

Studi awal fabrikasi *symmetric waveguide* dengan *tin oxide* sebagai *directional coupler*

M J Wahidah¹ dan Asnawi^{1, a}

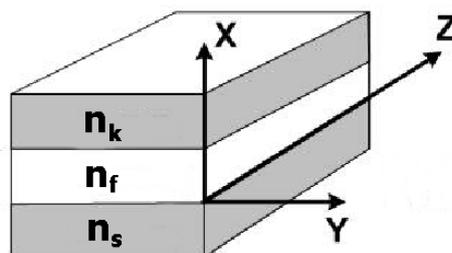
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya
Jl Ketintang, Gd C3 Lt 1, Surabaya 60231, Indonesia

^aasnawi@unesa.ac.id

Abstract. Pengembangan sistem dan teknologi komunikasi optik, terutama di *optical switching* (OS) memiliki peran penting dalam teknologi informasi. Artikel ini melaporkan pembuatan *symmetric waveguide* optik berbasis *tin oxide*. *Symmetric waveguide* sebagai *directional coupler* telah difabrikasi dengan memasukkan material *tin oxide* pada substrat akrilik yang ditutup dengan methyl methacrylate (MMA). *Directional coupler* hasil fabrikasi dikarakterisasi menggunakan laser He-Ne ($\lambda = 632,8$ nm). Karakterisasi dilakukan dengan mengambil foto penampang melintang *directional coupler* ketika diberi input sinar laser. Distribusi intensitas masing-masing *port* dari *directional coupler* diolah dengan menggunakan *software* ImageJ. Hasil penelitian menunjukkan besarnya persentase intensitas *output directional coupler* dengan sudut kelengkungan 36° adalah 25,2% pada *port* 1 dan pada *port* 2 sebesar 59,6%. Dengan losses sebesar 10,4% ditunjukkan pada *symmetric waveguide* dengan ukuran $2 \times 1,5$ cm² dengan jarak *waveguide* 0,04 cm.

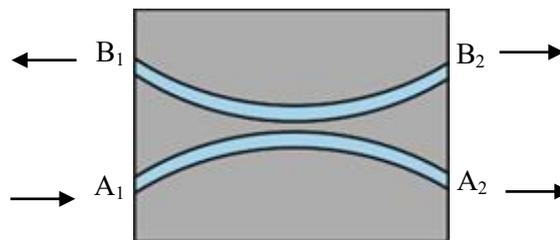
1. Pendahuluan

Pengembangan sistem dan teknologi komunikasi optik pada era modern saat ini telah banyak dikembangkan sehingga dapat menciptakan banyak teknologi canggih, terutama di *optical switching* (OS) yang memiliki peran penting dalam teknologi informasi. Struktur pandu gelombang optik terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan inti dan lapisan luar dengan indeks bias lapisan inti lebih tinggi dari indeks bias lapisan luar [1]. Lapisan inti terdiri dari lapisan film (n_f), sedangkan lapisan luar terdiri dari lapisan substrat (n_s) dan lapisan cover (n_k) (Gambar 1). Pada prakteknya cahaya yang masuk pada lapisan inti akan mengalami pemantulan atau tercermin bolak-balik diantara lapisan luar. Gelombang tersebut akan tertahan karena adanya refleksi dari dinding lapisan seperti pola zig-zag.



Gambar 1. Struktur pandu gelombang [2].

Directional coupler merupakan salah satu variasi sistem dari pandu gelombang dimana terdapat dua pandu gelombang yang saling berdekatan, sehingga daya yang dibawa akan saling dipertukarkan secara periodik [1]. *Directional coupler* mampu menjalankan berbagai fungsi pada perangkat optik konvensional termasuk pemisahan, penggabungan, dan pemindahan daya [2, 3]. Struktur pandu gelombang *directional coupler* terdiri dari empat *port* lubang dengan satu *port* sebagai *input* dan tiga *port* lainnya sebagai *output*.



Gambar 2. Desain pandu gelombang *directional coupler*.

Proses perpindahan daya gelombang optik antar jalur dapat dijelaskan menggunakan teori moda terganggu (*couple mode theory*). Berdasarkan teori ini apabila lebar *gap* cukup besar maka gelombang *evanescent* moda dasar dari kedua jalur (dilambangkan dengan A dan B) di sepanjang daerah *gap* tidak menimbulkan kopling, sehingga pada masing-masing jalur gelombang optik pada moda dasar tersebut dapat merambat secara individu. Sebaliknya, bila lebar *gap* kedua jalur sangat kecil maka gelombang *evanescent* moda dasar di sepanjang daerah *gap* tersebut saling memberikan gangguan (*perturbation*), kopling antar keduanya menyebabkan amplitudo gelombang optik merambat pada kedua jalur transmisi.

Jika ke dalam jalur A ditransmisikan gelombang optik, maka sebagian berkasnya ter-*evanescent* ke jalur B. Berkas pada jalur ke B tersebut terpandu dan sebagian berkasnya akan ter-*evanescent* ke jalur A lagi sehingga membentuk pola zig-zag. *Overlapping* antar gelombang *evanescent* yang saling berinterferensi mengakibatkan terjadinya proses perpindahan daya pada pandu gelombang *directional coupler*. Jika interferensinya saling menguatkan akan terbentuk gelombang optik simetri dengan tetapan perambatan β_a . Dalam proses perambatannya, kedua moda tersebut saling bersuperposisi. Sampai pada jarak L_c (panjang kopling), puncak superposisi pola medannya terletak pada jalur kedua dan semua dayanya dipindahkan ke jalur kedua dan ketika jaraknya dua kali panjang kopling ($z = 2L_c$), semua dayanya terkopel kembali ke jalur pertama, demikian seterusnya.

Tin oxide (SnO_2) merupakan paduan antara dua unsur logam dan non logam yang berikatan ionik atau kovalen. SnO_2 juga merupakan senyawa ionik nonstoikiometri akibat adanya cacat titik kelebihan atom logam Sn pada suhu ruang dengan struktur tetragonal. Lapisan SnO_2 dapat diaplikasikan pada peralatan optoelektronika seperti pelapisan kaca film, fotokatalis, LED organik, sensor gas, dan *solar cell*. Lapisan SnO_2 termasuk dalam material keramik karena memiliki titik leleh yang tinggi, lebih keras, tahan terhadap perubahan kimia dibanding logam atau bahan organik lainnya, dan biaya pendeposisiannya relatif lebih murah. Berikut ini merupakan karakteristik dari material SnO_2 :

Tabel 1. Karakteristik SnO_2 [4].

Nama IUPAC	tin (IV) oxide
Nama kimia	SnO_2
Massa molar	150,71 gram/mol
Tampilan fisik	Bubuk berwarna putih atau abu-abu muda
Massa jenis	6,95 gram/cm ³ (20°C) 6,85 gram/cm ³ (24°C)
Titik lebur	1630°C (2,970°F; 900K)
Titik didih	1800-1900°C (2070-2170K)

Methyl methacrylate (MMA) adalah monomer untuk skala besar pembuatan polymethyl methacrylate (PMMA) yang merupakan bahan polimer sejenis plastik. *Methyl methacrylate* (MMA) merupakan bahan yang transparan yang dapat mentransmisikan panjang gelombang tampak (*visible*), absorbs ultravioletnya kecil sampai panjang gelombang 260 nm. Dengan sifat-sifat tersebut, maka bahan ini merupakan salah satu bahan yang tepat untuk digunakan sebagai bahan pemandu gelombang (Rinawati, 2009). Pada keadaan larutan MMA memiliki indeks bias 1,48904; setelah diberikan perlakuan panas maka akan terjadi kenaikan indeks bias yang bervariasi. Nilai indeks bias MMA yang dipolimerisasi menjadi PMMA menggunakan perlakuan panas masing-masing 1,4914 pada suhu 70°C, 1,4910 pada suhu 80°C, dan 1,4914 pada suhu 90°C panjang gelombang laser He-Ne.

Pada penelitian ini, substrat yang digunakan adalah akrilik ($n_s = 1,490$), film SnO₂ ($n_f = 2,006$), dan cover ($n_c = 1,415$) dengan sumber input laser He-Ne ($\lambda = 632 \text{ \AA}$). Desain jalur cahaya dibuat melengkung dengan sudut 36° (Gambar 2). Proses fabrikasi film tipis dilakukan dengan metode *doctor blade* dan proses karakterisasi dilakukan dengan memasukkan cahaya laser ke dalam film. Hasil karakterisasi selanjutnya dianalisis dengan *software* ImageJ untuk mengetahui distribusi intensitas cahayanya.

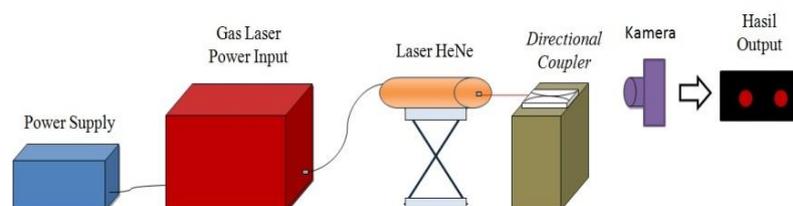
2. Metode Penelitian

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mendesain pola substrat yang terdiri dari dua bagian atas dan bawah. Bagian atas berupa pola jalur dan bagian bawah didesain polos tanpa pola. Substrat selanjutnya dipotong dengan menggunakan teknik *cutting* laser. Setelah dipotong, bagian tepi substrat dihaluskan dengan menggunakan kertas ampelas dan dicuci dengan menggunakan air sabun dan aquades. Selanjutnya substrat direndam dalam alkohol dan dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 menit dan dikeringkan. Substrat yang sudah bersih dan kering selanjutnya bagian atas dan bawahnya ditempel dengan menggunakan lem akrilik.

Proses selanjutnya adalah pembuatan larutan SnO₂ sebagai film. Material SnO₂ sendiri merupakan salah satu material oksida transparan yang memiliki resistivitas listrik yang rendah dan transparansi yang tinggi pada panjang gelombang cahaya tampak. Awal pembuatan larutan SnO₂ ini adalah dengan mencampurkan pelarut yaitu isopropanol ((CH₃)₂CH(OH)) dengan binder *ethyl cellulose* ([C₆H₇O₂(OH)_{3-x}(OC₂H₅)_x]_n) [10]. Setelah pelarut dan binder tercampur, serbuk SnO₂ nano ditambahkan. Pemilihan isopropanol sebagai pelarut dikarenakan titik didih isopropanol yang rendah yaitu 82,2°C dan dibawah titik lebur substrat akrilik yaitu 160°C, sehingga pada saat proses penghilangan pelarut dengan pemanasan 100°C akrilik tidak leleh. Pada pembuatan larutan SnO₂ ini akan diperoleh larutan yang berbentuk gel, hal ini bertujuan agar pada saat pelapisan pola akrilik dapat terisi penuh.

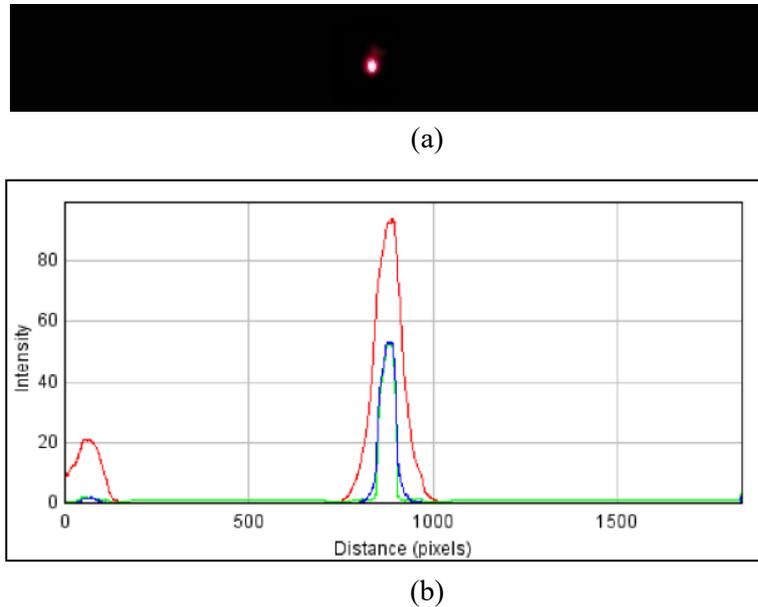
Larutan SnO₂ selanjutnya dimasukkan ke dalam lubang pola substrat dengan metode *doctor blade*. Setelah lubang terisi penuh, substrat dipanaskan menggunakan *magnetic stripper hotplate* selama 1 jam dengan suhu 100°C. Selanjutnya substrat dilapisi dengan MMA dan dipanaskan menggunakan *magnetic stripper hotplate* selama 15 menit dengan suhu 70°C.

Substrat yang telah dilapisi dengan MMA selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan proses karakterisasi. Proses karakterisasi ini dilakukan dengan merangkai alat seperti gambar 3 berikut. Cahaya laser dimasukkan ke dalam *port input* (A₁). Selanjutnya diambil foto penampang melintang cahaya *input* dan *output*-nya yang selanjutnya masing-masing distribusi intensitas cahayanya dianalisis dengan menggunakan *software* ImageJ untuk memperoleh grafik intensitas cahaya RGB.



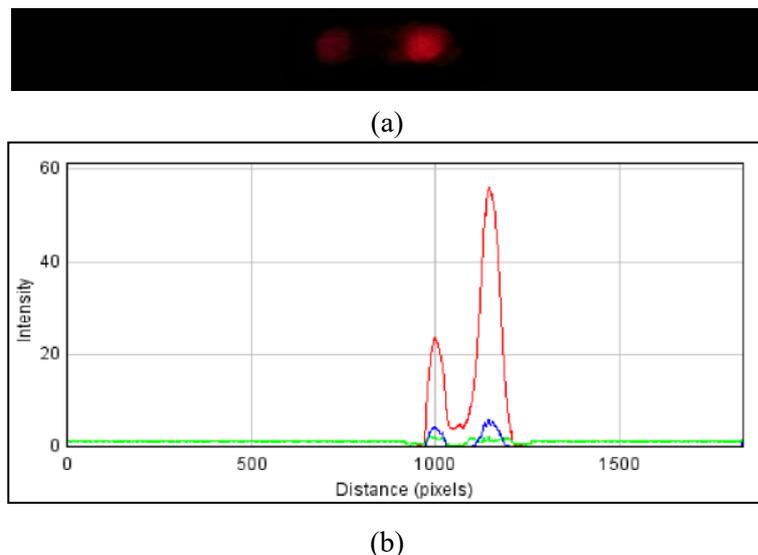
Gambar 3. Rangkaian karakterisasi pandu gelombang *directional coupler*.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan



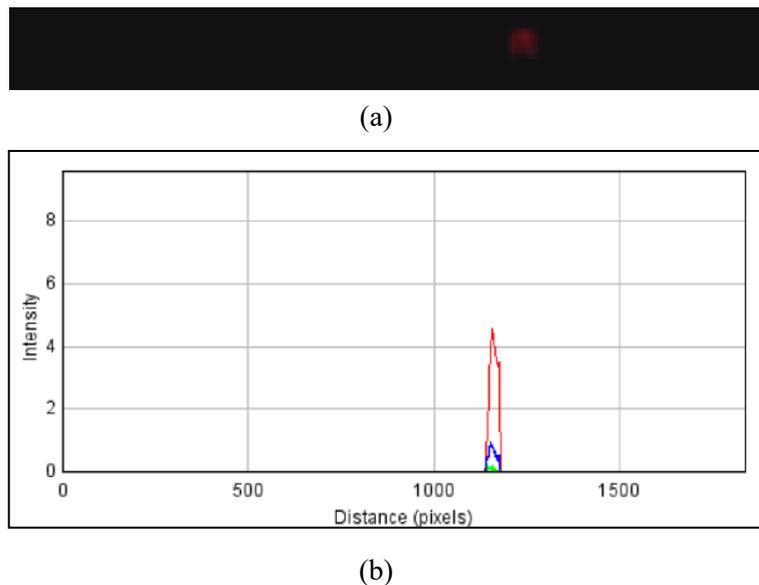
Gambar 4. (a) Intensitas cahaya *input* A_1 (b) Grafik *input* RGB A_1 .

Hasil karakterisasi *directional coupler* dengan material SnO_2 dapat dilihat pada Gambar 4-6. Gambar 4 (a) merupakan intensitas sumber cahaya laser He-Ne sebelum dimasukkan ke dalam film. Gambar tersebut selanjutnya diolah dengan menggunakan *software* ImageJ untuk mengetahui berapa nilai intensitas cahaya tersebut sehingga diperoleh grafik nilai intensitas cahaya seperti gambar 4 (b). Dari grafik nilai intensitas cahaya tersebut diambil nilai tertinggi untuk digunakan dalam perhitungan persentase cahaya yang terpandu. Nilai grafik tertinggi yang digunakan adalah grafik yang berwarna merah, karena sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne dengan cahaya merah. Grafik dengan garis berwarna biru dan hijau menunjukkan bahwa terdapat cahaya lain berwarna biru dan hijau yang tertangkap dalam gambar tersebut. Dari grafik tersebut diperoleh nilai intensitas cahaya *input* adalah 944929 a.u. Cahaya tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam film melalui salah satu *port* yang disebut dengan A_1 , sehingga cahaya dapat mengalami proses pemanduan gelombang.



Gambar 5. (a) Intensitas cahaya *output* A_2 dan B_2 (b) Grafik RGB *output* A_2 dan B_2 .

Hasil dari pemanduan ditunjukkan pada Gambar 5 (a). Gambar tersebut menunjukkan bahwa intensitas cahaya pada *output* B₂ lebih terang daripada intensitas cahaya pada *output* A₂. Hal ini menunjukkan terjadi proses pemindahan cahaya dari *input* A₁ ke *output* B₂. Proses pemindahan daya ini terjadi pada titik *coupler* dimana kedua jalur berada pada posisi yang saling berdekatan, sehingga cahaya dari *input* A₁ akan berpindah ke *output* B₂ dan dapat berpindah kembali ke *output* A₂, begitu seterusnya di sepanjang titik *coupler*. Gambar hasil pemanduan tersebut selanjutnya diolah dengan menggunakan *software* ImageJ sehingga dapat diperoleh grafik intensitas cahaya pada *output* A₂ dan B₂ yang ditunjukkan pada Gambar 5 (b). Grafik tersebut menunjukkan bahwa intensitas tertinggi pada *port* A₂ sebesar 237723 a.u dan pada *port* B₂ intensitas tertingginya adalah 563125 a.u.



Gambar 6. (a) Intensitas cahaya *output* B₁ (b) Grafik RGB *output* B₁

Pada *output* B₁ terdapat pula cahaya yang keluar yang ditunjukkan oleh Gambar 6 (a). Cahaya yang keluar pada *output* B₁ tidak seterang cahaya yang keluar pada *output* A₂ dan B₂. Hal ini disebabkan material film yang digunakan adalah SnO₂ yang termasuk ke dalam bahan non-linier. Gambar 6 (b) adalah hasil analisis grafik RGB dengan *software* ImageJ yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya tertinggi adalah 45951 a.u.

Setelah memperoleh nilai intensitas cahaya dari masing-masing *port*, langkah selanjutnya adalah perhitungan persentase *output* terhadap *input* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ terhadap } input = \frac{output}{total \ output} \times 100\% \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan nilai intensitas cahaya *input* yang dimasukkan ke dalam film memiliki persentase 100%, pada *output* A₂ memiliki persentase sebesar 25,2%, pada *output* B₂ sebesar 59,6%, dan pada *output* B₁ sebesar 4,9%. Hal ini menunjukkan bahwa pandu gelombang dengan sudut persilangan antara 25°-45° akan mengalami proses pemindah daya [5]. Berdasarkan hasil perhitungan total persentase *output* dikurangi persentase *input*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada pemanduan gelombang ini terdapat *loss* cahaya sebesar 10,4%. Hal ini menunjukkan bahwa pandu gelombang dengan sudut lengkungan memiliki nilai *loss* yang lebih rendah daripada pandu gelombang dengan sudut tikungan [5].

Tabel 2. Persentase hasil karakterisasi nilai *output* tiap *port* terhadap *input*.

Input A ₁ (a.u)	Output (a.u)			Persentase terhadap input (%)			Loss (%)
	A ₂	B ₂	B ₁	A ₂	B ₂	B ₁	
944929	237723	563125	45951	25,2	59,6	4,9	10,4

4. Kesimpulan

Fabrikasi *symmetric waveguide* dengan material *tin oxide* sebagai *directional coupler* telah berhasil dilakukan dengan persentase *output* terhadap *input* sebesar 25,2% pada *port output* 1 dan pada *port output* 2 sebesar 59,6%. Hal ini terjadi akibat adanya proses pemindahan daya yang terjadi pada titik *coupler* dimana kedua jalur berada pada posisi yang saling berdekatan sehingga cahaya dari *input* A₁ akan berpindah ke *ouput* B₂ dan dapat berpindah kembali ke *output* A₂, begitu seterusnya di sepanjang titik *coupler*. Pada proses pemanduan ini terjadi proses pembelokan cahaya sehingga terdapat cahaya *output* yang keluar melalui *port output* 3 sebesar 4,9%. Proses pemanduan cahaya sebagai *directional coupler* dengan sudut lengkungan diperoleh nilai *loss* yang cukup rendah yaitu 4,9%.

Referensi

- [1] Yang M, Green W M J, dan Assefa S 2011 *Opt. Express* **19** (1) 47
- [2] Vivien L, Le Roux X, Laval S, Cassan E, dan Marris-Morini D 2006 *IEEE J. Sel. Top. Quant.* **12** (6) 1354
- [3] Lu F, Wang Z, Tian Z, dan Xu A 2016 *Opt. Commun.* **379** 1
- [4] Anonim *Tin Oxide* Diambil dari: https://en.wikipedia.org/wiki/Tin_oxide
- [5] Sakar D, Jamal I, dan Mitra S K 2013 *Opt. Commun.* **311** 338
- [6] Ramza H, Nasimi F, Ishak K A, dan Ab-Rahman M S 2012 *Adv. Studies Theor. Phys.* **6** (25) 1323
- [7] Rahayu L P dan Yudoyono G 2013 *J. Sains Seni ITS* **2** (2) B37
- [8] Pigeon F, Jourlin Y, dan Parriaux O 2001 *Thin Solid Films* **394** (1) 236
- [9] Chopra K N dan Maini A K 2010 *Thin Films and their Applications in Military and Civil Sectors* (New Delhi: Defence Research and Development Organisation)
- [10] Kowel S T, Selfridge R, Eldering C, Matloff N, Stroeve P, Higgins B G, Srinivasan M P, dan Coleman L B 1987 *Thin Solid Films* **152** (1-2) 377