah  $|x| < x_{mak}$ . Tetapan penjalaran gelombang dari mode TE pada masukan adalah  $\beta/k_0$  dengan  $k_0$  adalah bilangan gelombang dalam ruang hampa. Daya optik dinyatakan terdiri atas medan-medan listrik yang dipandu dari bagian masukan ke bagian luaran untuk beberapa struktur pada pandu gelombang. Daya masukan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = (\beta/k_0) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \int_{x_{min}}^{x_{mak}} |E(x)|^2 dx \quad (3.1)$$

Daya luaran untuk tiap-tiap kanal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Pramono&Endarko, 2001)

$$P_0 = (\beta/k_0) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \int_{x_{i-1}}^{x_i} |E(x)|^2 dx \quad (3.2)$$

Hasil yang akan dianalisis adalah grafik daya masukan terhadap daya luarannya. Grafik ini ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu mode struktur dan beberapa parameter yang berkaitan dengan model struktur pandu gelombang. Model struktur pandu gelombang seperti sudut kemiringan ( $\theta$ ) *Y-Branch* dan panjang pandu gelombang *Y-Branch*.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Parameter Struktur Pandu Gelombang

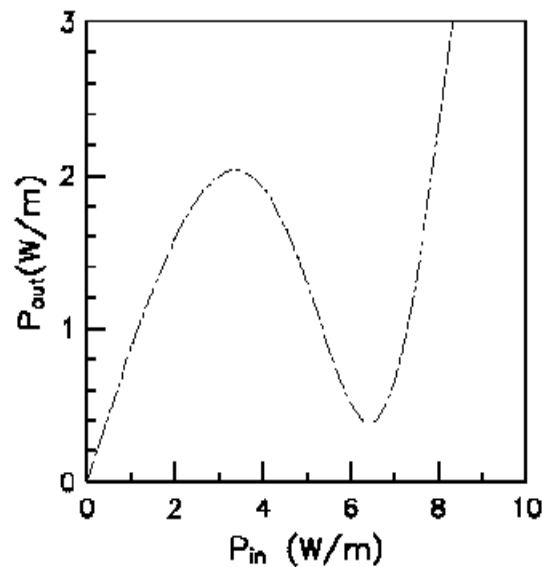
Pada simulasi numerik yang telah dilakukan, didapatkan kerangka pandu gelombang *Y-Branch* miring kiri dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR. Kerangka tersebut memiliki parameter perubahan seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter struktur pandu gelombang *Y-Branch* miring kiri

No.	Parameter	Nilai
1	Panjang pandu gelombang <i>Y-Branch</i> miring kiri	
	• Panjang $I_1$	$1184\mu m$
	• Panjang $I_2$	$1184\mu m$
	• Panjang $I_3$	$200\mu m$
	• Panjang $I_4$	$2368\mu m$
2	Sudut kemiringan <i>Y-Branch</i> miring kiri	$0,22^\circ$
3	Lebar pandu gelombang (w)	$2,0\mu m$

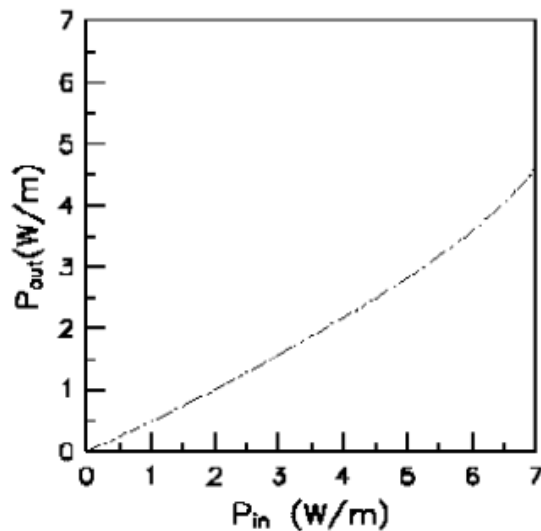
#### 4.1.2 Grafik Hubungan Daya Masukan dan Luaran

Berdasarkan simulasi numerik yang telah dilakukan, didapatkan grafik hubungan antara daya masukan dan daya luaran untuk logika 1-1, 0-1, dan 1-0 pada gerbang logika X-OR. Grafik hasil simulasi untuk logika 1-1 ditunjukkan pada Gambar 4.1. Lembah grafik yang terletak di bawah merupakan karakteristik dari gerbang logika X-OR untuk logika 1-1. Dasar lembah terjadi ketika daya masukan  $6,5\text{ W/m}$  dengan daya luaran sebesar  $0,38\text{ W/m}$ .



Gambar 4.1. Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan untuk logika 1-1

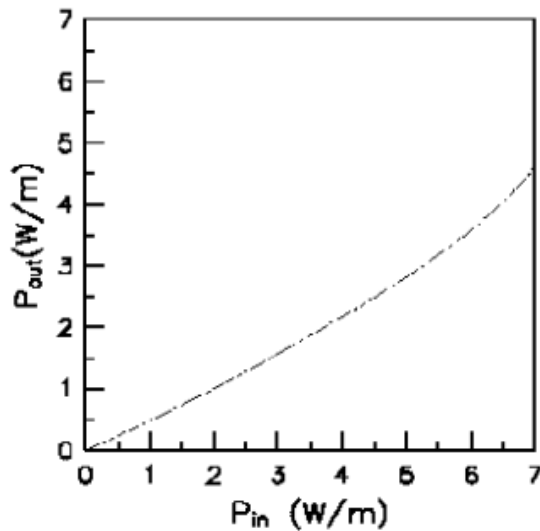
Untuk logika 1-0 ini mengacu pada daya masukan yang digunakan pada pandu gelombang hanya pada *port* 1. Karakteristik daya luaran dari pandu gelombang *Y-Branch* miring kiri dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR pada logika 1-0 naik secara linier seiring daya masukan. Grafik hasil simulasi untuk logika 1-0 ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan untuk logika 1-0



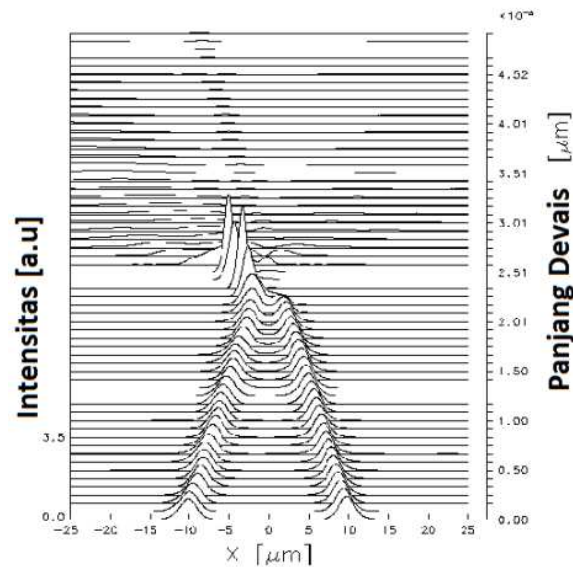
Untuk logika 0-1 ini hanya mengacu pada daya masukan yang diberikan pada *port 2*. Karakteristik daya luaran dari pandu gelombang *Y-Branch* miring kiri dengan *taper* dan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR pada logika 0-1 naik secara linier seiring daya masukan. Grafik hasil simulasi untuk logika 1-0 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



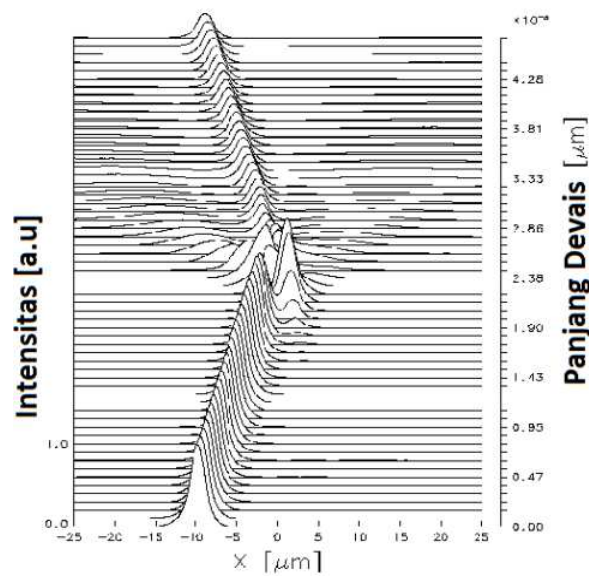
Gambar 4.3 Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan untuk logika 0-1

#### 4.1.3 Penjalaran Gelombang untuk Gerbang Logika X-OR

Penjalaran gelombang untuk gerbang logika X-OR dibagi menjadi tiga bagian, yaitu untuk logika 1-1, logika 1-0, dan logika 0-1. Karakteristik penjalaran gelombang pada logika 1-1 dapat dilihat pada Gambar 4.4. Peristiwa tersebut terjadi ketika *port 1* dan *port 2* diberi daya masukan yang sama, yakni 6,5 W/m. Berdasarkan gambar, dapat dilihat bahwa pada *port 3* tidak terdapat gelombang luaran yang menjalar sepanjang *channel*. Hal ini mengakibatkan *port 3* tidak memiliki daya luaran atau menunjukkan logika nol.

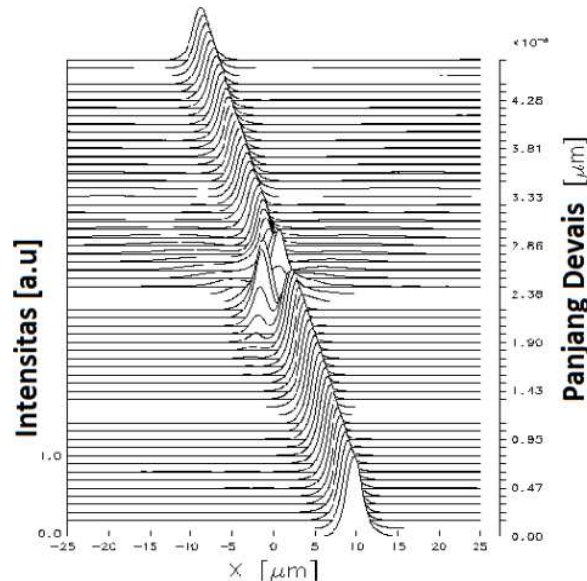


Gambar 4.4 Penjalaran gelombang dengan daya masukan  $port\ 1 = port\ 2 = 6,5\ W/m$ . Karakteristik penjalaran gelombang pada logika 1-0 dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada logika 1-0, daya masukan hanya diberikan pada  $port\ 1$ , yakni  $6,5\ W/m$ . Pada  $port\ 3$  terdapat daya luaran yang cukup besar yaitu  $4,0\ W/m$ .



Gambar 4.5 Penjalaran gelombang dengan daya masukan  $port\ 1 = 6,5\ W/m$

Karakteristik penjalaran gelombang pada logika 0-1 dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada logika 0-1 daya masukan hanya diberikan pada *port* 2, yakni 6,5 W/m. Pada *port* 3 terdapat daya luaran yang cukup besar yaitu 4,0 w/m.



Gambar 4.6 Penjalaran gelombang dengan daya masukan pada *port* 2 = 6,5 W/m

## 4.2 Pembahasan

Gerbang logika X-OR memiliki dua masukan, yaitu *port* 1 dan *port* 2, dan satu luaran yaitu *port* 3. Seperti pada Gambar 4.4, *port* 1 dan *port* 2 diberi daya masukan sedangkan pada *port* 3 tidak terdapat daya luaran hal ini menghasilkan logika 1-1, pada Gambar 4.5, *port* 1 diberi masukan sebesar 6,5 W/m sedangkan *port* 2 tidak diberi masukan hal ini mengakibatkan adanya daya luaran pada *port* 3 dan menghasilkan logika 1-0, pada Gambar 4.6, *port* 1 tidak diberi daya masukan sedangkan *port* 2 diberi daya masukan sebesar 6,5 W/m, hal ini mengakibatkan adanya daya luaran pada *port* 3 dan menghasilkan logika 0-1 pada gerbang logika X-OR.

Pada Gambar 4.1 diperoleh daya luaran dalam keadaan *low* ketika *port* 1 dan *port* 2 diberi daya masukan sebesar 6,5 W/m. Hal ini disebabkan oleh letak bahan tak linier yang berada di *taper* dan *cladding*, yang mengganggu superposisi dari dua buah

gelombang daya. Gangguan ini menyebabkan perubahan fase gelombang sebesar  $180^\circ$  sehingga terjadi pelemahan gelombang. Seperti pada teori tentang interferensi gelombang jika salah satu fase dari dua buah gelombang terganggu maka superposisinya akan saling melemahkan.

Pada Gambar 4.2, *port 1* diberi daya masukan dan *port 2* tidak diberi daya masukan, maka pada *port 3* terdapat daya luaran. Pada Gambar 4.3 daya masukan diberikan pada *port 2* dan *port 1* tidak diberi daya masukan, maka pada *port 3* terdapat daya luaran. Berdasarkan kedua gambar tersebut dapat dilihat kurva naik secara linier seiring bertambahnya intensitas daya masukan. Namun penjalaran mengalami gangguan pada rentang  $5,5 \text{ W/m} - 7 \text{ W/m}$ . Gangguan tersebut dikarenakan adanya sisipan bahan tak linier pada *taper* dan *cladding*. Daya luaran yang terdapat pada *port 3* masih cukup besar meskipun adanya gangguan pada gelombang sehingga masih memenuhi logika 0-1 dan logika 0-1.

Tabel 4.2 Hasil *on-off* dari struktur pandu gelombang gerbang logika X-OR

<i>Port 1</i>	<i>Port 2</i>	Harga daya pada <i>Port 3 (W/m)</i>	<i>Port 3</i>
0	1	4,0	1
1	0	4,0	1
1	1	0,38	0

Tabel 4.2 menunjukkan semua hasil *on-off* dari luaran dimana 1 menunjukkan daya luaran lebih dari  $4,0 \text{ W/m}$  dan 0 menunjukkan daya luaran sebesar  $0,38 \text{ W/m}$ . Dari hasil ini disimpulkan bahwa *port* daya luaran yang menunjukkan karakteristik logika gerbang X-OR adalah *port 3*.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wahyudi (2011) pada pandu gelombang *Y-Branch* miring dengan sisipan bahan tak linier pada *cladding* untuk gerbang X-OR didapatkan daya input sebesar 4,99 W/m dan daya luaran untuk logika 1-1 sebesar 0,29 W/m, untuk logika 1-0 sebesar 3,2 W/m, dan untuk logika 0-1 sebesar 3,52 W/m. hasil tersebut berbeda dengan hasil yang diperoleh pada penelitian ini. Hal ini disebabkan perbedaan peletakan bahan tak-linier yang berada pada *taper* dan *cladding* dan berpengaruh pada daya luaran yang dihasilkan. Penelitian memiliki kelebihan yaitu penggunaan bahan tak-linier yang jauh lebih efisien daripada penelitian sebelumnya, yaitu bahan tak linier hanya berada pada *taper* dan sebagian *cladding*.

## **BAB 5. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi numerik dengan metode FDBPM menggunakan desain pandu gelombang Y-Branch miring kiri dengan sisipan bahan tak linier pada *taper* dan *cladding*, diperoleh suatu struktur gerbang logika yang sesuai dengan tabel kebenaran X-OR, yaitu daya masukan sebesar 6.5 W/m nilai daya luarannya 0.38 W/m untuk logika masukan 1-1, sedangkan untuk logika masukan 1-0 dan 0-1 daya luarannya adalah 4.0 W/m dengan daya masukan yang sama. Dengan demikian, struktur ini dapat ditetapkan untuk gerbang logika X-OR.

### **5.2 Saran**

Untuk menghasilkan struktur pandu gelombang yang sesuai dengan gerbang logika X-OR, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan, antara lain: penempatan bahan tak linier, variasi sudut, dan desain dari Y-Branch agar mendapatkan luaran yang optimum dan sesuai dengan gerbang logika X-OR.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chung, Y. dan Dagli, N. 1990. *An Assessment of Finite Different Beam Propagation and Method. IEEEJ. Quantum Electron*, Vol. QE-26, No. 8, pp 1335-1339.
- Cotter, D., Burt MG., dan Manning RJ. 1992. *Below-band-gap Third-order Optical Nonlinearity of Nanometer-size Semiconductor Crystallites, Physics Rev.Lett*, Vol. 68, No. 8. Pp 1200-1203.
- Green, D. C. 1995. *Komunikasi Data*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Handoko, N. R. B., Firdausi, K. S., dan Setiawati, E. 2006 *Penentuan Nilai Koefisien Linier Magneto Optik Bahan Transparan Menggunakan Interferometer Michelson*. [serial online] [http://eprints.undip.ac.id/2517/1/Penentuan Nilai koefisien Linier Magneto Optik Bahan Transparan Menggunakan Interferometer Michelson.pdf](http://eprints.undip.ac.id/2517/1/Penentuan_Nilai_koefisien_Linier_Magneto_Optik_Bahan_Transparan_Menggunakan_Interferometer_Michelson.pdf) [11 Desember 2011].
- Hemyai, AK. dan Aitchison, JS. 1992. Ultrafast All-Optical Switching in GaAlAs Intergrated Interferometer in 1.55 micron Spectral Region, *Electron Letter*, Vol 28, no. 12, pp 1090-1092.
- Mutmainnah dan Pramono, Y.H. 2006. Karakteristik Of Waveguide Optical by Array and Y-Branch Model which Consisting Of Nonlinier Material In The Cladding For Optical Logic X-OR Gate. *Jurnal Ilmu Dasar* 7:13-18
- Mutmainnah, dan Pramono Y.H. 2009 Output Power Optimized in Optical Logic X-OR Gate Structure. *Jurnal Ilmu Dasar* 10:44-48
- Morris, M. 1984. *Digital Design*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs.
- Nishihara, H., Haruna, M., dan Suhara, HT 1989. *Optical Intregated Circuit*. Ohmsha Ltd.
- Pramono, Y.H, Geshiro, M., Kitamura, T., dan Sawa, S. 1999. Self-switching in Crossing waveguide With Three Channel Cositing of Nonlinier Material. *IEICE Trans. Electron*, Vol. E82-C, no. 1, pp 111-118.
- Pramono, YH. dan Endarko. 2001. Nonlinear Waveguides for Optical Logic and Computation. *Jurnal of Nonlinier Optical Physics and Materials*. Vol. 10 pp 209-222.

- Pramono, Wahyudi. 2011. *Analisis Pandu Gelombang Y-Branch Miring Kiri dengan Sisipan Bahan Tak-Linier pada Cladding untuk Gerbang Logika X-OR*. Jember: MIPA Universitas Jember.
- Scarmozzino, R., dan Osgood, RM. 1991. Comparison of FDBPM and FFT Solution of Parabolic Wave Equation with Emphasis on Integrated Optic Application. *J. Opt. Soc. Am. A.*, **Vol.** 8, No .5, pp. 724-731.
- Sopyandi, E. 2010. Sejarah dan Perkembangan Sistem Komunikasi Serat Optik. [serial online] <http://spiderdot.files.wordpress.com/2010/10/sejarah-perkembangan-optik.pdf> [4 November 2011]
- Surjono. 1998. *Pengembangan Mikropon Optik Sebagai Alternatif Dalam Komunikasi Serat Optik*. [serial online].[http://eprints.uny.ac.id/237/1/Mikropon\\_Optik.pdf](http://eprints.uny.ac.id/237/1/Mikropon_Optik.pdf) [4 November 2011].
- Usha, R., Prasada, dan Rao.TA. 1995. Electro-Optic Kern Relaxation Studies in a Nematic Liquid Crystal 4-(TRANS-4'-n-Pentylcyclohexyl) Benzonitrile (PCH-5). *Journal of the Physical of Japan*, **Vol.** 64, No. 10.
- Wu, X. Dan Zao, B. 1997. The Non-Linier Optical Properties of Nanometer Sized SnO<sub>2</sub> organosol, *Optic*, **Vol.** 104, no 4, pp 142-144.
- Zaki, M. 2000. *Medan Elektromagnetik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.